

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУХТИК НАТАЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 629.331

ДИСЕРТАЦІЯ

ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ РАЦІОНАЛЬНИМ
ПРОГРІВОМ ЇХ ДВИГУНІВ

Спеціальність – 274 «Автомобільний транспорт»

Галузь знань – 27 «Транспорт»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ Н.О.Кухтик

Науковий керівник – Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук,
професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Кухтик Н.О. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників сучасних автомобілів раціональним прогрівом їх двигунів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю: 274 – «Автомобільний транспорт». – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

Кількість колісних транспортних засобів з кожним роком зростає.

В експлуатації транспортні засоби чинять негативний вплив на навколишнє середовище через викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами та використання палив нафтового походження. Свій негативний вплив транспортні засоби найвідчутніше проявляють у великих містах, де їх концентрація на дорогах суттєво більша в порівнянні із заміськими та магістральними трасами.

На величину витрати палива та кількість викидів забруднюючих речовин впливає багато факторів, одним з яких є тепловий стан двигуна транспортного засобу. Тому дослідження раціонального методу прогрівання двигуна, як напрямку поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля є актуальним завданням.

За результатами огляду праць попередніх дослідників виявлено взаємозв'язок між збільшенням витрати палива та викидів забруднюючих речовин. Проте конкретних об'єктивних показників цього взаємозв'язку не встановлено.

Зменшення викидів забруднюючих речовин пов'язується з ефективною роботою каталітичного нейтралізатора, але досягнення ефективності планується додатковими технічними засобами, які можуть бути відсутні на конкретних транспортних засобах.

Тому виникає необхідність теплової підготовки двигунів і нейтралізаторів раціональним методом прогрівання двигуна.

Для реалізації поставленої мети була розроблена методика досліджень, проведені розширені експериментальні дослідження за низьких температур показників роботи двигуна, зокрема концентрацій забруднюючих речовин з ВГ, запропонована методика раціонального прогрівання двигуна.

За програмою експериментальних досліджень визначали параметри двигуна і його систем в дорожніх умовах. Також були проведені дослідження умовного руху легкового автомобіля Hyundai Getz за режимами Нового Європейського їздового циклу на стенді з біговими барабанами.

Була уточнена математична модель руху автомобіля з урахуванням поточного теплового стану двигуна і можливості додаткового підведення теплоти до впускного повітря.

За результатами дисертаційної роботи встановлено наступне.

1. Одним з факторів, який значно впливає на витрату палива і викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами сучасного автомобіля з системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичною нейтралізацією є тепловий стан його двигуна і нейтралізатора. Тому одним з напрямів економії палива і зменшення викидів забруднюючих речовин автомобілями в умовах експлуатації, зокрема при низьких температурах атмосферного повітря, є скорочення часу прогрівання двигуна і відповідно каталітичного нейтралізатора. Це і визначило напрям досліджень кваліфікаційної роботи.

2. За результатами експериментальних і розрахункових досліджень трьох можливих методів прогрівання двигуна після запуску: в режимі активного холостого ходу, в режимі руху автомобіля після запуску і комбінованим методом встановили, що при низькій температурі найбільш доцільним з точки зору мінімальної витрати бензину та зменшення викидів продуктів неповного згорання з відпрацьованими газами є комбінований метод прогрівання двигуна, який включає роботу двигуна в режимі активного холостого ходу та рух автомобіля з невисокою швидкістю. При однаковій відстані пробігу автомобіля в процесі прогрівання охолодної рідини від $-7...8^{\circ}\text{C}$ до 50°C цей метод зменшує

витрату палива на 5,1%, викиди CO і C_mH_n , приведені до CO на 31,5% в порівнянні з методом прогрівання в режимі руху автомобіля після пуску двигуна.

3. Експериментальні і розрахункові дослідження показали, що в процесі прогрівання двигуна в режимі холостого ходу – першій фазі комбінованого методу підігрів повітря на впуску в двигун зменшує витрату бензину і викиди продуктів неповного згорання з відпрацьованими газами. При температурі атмосферного повітря $10^{\circ}C$ при прогріванні двигуна до температури охолодної рідини $50^{\circ}C$ економія бензину становить 4%, сумарні масові викиди CO і C_mH_n , приведені до CO , зменшуються на 6%.

4. Для визначення впливу підігріву повітря на впуску в двигун на паливну економічність і концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах розроблена методика з введенням в розрахунки коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна, які являють собою відношення поточних витрати палива і концентрацій шкідливих речовин в процесі прогрівання двигуна до цих показників за випробування автомобіля з прогрітим двигуном. Коефіцієнти впливу температурного стану в процесі прогрівання двигуна розраховували за результатами випробування автомобіля в русі за режимами Нового Європейського їздового циклу з підігрівом повітря на впуску в двигун і без підігріву.

5. При проведенні випробувань автомобіля в русі за режимами Нового Європейського їздового циклу при температурі навколишнього середовища близько $20^{\circ}C$ в третьому і четвертому фрагментах їздового циклу концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах практично однакові, тобто можна зробити висновок, що каталітичний нейтралізатор і двигун в цілому прогрілись до нормального теплового стану, температура охолодної рідини досягла $90^{\circ}C$. Тому коефіцієнти впливу температурного стану визначали порівнянням показників роботи двигуна в першому і четвертому фрагментах їздового циклу.

6. Коефіцієнти впливу температурного стану по мірі прогрівання двигуна зменшується, при цьому на абсолютну величину цих коефіцієнтів впливає використання підігріву повітря на впуску в двигун. Підігрів повітря на впуску з підвищенням температури охолодної рідини лише на 3°C на початку виконання їздового циклу дозволяє, знизити коефіцієнт впливу температурного стану на витрату палива близько 2,3 %. Це відповідає такому ж зменшенню витрати бензину. При цьому значно зменшуються концентрації CO і C_mH_n . Зменшення коефіцієнту впливу температурного стану на початку виконання їздового циклу для концентрації CO складає 38 %, для концентрації C_mH_n - 23%. По мірі прогрівання двигуна ефект зменшується. Разом з тим, при цьому зростає коефіцієнт впливу температурного стану для концентрації NO_x в межах 18-25%, що можна пояснити недостатнім прогріванням протягом першого фрагменту руху автомобіля каталітичного нейтралізатора так як при виконанні четвертого фрагменту в аналогічних режимах зростання концентрації NO_x не спостерігали. З врахуванням змінення коефіцієнтів впливу температурного стану можна вважати доцільним використовувати підігрів повітря на впуску в двигун до досягнення температури охолодної рідини 50°C .

7. Розрахунками на математичній моделі встановлено, що підігрів повітря на впуску в двигун в процесі прогрівання двигуна від 20°C до 50°C зменшує час прогрівання на 7%, витрату палива на 4,0%, викиди CO на 6,6%, C_mH_n на 6,4%, NO_x на 7,2%, CO_2 на 6,9%.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Встановлено, що найбільш доцільним, з точки зору економії бензину і зменшення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами методом прогрівання двигуна сучасного легкового автомобіля за низьких температур атмосферного повітря є комбінований метод, який включає прогрівання в режимі холостого ходу і в режимі руху;

2. Розроблено методику визначення впливу підігрівання повітря на впуску в двигун на паливо-економічні та екологічні показники сучасного

легкового автомобіля в період прогрівання за низьких температур атмосферного повітря, передбачено два підходи: за заміряними концентраціями забруднюючих речовин в розбавлених відпрацьованих газах та за розрахунками на уточненій математичній моделі викидів забруднюючих речовин;

3. Для реалізації розробленої методики і оцінки показників витрати бензину і екологічних показників в процесі прогрівання двигуна запропоновано ввести коефіцієнти впливу температурного стану, які дозволяють кількісно оцінити названі показники в порівнянні з показниками прогрітого двигуна;

4. Встановлено, що підігрів повітря на впуску в двигун при прогріванні охолодної рідини від 20°C до 50°C в режимах їздового циклу зменшує витрату палива на 4,0% і викиди основних забруднюючих речовин на 6...7%.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення роботи складають:

1. Рекомендації щодо використання комбінованого методу прогрівання двигуна сучасного легкового автомобіля з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком в умовах низьких температур атмосферного повітря;

2. Експериментальні дані впливу підігрівання повітря на впуску в двигун з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком на паливну економічність і екологічні показники легкового автомобіля;

3. Експериментальні дані по впливу температурного стану двигуна на витрату палива та викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами сучасного легкового автомобіля;

4. Екологічні показники та показники паливної економічності автомобіля з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком за руху за режимами Європейського їздового циклу.

5. Теоретичні та практичні результати роботи, що отриманні при проведенні дисертаційних досліджень, прийняті до використання Департаментом транспортної інфраструктури виконавчого органу Київської

міської ради (Київська міська державна адміністрація), а також використовують у навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці курсів «Стратегія сталого розвитку», «Системи ДВЗ», «Математичне моделювання в дослідженнях двигунів внутрішнього згорання» та «Екологізація двигунів внутрішнього згорання»

Ключові слова: автомобіль з каталітичним нейтралізатором, умови експлуатації, прогрівання двигуна, витрата палива, екологічні показники, забруднюючі речовини, відпрацьовані гази

Список публікацій здобувача.

Публікації в наукових фахових виданнях України:

1. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Визначення концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах бензинового двигуна в дорожніх умовах. *Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України. Науково-виробничий журнал*. К.: ДержавтотрансНДІпроект, Укравтодор. 2009. Вип. 12. С. 155-156.

2. Кухтик Н.О. Прогрів каталітичного нейтралізатора після запуску холодного двигуна і його вплив на ефективність нейтралізації забруднюючих речовин. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник (ISSN: 2308-6645)*. К.: НТУ, 2017. –Вип. 1 (37), С. 195–202.

3. Кухтик Н.О., Кухтик В.В. Вплив методу прогріву на витрату палива автомобілем з двигуном з системою впорскування бензину. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» (за галузями знань «Технічні науки»)* (ISSN: 24-15-39-66). Луцьк: ЛНТУ, 2018. Вип. 62. С. 152-156.

4. Кухтик Н.О. Визначення витрати палива та концентрацій шкідливих речовин за прогріву двигуна легкового автомобіля в умовах низьких температур середовища. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки (ISSN: 1728-4260)*. Житомир, 2018. Вип. 2 (82). С. 88-93.

5. Кухтик Н.О. Уточнення математичної моделі руху автомобіля з урахуванням прогрівання двигуна в процесі руху. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»* (ISSN: 2663-595X). К.: 2020. Том 31(70). № 4. С. 233-238.

6. Гутаревич Ю.Ф., Кухтик Н.О., Кухтик В.В. Скорочення часу прогрівання двигуна легкового автомобіля за використання додаткового джерела теплоти. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник* (ISSN: 2523-496X). К.: НТУ, 2021. Вип. 1 (48). С. 117–128.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

7. Кухтик Н.О. Вплив методу прогріву двигуна легкового автомобіля на токсичність відпрацьованих газів. *Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy. Seria: Transport «Systemy I Środki transportu samochodowego»* (ISBN: 978-83-7934-229-7). Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2018. Nr 13, p. 41-48.

8. Кухтик Н.О. Порівняння витрати палива та викидів шкідливих речовин непрогрітого та прогрітого двигуна легкового автомобіля за європейським їздовим циклом. *Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy. Seria: Transport «Systemy I Środki transportu samochodowego»* (ISBN: 978-83-7934-316-4). Rzeszów: Politechnika Rzeszowska. 2019. Nr 17, .p. 35-41.

Публікації апробаційного характеру

9. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Методи прогріву двигуна і їх вплив на роботу системи каталітичної нейтралізації. *Матеріали LXX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2014. С.23.

10. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Вплив параметрів навколишнього середовища на вибір методу прогріву двигуна в режимі холостого ходу. *Матеріали LXXI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2015. С.23.

11. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Контроль ефективності прогріву двигуна після його запуску. *Матеріали LXXII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2016. С.27.

12. Кухтик Н.О. Вплив теплового стану нейтралізатора на екологічні показники автомобіля. *Матеріали LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2017. С.44.

13. Кухтик Н.О. Прогрів двигуна легкового автомобіля за низьких температур навколишнього середовища. *Матеріали LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2018. С.39-40.

14. Кухтик Н.О. Стендові випробування автомобіля на паливну економічність та токсичність в процесі прогрівання двигуна. *Матеріали LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2019. С.40.

15. Кухтик Н.О. Математична модель руху автомобіля з бензиновим двигуном за їздовим циклом за різної початкової температури навколишнього середовища. *Матеріали LXXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2020. С.39.

Патент на корисну модель

16. Патент № 129967 Україна, МПК (2018.01) F02N 19/00, F01P 3/22 (2006.01), B60H 1/04 (2006.01) «Система підігріву повітря на впуску двигуна внутрішнього згоряння з тепловим акумулятором фазового переходу» / Ю.Ф. Гутаревич, Д.М. Тріфонов, О.В. Сирота, Є.В. Шуба, Н.О. Кухтик (Україна); Заявник і патентовласник: Національний транспортний університет, Державний № у 2018 04461; завл. 23.04.2018; опубл. 26.11.2018, бюл. № 22.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

17. Літературний письмовий твір наукового характеру «Порівняння методів прогрівання двигуна легкового автомобіля для визначення рівня забруднення навколишнього середовища за рівнозначних умов подолання певної ділянки шляху» / Ю.Ф. Гутаревич, Н.О. Кухтик // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 102961. Дата реєстрації 02.03.2021 р.

18. Літературний письмовий твір наукового характеру «Експериментальні дослідження впливу низьких температур атмосферного повітря на економічні та екологічні показники двигуна і автомобіля» / Ю.Ф. Гутаревич, Н.О. Кухтик // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 102962. Дата реєстрації 02.03.2021 р.

ANNOTATION

Kukhtyk N.O. Improving of fuel economy and ecologic indicators of modern cars by rational engine warm-up – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 274 «Motor Tansport». – National Transport University, Kyiv, 2021.

The number of wheeled vehicles is growing every year.

In operation, vehicles have a negative impact on the environment due to emissions of pollutants with exhaust gases and the use of petroleum origin fuels. Vehicles have the most significant negative impact in large cities, where their concentration on the roads is significantly higher than in suburban and main roads.

The amount of fuel consumption and the amount of pollutant emissions are influenced by many factors, among which we single out the thermal state of the vehicle engine. Therefore, the research of a rational method of the engine warm-up as a way of improving fuel economy and ecologic indicators is an urgent task.

As a result of review works of previous researchers' works, a relationship between increased fuel consumption and pollutant emissions has been found. However, no specific objective parameters of this relationship have been established.

The reduction of pollutant emissions is associated with the efficient operation of the catalytic neutralizer, but the achievement of efficiency is being planned by additional technical means, which may be absent on specific vehicles.

Therefore, there is a need for thermal preparation of engines and neutralizers by a rational method of the engine warm-up.

To achieve this goal, a research methodology has been developed, extended experimental studies have been conducted at low engine temperatures, in particular concentrations of pollutants with exhaust gases, a method of rational engine warm-up has been proposed.

According to the program of experimental researches, parameters of the engine and its systems in road conditions were defined. Studies of the conditional movement of the car Hyundai Getz by to the modes of the New European driving cycle on the bench with running drums have been also carried out.

The mathematical model of the car movement has been specified taking into account the current thermal state of the engine and the possibility of additional heat supply to the intake air.

As a result of the dissertation work, the following is established.

1. One of the factors that significantly affects the fuel consumption and emissions of pollutants with the exhaust gases of a modern car with a gasoline injection system, feedback and catalytic neutralization is the thermal state of its engine and neutralizer. Therefore, one of the areas of fuel economy and reduction of pollutant emissions by cars in operating conditions, in particular at low ambient temperatures, is reducing the warm up time of the engine and, accordingly, the catalytic neutralizer. This determined the direction of research qualification work.

2. According to the results of experimental and computational researches of three possible methods of the engine warm up after starting: in idling mode, in driving mode after starting and the combined method it has been established that at low temperatures the most appropriate in terms of minimum gasoline consumption and reduction of emissions of incomplete combustion products with exhaust gases is a combined method of the engine warm up, which includes the operation of the

engine in active idling mode and the movement of the car at low speed. At the same distance of the car run in the process of heating the coolant from $-7... 8^{\circ}\text{C}$ to 50°C , this method reduces fuel consumption by 5,1%, CO and C_mH_n emissions, reduced to CO , by 31,5% compared to the heating method in driving mode of the car after engine start.

3. Experimental and computational studies have shown that in the process of the engine warm up in idling mode - the first phase of the combined method the heating of the air at the engine intake reduces gasoline consumption and emissions of incomplete combustion products with exhaust gases. At an ambient temperature of 10°C when warming up the engine to a coolant temperature of 50°C gasoline savings are 4%, the total mass emissions of CO and C_mH_n , reduced to CO , are reduced by 6%.

4. To determine the effect of air heating on the engine intake on fuel economy and the concentration of pollutants in the exhaust gases a method has been developed with the introduction to the calculations of the coefficients of the engine temperature influence, which are the ratio of current fuel consumption and concentrations of harmful substances during engine warm up to these indicators for testing a car with a warm engine. The coefficients of influence of the temperature state in the process of the engine warm up were calculated based on the results of the car testing in motion according to the modes of the new European driving cycle with heated air at the engine intake and without heating.

5. When testing the car in motion according to the modes of the new European driving cycle at an ambient temperature of about 20°C in the third and fourth fragments of the driving cycle, the concentrations of pollutants in the exhaust gases are almost the same, so it can be concluded that the catalytic neutralizer and engine as a whole warmed up to normal thermal state, the coolant temperature reached 90°C . Therefore, the coefficients of influence of the temperature state were determined by comparing the performance of the engine in the first and fourth fragments of the driving cycle.

6. Coefficients of a temperature state influence in process of the engine warm up decrease, herewith absolute value of these coefficients is influenced by usage of air heating on an inlet to the engine. Heating the air at the inlet with an increase in coolant temperature of only 3°C at the beginning of the driving cycle allows to reduce the coefficient of the temperature state influence on fuel consumption by about 2,3%. This corresponds to the same reduction in gasoline consumption. Herewith the concentrations of CO and C_mH_n are significantly reduced. The reduction of the coefficient of the temperature state influence at the beginning of the driving cycle for the concentration of CO is 38%, for the concentration of C_mH_n - 23%. As the engine warms up, the effect decreases. However, herewith the coefficient of the temperature state influence for the concentration of NO_x is increased in the range of 18-25%, which can be explained by insufficient heating during the first fragment of the car catalytic neutralizer as when performing the fourth fragment in similar modes the increasing of NO_x concentration was not observed. Taking into account the change of the coefficients of the temperature state influence, it can be considered expedient to use the heating of the air at the inlet to the engine until the coolant temperature reaches 50°C.

7. Calculations on the mathematical model show that heating the air at the inlet to the engine during engine warm-up from 20°C to 50°C reduces the warm-up time by 7%, fuel consumption by 4.0%, CO emissions by 6,6%, C_mH_n by 6,4%, NO_x by 7,2%, CO_2 by 6.9%.

Scientific novelty of the obtained results:

1. It is established that the most expedient, from the point of view of gasoline economy and reduction of polluting substances emissions with exhaust gases by a method of the modern car engine warm up at low temperatures of atmospheric air is the combined method which includes warming up in idling mode and in driving mode;

2. A method for determining the effect of air heating on the engine intake on the fuel, economic and ecologic indicators of a modern car during warming at low

atmospheric temperatures has been developed, there are two approaches provided: by the measured concentrations of pollutants in dilute exhaust gases and by the calculations on the specified mathematical model of pollutant emissions;

3. To implement the developed method and evaluate of gasoline consumption indicators and ecologic indicators in the process of the engine warm up it is proposed to introduce influence coefficients of temperature state, which allow to quantify these indicators in comparison with the heated engine;

4. It is established that heating the air at the inlet to the engine when heating the coolant from 20°C to 50°C in the driving cycle modes reduces fuel consumption by 0.5% and emissions of major pollutants by 6... 7%.

The practical value of the obtained results.

The practical significance of the work is made by:

1. Recommendations for the use of a combined method of the engine warm-up of a modern car with a gasoline injection system, a catalytic neutralizer and feedback in low ambient temperatures.

2. Experimental data on the effect of air heating on the engine intake with a gasoline injection system, catalytic neutralizer and feedback on fuel economy and ecologic indicators of the car.

3. Experimental data on the influence of engine temperature state on fuel consumption and emissions of pollutants with exhaust gases of a modern car.

4. Ecologic indicators and indicators of fuel efficiency of the car while driving by the modes of the European driving cycle.

5. Theoretical and practical results of work obtained during the dissertation research are accepted for usage by the Department of transport infrastructure of the executive body of the Kyiv city council (Kyiv city state administration), and also used in the educational process of the National transport university (Kyiv) in preparing courses «Sustainable development strategy», «Internal combustion engine systems», «Mathematical modeling in the researches of internal combustion engines» and «Greening of internal combustion engines».

Keywords: car with catalytic neutralizer, operating conditions, engine warm-up, fuel consumption, ecologic indicators, pollutants, exhaust gases

List of publisher publications

Publications in scientific journals of Ukraine

1. Kukhtyk V.V. Kukhtyk N.O. Determination of concentrations of harmful substances in exhaust gases of gasoline engine in road conditions. *Avtoshlyahovyk Ukraine: nauk.-products. Zh. Installment. Bulletin of the Central Scientific Center of the Transport Academy of Ukraine*. Kyiv: DerzhavtotransNDIproekt Ukravtodor, 2009. Issue 12. pp. 155-156.

2. Kukhtyk N.O., Catalytic converter warming up after a cold start and its impact on the efficiency of harmful substance neutralization. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection (ISSN: 2308-6645)*. Kyiv: NTU, 2017. Issue 1(37). pp. 195–202

3. Kukhtyk N.O. Kukhtyk V.V. The influence of the method of warm up on fuel consumption of the vehicle with the engine with the system of the gas injecting. *Research notes: mizhvuz. Coll. (on disciplines «Technical sciences»)* (ISSN: 24-15-39-66). Lutsk: Lutsk National Technical University, 2018. Issue 62. pp. 152-156.

4. Kukhtyk N.O. Determination fuel consumption and concentration of harmful substances for warming the engine of a car in conditions of low ambient temperatures. *Visnyk Zhytomyr State Technological University. Series «Technical sciences» (ISSN: 1728-4260)*. Zhytomyr: Zhytomyr State Technological University, 2018. Issue 2 (82), pp. 88-93.

5. Kukhtyk N.O. Specification of the mathematical model of the vehicle movement taking into account heating of the engine in the process of movement. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series «Technical Sciences» (ISSN: 2663-595X)*. Kyiv: 2020. Volume 31(70) Nr 4, pp. 113-119.

6. Gutarevych Yu.F., Kukhtyk N.O., Kukhtyk V.V. Reduction of the car engine warming time when using an additional heat source. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical*

Collection (ISSN: 2523-496X). Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 1(48). pp. 117-128.

Publications in scientific periodicals of foreign states

7. Kukhtyk N.O. The influence of the warm up engine method of passenger car on the toxicity of exhaust gases. *Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy., Seria: Transport «Systemy i środki transportu samochodowego» (ISBN: 978-83-7934-229-7). Rzeszów: Politechnika Rzeszowska., 2018. Nr. 13, pp. 41-48.*

8. Kukhtyk N.O. Comparison of fuel and emissions of harmful substances of unlocked and progressed light car engines by the european driving cycle. *Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy., Seria: Transport «Systemy i środki transportu samochodowego». (ISBN: 978-83-7934-316-4). Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2019. Nr. 17, pp. 35-41.*

Publications of approbatory character

9. Kukhtyk V.V. Kukhtyk N.O. Methods of engine heating and their influence on catalytic neutralization system operation. *Materials of LXX scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. Kyiv: NTU, 2014. p. 23.*

10. Kukhtyk V.V. Kukhtyk N.O. Influence of environmental parameters on the choice of motor heating method in no-load mode. *Materials of LXXI scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. Kyiv: NTU, 2015. p. 23.*

11. Kukhtyk V.V, Kukhtyk N.O Control of engine heating efficiency after starting. *Materials of LXXII scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. Kyiv: NTU, 2016. p. 27.*

12. Kukhtyk N.O. Influence of the neutralizer's thermal condition on the vehicle's environmental performance. *Materials of LXXIII scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. Kyiv: NTU, 2017, p. 44.*

13. Kukhtyk N.O. Car engine heating at low ambient temperatures. *Materials of LXXIV scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University*. Kyiv: NTU, 2018. p. 39-40.

14. Kukhtyk N.O. Bench tests of the car on fuel economy and toxicity during the engine warm-up. *Materials of LXXV scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University*. Kyiv: NTU, 2019. p.40.

15. Kukhtyk N.O. Mathematical model of the movement of a car with a gasoline engine on the driving cycle at different initial ambient temperatures. *Materials of LXXVI scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University*. Kyiv: NTU, 2020. p.39.

Patent for utility model

16. Patent № 129967 Ukraine, MPK (2018.01) F02N 19/00, F01P 3/22 (2006.01), B60H 1/04 (2006.01) "Air heating system at the intake of the internal combustion engine with a phase transition heat accumulator"/ Yu.F. Gutarevich, D.M. Trifonov, O.V. Syrota, E.V. Shuba, N.O. Kukhtyk (Ukraine); Applicant and patent holder: National Transport University, State number: u 2018 04461; statements: April 23, 2018; has published: November 26, 2018, Bul. No. 22.

Certificate of registration of copyright in a work

17. Literary written work of scientific nature «Comparison of methods of car engine warm-up for defining of pollution level of environment under equivalent conditions of overcoming of a certain section of the road» / Yu.F. Gutarevych, N.O. Kukhtyk // Certificate of registration of copyright in the work No. 102961. Registration date March 02, 2021.

18. Literary written work of scientific nature «Experimental studies of the influence of low atmospheric air temperatures on the economic and ecologic indicators of the engine and car» / Yu.F. Gutarevych, N.O. Kukhtyk // Certificate of registration of copyright in the work No. 102962. Registration date March 02, 2021.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	21
ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ДВИГУНА І НЕЙТРАЛІЗАТОРА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ	28
1.1. Автомобільний транспорт – основне джерело забруднення довкілля в населених пунктах	28
1.2. Тепловий стан двигуна та його вплив на економічні та екологічні показники	29
1.3. Використання каталітичних нейтралізаторів як один з найбільш ефективних шляхів поліпшення екологічних показників автомобілів	37
1.4. Висновки до розділу 1	49
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТОДІВ ПРОГРІВАННЯ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ ЗА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР	51
2.1. Розробка структурної схеми методики проведення досліджень	51
2.2. Експериментальні дослідження впливу низьких температур атмосферного повітря на показники двигуна і автомобіля	55
2.3. Порівняння методів прогрівання двигуна автомобіля	67
2.4. Висновки до розділу 2	74
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ДВИГУНА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ І ВИКИДИ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН АВТОМОБІЛЕМ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ	76

	19
3.1. Методика визначення впливу теплового стану двигуна на паливну економічність і викиди забруднюючих речовин автомобілем в експлуатаційних умовах	76
3.2. Аналіз їздового циклу для проведення досліджень	85
3.3. Основні рівняння уточненої математичної моделі	90
3.4. Визначення паливної економічності та екологічних показників автомобіля в процесі руху за їздовим циклом	102
3.5. Висновки до розділу 3	107
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З КАТАЛІТИЧНИМ НЕЙТРАЛІЗАТОРОМ	108
4.1. Мета, задачі та програма експериментальних досліджень	108
4.2. Об'єкт експериментальних досліджень	109
4.3. Прилади і обладнання	112
4.4. Результати експериментальних досліджень	126
4.5. Висновки до розділу 4	149
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ З КАТАЛІТИЧНИМ НЕЙТРАЛІЗАТОРОМ В ПРОЦЕСІ ПРОГРІВАННЯ ДВИГУНА	151
5.1. Визначення коефіцієнтів рівнянь математичної моделі	151
5.2. Визначення коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна	154
5.3. Перевірка адекватності математичної моделі	168
5.4. Розрахункове дослідження умовного руху автомобіля за їздовим циклом	174
5.5. Результати розрахунків економічного та екологічного ефектів від доцільного прогрівання двигуна легкового автомобіля	177

	20
5.6. Висновки до розділу 5	179
ВИСНОВКИ	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	184
ДОДАТОК А	195
ДОДАТОК Б	199
ДОДАТОК В	203
ДОДАТОК Г	222
ДОДАТОК Д	223
ДОДАТОК Е	224
ДОДАТОК Ж	235
ДОДАТОК К	237
ДОДАТОК Л	238
ДОДАТОК М	242

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КТЗ	- колісний транспортний засіб
ЗР	- забруднюючі речовини
ВГ	- відпрацьовані гази
ДВЗ	- двигун внутрішнього згорання
НТУ	- Національний транспортний університет
ЄЕК ООН	- Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй
CO	- оксид вуглецю
CO_2	- двооксид вуглецю
C_mH_n	- вуглеводні
NO_x	- оксиди азоту
ККД	- коефіцієнт корисної дії
α	- коефіцієнт надміру повітря
τ	- час прогрівання

ВСТУП

Актуальність теми. Одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища є автомобільний транспорт. Це пояснюється тим, що як джерела енергії на транспортних засобах переважно використовують двигуни внутрішнього згорання – двигуни з іскровим запалюванням і дизелі, за роботи яких з відпрацьованими газами (ВГ) викидається багато забруднюючих речовин (ЗР). В процесі експлуатації автомобілів кількість цих речовин залежить від багатьох факторів. Одним з таких факторів є тепловий стан двигуна. Від теплового стану двигуна в значній мірі залежать витрата палива автомобілем і склад ВГ. Тому важливо за якомога коротший період часу, зокрема при низьких температурах атмосферного повітря, забезпечити необхідний тепловий стан двигуна. Особливо це важливо для сучасних автомобілів з бензиновими двигунами, у випускній системі яких встановлені каталітичні нейтралізатори для зниження токсичності ВГ. Ефективність роботи цих нейтралізаторів залежить від їх теплового стану.

Час теплової підготовки нейтралізатора і в цілому двигуна залежить від ряду факторів, зокрема методу прогрівання і додаткових засобів, які скорочують цей процес.

Тому актуальним є визначення і дослідження найбільш доцільних і ефективних напрямів теплової підготовки двигунів сучасних автомобілів з системами впорскування бензину і зворотним зв'язком.

Питаннями витрати палива та кількості забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря, в різних аспектах займались багато науковців та дослідників, серед яких: Гутаревич Ю.Ф., Матейчик В.П., Кутенев В.Ф., Гарбер А.З., Мурашов О.Д., Жаров К.С. та інші.

Дослідженнями впливу теплового стану двигуна на витрату палива займались ряд вітчизняних та закордонних вчених, таких як: Симоненко Р.В., Тріфонов Д.М., Гусаков С.В., Шаріпов А.З., Віленський Л.І., Редзюк А.М., Сітовський О.П., Деркач В.Л., Грицук І.В. та інші.

В основному, їхні дослідження були зосереджені на визначенні характеристик витрати палива від температури навколишнього середовища.

Проте не було досліджено питання доцільності методів прогрівання двигуна, обладнаного каталітичним нейтралізатором, впливу тривалості прогрівання на показники двигуна і автомобіля в експлуатації.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення ефективності використання легкових автомобілів, обладнаних бензиновим двигуном з системою каталітичної нейтралізації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах, оптимальним прогріванням двигуна до робочої температури охолодної рідини.

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

Дана робота виконана автором згідно з планами науково-дослідних робіт НТУ в рамках наукової теми кафедри двигуни і теплотехніка на 2017-2018 роки за темою «Поліпшення показників транспортних засобів удосконаленням систем двигунів та застосуванням альтернативних палив» (№ державної реєстрації 0116U007533, інвентарні № 0218U002039 та № 0719U000045), на 2019 рік за темою «Зниження витрати палива і шкідливих викидів двигунами дорожніх транспортних засобів оптимізацією конструктивних і експлуатаційних факторів» (№ державної реєстрації 0119U100692).

Мета і завдання досліджень.

Мета роботи – поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля з двигуном з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком при низьких температурах атмосферного повітря раціональним методом прогрівання і підігрівом повітря на впуску в двигун.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Аналіз досліджень по впливу теплового стану двигуна з іскровим запалюванням на паливну економічність і екологічні показники автомобіля.

2. Аналіз досліджень по використанню каталітичних нейтралізаторів для зниження шкідливих викидів з ВГ двигунами з іскровим запалюванням та впливу їх теплового стану на ефективність роботи.

3. Експериментальні та розрахункові дослідження впливу методу прогрівання двигуна автомобіля за низьких температур атмосферного повітря на витрату палива та викиди шкідливих речовин та визначення найбільш доцільного методу.

4. Експериментальні дослідження паливної економічності і екологічних показників автомобіля за підігріву повітря на впуску в двигун.

5. Розробка методики для оцінки впливу підігріву повітря на впуску у двигун на паливну економічність і екологічні показники автомобіля в русі за режимами Нового Європейського міського їздового циклу.

6. Дослідження показників автомобіля у процесі прогрівання двигуна при русі автомобіля за режимами Нового Європейського міського їздового циклу.

7. Проведення розрахункових досліджень щодо ефективності підігріву повітря на впуску в двигун на показники автомобіля з двигуном з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком за роботи у разі низьких температур атмосферного повітря.

Об'єкт дослідження – процес прогрівання двигуна легкового автомобіля за низьких температур атмосферного повітря.

Предмет дослідження – витрата палива та викиди забруднюючих речовин з ВГ автомобілем в процесі прогрівання його двигуна різними методами та за підігріву повітря на впуску в двигун.

Методи дослідження.

Експериментальним методом досліджували: витрату палива та концентрації ЗР у ВГ автомобіля в процесі прогрівання його двигуна різними методами за низьких температур атмосферного повітря, вплив підігріву повітря на впуску в двигун на паливну економічність і екологічні показники автомобіля в процесі прогрівання за низьких температур атмосферного повітря, витрату палива і концентрації ЗР у ВГ в русі автомобіля за режимами Європейського їздового циклу в процесі прогрівання та в прогрітому стані.

Розрахунковим методом визначали: масові викиди ЗР з ВГ автомобіля в процесі прогрівання його двигуна різними методами за низьких температур атмосферного повітря, масові викиди ЗР з ВГ автомобіля в процесі прогрівання за підігріву повітря на впуску в двигун, показники впливу температурного стану двигуна на паливну економічність та екологічні показники двигуна, з використанням математичної моделі руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу оцінювали вплив підігріву повітря на впуск в двигун на витрату палива і викиди ЗР автомобілем.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Встановлено, що найбільш доцільним, з точки зору економії бензину і зменшення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами методом прогрівання двигуна сучасного легкового автомобіля за низьких температур атмосферного повітря є комбінований метод, який включає прогрівання в режимі холостого ходу і в режимі руху;

2. Розроблено методику визначення впливу підігрівання повітря на впуск в двигун на паливо-економічні та екологічні показники сучасного легкового автомобіля в період прогрівання за низьких температур атмосферного повітря, передбачено два підходи: за заміряними концентраціями забруднюючих речовин в розбавлених відпрацьованих газах та за розрахунками на уточненій математичній моделі викидів забруднюючих речовин;

3. Для реалізації розробленої методики і оцінки показників витрати бензину і екологічних показників в процесі прогрівання двигуна запропоновано ввести коефіцієнти впливу температурного стану, які дозволяють кількісно оцінити названі показники в порівнянні з показниками прогрітого двигуна;

4. Встановлено, що підігрів повітря на впуску в двигун при прогріванні охолодної рідини від 20°C до 50°C в режимах їздового циклу зменшує витрату палива на 4,0% і викиди основних забруднюючих речовин на 6...7%.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення роботи складають:

1. Рекомендації щодо використання комбінованого методу прогрівання

двигуна сучасного легкового автомобіля з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком в умовах низьких температур атмосферного повітря;

2. Експериментальні дані впливу підігрівання повітря на впуску в двигун з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком на паливну економічність і екологічні показники легкового автомобіля;

3. Експериментальні дані по впливу температурного стану двигуна на витрату палива та викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами сучасного легкового автомобіля;

4. Екологічні показники та показники паливної економічності автомобіля з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком за руху за режимами Європейського їздового циклу.

5. Теоретичні та практичні результати роботи, що отриманні при проведенні дисертаційних досліджень, прийняті до використання Департаментом транспортної інфраструктури виконавчого органу Київської міської ради (Київська міська державна адміністрація), а також використовують у навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці курсів «Стратегія сталого розвитку», «Системи ДВЗ», «Математичне моделювання в дослідженнях двигунів внутрішнього згорання» та «Екологізація двигунів внутрішнього згорання» (Додаток М).

Особистий внесок здобувача.

Основні результати, які викладені в дисертації і подані до захисту, отримано здобувачем самостійно. Роботи [12, 70, 90] виконані у співавторстві, а роботи [51, 71, 72, 74, 89] – одноосібно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: математична та графічна обробка експериментального дослідження [12], розробка методів прогрівання двигуна, визначення характеристик прогрівання та обробка результатів експерименту [70], створення експериментальної установки, участь в експерименті та обробка результатів експериментів [90].

Апробація результатів дисертації.

Теоретичні, методичні та практичні положення дисертаційної роботи представлені у вигляді тез та доповідей на 7-ми всеукраїнських наукових конференціях: LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI всеукраїнських наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, НТУ, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 і 2020 роки, м. Київ та на V Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей», ЛНТУ, 2018 року, Луцьк-Світязь, Україна.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано (Додаток А), у 8 наукових працях, з яких 6 статей опубліковано у фахових виданнях України, 2 статті в іноземних періодичних виданнях та 7-ми тезах науково-технічних конференцій. П'ять наукових праць видано одноосібно. Отримано один патент України на корисну модель і два свідоцтва про реєстрацію авторських прав на твір (у співавторстві) (Додаток Б).

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 244 сторінки, включаючи 133 сторінки основного тексту, 23 таблиці, 82 рисунки, список використаних джерел зі 92 найменувань та 10 додатків.

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ДВИГУНА І НЕЙТРАЛІЗАТОРА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ

1.1. Автомобільний транспорт – основне джерело забруднення довкілля в населених пунктах

Сучасний колісний транспортний засіб (КТЗ) суттєво відрізняється від перших автомобілів Бенца і Даймлера, але при цьому проблеми експлуатації КТЗ залишилися незмінними.

До цих проблем, в першу чергу, відноситься раціональне використання палив нафтового походження для роботи енергоустановок КТЗ та зниження викидів в навколишнє середовище забруднюючих речовин (ЗР) від роботи цих енергоустановок.

Свій негативний вплив автомобільний транспорт виявляє найбільше у великих містах, де його концентрація на дорогах суттєво більша в порівнянні з заміськими і магістральними трасами.

Негативний вплив автомобільного транспорту різносторонній, але найбільшої шкоди природі та людині завдають саме викиди ЗР з відпрацьованими газами (ВГ) автомобільних двигунів [1].

За даними Державної служби статистики України у 2019 році від пересувних джерел надійшло в атмосферне повітря 1996,2 тис. т забруднюючих речовин. Найбільше викинуто забруднюючих речовин саме автомобільним транспортом 1796,5 тис. т (90,0%) [1].

Основними токсичними компонентами, якими забруднюється повітря в процесі експлуатації транспортних засобів, є: оксид вуглецю (72,9% або 1455,0 тис. т), двооксид азоту (12,7% або 253,3 тис. т), неметанові леткі органічні сполуки (11,0% або 220,1 тис. т), сажа (1,6% або 32,3 тис. т), двооксид сірки

(1,4%, або 27,4 тис. т). Решта викидів припало на метан, бенз(а)пірен та аміак (0,4% або 8,2 тис. т) [2, 3].

Забруднюючі речовини, особливо активні в приземних шарах атмосфери і безпосередньо впливають на стан здоров'я людини.

Навіть сучасні легкові та вантажні автомобілі, обладнані спеціальними системами нейтралізації відпрацьованих газів, не є безпечними для навколишнього середовища, а також вносять свою частку викидами ЗР в атмосферу. До того ж, частка таких автомобілів в Україні доволі низька. Основну частку автомобільного парку складають транспортні засоби з тривалим (більше 10 років) терміном експлуатації. Саме цим автомобілям притаманна збільшена витрата палива нафтового походження і збільшені викиди ЗР в навколишнє середовище.

Витрата палива та кількість забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря, тісно пов'язані між собою, що встановлено багатьма дослідниками [4–8].

Особливо чітко можна прослідкувати взаємозв'язок між збільшенням витрати палива та концентрацій забруднюючих речовин в перехідних процесах двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), про що свідчать дослідження О.Д. Мурашова [9].

На витрату палива та величину кількості викидів забруднюючих речовин впливає багато факторів [10, 11, 12], в тому числі тепловий стан двигуна КТЗ [13].

1.2. Тепловий стан двигуна та його вплив на економічні та екологічні показники

Тепловий стан двигуна колісного транспортного засобу, за дослідженнями багатьох вчених, суттєво впливає на витрату палива та викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами.

Автомобільний двигун працює в жорстких умовах зміни температурного, навантажувального та швидкісного режимів. А починається все з запуску двигуна. За твердженнями професора О.Ю.Шабанова, один холодний запуск рівносильний зносу двигуна за пробігу від 20 до 200 км за різних умов запуску [14]. Це підтверджують і інші дослідники [15, 16].

Одразу після запуску двигун не підготовлений до сприймання навантаження і підвищення частоти обертання. Пояснюється це підвищеними зазорами в циліндро-поршневій групі двигуна та нестабільною роботою газорозподільного механізму [17, 18]. Підтверджено, що режим прогрівання двигуна після запуску є найбільш впливовим на збільшення концентрацій забруднюючих речовин у ВГ і в роботі [19]. В цій роботі зазначено, що позитивний ефект зі зменшення викидів ЗР та зносу двигуна досягається попереднім прогріванням охолодної рідини двигуна до температури 70°C. В цій же роботі вказується, що інтенсивність зносу пари «поршень-гільза» за температури охолодної рідини 40°C у вісім разів більша, ніж за 70°C.

Аналіз режимів роботи автомобільних ДВЗ, як зазначено в публікації [20], вказує на те, що значний вплив на загальні шкідливі викиди спричиняє режим роботи непрогрітого двигуна після його холодного запуску.

Тепловий стан двигуна визначається, в першу чергу, температурою охолодної рідини [8]. В момент запуску двигуна температура охолодної рідини відповідає температурі навколишнього середовища. У разі низьких температур система керування двигуном збагачує горючу суміш для ефективного запуску двигуна і прискорення прогрівання, що призводить до підвищення витрати палива [8, 21–25].

Вплив теплового стану двигуна на витрату палива досліджувався багатьма науковцями. Результати таких досліджень для двигунів з карбюраторною системою живлення приведені в дисертаційному дослідженні Симоненка Р.В. [26].

Сучасні автомобільні двигуни комплектуються системами впорскування. Але в цих двигунах також проходить корекція подачі палива залежно від

температури охолодної рідини для отримання стабільної роботи двигуна, особливо в режимі активного холостого ходу. З підвищенням температури охолодної рідини знижуються механічні втрати в двигуні, що в кінцевому результаті знижує годинну витрату палива двигуном. Такі дослідження оптимізації теплового стану двигуна були проведені зокрема Журавльовим С.О. [27, 28].

В роботі Сітовського О.П. [29] викладені експериментальні дослідження залежності витрати палива при поступовому прогріванні двигуна (за показаннями температури в системі охолодження) до 70°C за запуску двигуна при різних початкових температурах.

Результати досліджень показали, що із зменшенням початкової температури при старті двигуна час прогрівання двигуна пропорційно зростає (рис.1.1).

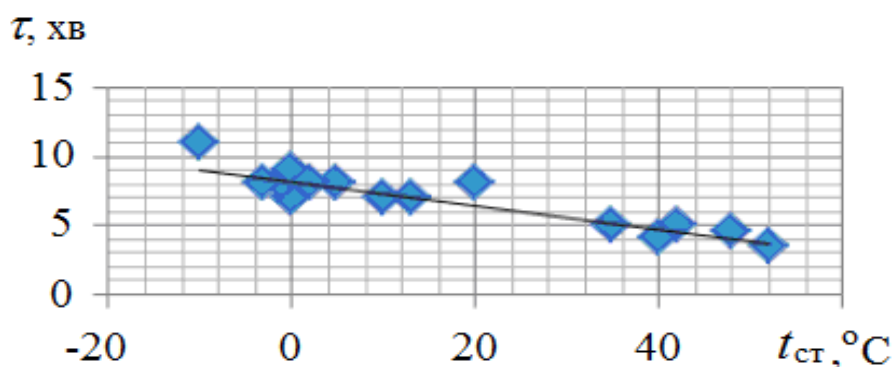


Рисунок 1.1 – Залежність часу прогрівання двигуна τ до температури охолодної рідини 70°C від його температури при старті $t_{ст}$ [29]

Також було встановлено експериментально, що загальна витрата палива Q під час прогрівання двигуна до робочої температури змінюється в чотири і більше разів у разі зниження температури, за якої здійснювався запуск двигуна (рис. 1.2)

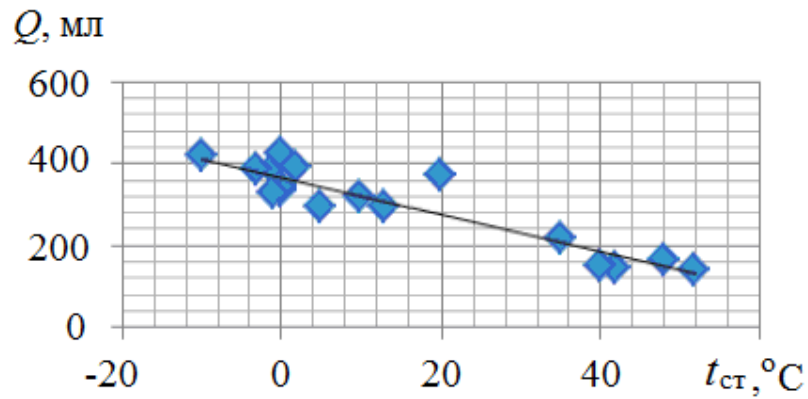


Рисунок 1.2 – Залежність загальної витрати палива Q для прогрівання охолодної рідини двигуна до робочої температури від початкової температури $t_{\text{ст}}$ [29]

При цьому експериментальні дослідження проводили з дотриманням рекомендацій про прогрівання двигуна автомобіля в русі.

Аналогічні дослідження, але за прогрівання двигуна автомобіля в режимі холостого ходу, були проведені Деркачем В.Л. [30–32].

На рис. 1.3 показано графік миттєвої витрати палива (в л/год) за прогрівання двигуна від початкової температури -15°C .

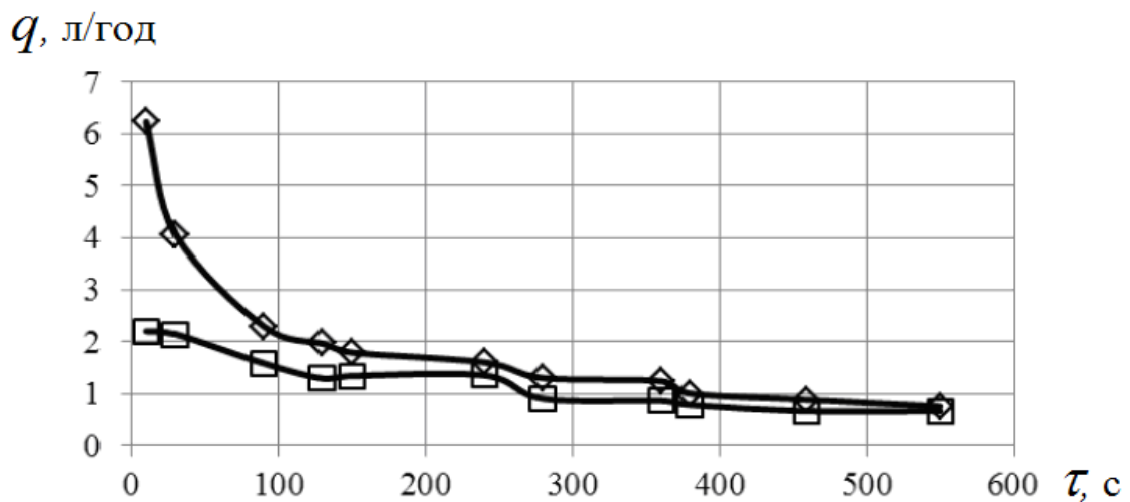


Рисунок 1.3 – Залежність миттєвої витрати палива в режимі холостого ходу:
 ◇ – від початкової температури -15°C ; □ – з використанням передпускового підігрівання [30]

Автор пропонує дообладнання автомобіля передпусковим електричним підігрівачем потужністю 2 кВт. Таке додаткове обладнання суттєво скорочує час прогрівання двигуна і витрату палива двигуном.

Також Деркачем В.Л. було досліджено вплив теплового стану двигуна на динамічні та паливо-економічні властивості автомобіля [33, 34].

Залежності миттєвої витрати палива при температурі двигуна -10°C та 90°C наведено на рис. 1.4 та 1.5.

Прогрівання двигуна скорочує витрату палива і забезпечує кращі динамічні якості автомобіля.

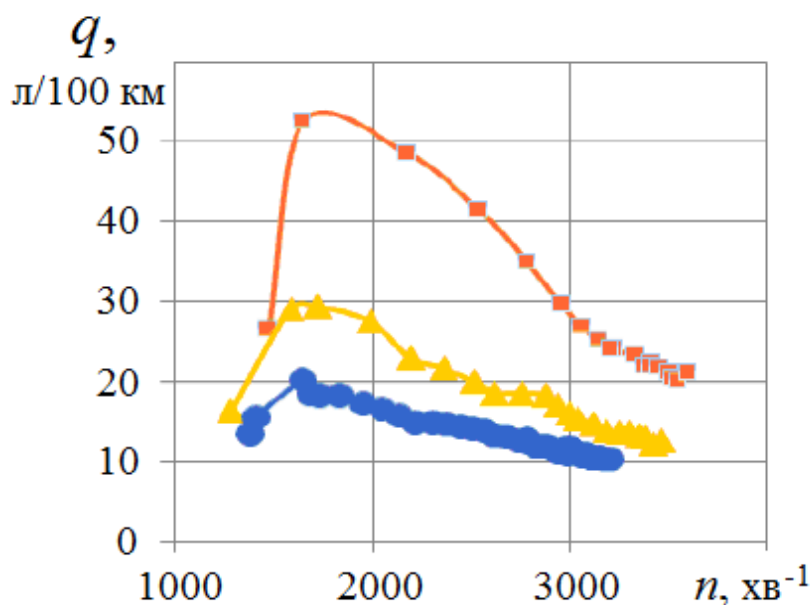


Рисунок 1.4 – Залежність миттєвої витрати палива автомобіля при навантаженні двигуна 10% на першій ■, другій ▲ та третій ● передачах при температурі двигуна -10°C [33]

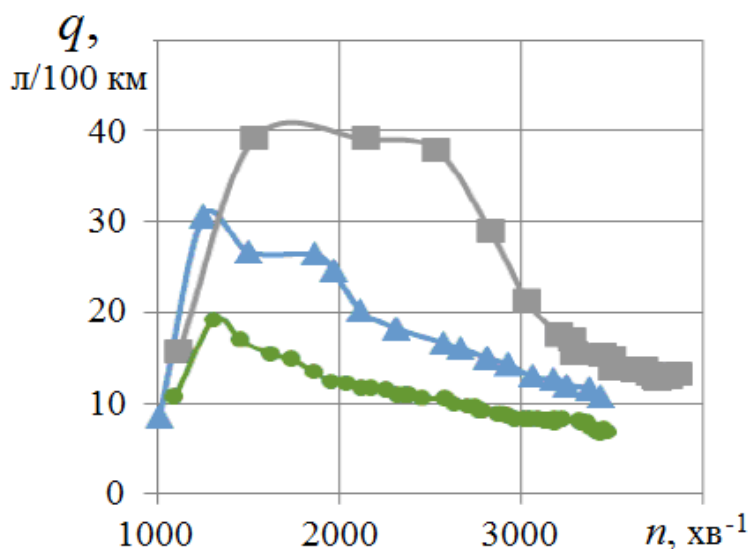


Рисунок 1.5 – Залежність миттєвої витрати палива автомобіля при навантаженні двигуна 10% на першій ■, другій ▲ та третій ● передачах при температурі двигуна 90°C [33]

Велику увагу комбінованому прогріванню двигунів із застосуванням теплових акумуляторів фазового переходу приділено в роботах Грицука І.В. [35–45].

Роботи націлені на прискорене прогрівання ДВЗ до температури, при якій допускається збільшення навантаження на двигун. Прискорене прогрівання забезпечує використання теплового акумулятора на дизелі [35, 37], на газовому двигуні [36, 41] та на бензиновому двигуні [39, 40].

В роботах [36, 37] встановлено, що скорочення часу прогрівання на 17,8–68,4 % дає змогу зменшити витрату палива на 19,5–56,25%.

Тепловий стан двигуна також суттєво впливає на викиди з відпрацьованими газами забруднюючих речовин. Виявленню навантаження на навколишнє середовище через викиди забруднюючих речовин присвячені низка досліджень [46–49].

В роботі [14] наведено графік зміни концентрації вуглеводнів $C_m H_n$ залежно від часу прогрівання двигуна.

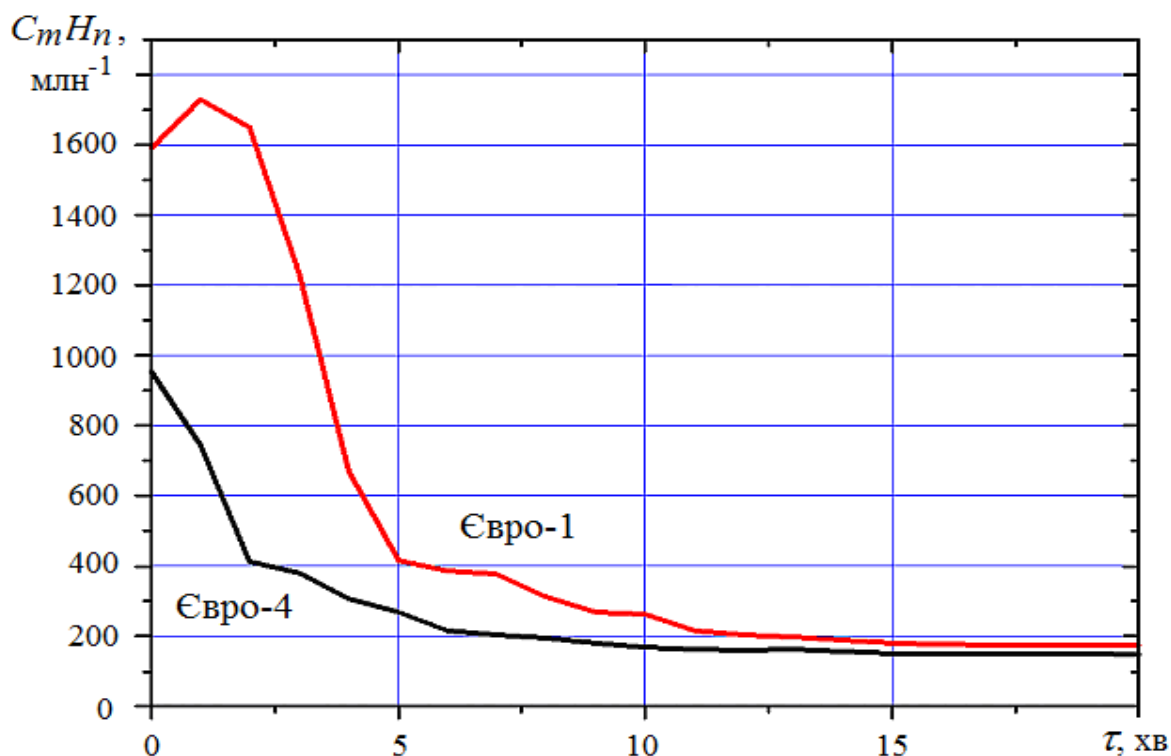


Рисунок 1.6 – Зміна концентрації вуглеводнів C_mH_n залежно від часу прогрівання двигуна [14]

Після запуску двигуна концентрації вуглеводнів у ВГ дуже високі через збагачення суміші для забезпечення самого процесу запуску. По мірі прогрівання двигуна стабілізується процес згорання і система керування двигуном поступово збіднює суміш до $\alpha=1$, що і забезпечує зниження концентрації C_mH_n у відпрацьованих газах. Суттєво відрізняються показники карбюраторних систем живлення (Євро-1) та систем з впорскуванням бензину (Євро-4).

Також дослідження двигуна з карбюраторною системою живлення [50] показало, що зниження температури охолодної рідини з 80°C до 30°C в режимі холостого ходу ($n = 1000 \text{ хв}^{-1}$) призводить до збільшення викидів оксиду вуглецю у відпрацьованих газах на 30...35%.

В роботах [30, 31], досліджено зміну концентрацій оксиду вуглецю CO та вуглеводнів C_mH_n на прогрітому і непрогрітому двигуні. Дослідження

проводились при початковій температурі запуску двигуна -15°C із застосування передпускового підігрівача охолодної рідини та без нього (рис. 1.7, рис. 1.8).

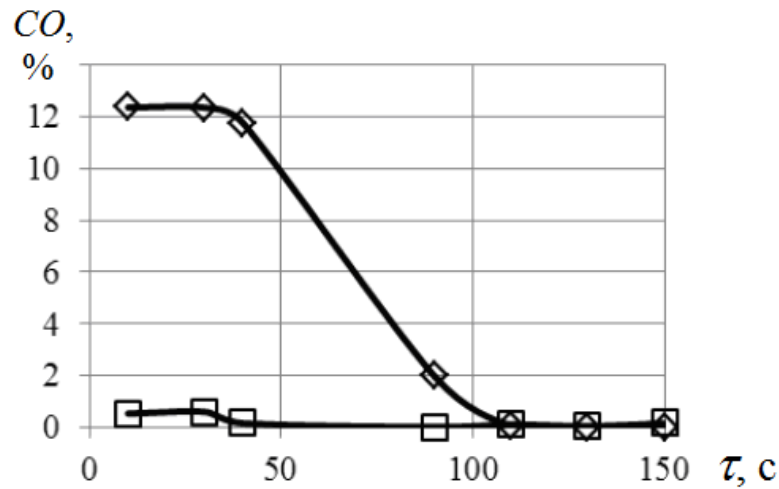


Рисунок 1.7 – Концентрація вмісту оксиду вуглецю CO :

◇ – при початковій температурі запуску двигуна -15°C ; □ – із застосуванням передпускового підігрівача охолодної рідини [30]

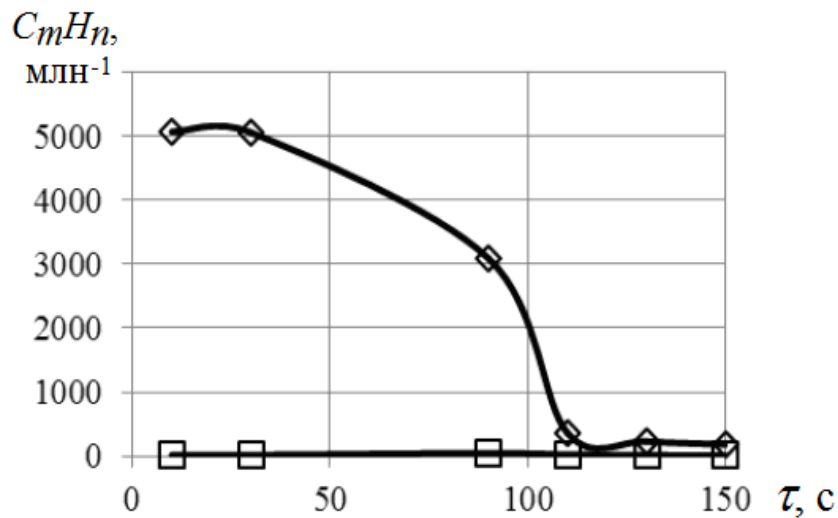


Рисунок 1.8 – Концентрація вуглеводнів C_mH_n :

◇ – при початковій температурі запуску двигуна -15°C ; □ – із застосуванням передпускового підігрівача охолодної рідини [30]

Результати досліджень показали, що у період прогрівання двигуна концентрація вуглеводнів C_mH_n становить, відразу після запуску двигуна,

більше 5000 млн⁻¹. Через 80 секунд прогрівання двигуна концентрація вуглеводнів знижується до 3000 млн⁻¹, а через 110 секунд – до 200 млн⁻¹.

Концентрація оксиду вуглецю після запуску двигуна (рис. 1.7) складала близько 12%, через 80 секунд знижується по мірі прогрівання двигуна до 2% і через 110 секунд складає величину близьку до 0%.

Дослідження показали, що збільшені концентрації забруднюючих речовин, за прогрівання двигуна в режимі активного холостого ходу, спостерігаються до 110 секунд після запуску холодного двигуна.

Інші дані по токсичності двигуна по мірі прогрівання в літературних джерелах не виявлені.

1.3. Використання каталітичних нейтралізаторів як один з найбільш ефективних шляхів поліпшення екологічних показників автомобілів

Сучасні автомобільні двигуни для забезпечення виконання норм викидів забруднюючих речовин обладнуються нейтралізаторами відпрацьованих газів. Зазвичай це каталітичні термічні реактори, що забезпечують зменшення викидів оксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n та оксидів азоту NO_x [51]

За відсутності каталітичних нейтралізаторів повне перетворення оксиду вуглецю і незгорівших вуглеводнів відбувається в діапазоні температур від 700 до 850°C при умові надлишку кисню. Нейтралізувати оксиди азоту при цьому неможна, оскільки обов'язковою умовою їх відновлення є відсутність вільного кисню [52].

В каталітичних нейтралізаторах реакції перетворення шкідливих компонентів відпрацьованих газів двигуна здійснюється протіканням безполум'яних процесів окислення і відновлення в присутності каталізатора. Каталізатори – це речовини, які самі не приймають участі в термохімічних реакціях, але, послаблюючи молекулярні зв'язки в газах, забезпечують протікання реакцій за нижчих температур [53].

Сучасні каталітичні нейтралізатори можна класифікувати за низкою ознак:

- за типом – окислювальні (окислюють CO та C_mH_n до CO_2 та H_2O), відновлювальні (відновлюють N_2 з NO_x) і трикомпонентні (окислюють CO , C_mH_n і відновлюють NO_x);
- за призначенням – головні і попередні;
- за виконанням – одно- і двокамерні;
- за типом носія нейтралізатора – з засипним чи монолітним носієм;
- за матеріалом носія – з керамічним чи металевим носієм;
- за матеріалом активного каталітичного шару – з дорогоцінних металів (платина, паладій, родій), важких та рідкісних важких металів (мідь, хром, нікель).

Для автомобілів з бензиновими двигунами найефективнішими є трикомпонентні каталітичні нейтралізатори [54].

Каталітичні нейтралізатори мають і певні недоліки, пов'язані з їх конструкцією і виробництвом.

Блок каталітичного нейтралізатора дещо знижує потужність двигуна із збільшенням протитиску у випускній системі.

Також до недоліків можна віднести труднощі з підбором нейтралізаторів для конкретних двигунів, технологію виготовлення за умови забезпечення довготривалої експлуатації, використання достатньо дорогих матеріалів [55].

До недоліків каталітичних нейтралізаторів належать:

- суттєва залежність роботи нейтралізатора від його температури;
- висока чутливість нейтралізатора до якості палива (забезпечення необхідного октанового числа та відсутності з'єднань свинцю);
- чутливість до роботи системи запалювання [56].

Проведені Калмиковим А.Н. дослідження [57] показали, що за відмови однієї зі свічок запалювання незгорівша робоча суміш потрапляє на робочу поверхню блока каталітичного нейтралізатора. Вже в нейтралізаторі робоча суміш згорає, але при цьому температура поверхні нейтралізатора

підвищується вище 1000°C , змінюючи при цьому характеристики міцності матеріалів, створюючи умови для прискореного виходу з ладу нейтралізатора.

Каталітичний процес нейтралізації продуктів згорання протікає, як правило, за температури вище 300°C за малого часу контакту ВГ з активним каталітичним шаром, що пов'язано з великими швидкостями потоку відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання [58, 59].

Блочні сотові носії і каталізатори випускають відомі світові фірми, а саме: «Corning», «Engelhard» (США), «Siemens», «Degussa», «BASF» (Німеччина), «NGK» (Японія), «Holdor Topsoe» (Данія), «Bosal» (Бельгія) та інші [60].

На ефективність нейтралізатора великий вплив чинять конструкція і матеріал носія та матеріали, які використовують в якості напиленого активного шару нейтралізатора.

Хімікам відомо безліч каталізаторів – мідь, хром, нікель, паладій, родій. Але самою стійкою до впливу сірчистих сполук, які утворюються у разі згорання наявної в бензині сірки, виявилася платина. На частку каталізаторів приходить до 60% собівартості всього нейтралізатора.

В багатьох випадках носієм в нейтралізаторі слугує спец кераміка – моноліт з безліччю поздовжніх сот-осередків, на які нанесена спеціальна шорстка підкладка. При цьому вага дорогоцінних металів, нанесених на підкладку, становить всього 2–3 грами.

Але, за останніми розробками, перевагу в конструкції нейтралізаторів віддають металевим стільникам. Це дає змогу збільшити площу робочої поверхні, отримати менший протитиск, прискорити розігрів каталітичного нейтралізатора до робочої температури і, головне, розширити температурний діапазон до $1000\text{--}1050^{\circ}\text{C}$. Стільники нейтралізаторів Metalit зроблені з тонкостінного (товщиною 0,04 мм, а не 0,15 мм як у кераміки) листа хромалюмінієвої сталі, для кращої адгезії каталітичного шару легованої рідкоземельним металом ітрієм [61]. Такий нейтралізатор витримує «пікові» температури до 1300°C .

Широке використання нейтралізаторів збільшило використання рідкоземельних металів на світовому ринку: 35% споживаної платини, 45% паладію, 90% родію витрачається в автомобільні випускні системи.

Зазвичай, в якості каталізаторів напилюють платину і родій у співвідношенні 5:1. В останній час замість платини використовують паладій. Це пояснюється станом на світовому ринку коштовних металів. Вартість однієї тройської унції (31,1 грама) складає: родію – 8000 \$, платини – 2200 \$, паладію – 600 \$. Важливо, що паладій виробляється більше ніж платини [53].

Ефективна робота каталітичного нейтралізатора відповідає достатньо вузькому діапазону зміни значень коефіцієнта надміру повітря $\alpha = 0,995 \dots 1,005$ (рис. 1.9) і оцінюється коефіцієнтом ефективності перетворень речовин

$$K = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

де C_1 – концентрація компонента ВГ на вході в нейтралізатор;

C_2 – концентрація компонента ВГ на виході з нейтралізатора;

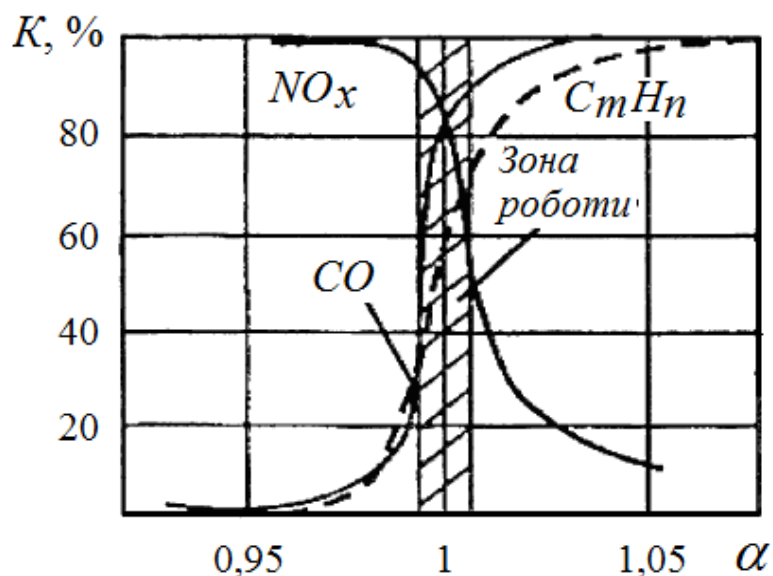


Рисунок 1.9 – Характеристика ефективності нейтралізатора [53]

За відхилення складу суміші від оптимального (заштрихована зона роботи), загальна ефективність нейтралізатора суттєво знижується. За збіднення суміші більше $\alpha = 1,005$ ефективність окислювальних реакцій збільшується, а відновлення NO_x знижується до 10%. За збагачення суміші ($\alpha < 0,995$) ефективність відновлення оксидів азоту збільшується, а ефективність окислення CO і C_mH_n знижується до 0%.

Крім цього ефективність роботи нейтралізатора суттєво залежить від температури розігріву активного елемента. Показовим виступає показник мінімальної температури нейтралізатора, за якої ефективність перетворення оксиду вуглецю CO сягає 50%. Значення цієї температури залежить від багатьох факторів, але в першу чергу від матеріалів нейтралізатора і технології виготовлення нейтралізатора.

Усереднюючи інформацію про різноманітні нейтралізатори можна стверджувати, що за температури $50^\circ C$ окислення CO в CO_2 забезпечується тільки на 25%. За більш високої температури (близько $300^\circ C$) перетворення складає вже 90%.

Приблизно така ж тенденція спостерігається і відносно вуглеводнів C_mH_n , але при цьому температури 25% перетворень складає $200^\circ C$ і 90% перетворень - $450^\circ C$.

Умовно, при дослідженнях нейтралізаторів, прийнято зображувати залежність ефективності перетворень CO і C_mH_n від температури S-подібними кривими (рис. 1.10) [62].

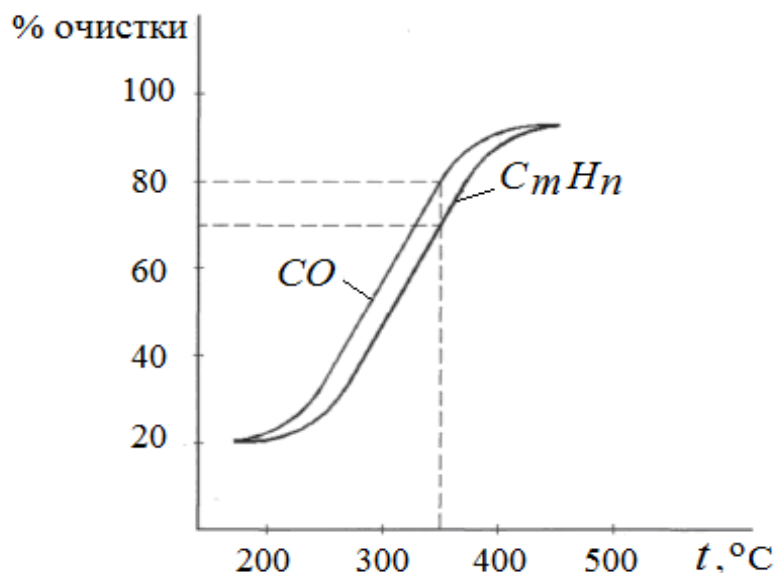


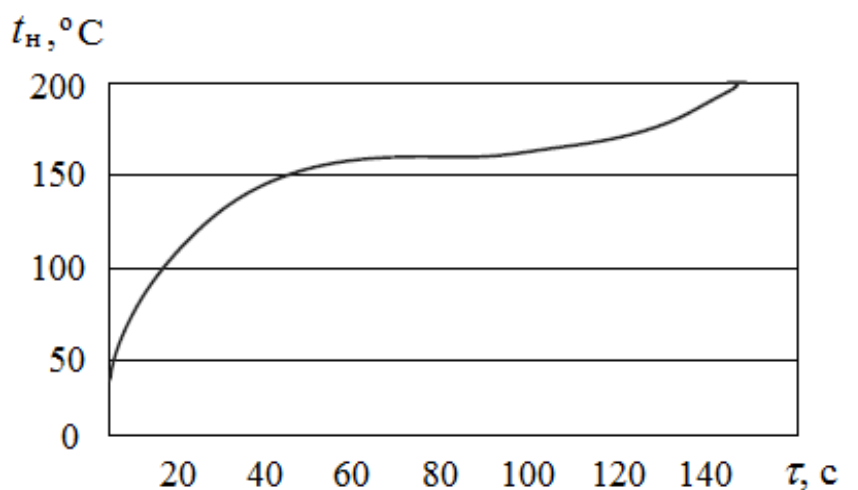
Рисунок 1.10 – S-подібні криві нейтралізації CO та C_mH_n [62]

На рисунку приводиться режим, який характеризує ефективну роботу нейтралізатора. Найчастіше це режим за температури $350^{\circ}C$, що приводиться в технічній документації на нейтралізатор.

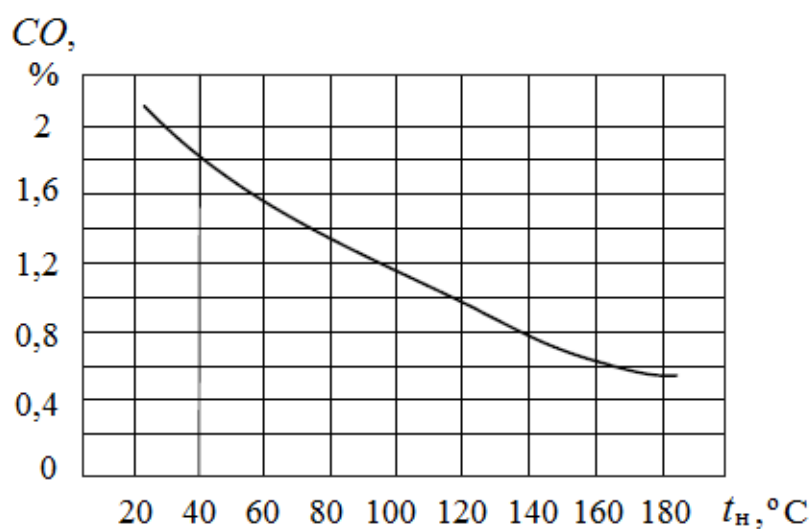
В автомобільних двигунах температура відпрацьованих газів за різних режимів роботи та різних навантажень також суттєво відрізняється.

Приблизно можна характеризувати роботу двигуна наступними температурами відпрацьованих газів. В двигуні з іскровим запалюванням в режимі активного холостого ходу температура становить $285\text{--}315^{\circ}C$, в режимі середніх навантажень – $530\text{--}600^{\circ}C$, за повних навантажень – $750\text{--}800^{\circ}C$. Більш точно можна встановити температури відпрацьованих газів тільки в ході додаткових стендових випробувань двигуна.

Відразу необхідно відзначити, що дані діапазони температур приведені для вже прогрітого двигуна, а відразу після запуску двигуна діапазони температур інші. За холодного запуску двигуна, навіть в теплу пору року, вихід на робочі режими каталітичного нейтралізатора відбувається за $100\text{--}120$ секунд (рис. 1.11) [56].



а)

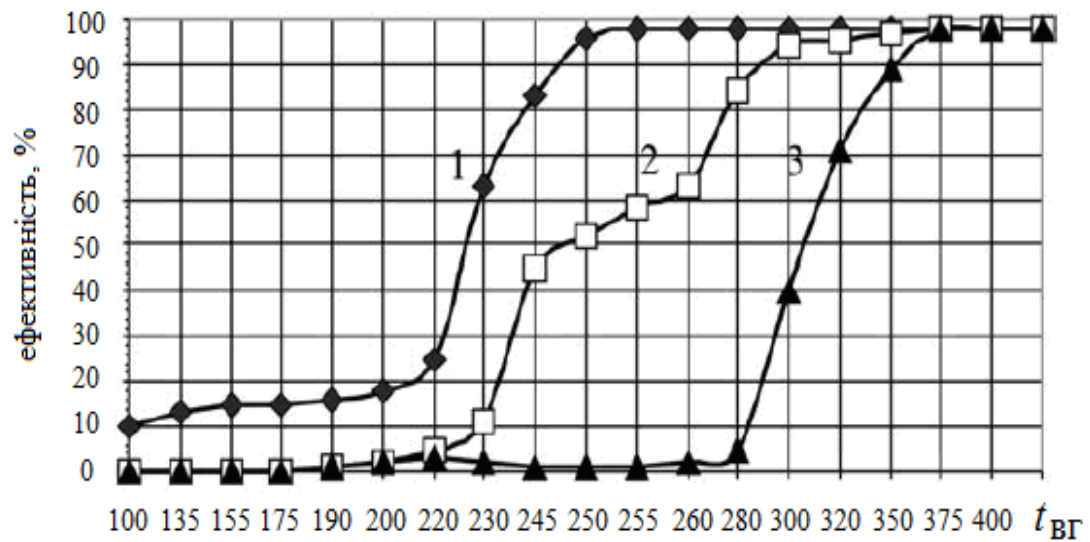


б)

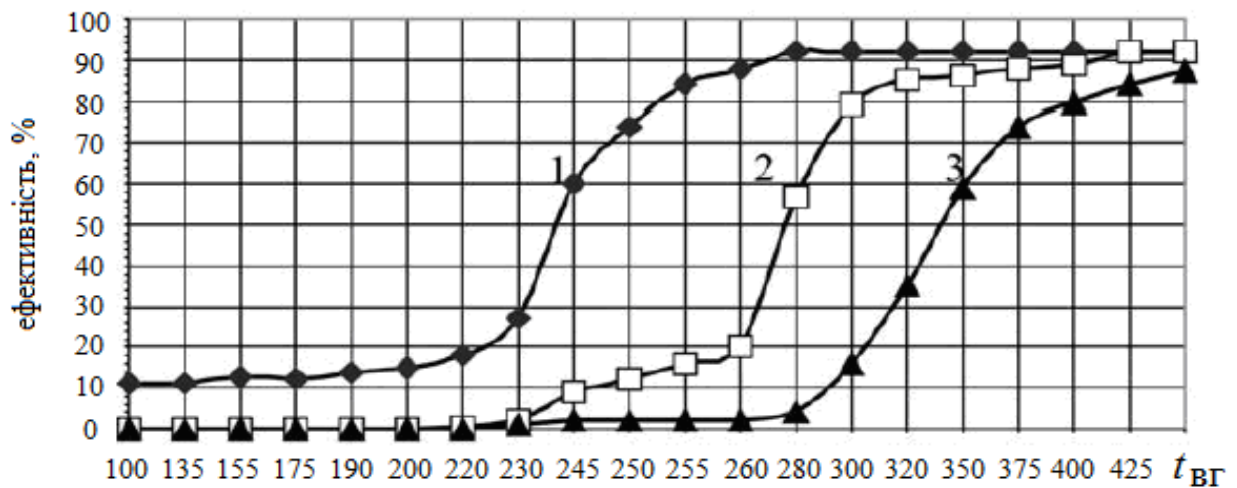
Рисунок 1.11 – Залежність температури нагрівання каталізатора t_n від часу (а) та зниження концентрації CO від температури (б) [56]

Як вже зазначалося раніше, характеристики різних каталітичних нейтралізаторів відрізняються залежно від використання матеріалів та технологій виготовлення.

В роботі [52] приведені порівняльні характеристики нейтралізаторів різних виробників і вони показують суттєві відмінності температур їх ефективної роботи (рис. 1.12).



а)



б)

Рисунок 1.12 – Ефективність процесу очистки ВГ від CO (а) і

C_mH_n (б) нейтралізаторів різних виробників:

1 – ІФХ НАН України; 2 – Walker (Німеччина); 3 – Linda Gobex (Польща) [52]

З рисунка можна визначити, що 60% ефективності по CO нейтралізатори можуть досягти за температур 230, 255 та 310°C, тобто температура відрізняється на 80°C.

Температура 60% ефективності нейтралізації C_mH_n становить відповідно 245, 280 та 350°C.

Досягнення таких температур можливе і в режимах активного холостого ходу, що визначає доцільність подальших досліджень з прогріву двигуна в режимі холостого ходу [16].

Подібні дослідження приведені і в роботі [63]. Порівняння п'яти каталітичних нейтралізаторів приведено на рис. 1.13.

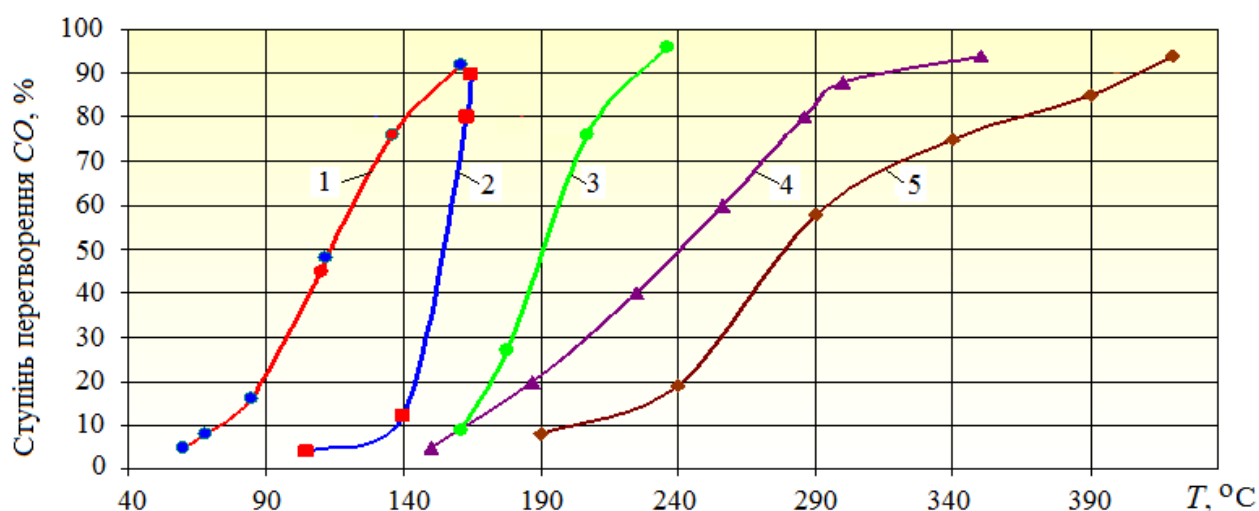


Рисунок 1.13 – Порівняльні характеристики ефективності каталітичних покриттів для нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ:

- 1 – оксидний каталізатор з підкладкою з нанокристалічного беміта (ГОСНІТІ);
 2 – платинове ІМЕТ РАН (Росія); 3 – платинове «Енгельгард» (США); 4 – платинове «Унікат» (Швеція); 5 – платинове Уральський електрохімічний комбінат (Росія) [63]

Порівняння графіків ефективності нейтралізаторів показує, що певні нейтралізатори за температури до 240°C вже можуть забезпечувати до 95% перетворення оксиду вуглецю CO у вуглекислий газ CO_2 .

В проаналізованих роботах не приведено чітких рекомендацій про режими більш доцільного прогріву для забезпечення більш швидкого включення в ефективну роботу нейтралізатора.

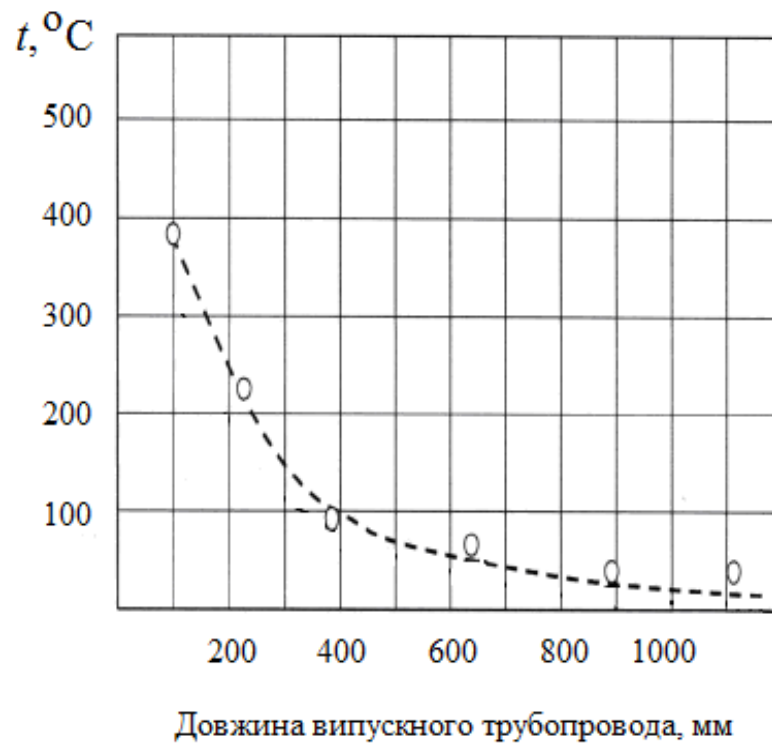
Хоча, в роботі [64] відмічається, що один з методів, який дає змогу прискорити розігрів нейтралізатора – це підвищення температури відпрацьованих газів на впуску в нейтралізатор. При цьому зазначається, що температура ВГ залежить від низки факторів, а саме: від регулювання і режиму роботи двигуна, від місця встановлення нейтралізатора, від конфігурації випускної системи.

В роботі зазначено, що за зміни кута випередження запалювання в бік пізнього запалювання забезпечується більша тривалість згорання у період розширення, що призводить до зниження максимального тиску у циліндрі і підвищенню температури ВГ у випускному трубопроводі.

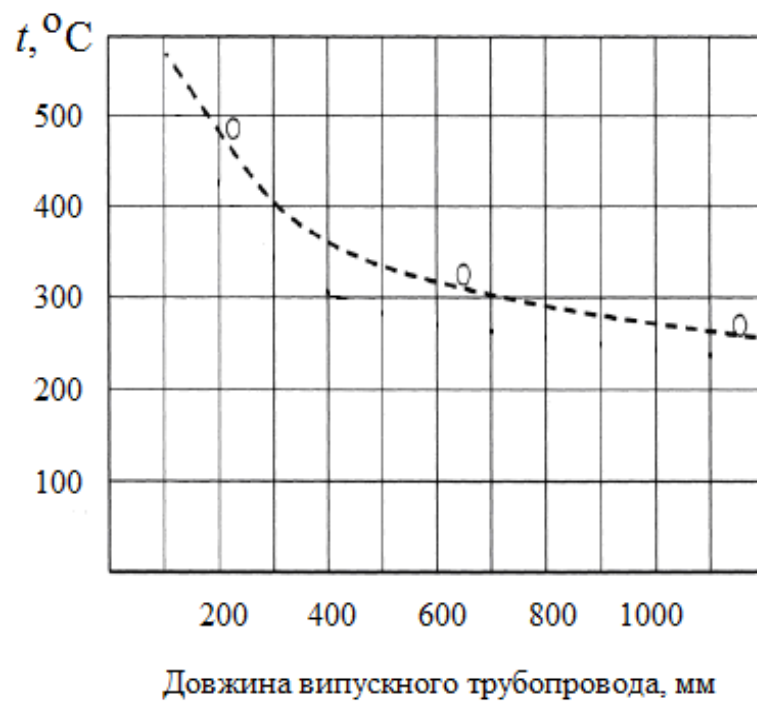
Також зазначено підвищення температури ВГ у випускному каналі за збільшення частоти обертання колінчастого вала двигуна з 1000 до 2000 хв⁻¹, що пояснюється інтенсифікацією заряду у циліндрі і покращенням його згорання.

У роботі [64] зазначено, що за зменшення відстані від випускного клапану двигуна до нейтралізатора ефективність перетворення CO і C_mH_n може підвищитися на 5–10%.

У роботі Шаріпова А.З. [22] досліджено величини температур ВГ у залежності від довжини випускного трубопроводу двигуна за роботи двигуна в режимі холостого ходу (частота обертання колінчастого вала $n = 2000$ хв⁻¹). Графіки зміни температури ВГ по довжині випускного трубопроводу показані на рис. 1.14.



а)



б)

Рисунок 1.14 – Зміна температури ВГ по довжині випускного трубопроводу двигуна після 5 с від моменту запуску ДВЗ (а) та після 20 с від моменту запуску ДВЗ (б) [22]

Приведені графіки показують, що зі скороченням відстані до нейтралізатора, його тепловий режим може відповідати достатньому рівню нейтралізації вже за роботи двигуна в режимі холостого ходу.

У більшості публікацій та наукових робіт приведені приклади прискореного прогріву нейтралізатора, що забезпечуються конструктивними засобами.

До таких конструктивних засобів можна віднести і обладнання двигунів спеціальними системами підігріву нейтралізаторів [65–67], приклад якої показано на рис. 1.15.

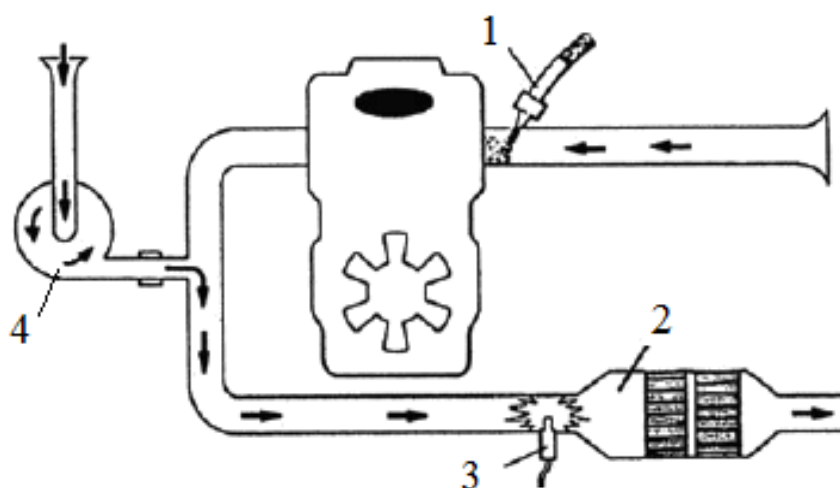


Рисунок 1.15 – Схема системи підігріву нейтралізатора:

- 1 – паливна форсунка; 2 – нейтралізатор; 3 – свічка для підпалювання суміші;
4 – насос для подачі додаткового повітря

Тому і більшість дослідників пропонують конструктивне дообладнання двигуна для зменшення викидів шкідливих речовин в режимах запуску двигуна і холостого ходу.

Зокрема, у роботі [64] пропонується розігрів нейтралізатора пристроями надвисокочастотного випромінювання.

Групою науковців НТУ пропонується система підігрівання повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу [68] .

У роботі [22] пропонується прискорений прогрів двигуна і нейтралізатора добавкою хімічно активних продуктів конверсії бензину, які отримують в каталітичному реакторі бортового термохімічного конвертера.

У роботі [69] пропонується використовувати електрохімічні методи з введенням у канал нейтралізатора водневого реагента.

Усі ці методи можна використати в період конструювання і виготовлення автомобіля та двигуна. В експлуатації реалізація вищеназваних систем потребує особливої кваліфікації обслуговуючого персоналу та підвищеної уваги власника автомобіля.

Тому, основними залишаються методи покращення екологічних показників, які не потребують втручання в конструкцію двигуна і автомобіля, а забезпечують споживача чітким розумінням можливості зменшення викидів у навколишнє середовище забруднюючих речовин та економії при цьому палива. Також можлива незначна конструкційна доробка, яка не впливає на основні агрегати автомобіля, не потребує значних енергозатрат та не втручається у роботу систем керування двигуном та автомобілем.

1.4. Висновки до розділу 1

1. Автомобільний транспорт є одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища. Основними джерелами енергії на транспортних засобах є двигуни внутрішнього згорання, за роботи яких з ВГ виділяється багато ЗР.

2. Витрата палива автомобілями і кількість ЗР залежить від багатьох факторів, зокрема теплового стану їх двигунів. Скорочення часу прогрівання двигуна зменшує викиди ЗР.

3. Найбільш ефективним методом зменшення викидів ЗР автомобілями є встановлення в випускних системах автомобілів каталітичних нейтралізаторів.

4. Ефективність роботи каталітичного нейтралізатора залежить від температури. Тому одним з напрямів економії палива і зменшення викидів ЗР автомобілями в умовах експлуатації є скорочення часу прогрівання двигуна і відповідно каталітичного нейтралізатора.

5. У літературних джерелах не встановлено результатів досліджень по впливу методу прогрівання двигуна сучасного автомобіля з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком на витрату палива і викиди ЗР.

6. Не встановлено результатів досліджень щодо впливу підігріву впускного повітря на паливну економічність і екологічні показники двигуна сучасного автомобіля у різних режимах роботи.

7. Не встановлено результатів досліджень по впливу підігріву свіжого заряду на впуску в двигун на витрату бензину і викиди забруднюючих речовин сучасним автомобілем з врахуванням режимів роботи в умовах експлуатації.

На основі цих висновків визначені **завдання дослідження:**

1. Аналіз досліджень по впливу теплового стану двигуна з іскровим запалюванням на паливну економічність і екологічні показники автомобіля.

2. Аналіз досліджень по використанню каталітичних нейтралізаторів для зниження шкідливих викидів з ВГ двигунами з іскровим запалюванням та впливу їх теплового стану на ефективність роботи.

3. Експериментальні та розрахункові дослідження впливу методу прогрівання двигуна автомобіля за низьких температур атмосферного повітря на витрату палива та викиди шкідливих речовин та визначення найбільш доцільного методу.

4. Експериментальні дослідження паливної економічності і екологічних показників автомобіля за підігріву повітря на впуску в двигун.

5. Розробка методики для оцінки впливу підігріву повітря на впуску у двигун на паливну економічність і екологічні показники автомобіля в русі за режимами Нового Європейського міського їздового циклу.

6. Дослідження показників автомобіля у процесі прогрівання двигуна при русі автомобіля за режимами Нового Європейського міського їздового циклу.

7. Проведення розрахункових досліджень щодо ефективності підігріву повітря на впуску в двигун на показники автомобіля з двигуном з системою впорскування бензину, каталітичним нейтралізатором і зворотним зв'язком за роботи у разі низьких температур атмосферного повітря.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕТОДІВ ПРОГРІВАННЯ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ ЗА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

2.1. Розробка структурної схеми методики проведення досліджень

Для проведення експериментальних і теоретичних досліджень впливу низьких температур на паливну економічність і викиди забруднюючих речовин бензинового двигуна легкового автомобіля розроблено методику проведення досліджень.

Методика включає ряд пунктів, що забезпечує виявлення і обґрунтування доцільності проведення досліджень та послідовності кроків для встановлення характеристик залежності викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами двигунів від поточного стану атмосферного повітря та теплового стану двигуна.

Блок-схема методики показана на рис. 2.1 і включає дев'ять блоків.

У першому блоці передбачено проведення аналізу попередніх досліджень з впливу теплового стану двигуна на його економічні, екологічні та енергетичні показники в умовах експлуатації. Передбачено дослідження робіт, які оприлюднені як в Україні, так і за її межами. Визначена необхідність прогрівання двигуна через контроль температури охолодної рідини для повноцінної і безпечної експлуатації автомобілів.

Блок 2 методики передбачає попередній аналіз впливу температурного стану каталітичного нейтралізатора на величину викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах. Каталітичні нейтралізатори є обов'язковим елементом на автомобілях і від їх ефективності залежить рівень шкоди навколишньому середовищу від автомобільного транспорту.

Перші два блоки розглядалися у першому розділі дослідження.

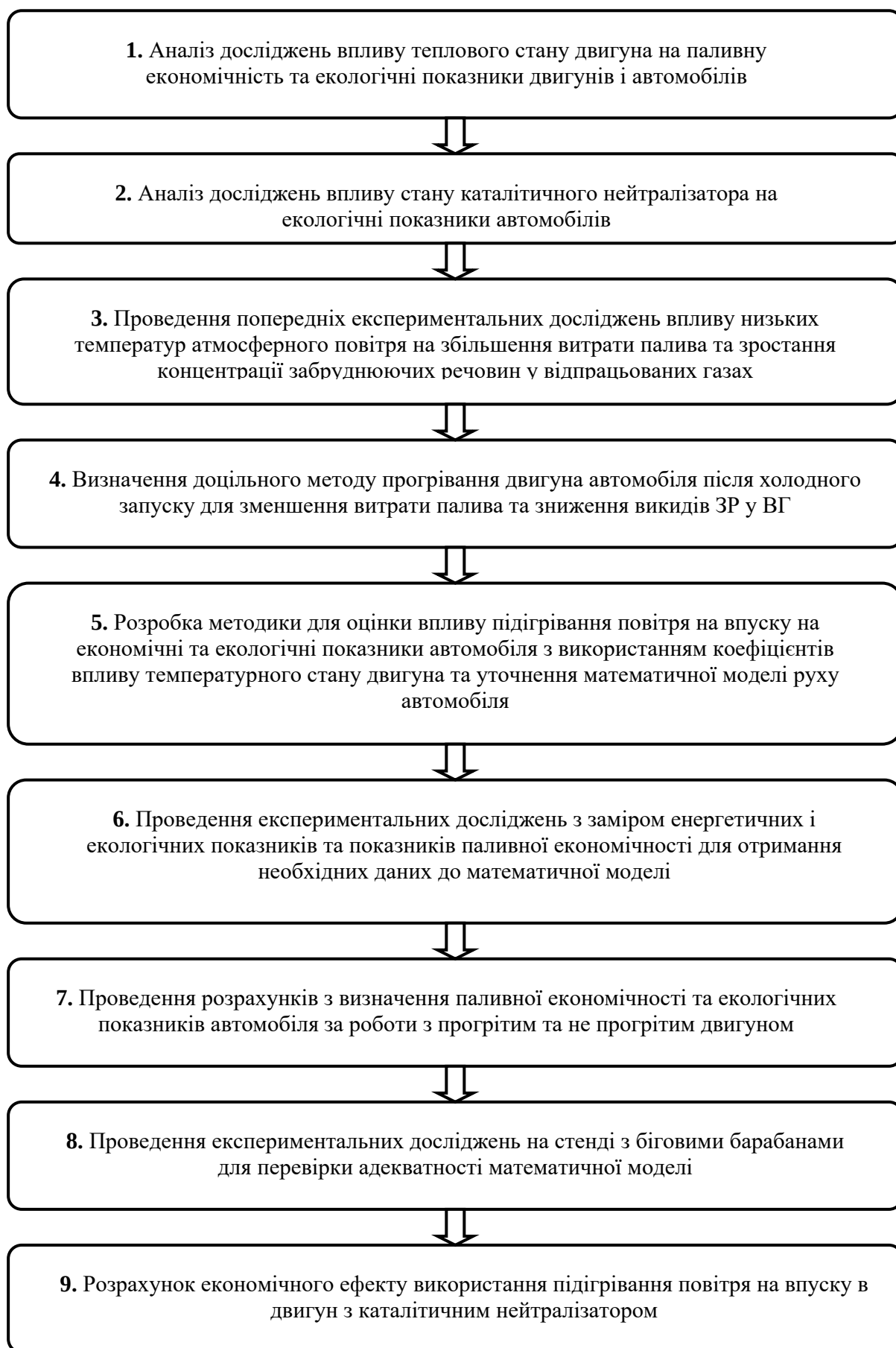


Рисунок 2.1 – Блок-схема загальної методики проведення досліджень

У блоці 3 передбачається проведення попередніх досліджень роботи двигуна і автомобіля в умовах експлуатації та підтвердження об'єктивної оцінки впливу низьких температур атмосферного повітря на збільшення витрати палива та концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів автомобілів.

Блок 4. Оскільки дослідження спрямовані на поліпшення паливної економічності і екологічних показників двигуна з каталітичним нейтралізатором у процесах запуску і прогрівання необхідно встановити як тепловий стан двигуна впливає на економічні та екологічні показники. Тепловий стан двигуна оцінювали температурою охолодної рідини.

Методи прогрівання двигуна визначали як найбільш характерні, а саме:

- прогрівання двигуна в режимі активного холостого ходу;
- комбінований метод прогрівання, що включає нетривалу роботу у режимі холостого ходу і подальше прогрівання при русі автомобіля.
- метод прогрівання в русі, що починається після запуску двигуна.

В блоці 5 передбачається розробка методики врахування теплового стану двигуна на економічні та екологічні параметри КТЗ.

Методика базується на експериментальних дослідженнях показників прогрітого та непрогрітого двигуна. Як показав аналіз, приведений в розділі 1, показники суттєво відрізняються. Тому виникає необхідність розрахунку коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на показники екологічності та токсичності. Особливо важливо це для створення якісної моделі експлуатації КТЗ, оскільки прогрівання двигуна займає значний період в умовах експлуатації в місті і реалізується одразу після зупинки автомобіля і двигуна.

Математичну модель створюємо з використанням результатів досліджень щодо створення подібних моделей, проведених на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» НТУ, у випадку визначення показників роботи двигуна в стендових умовах і уточнення математичної моделі двигуна як споживача палива і повітря і джерела шкідливих викидів. Якщо немає можливості провести стендові випробування двигуна, використовують результати

експериментальних досліджень автомобіля за умовного руху за режимами їздового циклу на тяговому стенді з заміром паливної економічності, екологічних показників та інших показників роботи двигуна.

Уточнення моделі полягає у введенні в модель температурних коефіцієнтів, які забезпечують приведення до реальних умов здійснення циклу.

Блок 6. Експериментальними випробуваннями за умовного руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу визначають витрату палива і викиди забруднюючих речовин автомобілем в процесі прогрівання двигуна від температури охолодної рідини, яка була в кінці роботи в режимі холостого ходу за комбінованого методу прогрівання автомобіля. Цей метод був визначений як найбільш доцільний щодо прогрівання двигуна автомобіля у разі низьких температур атмосферного повітря. Прогрівання здійснюють до температури охолодної рідини 85...90°C. У процесі експериментальних випробувань крім витрати палива і викидів забруднюючих речовин в цілому за цикл фіксують поточні величини витрати палива, концентрацій забруднюючих речовин в розбавлених відпрацьованих газах (ВГ) (метод CVS) та температуру охолодної рідини.

Блок 7. Розрахунки на математичній моделі забезпечують даними під час прогрівання двигуна за комбінованим методом від різної початкової температури запуску двигуна, що забезпечити прямим експериментом доволі складно і трудомістко.

У блоці 8 визначають витрату палива і викиди забруднюючих речовин автомобілем з прогрітим двигуном (температура охолодної рідини 85...90°C). Для впливу умов експлуатації, зокрема навантажувальних і швидкісних режимів, визначення проводять на математичній моделі за умовного руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу, адекватність якої перевіряють експериментальними випробуваннями автомобіля на моделюючому роликовому стенді.

Змінюючи початкові умови прогрівання двигуна в широкому діапазоні і забезпечення інтенсифікації прогрівання, можна зробити висновок про

економічний ефект використання додаткових засобів, що забезпечують прискорене прогрівання двигуна автомобіля (блок 9).

2.2. Експериментальні дослідження впливу низьких температур атмосферного повітря на показники двигуна і автомобіля

Використання автомобіля протягом року передбачає його експлуатацію за різних температурних режимів. Особливо важливою є підготовка до експлуатації у зимовий період, коли температура атмосферного повітря коливається у діапазоні від -5 до -24°C . Робочою температурою для автомобільного двигуна вважається $70-90^{\circ}\text{C}$. Двигун може сприймати неповне навантаження вже за температури 50°C . За нижчої температури у двигуні спостерігаються неоднозначні процеси. Особливо велике навантаження на деталі і механізми двигуна в перші хвилини після запуску холодного двигуна. В силу того, що деталі двигуна виготовлені з різних матеріалів, що мають неоднаковий коефіцієнт теплового розширення, в одних вузлах двигуна прослідковуються удари через занадто великі зазори між деталями, в інших механізмах, навпаки, відбувається підвищений знос деталей, що труться, через малі зазори і відсутність оливи [70, 71].

Прогрівання бензинового двигуна з системою впорскування забезпечується роботою електронного блоку управління системою впорскування. Відомості про характер такого прогрівання недостатньо повні.

Для визначення характеристик прогрівання за початкового запуску двигуна за температур від -6°C до -12°C була поставлена задача фіксації параметрів двигуна за різних методів його прогрівання. Такими методами були обрані: режим активного холостого ходу за мінімальної частоти обертання; комбінований метод, коли частково двигун прогрівається в режимі холостого ходу і подальше прогрівання здійснюється за руху автомобіля за ощадливого надання навантаження та прогрівання двигуна в русі з мінімальним проміжком часу після запуску двигуна до початку руху [72].

Дослідження проводились на автомобілі HYUNDAI GETZ (універсал), рік випуску 2008, з серійним рядним, чотирициліндровим, чотиритактним бензиновим двигуном DOHC з рідинним охолодженням та п'ятиступеневою механічною коробкою передач.

Автомобіль укомплектований бензиновим двигуном 4Ч 7,55/7,81, що обладнаний електронною системою управління KEFICO і трикомпонентним каталітичним нейтралізатором.

Основні параметри дослідження двигуна фіксували за допомогою посередництва адаптера ELM 327V1.5 підключеного до діагностичного роз'єму блоку управління двигуном. Блок підтримує стандарт OBDII.

Екран виведення показників датчиків показано на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Виведення параметрів роботи двигуна

Під час проведення експериментальних досліджень визначали витрату палива двигуном та температуру охолодної рідини після запуску двигуна за низьких температур.

Проводили фіксацію частоти обертання колінчастого вала двигуна як за прогрівання без руху автомобіля (в режимі активного холостого ходу) так і в русі під час виїзду з місця паркування. Під час руху автомобіля фіксували швидкість руху та пройдений шлях.

Автомобіль був дообладнаний апаратурою для визначення концентрацій компонентів відпрацьованих газів, яка не потребує втручання у конструкцію

автомобіля (багатокомпонентний газоаналізатор МЕТА «Автотест 01» та альфаметр STAG AFR).

Схема установки для проведення експериментів показана на рис. 2.3.

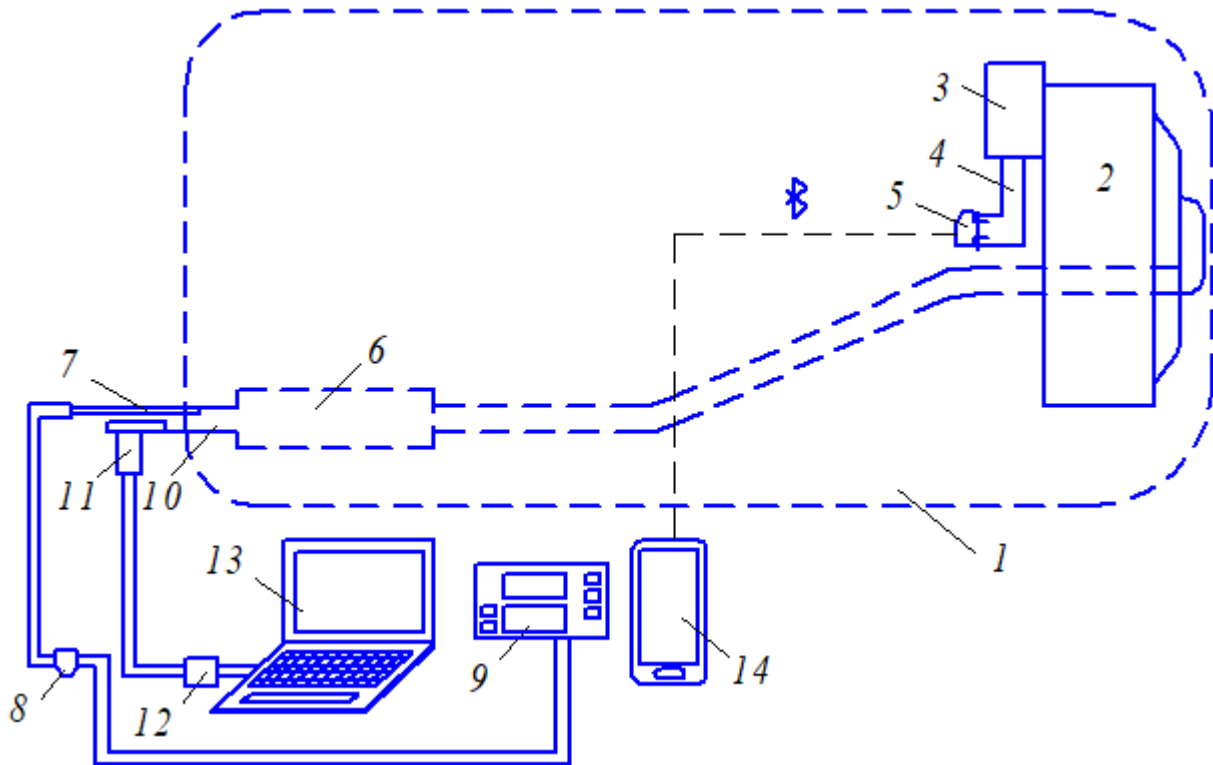


Рисунок 2.3 – Схема експериментальної установки для визначення параметрів роботи двигуна та автомобіля за різних методів прогрівання:

1 – автомобіль; 2 – двигун; 3 – блок керування; 4 – діагностична колодка; 5 – датчик ELM-327; 6 – основний глушник; 7 – зонд газоаналізатора; 8 – фільтр; 9 – газоаналізатор МЕТА «Автотест 01»; 10 – випускна труба; 11 – датчик λ -зонда; 12 – блок приєднання до ноутбука; 13 – ноутбук; 14 – смартфон для визначення параметрів роботи двигуна та автомобіля

Датчик 5 для фіксації параметрів роботи двигуна ELM-327 встановили в діагностичний роз'єм автомобіля, що розміщений під рульовою колонкою в салоні автомобіля. Живлення датчика здійснюється від бортової мережі автомобіля, тому в період запуску двигуна датчик не відображає інформацію до 5 секунд. Надалі інформація передається на смартфон 14 через канал зв'язку

Bluetooth 4.1, тому інформацію можна отримувати як в салоні автомобіля, так і за його межами. Зонди газоаналізатора 7 та альфаметра 11 вводились в зріз випускної труби і кріпились хомутом для можливості фіксації параметрів в русі автомобіля.

Значення коефіцієнту надміру повітря α виводились на ноутбук 13, а концентрації оксиду вуглецю, вуглеводнів, двооксиду вуглецю та кисню у ВГ на показники газоаналізатора 9.

Живлення ноутбука здійснювалось від власної акумуляторної батареї, а для альфаметра та газоаналізатора встановлювалась додаткова акумуляторна батарея 6СТ60, що забезпечило якісне відображення інформації.

Протоколи випробувань у разі прогрівання двигуна за різної початкової температури навколишнього середовища і за різних методів прогрівання приведені в додатку В.

Результати випробувань представлені у вигляді графіків.

На рис. 2.4 показані графіки зміни температури охолодної рідини від часу прогрівання двигуна у разі використання різних методів прогрівання.

Випробування проводили, коли температура атмосферного повітря t_0 складала від -6 до -12°C . Проводили одне випробування на добу для виключення впливу прогрітої оливи на показники запуску і прогрівання двигуна.

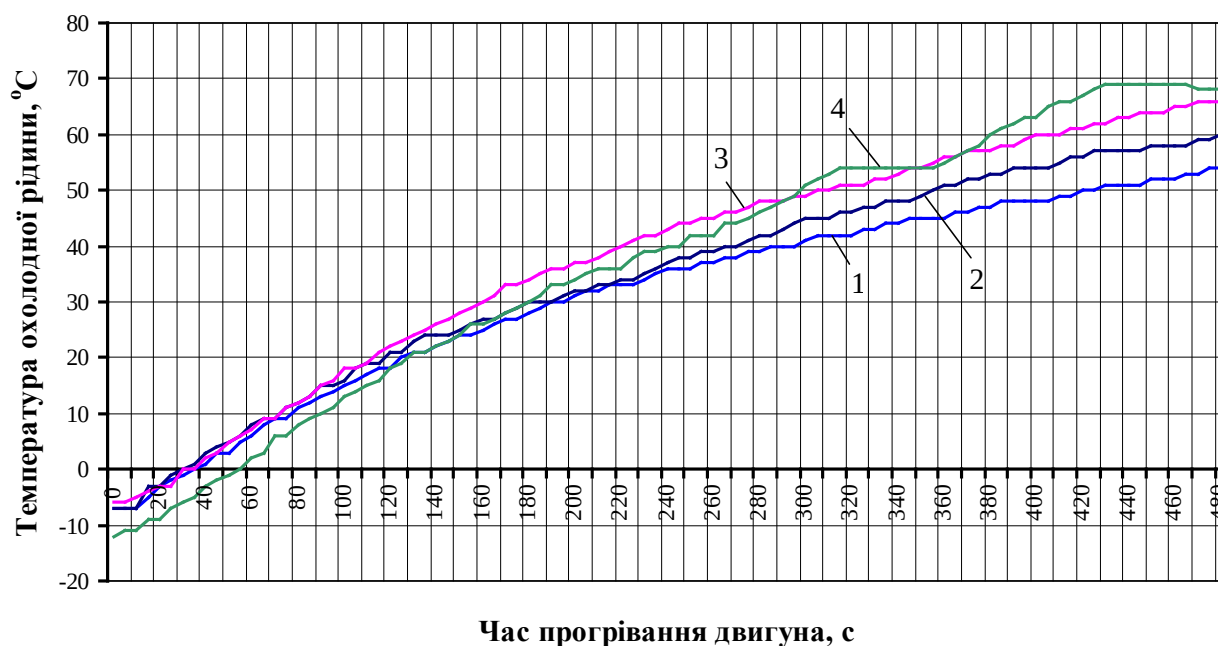


Рисунок 2.4 – Зміна температури охолодної рідини від часу прогрівання двигуна:

- 1 – режим холостого ходу (за $t_0 = -8^{\circ}\text{C}$);
- 2 – комбінований метод (за $t_0 = -7^{\circ}\text{C}$);
- 3 – прогрівання в русі (за $t_0 = -6^{\circ}\text{C}$);
- 4 – прогрівання в русі (за $t_0 = -12^{\circ}\text{C}$)

Час прогрівання двигуна до температури охолодної рідини 50°C в режимі активного холостого ходу склав 420 секунд. Комбінований метод забезпечив прогрівання до 50°C за 355 секунд, а прогрівання за руху автомобіля забезпечило досягнення температури 50°C за 305 секунд.

Було досліджено, як змінюється годинна витрата палива та сумарна витрата палива двигуном в період прогрівання.

На рис. 2.5 показана залежність годинної та сумарної витрат палива за прогрівання в режимі активного холостого ходу від температури охолодної рідини.

Аналіз даних показує, що із збільшенням температури охолодної рідини годинна витрата палива знижується з 2,147 л/год. до 1,330 л/год. На прогрівання до температури 50°C було витрачено 172,5 мл палива.

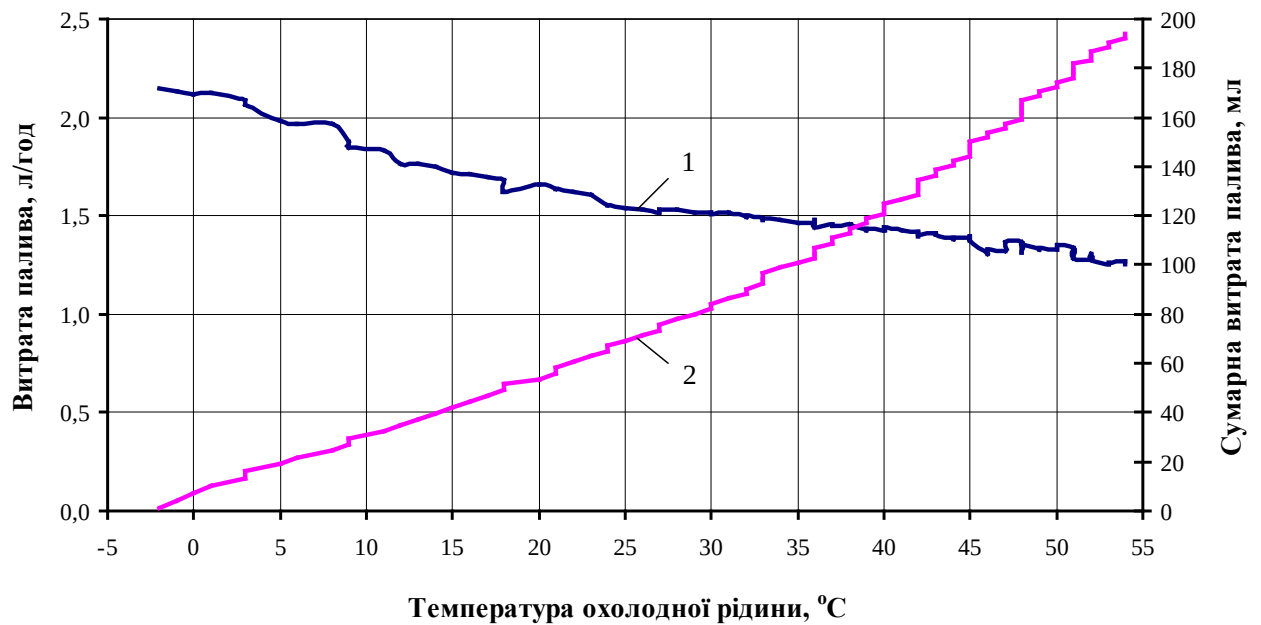


Рисунок 2.5 – Зміна годинної та сумарної витрат палива за прогрівання в режимі активного холостого ходу:

1 – годинна витрата палива, л/год; 2 – сумарна витрата палива, мл

На рис. 2.6 показані подібні графіки витрати палива, але вже за комбінованого методу прогрівання.

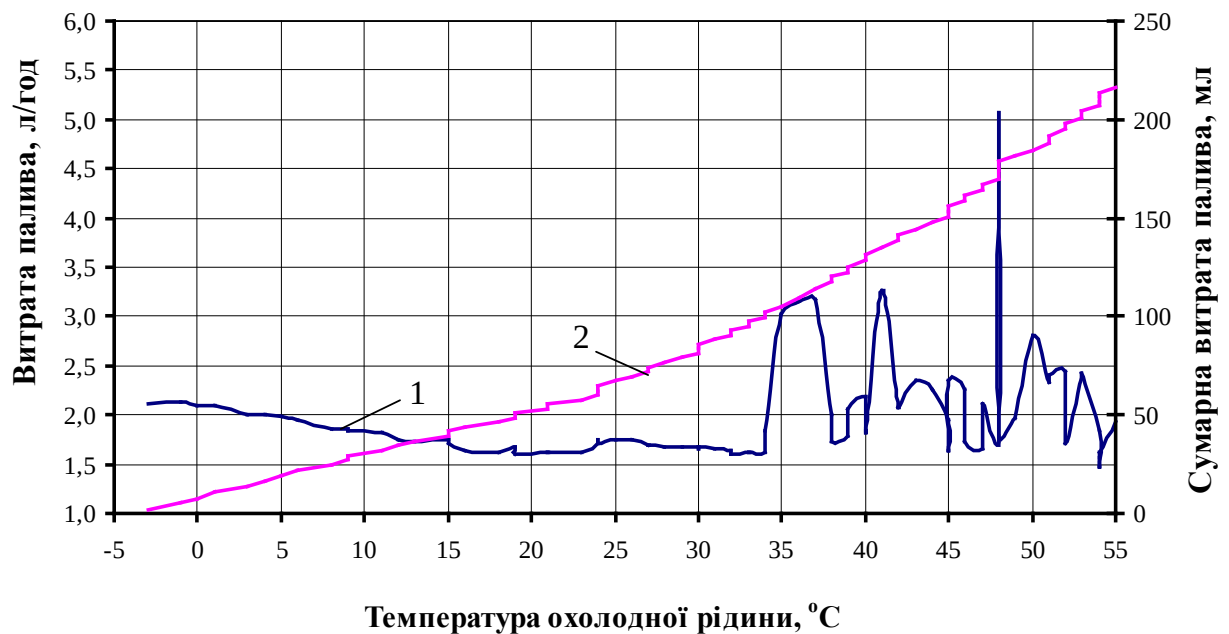


Рисунок 2.6 – Зміна годинної та сумарної витрат палива за комбінованого методу прогрівання:

1 – годинна витрата палива, л/год.; 2 – сумарна витрата палива, мл.

Після запуску двигуна витрата палива за роботи в режимі холостого ходу знижується з 2,12 л/год. до 1,623 л/год. за 220 секунд. Під час руху автомобіля витрата палива тимчасово зростала до 5 л/год. За час в 355 секунд (тобто за прогрівання до температури 50°C) сумарна витрата палива склала 184,7 мл. При цьому було здійснено пробіг автомобіля, що склав 0,269 км і що дозволило автомобілю виїхати з місця паркування на дорогу загального призначення.

На рис. 2.7 представлені графіки прогрівання двигуна в русі без попереднього прогрівання в режимі холостого ходу.

За час прогрівання до 50°C годинна витрата палива із-за неякісної роботи системи впорскування зростала до 9 л/год. в режимах розгону до швидкості 50 км/год. У разі скорочення часу прогрівання до 305 секунд сумарна витрата палива на прогрівання до температури охолодної рідини 50°C склала 250,2 мл. При цьому пройдений автомобілем шлях склав 0,997 км.

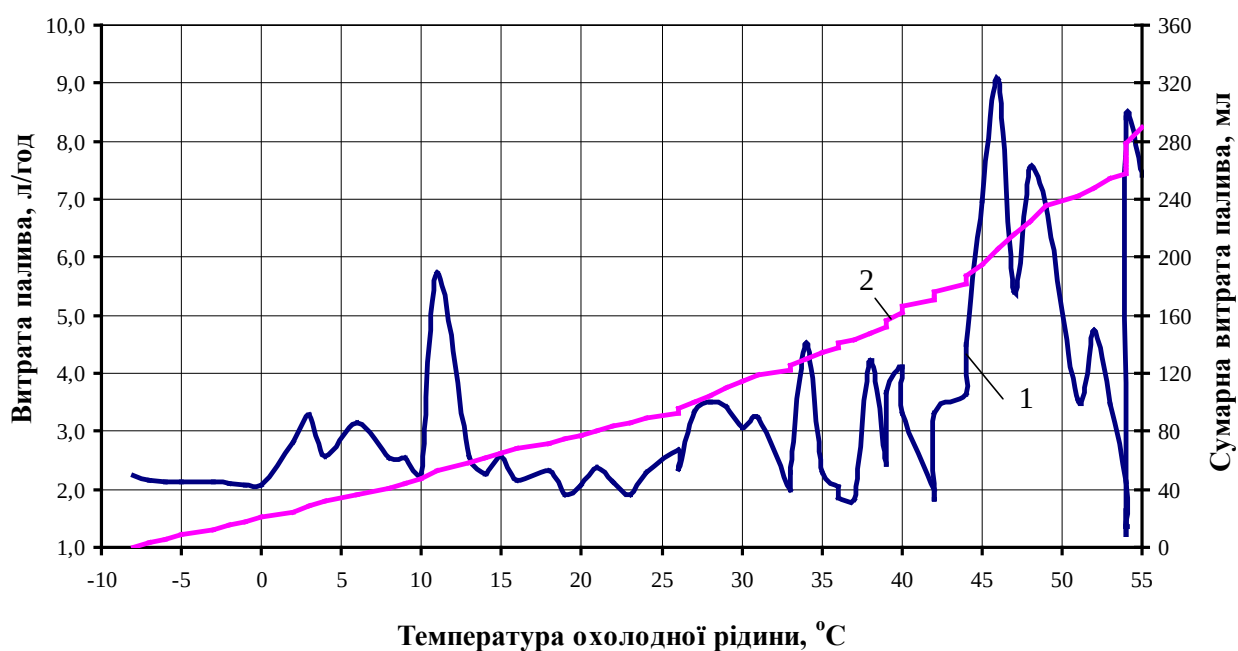


Рисунок 2.7 – Зміна годинної та сумарної витрат палива за прогрівання двигуна в русі:

1 – годинна витрата палива, л/год; 2 – сумарна витрата палива, мл

В результаті проведених досліджень встановлено, що метод прогрівання двигуна суттєво впливає як на час прогрівання, так на витрату палива двигуном автомобіля при виході на робочий режим.

Показано, що прогрівання двигуна в русі скорочує час прогрівання на 27,4 %, але одночасно витрата палива на прогрівання зростає на 45% в порівнянні з активним холостим ходом. Середні показники серед цих методів прогрівання визначив комбінований метод. У разі скорочення часу прогрівання на 15,5% витрата палива зросла на 7%, що за встановлення оптимальних співвідношень часу прогрівання на холостому ходу і в русі дає перспективи оптимізації цього процесу.

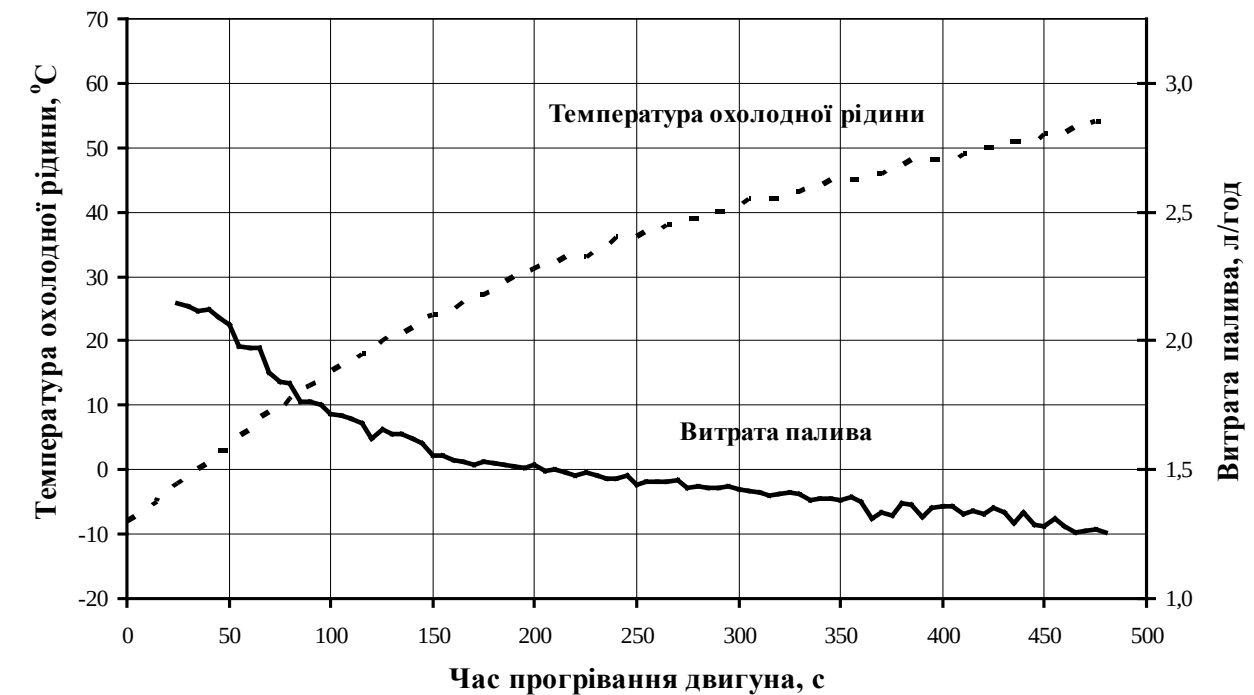
Сучасні автомобілі обов'язково обладнують каталітичними нейтралізаторами і ефективне прогрівання нейтралізатора дозволяє зменшити вплив транспортного засобу на довкілля через зменшення викидів забруднюючих речовин з ВГ.

Необхідно відзначити, що автомобіль досліджували в звичайних умовах експлуатації міста Києва, що включають безгаражне зберігання автомобіля, запуск і прогрівання двигуна на відкритих майданчиках паркування, рух автомобіля в початковий момент зі швидкістю до 20 км/год для виїзду від місця паркування в житловому секторі, подальший рух автомобіля вулицями загального користування з світлофорним регулюванням зі швидкістю до 60 км/год.

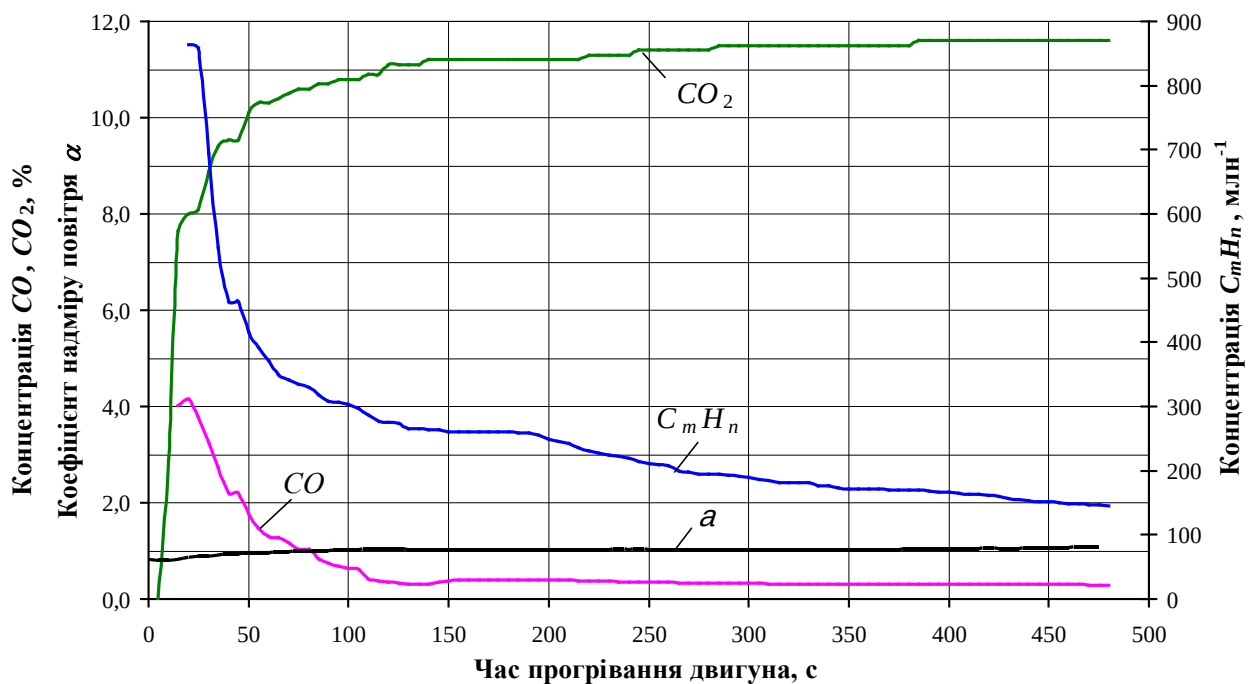
Результати випробувань за режиму активного холостого ходу показані на рис. 2.8, за прогрівання двигуна в русі автомобіля на рис. 2.9 і за комбінованого методу прогрівання на рис. 2.10.

Як вже було зазначено вище, прогрівання в режимі активного холостого ходу здійснювали від температури охолодної рідини -8°C до температури 50°C . При цьому концентрація оксиду вуглецю CO знизилась з 4 до 0,3 %, а концентрація вуглеводнів C_mH_n з 860 до 160 млн^{-1} . Найбільш інтенсивне зниження концентрацій CO та C_mH_n спостерігалось перші 100 секунд

прогрівання двигуна із-за швидкого прогрівання трикомпонентного нейтралізатора (рис. 2.8, б). При цьому режим холостого ходу не забезпечує повного прогрівання нейтралізатора, що знижує його ефективність.



а)



б)

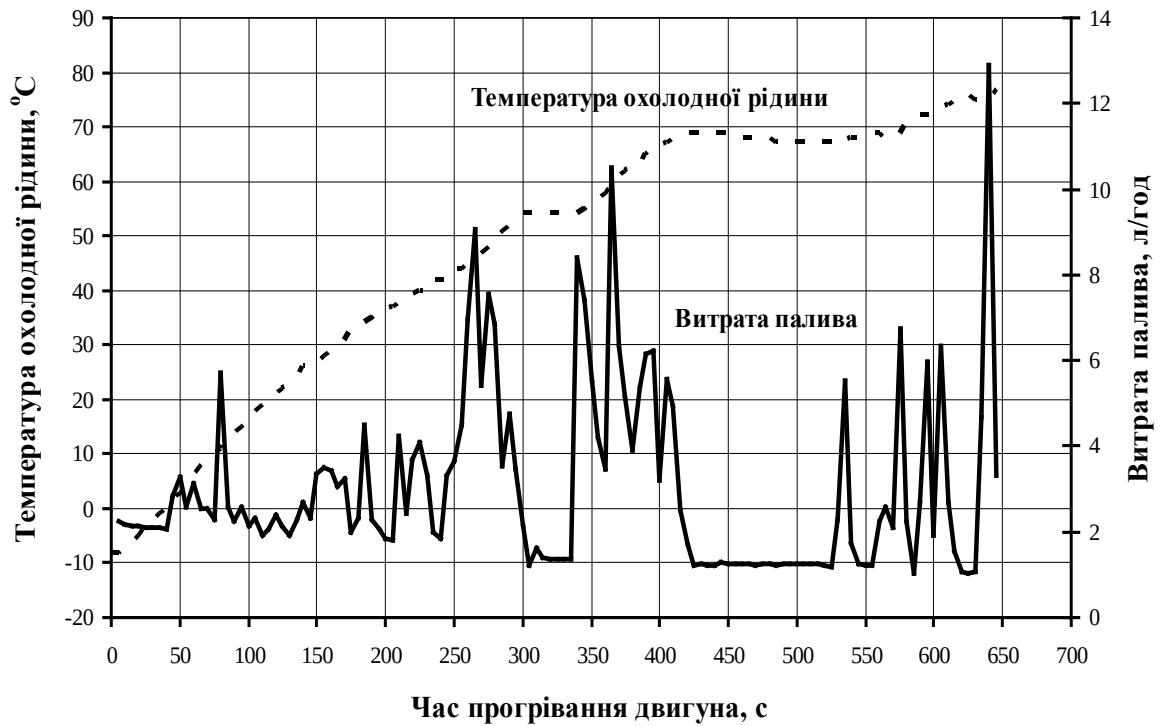
Рисунок 2.8 – Витрата палива та температура охолодної рідини (а)

та концентрації компонентів відпрацьованих газів (б)

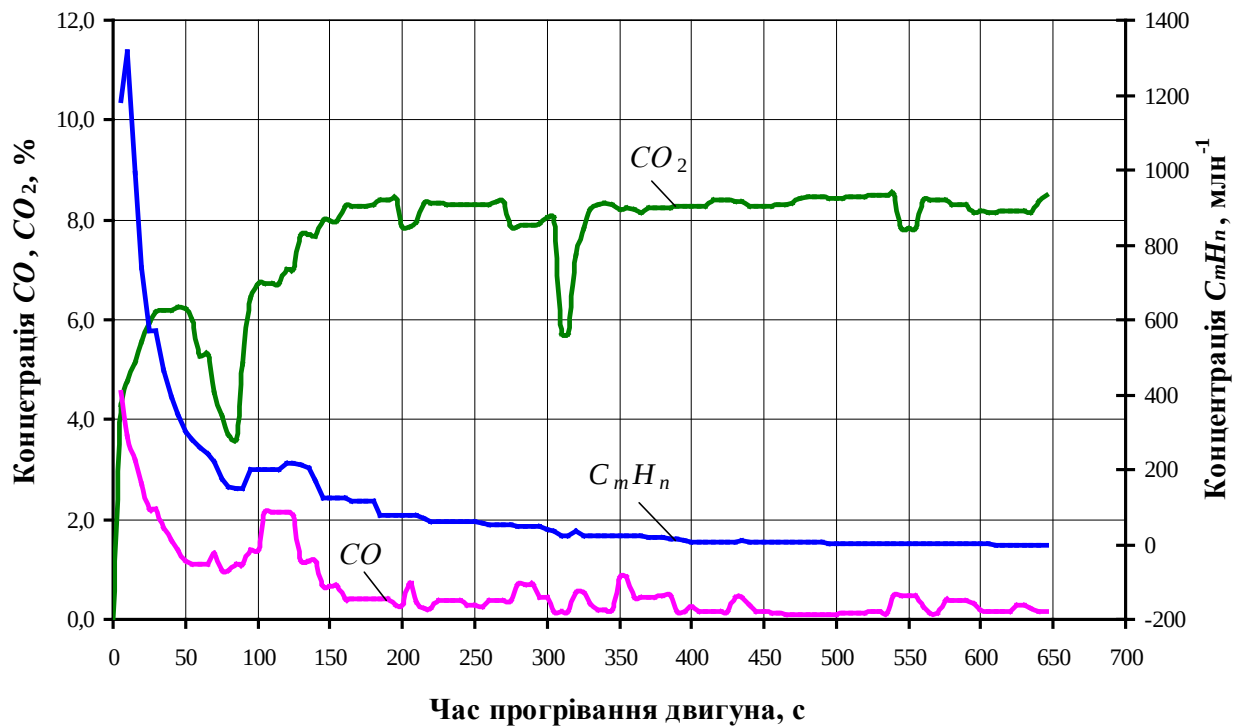
за прогрівання двигуна в режимі активного холостого ходу

Прогрівання в русі досліджувалось за початкової температури охолодної рідини -12°C . Температура на рівні 50°C встановилась вже через 305 секунд прогрівання (рис. 2.9, а). Концентрація оксиду вуглецю CO за цей період знизилась з 4,6 до 0,2 %, але при цьому спостерігалось і підвищення концентрації CO до 2,15 % у разі збільшення навантаження на двигун в період розгону автомобіля (рис. 2.9, б). Також збільшення навантаження викликало підвищення витрати палива до 5,7 і навіть до 9 л/год. Подальше прогрівання забезпечило збільшення температури охолодної рідини до 75°C . Разом з цим робота двигуна з більшою витратою палива на навантажувальних режимах забезпечила оптимальну температуру нейтралізатора, що призвело до зниження концентрації вуглеводнів до 0 млн^{-1} , а оксиду вуглецю до 0,1%. При цьому збільшення витрати палива, за розгонів на дорозі, призводило і до збільшення концентрації CO до 0,5 %.

Метод комбінованого прогрівання двигуна (рис. 2.10) досліджувався за початкової температури охолодної рідини -7°C . Як і за попередніх методів прогрівання суттєве зниження концентрацій оксиду вуглецю та вуглеводнів прослідковується за перші 100 секунд прогрівання. За прогрівання в режимі холостого ходу температура охолодної рідини підвищилась до 34°C за 220 секунд. Подальше підвищення температури пов'язане з прогріванням в русі. Контрольна температура в 50°C встановлюється за 350 секунд прогрівання, але при цьому знижується витрата палива, яка і в подальшому не перевищувала в навантажувальних режимах 5 л/год. Аналогічно до попереднього методу прогрівання в русі температура охолодної рідини за 650 секунд підвищується до 77°C а концентрації CO і C_mH_n знижуються майже до нуля. Таким чином, комбінований метод прогрівання поєднав переваги двох попередніх методів, забезпечуючи ефективне зниження концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та зниження витрати палива за час прогрівання.

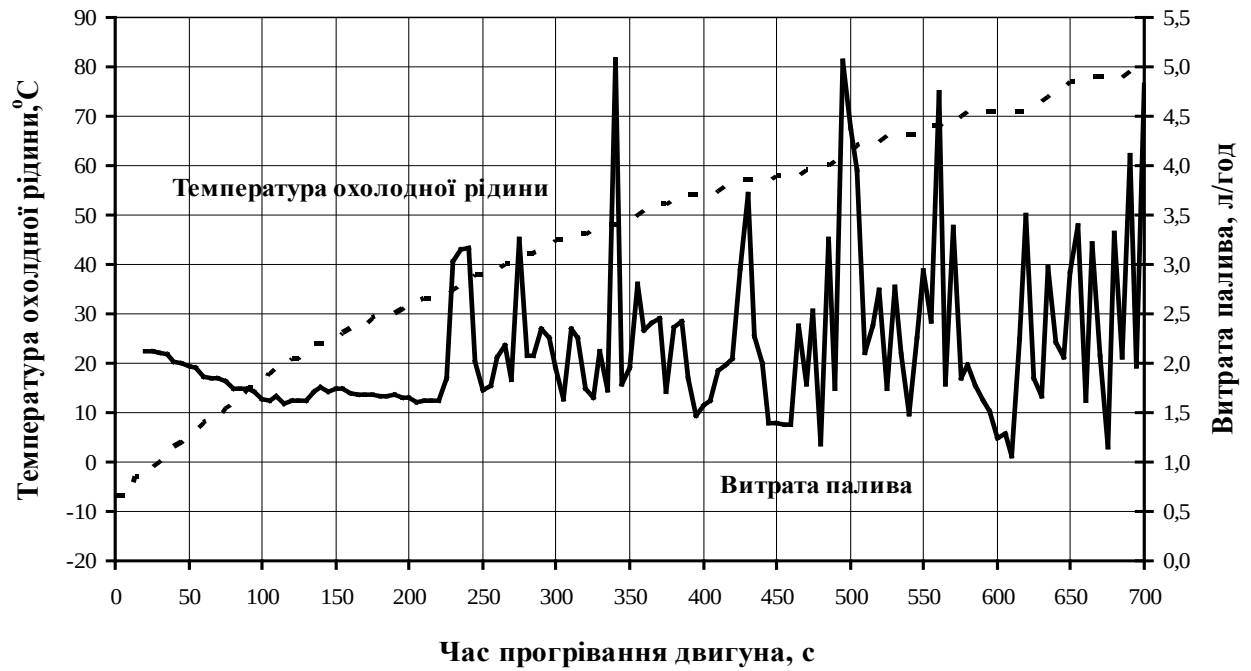


a)

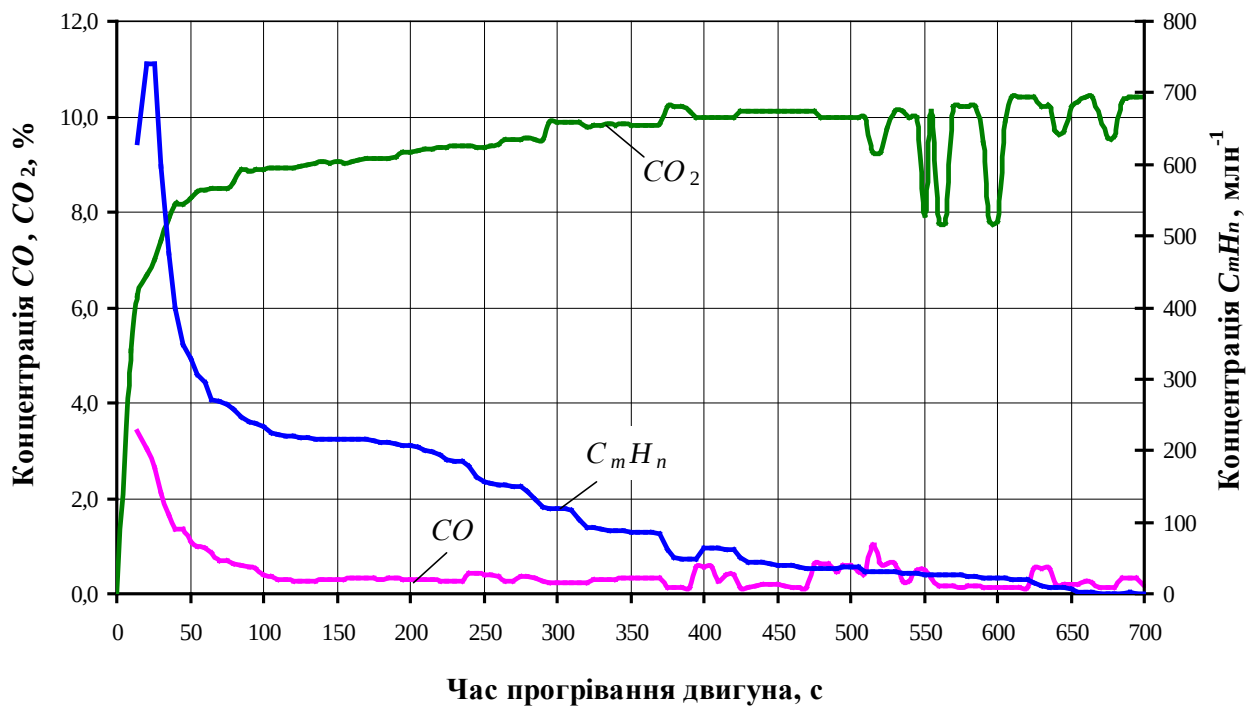


б)

Рисунок 2.9 – Витрата палива та температура охолодної рідини (а) та концентрації компонентів відпрацьованих газів (б) за прогрівання двигуна в русі



a)



б)

Рисунок 2.10 – Витрата палива та температура охолодної рідини (а)
та концентрації компонентів відпрацьованих газів (б)
за комбінованого методу прогрівання двигуна

Отже, зниження температури атмосферного повітря призводить до погіршення експлуатаційних та екологічних показників транспортних засобів. Одним із шляхів зменшення негативного впливу на середовище є визначення раціонального методу прогрівання двигуна. Під час досліджень були отримані дані, які підтверджують можливість зниження витрати палива та концентрацій забруднюючих речовин використанням комбінованого методу прогрівання двигуна автомобіля. Разом з тим важливим показником при порівнянні методів прогрівання є відстань, пройдена автомобілем за час прогрівання.

2.3. Порівняння методів прогрівання двигуна автомобіля

Для більш об'єктивної оцінки різних методів прогрівання необхідно врахувати ту кількість палива, що буде витрачено на подолання певного відрізка шляху. Адже автомобіль за прогрівання в русі подолав 0,997 км або 997 м, а за прогрівання в режимі активного холостого ходу він залишався на місці паркування і подолання цих 997 м вимагає додаткової витрати палива.

Для порівняння і було обрано відстань в 997 м, яку автомобіль долає за прогрівання охолодної рідини до 50°C в русі. Початкова температура зміщена з -12°C до -8°C для приведення розрахунків до однакових умов.

Метод прогрівання двигуна автомобіля в русі.

Для цього режиму встановлено наступні числові характеристики прогрівання:

- час прогрівання двигуна до температури охолодної рідини 50°C – 285 с;
- витрата палива за період прогрівання – 242,35 мл;
- в період руху автомобіля годинна витрата палива змінювалась від 1,434 кг/год до 6,793 кг/год (у разі середньої витрати 4,11 кг/год.).

Для об'єктивної порівняльної оцінки методів прогрівання необхідно оцінити викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами двигуна автомобіля за час прогрівання. Для цього скористаємось результатами замірів

концентрацій забруднюючих речовин в процесі прогрівання двигуна за температур нижче 0°C в експлуатаційних умовах.

Методика розрахунку масових викидів забруднюючих речовин за визначеними концентраціями ЗР у ВГ приведена нижче.

Масові викиди CO та $C_m H_n$ визначають як вміст частки оксиду вуглецю та вуглеводнів у сухих відпрацьованих газах.

Для визначення залежності кількості сухих відпрацьованих газів від витрати палива і коефіцієнта надміру повітря скористаємося формулами хімічних реакцій згорання з курсу теорії ДВЗ [73].

Кількість продуктів згорання, кмоль/год:

за $\alpha < 1$

$$M_2 = \left(\frac{g_C}{12} + \frac{g_{H_2}}{2} + 0,79 \cdot \alpha \cdot L_0 \right) \cdot G_{\Pi} \quad (2.1)$$

де G_{Π} – годинна витрата палива на даному режимі, кг/год

за $\alpha \geq 1$

$$M_2 = \left(\alpha \cdot L_0 + \frac{g_{H_2}}{4} + \frac{g_{O_2}}{32} \right) \cdot G_{\Pi} \quad (2.2)$$

Склад палива характеризується масовими частками елементів в паливі, зокрема (за паспортом палива (додаток Г), що використовували у випробуваннях):

$$g_C = 0,855 - g_{O_2} = 0,8404 \text{ кг/кг}$$

$$g_{H_2} = 0,145 \text{ кг/кг}$$

$$g_{O_2} = 0,0146 \text{ кг/кг}$$

Кількість повітря в кг, необхідна для повного згорання 1 кг палива

$$l_0 = \left(\frac{8}{3} g_C + 8 g_{H_2} - g_{O_2} \right) \cdot \frac{1}{0,23}, \text{ кг/кг} \quad (2.3)$$

$$l_0 = \left(\frac{8}{3} \cdot 0,8404 + 8 \cdot 0,145 - 0,0146 \right) \cdot \frac{1}{0,23} = 14,724 \text{ кг/кг}$$

Розглянемо залежність для розрахунку масових викидів за $\alpha < 1$.

Кількість продуктів згорання визначаємо за формулою (2.1).

Кількість повітря, необхідна для повного згорання 1 кг палива в кмоль/кг

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{g_C}{12} + \frac{g_{H_2}}{4} - \frac{g_{O_2}}{32} \right), \text{ кмоль/кг} \quad (2.4)$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{0,8404}{12} + \frac{0,145}{4} - \frac{0,0146}{32} \right) = 0,5039226 \text{ кмоль/кг}$$

Кількість водяних парів у відпрацьованих газах [4]

$$M_{H_2O} = \left(\frac{g_{H_2}}{2} - 0,42K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot L_0 \right) \cdot G_{\Pi} \text{ кмоль/год} \quad (2.5)$$

де K – відносна кількість водяних парів у ВГ, $K = 0,45$

$$\begin{aligned} M_{H_2O} &= \left(0,0725 - 0,42 \cdot 0,45 \cdot \frac{1-\alpha}{1+0,45} \cdot 0,5039226 \right) \cdot G_{\Pi} = \\ &= (0,0725 - (0,13034 - 0,13034 \cdot \alpha) \cdot 0,5039226) \cdot G_{\Pi} = \\ &= (0,0725 - 0,065683 + 0,065683 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \end{aligned}$$

Кількість вологих продуктів згорання за $\alpha < 1$

$$\begin{aligned} M_{2\text{вол}} &= \left(\frac{0,8404}{12} + \frac{0,145}{2} + 0,79 \cdot \alpha \cdot 0,5039226 \right) \cdot G_{\Pi} = \\ &= (0,07003 + 0,0725 + 0,79 \cdot 0,5039226 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \\ M_{2\text{вол}} &= (0,14253 + 0,3981 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Кількість сухих продуктів згорання за $\alpha < 1$

$$\begin{aligned} M_{2\text{сух}} &= M_{2\text{вол}} - M_{H_2O} \\ M_{2\text{сух}} &= (0,135713 + 0,33242 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Кількість продуктів повного згорання M_2 за $\alpha \geq 1$ розраховуємо за рівнянням (2.2).

Підставивши отримані значення g_{H_2} , g_{O_2} та L_0 маємо

$$M_2 = (0,03625 + 0,00045625 + 0,5039226 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi}$$

Кількість вологих відпрацьованих газів за повного згорання палива, кмоль/год

$$M_{2\text{вол}} = (0,03670625 + 0,5039226 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \quad (2.8)$$

Кількість водяних парів у відпрацьованих газах, кмоль/год

$$M_{H_2O} = (0,006817 + 0,065683 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi}$$

Тобто за $\alpha \geq 1$ кількість сухих відпрацьованих газів, кмоль/год

$$M_{2\text{сух}} = (0,02988925 + 0,4382396 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \quad (2.9)$$

Для визначення маси викидів з відпрацьованими газами оксиду вуглецю та вуглеводнів визначаємо кількість сухих продуктів згорання за формулою (2.7) за $\alpha < 1$ і формулою (2.9) за $\alpha \geq 1$.

Маса забруднюючих речовин у кг/год визначаємо як:

$$G_{CO} = M_{2\text{сух}} \cdot \mu_{CO} \cdot \frac{C_{CO}}{100},$$

$$G_{C_m H_n} = M_{2\text{сух}} \cdot \mu_{C_6 H_{12}} \cdot 2,5 \cdot \frac{C_{C_m H_n}}{10^6},$$

За певний період прогрівання двигуна маса викидів у грамах визначаємо як

$$G_{\tau} = \sum \left(\frac{(G_{i+1} + G_i) \cdot 1000}{2} \cdot \frac{(\tau_{i+1} - \tau_i)}{3600} \right),$$

де i – номер точки в протоколі випробувань.

За даною методикою встановлено, що масові викиди CO за період прогрівання в русі до температури охолодної рідини $50^{\circ}C$ склали 21,04 г, а викиди $C_m H_n$ за період прогрівання – 3,16 г.

Сумарна токсичність по двох компонентах, приведена до CO , з урахуванням коефіцієнтів агресивності $R_{CO} = 1$ та $R_{C_mH_n} = 3,16$, склала

$$G_{\Sigma CO} = 21,04 + 3,16 \cdot 3,16 = 31,026 \text{ ум. г.}$$

Комбінований метод прогрівання двигуна.

Температурний діапазон прогрівання двигуна склав від $t_1 = -7^\circ\text{C}$ до $t_2 = 50^\circ\text{C}$.

Час прогрівання в режимі активного холостого ходу 220 секунд до температури охолодної рідини 34°C і в русі 135 секунд до досягнення температури t_2 . Загальний час прогрівання становив 355 секунд.

Сума витрати палива на прогрівання 184,7 мл. Пройдена відстань за цей період склала 0,269 км або 269 м. Подальший рух здійснювали з мінімальною витратою палива 1,178 л/год (0,882 кг/год) і максимальною – 5,054 л/год (3,785 кг/год) при середній витраті палива 3,116 л/год. (0,866 мл/с). Для подолання мірної ділянки довжиною 997 м необхідно додатково проїхати $997 - 269 = 728$ м. Рухаючись дорогою загального користування за швидкості 50 км/год (13,9 м/с) на подолання відстані 728 м необхідно $728 / 13,9 = 52,37$ с.

Загальна витрата палива для проходження шляху довжиною 997 м складає $184,7 + 52,37 \cdot 0,866 = 230,05$ мл. Економія по витраті палива складає 12,3 мл в порівнянні з прогріванням в русі, що становить $\frac{242,35 - 230,05}{242,35} \cdot 100 = 5,1\%$.

Масові викиди забруднюючих речовин оцінювали в період прогрівання до 50°C та розраховували при подальшому проходженні мірної ділянки довжиною 728 м.

Масові викиди CO за період прогрівання склали 9,538 г, а викиди C_mH_n за період прогрівання – 2,991 г.

Середні концентрації при проходженні додаткової відстані для завершення мірної ділянки складали:

$$C_{CO} = \frac{0,13 + 0,55}{2} = 0,34\%$$

$$C_{C_mH_n} = \frac{48 + 86}{2} = 67 \text{ млн.}^{-1}.$$

За середньої витрати палива 3,116 л/год, що становить 2,334 кг/год, кількість сухих відпрацьованих газів складала

$$M_{2\text{сух}} = (0,02988925 + 0,4382396 \cdot 1,01) \cdot 2,334 = 1,1028 \text{ кмоль/год}$$

Тобто масові викиди CO склали

$$G_{CO} = M_{2\text{сух}} \cdot \mu_{CO} \cdot \frac{C_{CO}}{100} \cdot \frac{\tau_{\text{відст}}}{3,6},$$

$$G_{CO} = 1,1028 \cdot 28 \cdot \frac{0,34}{100} \cdot \frac{52,37}{3,6} = 1,53 \text{ г}$$

Масові викиди C_mH_n :

$$G_{C_mH_n} = 1,1028 \cdot 86 \cdot 2,5 \cdot \frac{67}{10^6} \cdot \frac{52,37}{3,6} = 0,23 \text{ г.}$$

Сумарні викиди за прогрівання при комбінованому методі склали

$$G_{CO} = 9,538 + 1,53 = 11,068 \text{ г}$$

$$G_{C_mH_n} = 2,991 + 0,23 = 3,221 \text{ г.}$$

Сумарна токсичність по двох компонентах, приведена до CO , з урахуванням коефіцієнтів агресивності склали

$$G_{\Sigma CO} = 11,068 + 3,16 \cdot 3,221 = 21,246 \text{ ум. г.}$$

Зменшення сумарної токсичності становило

$$\frac{31,026 - 21,246}{31,026} \cdot 100 = 31,5\%$$

Тобто, за рахунок більш якісного прогрівання нейтралізатора за комбінованого методу прогрівання двигуна можливе зменшення на 31,5% масових викидів забруднюючих речовин в порівнянні з методом прогрівання в русі.

Метод прогрівання за активного холостого ходу.

Температурний діапазон прогрівання двигуна складав $t_1 = -8^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 50^{\circ}\text{C}$.

Час прогрівання встановлено на рівні 420 секунд.

Сумарна витрата палива на прогрівання до температури охолодної рідини $t_2 = 50^{\circ}\text{C}$ склала 172,5 мл.

Для подолання мірної ділянки необхідно додатково витратити певну кількість палива, а саме: ділянку при середній швидкості 36 км/год (10 м/с) долаємо за $\tau_{\text{руху}} = 99,7$ секунд.

При середній відстані, як у комбінованому методі прогрівання, додаткова витрата палива складає

$$0,866 \cdot 99,7 = 86,34 \text{ мл},$$

а сумарна за весь період

$$172,5 + 86,34 = 258,84 \text{ мл}.$$

Перевитрата палива складе

$$\frac{258,84 - 242,35}{242,35} \cdot 100 = 6,8\%$$

Масові викиди CO за період роботи в режимі активного холостого ходу склали 11,25 г, а викиди $C_m H_n$ – 3,498 г.

Будемо вважати, що подолання мірної ділянки аналогічне до комбінованого методу прогрівання, оскільки за активного холостого ходу вже досягнута температура охолодної рідини 50°C .

Можна вважати, що

$$M_{2\text{сух}} = 1,1028 \text{ кмоль/год}$$

Тобто масові викиди CO для подолання відстані в 997 м склали

$$G_{CO} = 1,1028 \cdot 28 \cdot \frac{0,34}{100} \cdot \frac{99,7}{3,6} = 2,908 \text{ г},$$

а масові викиди $C_m H_n$:

$$G_{C_m H_n} = 1,1028 \cdot 86 \cdot 2,5 \cdot \frac{67}{10^6} \cdot \frac{99,7}{3,6} = 0,44 \text{ г.}$$

Сумарні викиди становили:

$$G_{CO} = 11,25 + 2,908 = 14,23 \text{ г}$$

$$G_{C_m H_n} = 3,498 + 0,44 = 3,938 \text{ г.}$$

Сумарна токсичність по двох компонентах, приведена до CO , з урахуванням коефіцієнтів агресивності склала

$$G_{\Sigma CO} = 14,23 + 3,16 \cdot 3,938 = 26,674 \text{ ум. г.}$$

Дана величина нижча ніж за прогрівання двигуна в русі, але більша ніж за комбінованого методу.

Тому комбінований метод прогрівання є найбільш ефективним як з точки зору витрати палива на прогрівання двигуна, так і з точки зору зменшення забруднення навколишнього середовища.

2.4. Висновки до розділу 2

1. Розроблена структурна схема методики проведення дослідження.
2. Визначені показники прогрівання двигуна автомобіля за різних методів до температури охолодної рідини 50°C за температур атмосферного повітря $-6\dots-8^\circ\text{C}$. В режимі активного холостого ходу за мінімальної частоти обертання час прогрівання складає 420 секунд, витрата бензину 172,5 мл, при комбінованому методі, коли частково двигун прогрівається в режимі холостого ходу і подальше прогрівання здійснюється в режимі руху автомобіля за ощадливого надання навантаження ці показники відповідно складають 355 секунд та 184,7 мл, при прогріванні двигуна в русі автомобіля з мінімальним проміжком часу після запуску двигуна до початку руху ці показники дорівнюють 305 секунд і 250,2 мл.

3. За час прогрівання в режимі активного холостого ходу автомобіль залишався на місці паркування, за комбінованого методу і в русі він проїхав

0,269 км і 0,997 км відповідно. При порівнянні показників за однакового пробігу автомобіля 0,997 км витрата бензину за процес прогрівання різними, вище зазначеними методами, відповідно складає 258,84 мл, 230,05 мл, 242,35 мл.

4. Розраховані з використанням заміряних концентрацій викиди забруднюючих речовин CO і C_mH_n , приведені до CO , за вказаними методами прогрівання відповідно складають 26,674 г, 21,246 г, 31,026 г.

5. Комбінований метод прогрівання двигунів автомобілів найбільш доцільний для використання, як за витратою палива, так і за масовими викидами забруднюючих речовин, визначеними за продуктами неповного згорання.

Витрата палива зменшується на 5,1%, а сумарна токсичність за компонентами CO та C_mH_n , приведена до CO – на 31,5% в порівнянні з прогріванням двигуна в русі.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ДВИГУНА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ І ВИКИДИ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН АВТОМОБІЛЕМ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

3.1. Методика визначення впливу теплового стану двигуна на паливну економічність і викиди забруднюючих речовин автомобілем в експлуатаційних умовах

Для урахування зміни паливної економічності та екологічних показників в залежності від теплового стану двигуна за результатами експериментальних випробувань розраховуємо коефіцієнти впливу температурного стану двигуна на витрату палива і концентрації забруднюючих речовин у ВГ, які являють собою відношення поточних витрати палива і концентрацій забруднюючих речовин в процесі прогрівання двигуна до цих показників за випробування автомобіля з прогрітим двигуном залежно від температури охолодної рідини.

Коефіцієнти впливу температурного стану двигуна на витрату палива і концентрації забруднюючих речовин в ВГ представляємо у вигляді залежності від часу виконання їздового циклу та температури охолодної рідини. Поточну витрату палива і концентрації забруднюючих речовин у ВГ в процесі прогрівання двигуна визначаємо як добуток коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на значення цих показників під час випробування автомобіля з прогрітим двигуном.

Для визначення впливу підігрівання повітря на впуску в двигун на паливну економічність і викиди забруднюючих речовин автомобілем виходячи з температури охолодної рідини на початку випробування і прийнявши характер її зміни такою ж як без підігрівання, розраховуємо відношення коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна з підігрівом і без підігріву. Це відношення і визначає очікувану зміну показників роботи двигуна. В подальшому визначаємо поточну витрату палива і концентрації забруднюючих

речовин у ВГ та витрату палива і викиди забруднюючих речовин за процес прогрівання двигуна автомобіля до нормального теплового стану. Використовуючи отримані результати можна досліджувати, як впливає тепловий режим двигуна на початку прогрівання на показники паливної економічності і екологічні показники автомобіля та вплив інших експлуатаційних факторів.

Проведення досліджень згідно запропонованої методики.

Розглянемо випадок, коли умови проведення досліджень не дозволяють визначити математичні моделі двигуна, які описують двигун як джерело енергії, споживача палива і повітря, але можна провести заміри показників роботи двигуна в умовному русі автомобіля за режимами Європейського їздового циклу. Одним з основних питань у оцінці впливу процесу прогрівання двигуна є визначення впливу цього процесу на витрату палива. В процесі прогрівання записали величину миттєвої витрати палива. На рис. 3.1 показана зміна цього показника в процесі умовного руху автомобіля за режимами нового Європейського їздового циклу, який включає міський і заміський режими. Використання цієї залежності в показаному вигляді для подальших розрахунків практично неможливо. Тому вирішили використати результати лише тих замірів, які відповідають руху автомобіля зі сталими швидкостями: 15, 32 і 50 км/год і роботи двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу. Ці заміри найбільш достовірні.

Як видно з рис. 3.1, величини витрати палива для третього і четвертого фрагментів міського режиму практично однакові, тобто можна вважати, що прогрівання двигуна закінчилось в процесі виконання другого фрагменту.

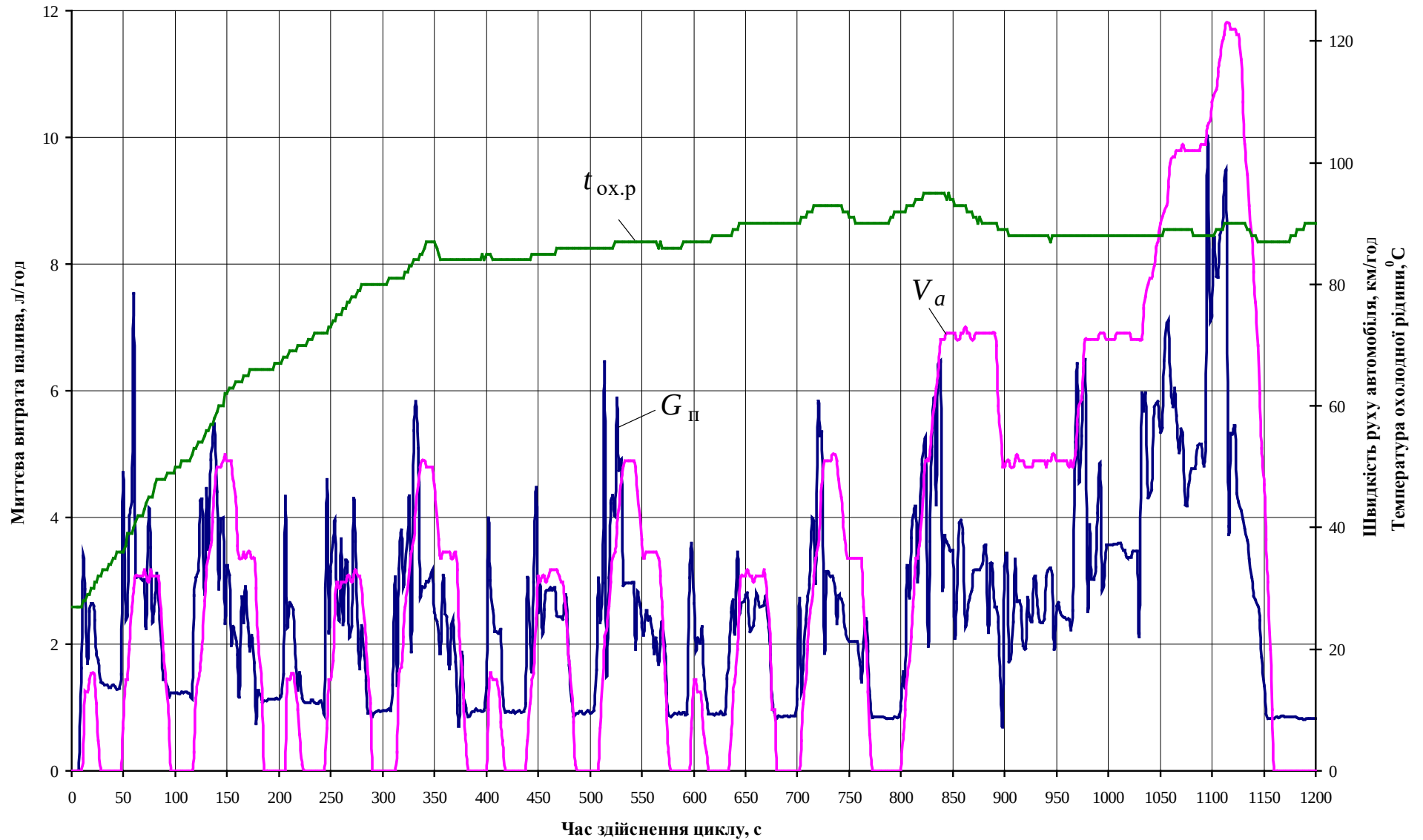


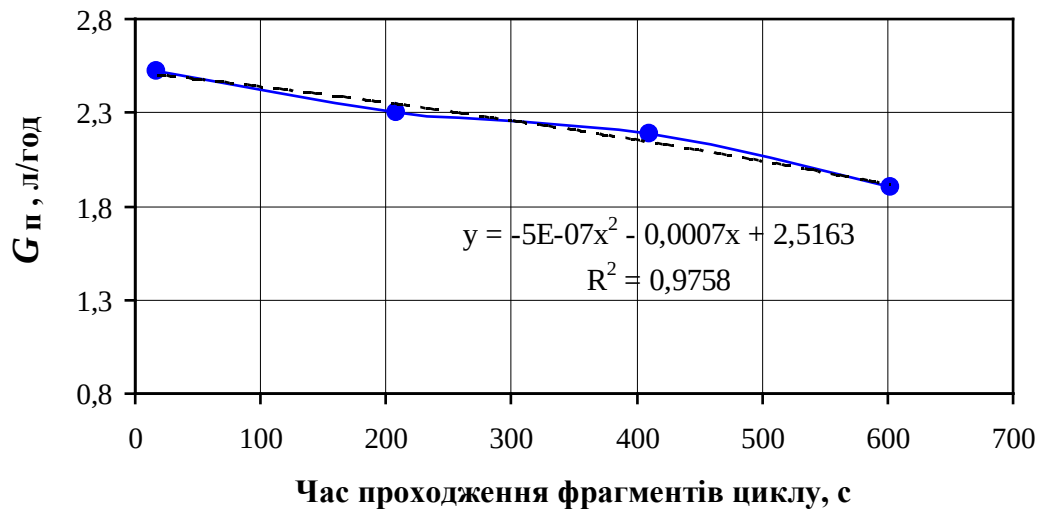
Рисунок 3.1 – Зміна миттєвої витрати палива, швидкості руху автомобіля, температури охолодної рідини при умовному русі за режимами Нового Європейського їздового циклу

В табл. 3.1 наведені заміряні величини годинної витрати бензину G_{Π} при швидкостях 15, 32 і 50 км/год в різних фрагментах циклу (л/год) із зазначенням часу заміру по мірі виконання циклу τ , с.

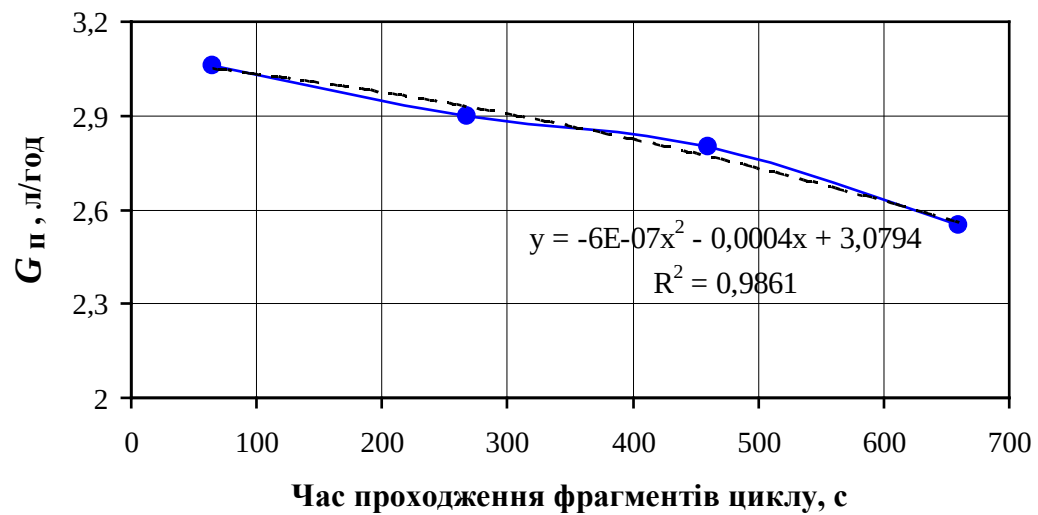
Таблиця 3.1 – Витрата палива за сталих швидкостей в циклі

Швидкість автомобіля, км/год	1 фрагмент		2 фрагмент		3 фрагмент		4 фрагмент	
	G_{Π} , л/год	τ , с	G_{Π} , л/год	τ , с	G_{Π} , л/год	τ , с	G_{Π} , л/год	τ , с
15	2,52	17	2,3	208	2,19	410	1,9	602
32	3,06	65	2,9	268	2,8	460	2,55	660
50	3,7	142	3,075	346	2,96	534	3,01	730

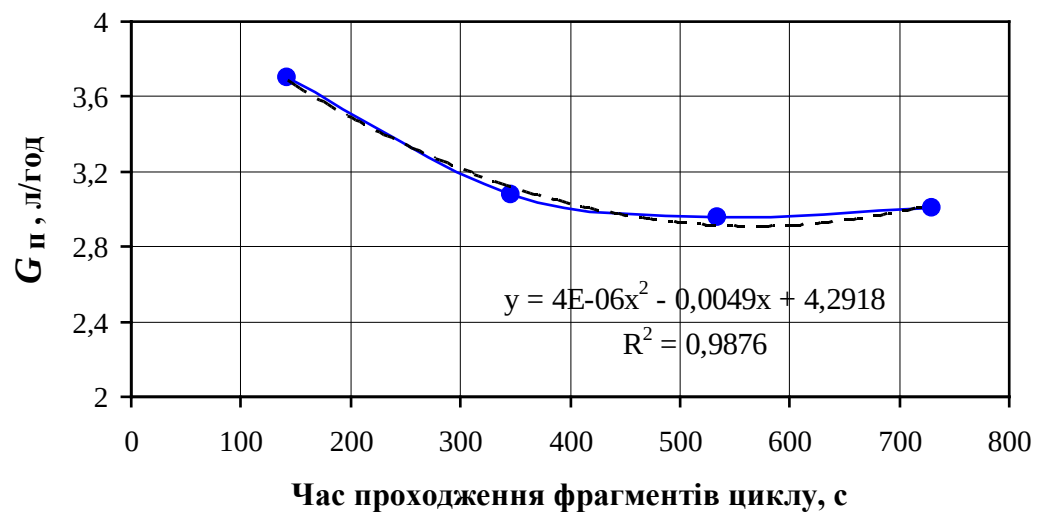
При опрацюванні отримані графічні залежності годинної витрати палива при різних швидкостях руху по мірі виконання їздового циклу. Ці залежності показані на рис. 3.2 (а, б, в). Як видно з показаних залежностей, годинна витрата палива при всіх швидкостях руху по мірі прогрівання двигуна зменшується, але характер змінювання дещо відрізняється.



а)



б)



в)

Рисунок 3.2 – Зміна годинної витрати палива при сталій швидкості руху автомобіля: а) при 15 км/год; б) при 32 км/год; в) при 50 км/год

В процесі прогрівання двигуна змінюється годинна витрата бензину за роботи двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу. В табл. 3.2 наведені дані замірів G_{Π} залежно від часу виконання циклу, G_{Π} на рис. 3.3 графічна залежність. Як видно з наведених даних, по мірі прогрівання G_{Π} зменшується.

Таблиця 3.2 – Витрата палива в циклі за роботи в режимі холостого ходу

$\tau, \text{с}$	28	100	200	230	300	380	430	500	580	620	680
$G_{\Pi}, \text{л/год}$	1,33	1,23	1,14	1,06	0,95	0,95	0,935	0,91	0,875	0,87	0,87

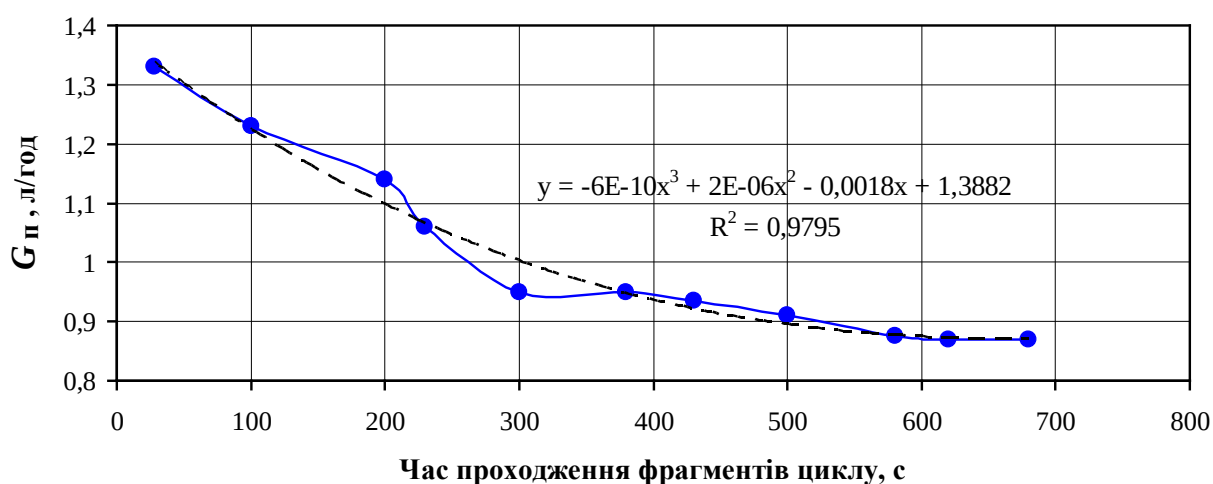


Рисунок 3.3 – Зміна витрати палива при роботі двигуна в режимі холостого ходу за фрагментами міського їздового циклу

Оскільки тепловий стан двигуна можна оцінити температурою охолодної рідини, доцільно визначити залежність цієї температури від часу проходження автомобілем циклу з використанням в подальшому залежності витрати бензину від температури і розрахунку коефіцієнтів впливу температурного стану. Залежність температури охолодної рідини від часу проходження автомобілем циклу, отримана в експерименті, показана на рис. 3.4.

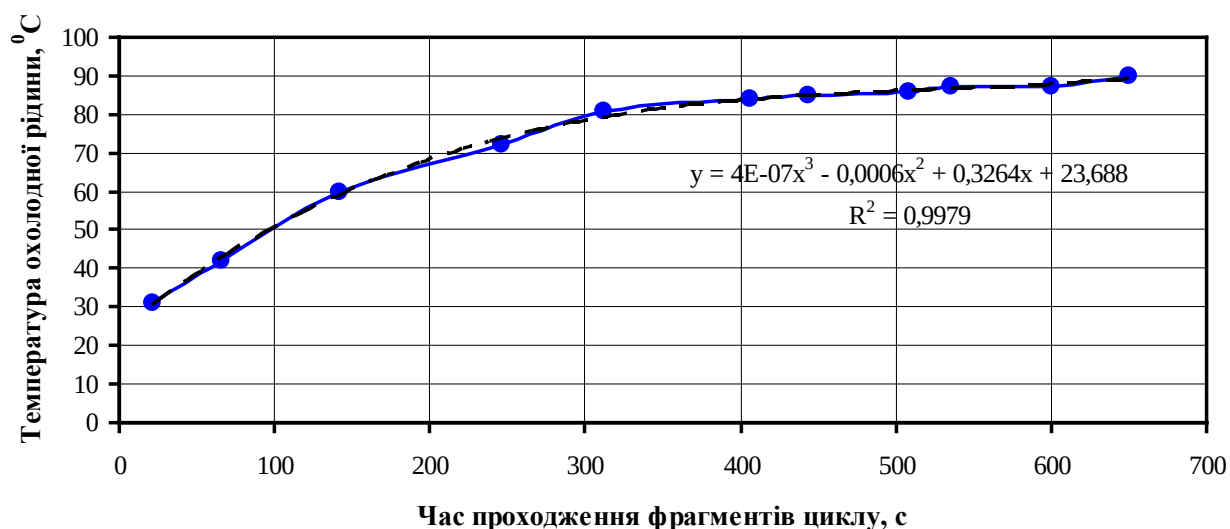


Рисунок 3.4 – Зміна температури охолодної рідини при проходженні міської частини циклу з непрогрітим двигуном

Всі показані залежності описані поліномами, приведеними на рисунках. Ці поліноми можна використати в розрахункових дослідженнях. Розрахунок коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на витрату бензину наведено у 5 розділі.

Дослідження впливу температурного стану двигуна на екологічні показники автомобіля є значно складнішою задачею в порівнянні з впливом температурного стану двигуна на витрату бензину. Це пояснюється тим, що витрата бензину визначається зовнішнім навантаженням і налаштуванням електронної системи управління зі зворотним зв'язком, яке враховує температурний стан двигуна забезпечуючи стабільну роботу двигуна за низької температури охолодної рідини. Під час досліджень впливу температурного стану двигуна на екологічні показники автомобіля при тій же температурі охолодної рідини на концентрацію ЗР у ВГ впливає ефективність роботи каталітичного нейтралізатора, яка визначається, як було показано в першому розділі, температурою каталізатора, тобто до названих вище навантаження і налаштування системи регулювання додається ще один фактор впливу. Задача ускладнюється тим, що вимірювання концентрацій ЗР у ВГ, проходить з деяким запізненням відносно режиму роботи двигуна, при цьому інерційність вимірювання для кожної ЗР різна. Тому була прийнята наступна методика

опрацювання експериментальних даних, яка враховує названі фактори впливу на концентрацію ЗР у ВГ. За руху автомобіля за Європейським їздовим циклом з інтервалом 0,1 с фіксували по мірі виконання циклу концентрацію ЗР в розбавлених ВГ. Приклад такого запису наведено в додатку Д. Опрацювання отриманих експериментальних даних провели наступним чином. Вибрали показники по концентраціям ЗР у ВГ для 15 режимів їздового циклу, при цьому врахували інерційність вимірювання окремих ЗР ($CO - 17$ с, $C_mH_n - 9$ с, $NO_x - 10$ с), в результаті отримали табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Концентрації забруднюючих речовин у ВГ в характерних точках їздового циклу (1 фрагмент)

Режим	Часова відмітка, с	Точка фіксації (+17 с) CO	CO , р.р.м.	Точка фіксації (+9 с) C_mH_n	C_mH_n , р.р.м.	Точка фіксації (+10 с) NO_x	NO_x , р.р.м.	Точка фіксації (+17 с) CO_2	CO_2 , %
1	12228	12245	2,74	12237	2,94	12238	0,015	12245	0,05
2	12232	12249	4,07	12241	3,42	12242	0,04	12249	0,07
3	12240	12257	1126	12249	7,98	12250	32	12257	0,32
4	12245	12262	2856	12254	4,98	12255	35,21	12262	0,92
5	12266	12283	339	12275	240	12276	8,08	12283	0,45
6	12272	12289	160	12281	177	12282	3,92	12289	0,46
6'	12278	12295	127	12287	161	12288	4,93	12295	0,63
7	12302	12319	370	12311	250	12312	38,82	12319	1,08
8	12313	12330	355	12322	115	12323	38,17	12330	1,07
9	12334	12351	151	12333	46	12334	5,41	12351	0,37
10	12340	12357	79	12349	30	12350	0,54	12357	0,43
10'	12351	12368	98	12360	48	12361	19,6	12368	1,19
10''	12360	12377	670	12369	117	12370	64,3	12377	1,24
11	12372	12389	728	12381	174	12382	14,2	12389	1,48
12	12380	12397	122	12389	27,2	12390	43,58	12397	1,02
13	12395	12412	12,8	12404	30,4	12405	1,62	12412	0,38
14	12405	12422	122	12414	35,5	12415	18,6	12422	0,76
15	12412	12429	11,2	12421	118	12422	1,91	12429	0,31

Ця таблиця відноситься до першого фрагменту їздового циклу, так як в кінці виконання цього фрагменту температура охолодної рідини досягла 63°C, тобто перевищила 60°C, до досягнення якої планується використовувати підігрів повітря на впуску в двигун. Аналогічні заміри провели для всіх чотирьох фрагментів.

Як показали заміри, в третьому і четвертому фрагментах їздового циклу концентрації ЗР у ВГ практично однакові, тобто можна вважати, що каталітичний нейтралізатор і двигун загалом прогрілися до нормального теплового стану, температура охолодної рідини досягла 90°C.

Таблиця 3.4 – Концентрації забруднюючих речовин у ВГ в характерних точках їздового циклу (4 фрагмент)

Режим	Часова відмітка, с	Точка фіксації (+17 с) CO	CO, р.р.м.	Точка фіксації (+9 с) CmHn	CmHn, р.р.м.	Точка фіксації (+10 с) NOx	NOx, р.р.м.	Точка фіксації (+17 с) CO2	CO2, %
2	12798	12815	16,5	12807	3	12808	0,16	12815	0,49
3	12806	12823	6	12815	3,9	12816	0,55	12823	0,27
4	12811	12828	9,3	12820	3,3	12821	0,29	12828	0,23
5	12832	12849	26	12841	13,1	12842	0,2	12849	0,8
6	12838	12855	8,6	12847	4,8	12848	0,69	12855	0,57
6'	12844	12861	4,5	12853	3,1	12854	0,16	12861	0,32
7	12866	12885	17,5	12877	3	12878	0,1	12885	0,92
8	12879	12896	283	12888	14,5	12889	20,4	12896	0,92
9	12900	12917	10	12909	2,92	12910	0,16	12917	0,78
10	12906	12923	13	12915	3,8	12916	0,13	12923	0,45
10'	12917	12934	4	12926	2,9	12927	0,13	12934	0,09
10''	12926	12943	29,5	12935	3,3	12936	0,25	12943	0,22
11	12938	12955	45,4	12947	3,1	12948	0,06	12955	0,78
12	12946	12963	220	12955	6,1	12956	0,55	12963	1,33
13	12961	12978	24	12970	5,3	12971	0,89	12978	1,1
14	12971	12988	7,4	12980	2,86	12981	0,7	12988	0,74
15	12978	12995	5,4	12987	3,1	12988	0,25	12995	0,23

В табл. 3.4 наведені результати замірів концентрації ЗР у ВГ в процесі руху автомобіля за режимами четвертого фрагменту з врахуванням інерційності вимірювання. Для визначення впливу теплового стану двигуна і нейтралізатора на концентрацію ЗР у ВГ, як і для витрати бензину ввели коефіцієнти впливу температурного стану двигуна, які розраховували як відношення концентрації в розбавлених ВГ певної ЗР за руху автомобіля в даному режимі в першому фрагменті циклу до концентрації в розбавлених ВГ цієї ЗР в тому ж режимі в четвертому фрагменті циклу. Для кожної ЗР коефіцієнт впливу температурного стану двигуна має певне значення і змінюється по певній закономірності. Розраховані закономірності коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на концентрацію ЗР наведені в розділі 5.

3.2. Аналіз їздового циклу для проведення досліджень

Основна задача в дисертаційному дослідженні – це визначення впливу автомобіля через викиди забруднюючих речовин у ВГ на довкілля, особливо за низьких температур атмосферного повітря.

Встановити математичні залежності можна при імітуванні руху автомобіля в найбільш характерних режимах його експлуатації у межах міста. Загальновизнаним для досліджень характерних режимів експлуатації є Новий Європейський їздовий цикл. Проте провести експериментальні дослідження за від'ємних температур за режимами Європейського їздового циклу на даний момент немає можливості.

Тому залишається можливість отримання даних на математичній моделі, що імітує рух автомобіля за режимами міської частини Європейського їздового циклу. Математичне моделювання, при встановленні адекватності математичної моделі, дає змогу отримати дані за будь-якої початкової температури реалізації циклу і при застосуванні додаткових засобів для прискорення прогрівання двигуна автомобіля [74].

Новий Європейський їздовий цикл складається з двох частин (рис. 3.5). Тривалість виконання циклу складає 1180 с. Перша частина – це міський

їздовий цикл UDC (Urban Driving Cycle) з максимальною швидкістю руху 50 км/год, який включає чотири однакових послідовних фрагментів режимів зміни швидкості, що нагадує умови руху автомобіля по місту. Друга частина циклу – швидкісний заміський цикл EUDC (Extra Urban Driving Cycle) з максимальною швидкістю руху 120 км/год (або 90 км/год для автомобіля з меншою максимальною швидкістю), який відтворює умови руху автомобіля магістраллю.

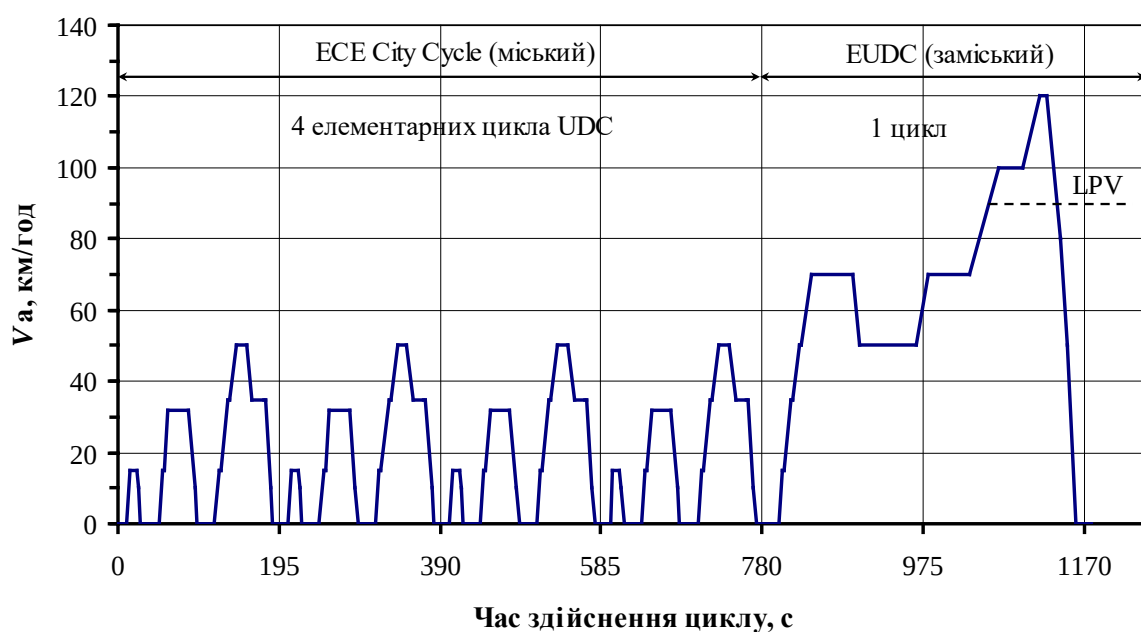


Рисунок 3.5 – Новий Європейський їздовий цикл (NEDC)

Їздовий цикл повністю відтворює експлуатаційні умови: робота двигуна автомобіля в режимі мінімальної частоти обертання активного холостого ходу та підвищеної частоти обертання холостого ходу перед початком руху, рух автомобіля з місця і розгін до певної швидкості, рух зі сталою швидкістю нетривалий час, перемикання передач з нижчої на вищу або у зворотному порядку, розгін автомобіля від однієї швидкості до іншої, гальмування двигуном для зменшення швидкості, службове гальмування до повної зупинки з використанням робочої гальмівної системи.

Оскільки чотири фрагменти міських режимів є однаковими, розглянемо детально один фрагмент міських режимів та імітаційний набір заміських режимів руху автомобіля.

На рис. 3.6 показано зміну швидкості в одному фрагменті міської частини їздового циклу і характерні точки фрагменту, а на рис. 3.7 – набір заміських режимів руху.

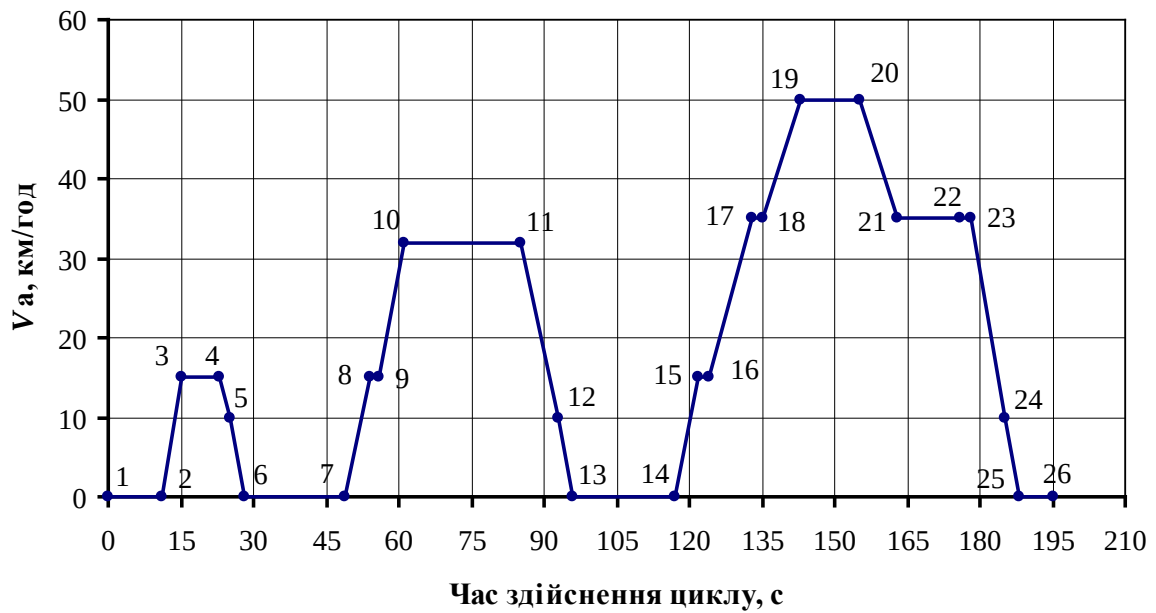


Рисунок 3.6 – Фрагмент міської частини Нового Європейського їздового циклу



Рисунок 3.7 – Характерні точки, що представлені в операційній карті для заміської частини Нового Європейського їздового циклу

В табл. 3.5 і 3.6 наведено операційні карти міських та заміських режимів руху автомобіля за Новим Європейським їздовим циклом.

Таблиця 3.5 – Операційна карта міської частини Нового Європейського їздового циклу згідно ГОСТ 20306–90 [75]

Відрізок шляху	Назва режиму роботи	Передача, що використовується*	Швидкість автомобіля, км/год	Тривалість режиму роботи, с	Прискорення, м/с ²	Сумарний час, с
1	2	3	4	5	6	7
1–2	Холостий хід	Н	–	11	–	11
2–3	Розгін	1	0...15	4	1,04	15
3–4	Постійна швидкість	1	15	8	–	23
4–5	Уповільнення	1	15...10	2	-0,69	25
5–6	Уповільнення з відключеним зчепленням	K1	10...0	3	-0,92	28
6–7	Холостий хід	Н	0	21	–	49
7–8	Розгін	1	0...15	5	0,83	54
8–9	Переключення передач	1-2	15	2	–	56
9–10	Розгін	2	15...32	5	0,94	61
10–11	Постійна швидкість	2	32	24	–	85
11–12	Уповільнення	2	32...10	8	-0,75	93
12–13	Уповільнення з відключеним зчепленням	K2	10...0	3	-0,92	96
13–14	Холостий хід	Н	15	21	–	117
14–15	Розгін	1	0...15	5	0,83	122
15–16	Переключення передач	1-2	15	2	–	124
16–17	Розгін	2	15...35	9	0,62	133
17–18	Переключення передач	2-3	35	2	–	135
18–19	Розгін	3	35...50	8	0,52	143
19–20	Постійна швидкість	3	50	12	–	155
20–21	Уповільнення	3	50...35	8	-0,52	163
21–22	Постійна швидкість	3	35	13	–	176
22–23	Переключення передач	3-2	32	2	–	178
23–24	Уповільнення	2	32...10	7	-0,86	185
24–25	Уповільнення з відключеним зчепленням	K2	10...0	3	-0,92	188
25–26	Холостий хід	Н	0	7	–	195

Примітка. Н – важіль коробки передач в нейтральному положенні при виключеному зчепленні; K1, K2 – коробка передач при включеній першій або другій передачі з виключеним зчепленням.

Таблиця 3.6 – Операційна карта режимів замиської частини Нового Європейського їздового циклу згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05 [76]

Номер операції	Назва режиму роботи	Передача, що використовується	Швидкість автомобіля, км/год	Тривалість режиму роботи, с	Прискорення, м/с ²	Сумарний час, с
1	2	3	4	5	6	7
1	Холостий хід	Н	0	20	–	20
2	Розгін	1	0...15	5	0,83	25
3	Переключення передач	1-2	15	2	-	27
4	Прискорення	2	15...35	9	0,62	36
5	Переключення передач	2-3	35	2	-	38
6	Прискорення	3	35...50	8	0,52	46
7	Переключення передач	3-4	50	2	-	48
8	Прискорення	4	50...70	13	0,43	61
9	Постійна швидкість	4	70	50	-	111
10	Уповільнення	4	70...50	8	-0,69	119
11	Постійна швидкість	4	50	69	-	188
12	Прискорення	4	50...70	13	0,43	201
13	Постійна швидкість	5	70	50	-	251
14	Прискорення	5	70...100	35	0,24	286
15	Постійна швидкість	5	100	30	-	316
16	Прискорення	5	100...120	20	0,28	336
17	Постійна швидкість	5	120	10	-	346
18	Уповільнення	5	120...80	16	-0,69	362
19	Уповільнення	5	80...50	8	-1,04	370
20	Уповільнення з відключеним зчепленням	K5*	50...0	10	-1,39	380
21	Холостий хід	Н	0	20	–	400

Примітка. K5 – коробка передач при включеній п'ятій передачі з виключеним зчепленням.

Як видно з рис. 3.6 і 3.7 та з табл. 3.5 та 3.6 Європейський їздовий цикл відтворює набір однотипних режимів:

- 1) Робота двигуна в режимі активного холостого ходу.
- 2) Розгін автомобіля без або з переключенням передач.
- 3) Рух автомобіля з постійною швидкістю.
- 4) Сповільнення автомобіля в режимі примусового холостого ходу або з відключенням від трансмісії автомобіля.

3.3. Основні рівняння уточненої математичної моделі

Математична модель базується на моделі, створеній на кафедрі «Двигуни та теплотехніка» Національного транспортного університету [4]. Математичні залежності дають змогу розрахувати паливну економічність та викиди забруднюючих речовин у разі умовного руху автомобіля у відповідності до режимів Європейського їздового циклу на кожному з етапів проходження певного режиму і загалом за їздовий цикл. Модель характеризує систему, що об'єднує три підсистеми: автомобіль – дорога – водій. Для визначення впливу температури атмосферного повітря на експлуатаційні показники автомобіля та екологічне навантаження на середовище, необхідно врахувати залежність рівня викидів забруднюючих речовин від температурного режиму двигуна та ввести до моделі додаткову підсистему – середовище.

Математична модель руху автомобіля – це система диференціальних рівнянь тягового балансу, якими встановлюються залежність зміни крутного моменту двигуна від умовної швидкості руху автомобіля або його прискорення чи сповільнення. При випробуванні автомобіля на стенді, крутний момент двигуна визначаємо як суму моментів на подолання сил опору коченню на стенді з біговими барабанами, умовного опору повітря, а також сил інерції рухомих мас [77].

Охарактеризуємо кожен режим з урахуванням підсистеми «середовище».

1) Робота двигуна в режимі мінімальної частоти обертання колінчатого вала двигуна в режимі холостого ходу.

У цьому режимі роботи двигуна ефективний крутний момент дорівнює нулю, частота обертання колінчатого вала двигуна n дорівнює мінімальній частоті обертання колінчатого вала в режимі холостого ходу $n_{\text{д.х.х}_{\min}}$ прогрітого двигуна. Для двигуна автомобіля Hyundai Getz, який прийнято, як об'єкт експериментальних досліджень, $n_{\text{д.х.х}_{\min}} = 710 \text{ хв}^{-1}$. Кут відкриття дросельних заслінок дорівнює одиниці ($\varphi_{\text{др}} = 1 \%$).

Для непрогрітого двигуна мінімальна частота обертання колінчатого вала в режимі холостого ходу залежить від температури охолодної рідини, яку встановили за лінійною залежністю

$$n_{\text{д.х.х}_{\min}} = f(t) = n_{\text{д.х.х}_0} + n_{\text{д.х.х}_1} \cdot t, \quad (3.1)$$

де t – температура охолодної рідини, $^{\circ}\text{C}$;

$n_{\text{д.х.х}_0}$, $n_{\text{д.х.х}_1}$ – коефіцієнти рівняння.

Крім цього встановили, що коефіцієнт надміру повітря α також залежить від температури охолодної рідини

$$\alpha = f(t) = \alpha_{\text{х.х}_0} + \alpha_{\text{х.х}_1} \cdot t + \alpha_{\text{х.х}_2} \cdot t^2. \quad (3.2)$$

Показники двигуна, а саме годинну витрату палива, масу викидів забруднюючих речовин визначаємо як функції $f(n)$, де n – частота обертання колінчастого валу.

Концентрації ЗР встановлюємо залежно від температури охолодної рідини $C_i = f(t)$ за результатами апроксимації характеристик, що отримали в період прогрівання на холостому ходу.

2) Розгін автомобіля з переключенням передач.

А) Розгін двигуна в режимі холостого ходу.

Це процес розгону двигуна в режимі від поточної мінімальної частоти холостого ходу від $n_{д.х.х}$ до $n_{підв}$, що відповідає початку рушання автомобіля з місця. В даних дослідженнях прийняли $n_{підв} = 2000 \text{ хв}^{-1}$.

Крутний момент M_K за період розгону визначається прискоренням $\frac{d\omega_D}{dt}$ зміни кутової швидкості і часом на підвищення частоти, який приймаємо величиною 1 с.

$$M_K = M_{ін} - M_B = I_D \cdot \frac{d\omega_D}{dt}, \quad (3.3)$$

де $M_{ін}$ – індикаторний крутний момент, Н·м;

M_B – момент механічних втрат, Н·м.

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

$\frac{d\omega_D}{dt}$ – кутове прискорення колінчатого вала двигуна, с^{-2} .

Враховуючи незначну тривалість даного режиму, приймаємо, що показники роботи двигуна визначаються як і в попередньому режимі.

Б) Рушання автомобіля з місця на першій передачі з пробуксовуванням зчеплення, що супроводжується зменшенням частоти обертання двигуна і збільшенням частоти веденої частини зчеплення.

На даному етапі автомобіль починає рухатись з пробуксовуванням зчеплення від швидкості $V_a = 0$. З початком руху автомобіля з місця залежності зміни частоти обертання двигуна і веденої частини зчеплення будуть різними.

У цьому випадку рух двигуна описується рівнянням [78]:

$$\frac{d\omega_D}{dt} = \frac{M_K - M_{зч}}{I_D}, \quad (3.4)$$

де M_K – крутний момент двигуна, Н·м;

$\frac{d\omega_{\text{Д}}}{dt}$ – кутове сповільнення колінчатого вала двигуна, с^{-2} ;

$M_{\text{зч}}$ – момент тертя зчеплення, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

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

У період сповільнення колінчатого вала двигуна кінетична енергія мас, що обертаються, передається на збільшення кутового прискорення веденої частини зчеплення.

Рівняння руху веденої частини зчеплення з урахуванням приєднаних до нього мас автомобіля і стенда, приведених до веденої частини зчеплення [78]:

$$\frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt} = \frac{(M_{\text{зч}} - M_{\text{оп}})}{I_{\text{пр}}} \cdot \eta_{\text{Т}}, \quad (3.5)$$

де $\eta_{\text{Т}}$ – ККД трансмісії, $\eta_{\text{Т}} = 0,862$ (за результатами випробувань на стенді з біговими барабанами);

$I_{\text{пр}}$ – приведений до зчеплення момент інерції рухомих мас автомобіля, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$\frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt}$ – прискорення веденої частини зчеплення – величина постійна, задана програмою їздового циклу для кожного етапу випробувань, с^{-2} ;

$M_{\text{оп}}$ – момент опору руху автомобіля на стенді з біговими барабанами, приведений до колінчатого вала, $\text{Н}\cdot\text{м}$.

Після вирішення рівнянь (3.4) і (3.5) отримаємо рівняння для визначення крутного моменту двигуна

$$M_{\text{К}} = I_{\text{Д}} \cdot \frac{d\omega_{\text{Д}}}{dt} + \frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt} + M_{\text{оп}} \quad (3.6)$$

Величини, що входять в (3.6) визначаються за наведеними нижче залежностями. Момент опору руху автомобіля, приведений до колінчатого вала описуємо наступним рівнянням [78]

$$M_{\text{оп}} = \frac{(m_0 + m_{\text{ван}}) \cdot (f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot r_{\text{д}} \cdot g + kF \left(\frac{V_{\text{а}}}{3,6} \right)^2 \cdot r_{\text{д}}}{U_i \cdot U_{\text{гп}} \cdot \eta_{\text{т}}}.$$

В початковий момент за початку руху автомобіля горизонтальною ділянкою дороги $\sin \alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$ і момент опору описуємо рівнянням

$$M_{\text{оп}} = \frac{\left[(m_0 + m_{\text{ван}}) \cdot f \cdot g + kF \left(\frac{V_{\text{а}}}{3,6} \right)^2 \right] \cdot r_{\text{д}}}{U_i \cdot U_{\text{гп}} \cdot \eta_{\text{т}}}, \quad (3.7)$$

де m_0 – власна маса автомобіля, кг. Для автомобіля Hyundai Getz $m_0 = 1143$ кг;

$m_{\text{ван}}$ – маса вантажу, кг. За умовами випробування легкових автомобілів за режимами Нового Європейського їздового циклу $m_{\text{ван}} = 100$ кг [75];

f – коефіцієнт опору коченню автомобіля;

kF – фактор обтічності автомобіля, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$;

$r_{\text{д}}$ – динамічний радіус колеса, м;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м} / \text{с}^2$;

U_i , $U_{\text{гп}}$ – передаточні числа коробки передач і головної передачі відповідно.

Для визначення коефіцієнта f можна використати формулу, що запропонував проф. Говорущенко М. Я. [79]:

$$f = f_0 \left(1 + AV_a^2 \right), \quad (3.8)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню.

A – постійний коефіцієнт, $A = (4 \dots 5) \cdot 10^{-5}$;

V_a – швидкість автомобіля, км/год.

Проте дана формула може застосовуватися лише в замській частині їздового циклу. Тому приймаємо $f = f_0$.

Під час рушання автомобіля з місця і руху з пробуксовуванням зчеплення прискорення автомобіля повинно задовольняти вимоги їздового циклу, однак частота обертання колінчастого вала двигуна не повинна знижуватися нижче допустимого значення $n_{\text{доп}}$, при якому ще можлива короткочасна робота двигуна під навантаженням, яка для двигунів внутрішнього згоряння складає $n_{\text{доп}} = 900 \div 1200 \text{ хв}^{-1}$ [80].

Зв'язок між частотою обертання колінчастого вала n_d , кутовою швидкістю колінчастого валу ω_d і швидкістю руху автомобіля, при блокованому зчепленню, визначаємо за залежностями:

$$n_d = \frac{\omega_d \cdot 30}{\pi}, \text{ с}^{-1}; \quad (3.9)$$

$$V_a = \frac{n_d \cdot \pi \cdot r_d \cdot 3,6}{U_i \cdot U_{\text{гп}} \cdot 30}, \text{ км/год.} \quad (3.10)$$

Приведений до зчеплення момент інерції рухомих мас автомобіля з урахуванням передаточних чисел коробки передач і головної передачі визначаємо за залежністю [78]:

$$I_{\text{пр}} = \frac{(m_0 + m_{\text{ван}}) \cdot r_{\text{д}}^2}{U_i^2 \cdot U_{\text{гп}}^2} + \sum_1^n \frac{I_{\text{к}}}{U_i^2 \cdot U_{\text{гп}}^2}, \quad (3.11)$$

де $I_{\text{к}}$ – момент інерції колеса, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

n – кількість ведучих коліс. При випробуванні автомобіля на стенді з біговими барабанами $n = 2$.

Експлуатаційні показники автомобіля (годинна витрата бензину, концентрації забруднюючих речовин) в навантажувальних режимах визначають як функції $f(M_{\text{к}})$.

В) Розгін автомобіля при блокованому зчепленні з постійним прискоренням.

На даному етапі рух автомобіля може бути описаний рівнянням, отриманим з тягового балансу

$$M_{\text{к}} = \left(I_{\text{д}} + \frac{1}{\eta_{\text{т}}} \cdot I_{\text{пр}} \right) \cdot \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} + M_{\text{оп}}. \quad (3.12)$$

У період розгону автомобіля при блокованому зчепленні з постійним прискоренням дросельна заслінка постійно переміщується, що забезпечує

$M_{\text{к}} = \text{const}$ при постійному для кожної ділянки їздового циклу $\frac{d\omega_{\text{д}}}{dt}$ [80].

Г) Перемикання передач.

ГОСТ 20306–90 під час перемикання передач з нижчої на підвищену і з вищої на понижену регламентує тільки час перемикання $t_{\text{п}}$, тобто для всіх випадків $t_{\text{п}} = 2 \text{ с}$ [75].

При цьому, за такий короткий час, не відбувається зміни умовної швидкості руху автомобіля на стенді з біговими барабанами. Це забезпечує і додаткова інерційність бігових циліндрів, навіть за частот обертання до 500 хв^{-1} .

Під час перемикання передач водій за допомогою зчеплення від'єднує двигун від трансмісії. У цей час двигун працює в режимі примусового

холостого ходу. Після включення відповідної передачі водій відпускає педаль зчеплення.

У разі, коли водій вмикає підвищену передачу, n_d на нижчій передачі більше n_d на підвищеній передачі. У цей час інерційний момент двигуна I_d витрачається на подолання моменту механічних втрат двигуна M_B , а також моменту опору руху автомобіля на стенді з біговими барабанами $M_{оп.в}$.

При переході на підвищену передачу рівняння руху двигуна в режимі примусового холостого ходу визначається за залежністю

$$I_d \cdot \frac{d\omega_d}{dt} = M_B + M_{оп.в}, \quad (3.13)$$

де $M_{оп.в}$ – момент опору руху автомобіля на стенді з біговими барабанами, приведений до колінчатого вала на підвищеній передачі

$$M_{оп.в} = \frac{\left[(m_0 + m_{ван}) \cdot f \cdot g + kF \left(\frac{V_a}{3,6} \right)^2 \right] \cdot r_d}{U_{i+1} \cdot U_{гп} \cdot \eta_T}. \quad (3.14)$$

Одночасно з ввімкненням зчеплення водій збільшує частоту обертання двигуна, тому в момент ввімкнення зчеплення можливі різні співвідношення кутової швидкості двигуна і веденої частини зчеплення. Для спрощення розрахунків приймається, що ці швидкості рівні, пробуксовування зчеплення при ввімкненні відсутнє.

Вирівнювання ω_d та $\omega_{зч}$ відбувається впродовж часу

$$t_{ВВ} = I_d \cdot \int_{\omega_{дв}}^{\omega_{дн}} \frac{1}{M_B + M_{оп.в}} d\omega, \quad (3.15)$$

де $\omega_{дн}$ – кутова швидкість колінчатого вала двигуна в кінці процесу розгону на нижчій передачі;

$\omega_{ДВ}$ – кутова швидкість колінчатого вала двигуна на початку процесу розгону на підвищеній передачі.

Надалі розгін двигуна при ввімкненій підвищеній передачі відбувається при блокованому зчепленні з постійним прискоренням.

У разі, коли водій вмикає нижчу передачу інерційний момент мас стенда, що обертаються, і автомобіля витрачаються на збільшення кінетичної енергії мас двигуна, подолання моменту механічних втрат двигуна і моменту опору руху автомобіля на стенді з біговими барабанами.

При переході на нижчу передачу рівняння руху двигуна в режимі примусового холостого ходу визначається за залежністю

$$I_{пр} \cdot \frac{d\omega_{зч}}{dt} = \left(I_{Д} \cdot \frac{d\omega_{Д}}{dt} + M_{В} \right) \cdot \frac{1}{\eta_{Т}} + M_{оп.н} , \quad (3.16)$$

де $M_{оп.н}$ – момент опору руху автомобіля на стенді з біговими барабанами, приведений до колінчатого вала на пониженій передачі

$$M_{оп.н} = \frac{\left[(m_0 + m_{ван}) \cdot f \cdot g + kF \left(\frac{V_a}{3,6} \right)^2 \right] \cdot r_{Д}}{U_{i-1} \cdot U_{ГП} \cdot \eta_{Т}} . \quad (3.17)$$

Вирівнювання $\omega_{Д}$ та $\omega_{зч}$ відбувається впродовж часу

$$t_{ВН} = I_{пр} \cdot \int_{\omega_{зчк}}^{\omega_{зч}} \frac{1}{\frac{1}{\eta_{Т}} \cdot M_{В} + M_{оп.н}} d\omega - \frac{1}{\eta_{Т}} \cdot I_{Д} \cdot \int_{\omega_{Дк}}^{\omega_{Д}} \frac{1}{\frac{1}{\eta_{Т}} \cdot M_{В} + M_{оп.н}} d\omega , \quad (3.18)$$

де $\omega_{зчк}$, $\omega_{Дк}$ – кутові швидкості веденої частини зчеплення і колінчатого вала наприкінці режиму руху автомобіля з постійною швидкістю ($\omega_{зчк} = \omega_{Дк}$);

$\omega_{зч}$, $\omega_{Д}$ – кутові швидкості веденої частини зчеплення і колінчатого вала на початок сповільнення автомобіля на пониженій передачі ($\omega_{зч} = \omega_{Д}$).

У випадку коли тривалість вирівнювання кутових швидкостей $\omega_{\text{Д}}$ і $\omega_{\text{ЗЧ}}$ на пониженій передачі більше передбачених ГОСТ 20306–90 2 с [75], для здійснення сповільнення водій користується штатною гальмівною системою автомобіля ($M_{\text{Г}}$).

У такому разі рівняння руху двигуна в режимі примусового холостого ходу визначається за залежністю:

$$I_{\text{Пр}} \cdot \frac{d\omega_{\text{ЗЧ}}}{dt} = \left(I_{\text{Д}} \cdot \frac{d\omega_{\text{Д}}}{dt} + M_{\text{В}} \right) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{Т}}} + M_{\text{оп.н}} + M_{\text{Г}}. \quad (3.19)$$

Показники автомобіля при перемиканні передач в режимах примусового холостого ходу визначаються у вигляді функції від частоти обертання колінчатого вала двигуна $f(n)$.

3) Режим руху автомобіля з постійною швидкістю.

При русі автомобіля у цьому режимі необхідний крутний момент двигуна визначається з рівняння тягового балансу з врахуванням значення f

$$M_{\text{К}} = M_{\text{оп}}. \quad (3.20)$$

Кутова швидкість колінчатого вала визначається наступним чином

$$\omega_{\text{Д}} = \frac{V_{\text{а}} \cdot U_{\text{і}} \cdot U_{\text{ГП}}}{r_{\text{Д}} \cdot 3,6}. \quad (3.21)$$

Показники автомобіля в навантажувальних режимах визначають як функції $f(M_{\text{К}})$.

4) Режим сповільнення автомобіля.

А) Сповільнення автомобіля при блокованому зчепленні.

Цей вид сповільнення доволі часто використовується в експлуатаційних умовах при інтенсивному дорожньому русі. Таке сповільнення має місце при відпусканні педалі акселератора і частковому прикритті дросельної заслінки водієм [4].

При русі автомобіля на стенді кінетична енергія мас, що обертаються, стенда, трансмісії, коліс і двигуна витрачається на подолання механічних втрат в двигуні, трансмісії, стенді і подолання опору руху автомобіля на стенді з біговими барабанами [80].

У випадку, якщо вказана кінетична енергія більше моменту опору руху автомобіля і моменту механічних втрат двигуна, водій забезпечує виконання режиму сповільнення, заданого програмою циклу, шляхом використання службового гальма.

У такому випадку рух автомобіля описується рівнянням

$$\frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} = \frac{\frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot M_{\text{В}} + \eta_{\text{Т}} \cdot M_{\text{оп}} + M_{\text{Г}}}{I_{\text{д}} + I_{\text{пр}}}, \quad (3.22)$$

де $M_{\text{Г}}$ – приведений до колінчатого вала двигуна гальмівний момент на колесах автомобіля (службового гальма), Н·м;

$M_{\text{В}}$ – момент механічних втрат двигуна, Н·м.

Показники автомобіля в даному випадку визначають у вигляді функції від частоти обертання колінчатого вала двигуна $f(n)$.

У разі, якщо кінетична енергія мас, що обертаються, автомобіля, двигуна і стенда буде меншою моменту опору руху автомобіля і моменту механічних втрат двигуна, рух автомобіля описується рівнянням

$$\frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} = \frac{\frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot M_{\text{В}} + \eta_{\text{Т}} \cdot M_{\text{оп}}}{I_{\text{д}} + I_{\text{пр}}}. \quad (3.23)$$

Окремо визначається час, за який автомобіль уповільниться до заданої програмою їздового циклу швидкості

$$t_{\text{п.х.х}} = (I_{\text{д}} + I_{\text{пр}}) \cdot \int_{\omega_{\text{дк}}}^{\omega_{\text{д}}} \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot M_{\text{В}} + \eta_{\text{Т}} \cdot M_{\text{оп}}} d\omega, \quad (3.24)$$

де $\omega_{Дк}$ – кутова швидкість колінчатого вала наприкінці режиму руху автомобіля з постійною швидкістю;

$\omega_{Д}$ – кутова швидкість колінчатого вала наприкінці режиму сповільнення автомобіля до заданої швидкості.

Різниця між $t_{Пх.х}$ і тривалістю режиму згідно з програмою їздового циклу на сповільнення автомобіля в режимі примусового холостого ходу при блокованому зчепленні додається до тривалості наступного режиму.

Показники автомобіля визначають також за функцією $f(n)$.

Б) Сповільнення двигуна з вимкненим зчепленням.

Після від'єднання зчеплення водій не впливає на частоту обертання колінчатого вала двигуна. Двигун зменшує частоту обертання колінчатого вала в режимі примусового холостого ходу. Рівняння руху двигуна у цей період

$$\frac{d\omega_{Д}}{dt} = \frac{M_{В}}{I_{Д}}. \quad (3.25)$$

Тривалість зменшення кутової швидкості колінчатого вала до мінімальної частоти обертання в режимі холостого ходу визначає за залежністю

$$t_{х.х} = I_{Д} \cdot \int_{\omega_{Дзч}}^{\omega_{Дх.х}} \frac{1}{M_{В}} d\omega, \quad (3.26)$$

де $\omega_{Дзч}$ – кутова швидкість колінчатого вала в момент відключення зчеплення;

$\omega_{Дх.х}$ – кутова швидкість колінчатого вала на холостому ходу.

Різниця між $t_{х.х}$ і тривалістю режиму згідно з програмою їздового циклу на сповільнення з вимкненим зчепленням також додається до тривалості наступного режиму (холостого ходу).

Показники автомобіля за період сповільнення двигуна до мінімальної частоти обертання колінчастого вала в режимі холостого ходу визначають як функції $f(n)$.

З відключенням зчеплення одночасно водій службовими гальмами автомобіля сповільнює обертання бігових барабанів до їх повної зупинки.

Рівняння руху автомобіля визначається залежністю

$$\frac{d\omega_{зч}}{dt} = \frac{M_{оп} + M_{г}}{I_{пр}}. \quad (3.27)$$

3.4. Визначення паливної економічності та екологічних показників автомобіля в процесі руху за їзовим циклом

Паливна економічність та екологічні показники автомобіля найбільш повно характеризують транспортний засіб як споживача палива і джерело забруднення навколишнього середовища.

Згадані показники роботи двигуна з досить високим ступенем достовірності можна описати за допомогою поліноміальних залежностей, встановлених експериментально:

$$y = f(z_1); \quad y = f(z_1, z_2); \quad y = f(z_1, z_2, z_3)$$

де z_1, z_2, z_3 – змінні, які впливають на показник, що вивчається.

Оскільки під час руху автомобіля за Європейським їзовим циклом його двигун працює в навантажувальному режимі, режимі холостого ходу і режимі примусового холостого ходу, то і показники роботи двигуна доцільно описати за допомогою поліноміальних залежностей для кожного режиму окремо.

В навантажувальному режимі дозування палива встановлюється в залежності від тиску у впускному трубопроводі $p_{вп}$, якому пропорційна величина управляючого імпульсу для електромагнітних форсунок τ_e [81]. Пропорційно до тривалості імпульсу встановлюється і величина циклової подачі, і годинна витрата палива. Програма дозування паливоподачі (рис. 3.8) у

сучасних системах з підтриманням оптимального коефіцієнта надміру повітря α і зворотнім зв'язком розроблена за умовами:

a – найкращої паливної економічності;

b – мінімальної токсичності ВГ;

c – максимальної потужності.

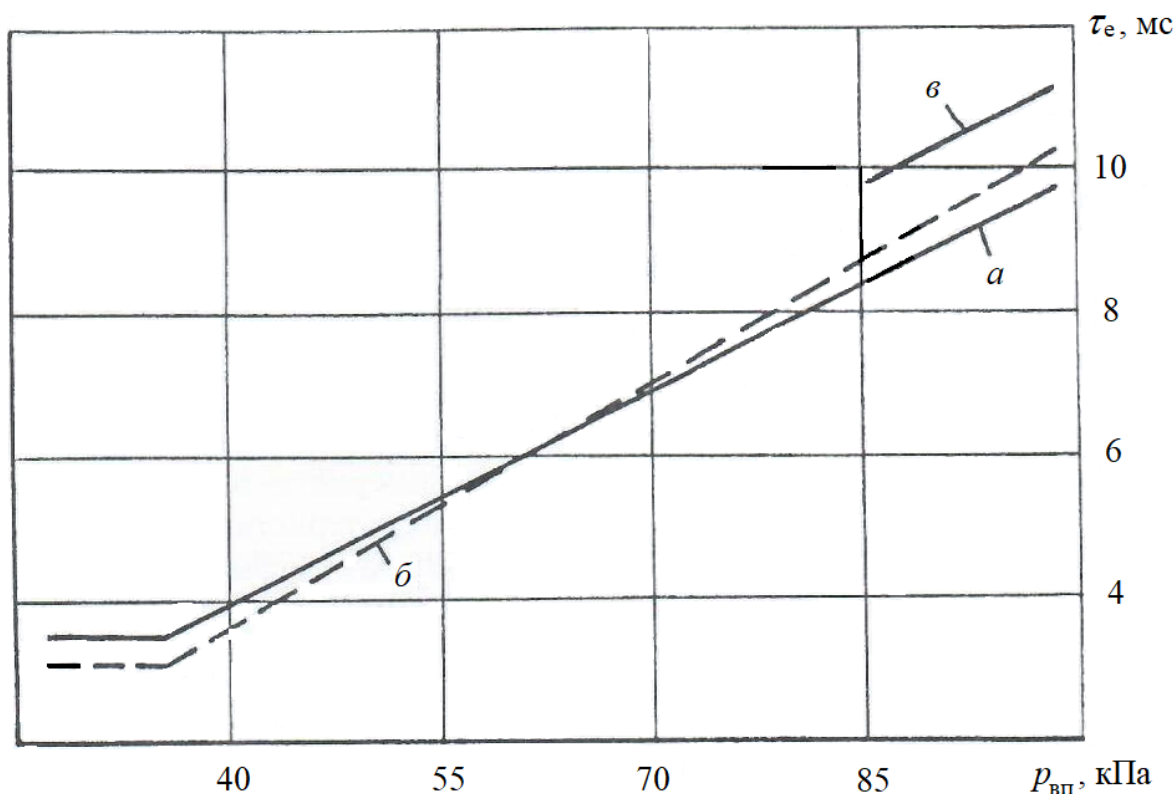


Рисунок 3.8 – Програма керування дозуванням палива [81].

Перехід від одних умов до інших закладається у пам'ять мікропроцесора.

Отримавши навантажувальну характеристику, ми підтвердили впровадження саме такої програми керування на автомобілі, що виступав об'єктом експериментальних досліджень.

Якщо в їздовому циклі автомобіль не виходить на режим повної потужності двигуна, то за зміни навантаження приймаємо лінійну залежність витрати палива від крутного моменту двигуна та температури охолодної рідини

$$G_{\Pi} = f(M_K) = (a_0 + a_1 \cdot M_K) \cdot K_T, \quad (3.28)$$

де M_K – крутний момент двигуна, Н·м;

a_0, a_1 – коефіцієнти полінома;

K_T – коефіцієнт впливу температурного стану за витрати палива.

Згідно з [82] значення Δp_K залежать від крутного моменту M_K і можуть бути описані як лінійне рівняння

$$\Delta p_K = d_0 + d_1 \cdot M_K, \quad (3.29)$$

де d_0, d_1 – коефіцієнти полінома.

В режимах активного холостого ходу показники роботи двигуна можна визначити як функцію другого чи вищого порядку за одного аргументу

$$y = f(z_1) = b_0 + b_1 \cdot z_1 + b_2 \cdot z_1^2, \quad (3.30)$$

де $b_0, b_1 \dots b_2$ – коефіцієнти полінома.

У режимах примусового холостого ходу залежності представляють собою лінійне рівняння

$$y = f(n) = c_0 + c_1 \cdot n, \quad (3.31)$$

де c_0, c_1 – коефіцієнти полінома.

Викиди забруднюючих речовин та паливну економічність автомобіля розраховуємо, зважаючи на режими роботи двигуна і його показники, в цих режимах.

Під час роботи двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу викиди забруднюючих речовин і витрата палива повністю визначаються характеристиками двигуна з урахуванням характеристик прогрівання двигуна.

В режимах активного холостого ходу, двигун, як споживач палива, і джерело забруднюючих викидів описується поліноміальними залежностями цих показників від частоти обертання колінчастого вала $n_d(G_P, NO_x)$ чи температури охолодної рідини t , визначеними за результатами експериментів, наступного виду:

$$\begin{aligned}
CO &= d_{x0} + d_{x1}t + d_{x2}t^2; \\
C_m H_n &= k_{x0} + k_{x1}t + k_{x2}t^2; \\
NO_x &= m_{x0} + m_{x1}n_d + m_{x2}n_d^2; \\
CO_2 &= h_{x0} + h_{x1}t + h_{x2}t^2; \\
G_{\Pi} &= c_{x0} + c_{x1}n_d + c_{x2}n_d^2;
\end{aligned} \tag{3.32}$$

Концентрації забруднюючих речовин, витрата палива в навантажувальних режимах (розгін автомобіля, рух з усталеною швидкістю) розраховуємо за поліноміальними залежностями різних ступенів, визначеними за результатами експериментів, залежно від величини крутного моменту двигуна:

$$\begin{aligned}
CO &= (d_0 + d_1 M_K + d_2 M_K^2 + d_3 M_K^3) \cdot K_{CO}; \\
C_m H_n &= (k_0 + k_1 M_K + k_2 M_K^2 + k_3 M_K^3) \cdot K_{C_m H_n}; \\
NO_x &= (m_0 + m_1 M_K + m_2 M_K^2 + m_3 M_K^3 + m_4 M_K^4) \cdot K_{NO_x}; \\
CO_2 &= h_0 + h_1 M_K + h_2 M_K^2 + h_3 M_K^3; \\
G_{\Pi} &= (c_0 + c_1 M_K) \cdot K_T.
\end{aligned} \tag{3.33}$$

Під час переключення на вищу передачу двигун працює в режимі примусового холостого ходу.

Розрахунок концентрацій забруднюючих речовин здійснюємо за поліноміальними залежностями, які визначено для цього режиму

$$\begin{aligned}
CO &= d_{\Pi 0} + d_{\Pi 1}n_d + d_{\Pi 2}n_d^2; \\
C_m H_n &= k_{\Pi 0} + k_{\Pi 1}n_d + k_{\Pi 2}n_d^2; \\
CO_2 &= h_{\Pi 0} + h_{\Pi 1}n_d + h_{\Pi 2}n_d^2; \\
NO_x &\approx 0
\end{aligned} \tag{3.34}$$

Витрату палива в режимі примусового холостого ходу приймаємо такими, як в режимі активного холостого ходу.

Витрату палива та концентрації забруднюючих речовин в режимі гальмування автомобіля з приєднаним двигуном розраховуємо за залежностями примусового холостого ходу, з від'єднаним двигуном – за поліномами активного холостого ходу.

Масові викиди забруднюючих речовин розраховуємо за концентраціями цих речовин, годинними витратами палива G_{Π} (кг/год), значеннями коефіцієнту надміру повітря α та розрахованими числовими коефіцієнтами:

$$G_{CO} = \frac{28 \cdot C_{CO}}{100} \cdot (0,135713 + 0,33242 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha < 1$$

$$G_{CO} = \frac{28 \cdot C_{CO}}{100} \cdot (0,02988925 + 0,4382396 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha \geq 1$$

$$G_{C_m H_n} = \frac{215 \cdot C_{C_m H_n}}{10^6} \cdot (0,135713 + 0,33242 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha < 1$$

$$G_{C_m H_n} = \frac{215 \cdot C_{C_m H_n}}{10^6} \cdot (0,02988925 + 0,4382396 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha \geq 1$$

$$G_{NO_x} = \frac{46 \cdot C_{NO_x}}{10^6} \cdot (0,14253 + 0,3981 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha < 1$$

$$G_{NO_x} = \frac{46 \cdot C_{NO_x}}{10^6} \cdot (0,03670625 + 0,5039226 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha \geq 1$$

$$G_{CO_2} = \frac{44 \cdot C_{CO_2}}{100} \cdot (0,135713 + 0,33242 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha < 1$$

$$G_{CO_2} = \frac{44 \cdot C_{CO_2}}{100} \cdot (0,02988925 + 0,4382396 \cdot \alpha) \cdot G_{\Pi} \text{ при } \alpha \geq 1$$

Масові сумарні викиди забруднюючих речовин, зведені до CO , обчислюємо з урахуванням коефіцієнтів відносної агресивності окремих компонентів, умовн. г

$$\Delta G_{\Sigma} = G_{CO} + 3,16 G_{C_m H_n} + 41,1 G_{NO_x} \cdot \quad (3.35)$$

Масові викиди забруднюючих речовин і витрата палива за період руху автомобіля в даному режимі або за весь цикл, г

$$G_{i_{\text{ц}}} = \sum \Delta G_i ; \quad G_{\text{п}_{\text{ц}}} = \sum \Delta G_{\text{п}} \quad (3.36)$$

Умовний шлях пройдений автомобілем за період $\Delta \tau$ і в даному режимі або за весь цикл, м

$$\Delta S = V \cdot \Delta \tau ; \quad S = \sum \Delta S . \quad (3.37)$$

де $\Delta \tau$ – період часу на проходження певної частки фрагменту їздового циклу.

Питомі викиди забруднюючих речовин і витрата палива на 1км умовного пробігу, г/км

$$g_i = \frac{10^3 \cdot G_{i_{\text{ц}}}}{S} ; \quad g_{\text{п}} = \frac{10^3 \cdot G_{\text{п}_{\text{ц}}}}{S} \quad (3.38)$$

3.5. Висновки до розділу 3

1. Розроблена методика визначення впливу теплового стану двигуна на паливну економічність і викиди забруднюючих речовин автомобілем в експлуатаційних умовах з використанням коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на ці показники.

2. В процесі стендових випробувань автомобіля в русі за режимами Нового Європейського їздового циклу встановили, що двигун автомобіля повністю прогрівається в четвертому фрагменті міського циклу, тому коефіцієнти впливу температурного стану двигуна визначали як відношення показників роботи двигуна в першому фрагменті в процесі прогрівання до показників в четвертому фрагменті.

3. Опис двигуна в математичній моделі руху автомобіля за режимами їздового циклу уточнили введенням коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З КАТАЛІТИЧНИМ НЕЙТРАЛІЗАТОРОМ

4.1. Мета, задачі та програма експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень - встановлення рівнів підвищення витрати палива та масових викидів шкідливих речовин двигуном автомобіля з системою каталітичної нейтралізації за низьких температур атмосферного повітря під час прогрівання і роботи двигуна під навантаженням.

Виходячи з поставленої мети, **задачі експериментальних досліджень наступні:**

1. Визначення миттєвої та сумарної витрати палива за прогріву двигуна після запуску при низьких температурах атмосферного повітря.
2. Визначення поточних концентрацій оксиду вуглецю та вуглеводнів в період прогрівання двигуна легкового автомобіля при безгаражному зберіганні.
3. Порівняння характеристик різних методів прогрівання двигуна автомобіля та його каталітичного нейтралізатора в системі випуску відпрацьованих газів.
4. Порівняння економічних та екологічних характеристик автомобіля на стенді з біговими барабанами за непрогрітого та прогрітого двигуна.
5. Визначення основних статистичних коефіцієнтів для рівнянь математичної моделі.
6. Визначення зміни параметрів прогрівання двигуна при використанні сторонніх джерел теплоти.

Програма експериментальних досліджень передбачає наступне:

1. Запуск двигуна легкового автомобіля за температур атмосферного повітря від -12°C до 0°C . Прогрівання двигуна з постійною фіксацією параметрів його роботи та заміром концентрації забруднюючих речовин.

2. Визначення параметрів прогрівання при русі автомобіля для виїзду з місця паркування.
3. Визначення параметрів прогрівання при русі автомобіля дорогами загального користування.
4. Стендові випробування автомобіля за режимами нового Європейського їздового циклу.
5. Визначення навантажувальної характеристики двигуна при випробуванні автомобіля на стенді з біговими барабанами.
6. Прогрівання двигуна за роботи в режимі холостого ходу з використанням засобів підігрівання впускного повітря та без них.

4.2. Об'єкт експериментальних досліджень

Об'єктом стендових і дорожніх досліджень був легковий автомобіль корейського виробництва HYUNDAI GETZ (універсал), рік випуску 2008, номер кузова КМНВТ51DP8U831342, реєстраційний номер АА4901НО, з серійним рядним, чотирициліндровим, чотиритактним бензиновим двигуном ДОНС з рідинним охолодженням та п'ятиступеневою механічною коробкою передач (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Автомобіль HYUNDAI GETZ, на якому проводились експериментальні дослідження

Технічну характеристику автомобіля наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика автомобіля HYUNDAI GETZ [83]

Параметри	Значення
Загальні відомості	
Кількість місць з місцем водія	5
Повна маса автомобіля, кг	1500
Маса спорядженого автомобіля, кг	1143
Розміри, мм:	
довжина	3825
ширина	1665
висота	1490
колісна база	2455
Мінімальний кліренс, мм	160
Максимальна швидкість руху, км/год	174
Час розгону автомобіля з місця до швидкості 100 км/год, с	11,2
Витрата палива, л/100 км:	
змішаний цикл	5,9
траса	5,0
міський цикл	7,4
Трансмісія	
Тип	Механічна
Передаточні числа коробки передач:	
перша передача	3,615
друга передача	1,950
третя передача	1,286
четверта передача	1,061
п'ята передача	0,838
задній хід	3,25
Передаточне число головної передачі	3,842

Продовження табл. 4.1

Параметри	Значення
Двигун	
Модель двигуна	1,4 DOHC
Тип двигуна	4-тактний, бензиновий, рядний
Ступінь стискання	10
Діаметр циліндра і хід поршня, мм	75,5×78,1
Робочий об'єм двигуна, см ³	1398
Номінальна потужність, кВт (к.с.)	71,3 (97)
Частота обертання колінчастого вала, хв ⁻¹	
номінальна	6000
максимальна	6500
Максимальний крутний момент, Н·м (кг·м)	124,5 (12,7)
Частота обертання при максимальному крутному моменті, хв ⁻¹	3200
Паливо	Бензин А-95
Викид CO ₂ , г/км	149

Автомобіль укомплектований двигуном 4С 7,55/7,81, що обладнаний електронною системою управління KEFICO і системою нейтралізації шкідливих викидів у відпрацьованих газах. Дозування палива, необхідне для ефективної роботи двигуна здійснюється у відповідності до сигналів з датчиків, які контролюють тиск у впускному трубопроводі, положення дросельної заслінки, частоту обертання колінчастого вала, температуру повітря і охолодної рідини. Стехіометричний склад паливоповітряної суміші, необхідний для ефективної роботи системи нейтралізації шкідливих викидів, підтримується за допомогою кисневого датчика (лямбда-зонду).

Наявність трикомпонентного каталітичного нейтралізатора (рис. 4.2), розташованого одразу за випускним колектором в безпосередній близькості до випускних клапанів забезпечує прискорене прогрівання і швидке включення в

дію після пуску двигуна та на режимах малих навантажень системи нейтралізації, що дає можливість нейтралізатору працювати, навіть, за порівняно невисоких температур відпрацьованих газів.



Рисунок 4.2 – Розміщення агрегатів та систем двигуна автомобіля, що досліджується

Перед випробуваннями пробіг автомобіля складав близько 135 тис. км

4.3. Прилади та обладнання

Стендові випробування проводили в лабораторії дослідження використання палив та екології ДП «ДержавтотрансНДІпроект» з використанням системи EMMS-CVS-010. Лабораторія дає можливість підтримувати однакові режими їздового циклу завдяки встановленню обладнання, що включає сучасний 48-дюймовий роликовий моделюючий стенд моделі RPL1220/12C23M17/APM150 фірми AVL (Австрія) та власне програмне забезпечення «Vehicle Performance Analysis System» (VPAS), та визначати поточні концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах газоаналітичною системою моделі MEXA-7400DEGR фірми HORIBA (Японія) [84].

Визначення витрати палива та температур охолодної рідини та впускного повітря, кута відкриття дросельної заслінки, частоти обертання двигуна здійснювали через засоби зчитування інформації, підключені до блоку керування двигуном.

Загальний вигляд установки для проведення випробувань та встановлений на стенді автомобіль Hyundai Getz показано на рис. 4.3-4.5.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд та обладнання системи CVS
(Constant Volume Sampling)

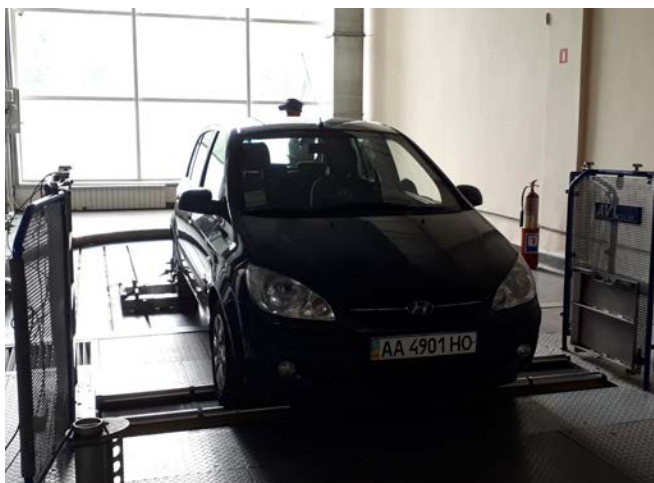


Рисунок 4.4 – Закріплення автомобіля на стенді AVL-Zollner
з біговими барабанами



Рисунок 4.5 – Під'єднання автомобіля до тунелю для відбору відпрацьованих
газів

Схема установки для випробування автомобіля на стенді з біговими барабанами показано на рис. 4.6.

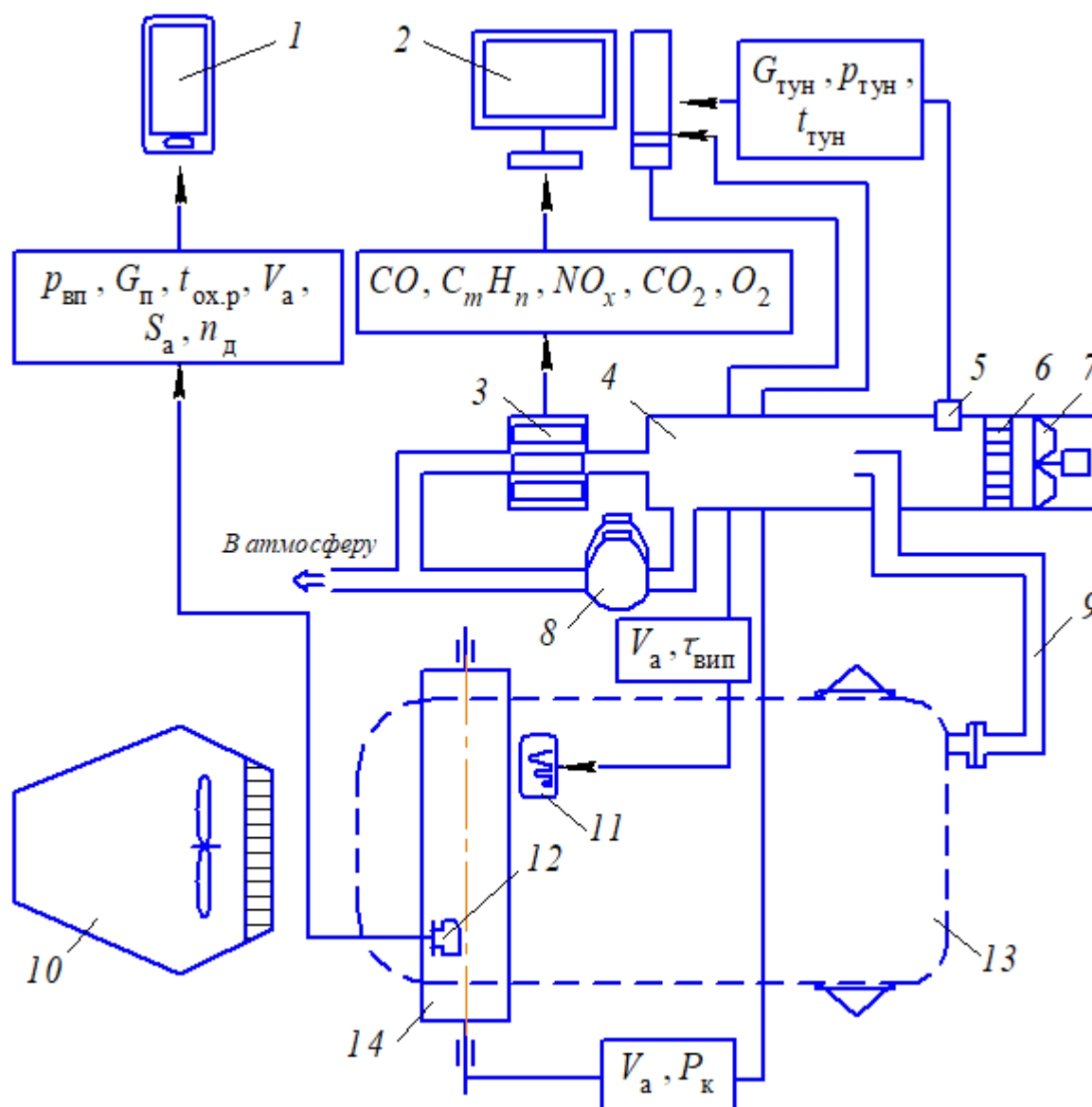


Рисунок 4.6 – Схема установки для випробування автомобіля на стенді з біговими барабанами:

1 – смартфон для визначення параметрів роботи двигуна і автомобіля; 2 – монітор для зчитування результатів випробування; 3 – газоаналізатор; 4 – вимірювальний тунель; 5 – датчик для визначення параметрів повітря в тунелі; 6 – фільтр; 7 – вентилятор подачі повітря в тунель; 8 – мішки для відбору проб; 9 – трубопровід подачі ВГ в тунель; 10 – вентилятор; 11 – монітор відображення випробувального їздового циклу; 12 – датчик ELM-327; 13 – автомобіль; 14 – біговий барабан (ролик) стенду

Автомобіль було встановлено ведучими колесами на біговий барабан 14 (рис. 4.6).

Для того, щоб отримати на моделюючому роликовому стенді результати емісії забруднюючих речовин з ВГ такі, що відповідають дорожнім умовам, необхідно відтворювати діючі на транспортний засіб, під час руху сили опору дороги, сили зміни інерційного моменту, сили опору повітря, які відтворюють на роликах стенду за допомогою асинхронного двигуна постійного струму. Гальмівні пристрої забезпечують роликам необхідний опір, який залежить від швидкості та навантаження і долається ведучими колесами автомобіля. Для імітації інерційної маси на випробовувальному стенді застосовують електричну імітацію маси маховика.

Вентилятор 10 забезпечував охолодження радіатора при збільшенні навантаження зі зростанням швидкості руху автомобіля на барабані.

Відбір проб газів методом CVS здійснюється через розбавлення потоку відпрацьованих газів, що надходять в тунель 4 через трубопровід 9, під'єднаний до випускної труби автомобіля, потоком повітря.

Повітря забирають не з внутрішнього простору лабораторії, а нагнітають ззовні крізь фільтр 6, об'ємом до 300 м³/год при літражу двигуна 1,4 л. Об'ємна витрата контролюється датчиком тунелю 5 і надлишок повітря відводиться спеціальним насосом.

Постійну кількість розбавлених повітрям ВГ пропорційно відбирали протягом всього часу випробовувань та збирали в декількох еластичних мішках 8.

Після завершення фрагментів їздового циклу одні мішки відключаються, а інші включаються у вимірювання і концентрація забруднюючих речовин в мішках відповідає середньому значенню концентрації компонентів у розбавлених ВГ. За середніми значеннями концентрацій забруднюючих речовин у ВГ і об'ємом суміші розбавлених ВГ розраховували масові викиди забруднюючих речовин.

Характерним для методу CVS [85] є те, що в процесі випробовування здійснюється:

– облік фактичного об'єму ВГ під час випробовувань;

- фіксація всіх стаціонарних та нестаціонарних режимів роботи;
- усунення конденсації водяної пари;
- вимірювання концентрацій CO та CO_2 недисперсійними інфрачервоними аналізаторами NDIR;
- вимірювання концентрації NO_x хемілюмінесцентними приладами CLD;
- вимірювання концентрації сумарних вуглеводнів C_mH_n полум'яно – іонізаційним методом FID.

Моделюючий роликовий стенд AVL-Zollner (рис.4.4) типу RPL1220/12C23M17/APM150 (заводський № R1305) призначений для забезпечення потрібного тягового зусилля та швидкості при випробовуванні, що передбачені програмою їздового циклу. Основні технічні характеристики стенду наведено у табл.4.2.

Вимірювання об'ємного вмісту оксиду вуглецю CO , діоксиду вуглецю CO_2 , вуглеводнів C_mH_n , метану CH_4 , оксидів азоту NO_x та кисню O_2 у ВГ здійснювали газоаналізуючим комплексом MEXA-7400DEGR виробництва фірми Horiba Ltd (Японія) (рис.4.7), до складу якого входять газоаналізатори AIA-721 CO (зав. № 6423004), AIA-722 CO/CO_2 (зав. № 06420007), MPA-720 O_2 (зав. № 29416005), та блок OVN-728A (зав. № 430148001), в якому розміщені газоаналізатори FIA-725 A.N.THC, CLA-755 A, H.NO/ NO_x та FIA-712HA. H.THC/ CH_4 .

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики моделюючого роликового стенду AVL-Zollner [86]

Параметри	Значення
Максимальна швидкість, км/год	200
Максимальне тягове зусилля, Н	10096
Маса обертових частин, кг	1184
Мінімальна налаштована маса обертових частин, кг	454
Максимальна налаштована маса обертових частин, кг	5400
Діаметр барабану, мм	1219,2
Похибка при вимірюванні потужності, %	< 0,10
Похибка при вимірюванні швидкості, %	< 0,01
Похибка при вимірюванні прискорення, %	< 1
Похибка при вимірюванні механічних втрат, Н	< 5
Похибка при визначенні часу, мс	10
Похибка при встановленні постійної швидкості, %	< 0,05
Похибка при встановленні усталеного тягового зусилля, %	< 0,2
Похибка при встановленні імітації навантаження, %	< 2
Похибка при встановленні імітації моменту інерції, %	< 1



Рисунок 4.7 – Газоаналізуючий комплекс МЕХА-7400DEGR

Основні метрологічні характеристики газоаналізуючого комплексу наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні метрологічні характеристики [87]

Показник, що визначається (позначення газоаналізатора)	Діапазон вимірювань об'ємного вмісту	Інтервал діапазону вимірювань	Допустима похибка	
			абсолютна	відносна
CO (AIA-721 CO)	0 - 0,5%	0 - 0,2% понад 0,2%	±0,01% -	- ±5%
CO ₂ (AIA-722 O/CO ₂)	0 - 12%	0 - 0,6% понад 0,6%	±0,03% -	- ±5%
C _m H _n (FIA-725 A.H.THC)	0 - 5%	0 - 0,02% понад 0,02%	±0,001% -	- ±5%
CH ₄ (FIA-712 HA.H.THC/CH ₄)	0 - 0,25%	0 - 0,02% понад 0,02%	±0,001% -	- ±5%
NO _x (CLA-755 A, H.NO/NO _x)	0 - 0,5%	0 - 0,04% понад 0,04%	±0,002% -	- ±5%
O ₂ (MPA-720 O ₂)	0 - 0,5%	0 - 0,04% понад 0,04%	±0,002% -	- ±5%

Отримання навантажувальної характеристики на стенді з біговими барабанами дозволило отримати витрату палива двигуном в залежності від навантаження при повністю прогрітому двигуні. Крутний момент двигуна визначали через значення сили тяги на ведучих колесах. Методика переведення сили тяги в крутний момент двигуна наступна.

Передаточне число трансмісії

$$U_{\text{тр}} = U_{\text{к}} \cdot U_{\text{Г}},$$

де $U_{\text{к}}$ – передаточне число передачі коробки передач при випробуваннях (четверта передача, $U_{\text{к}} = 1,081$);

$U_{\text{Г}}$ – передаточне число головної передачі. Для легкового автомобіля Hunday Getz з механічною коробкою $U_{\text{Г}} = 3,842$.

$$U_{\text{тр}} = 1,081 \cdot 3,842 = 4,0764.$$

Радіус кочення колеса

$$r_{\text{к}} = \frac{d}{2} + \left(\frac{H}{B} \right) \cdot (1 - k_{\text{д}}) \cdot B,$$

де d – посадочний радіус колеса. На автомобілі встановлені колеса 175/65R14, тобто $d = 14$ дюймів

$$d = 14 \cdot 0,0254 = 0,3584 \text{ м}$$

$\frac{H}{B}$ – відношення висоти шини до ширини, $\frac{H}{B} = 0,65$;

$k_{\text{д}}$ – коефіцієнт деформації шини, $k_{\text{д}} = 0,145$;

B – ширина шини, $B = 175 \text{ мм} = 0,175 \text{ м}$.

Тоді

$$r_{\text{к}} = \frac{0,3584}{2} + 0,65 \cdot (1 - 0,145) \cdot 0,175 = 0,27646 \text{ м}.$$

Перевіряємо швидкість руху автомобіля за частоти $n = 2400 \text{ хв}^{-1}$, яка підтримувалась при отриманні навантажувальної характеристики

$$V_a = \frac{\pi \cdot n \cdot r_k}{30 \cdot U_{\text{тр}}} = \frac{3,14 \cdot 2400 \cdot 0,27646}{30 \cdot 4,0764} = 17,036 \text{ м/с}$$

або

$$V_a = 17,036 \cdot 3,6 = 61,33 \text{ км/год}$$

Для визначення крутного моменту двигуна з рівняння сили тяги на ведучих колесах

$$P_T = \frac{M_k \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_{\text{тр}}}{r_k}$$

знаходимо

$$M_k = \frac{P_T \cdot r_k}{U_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}},$$

де $\eta_{\text{тр}}$ – механічний ККД трансмісії, який було визначено на стенді.

При прокручуванні ведучих коліс стенда в режимі електродвигуна приведені зусилля стенда 218 Н.

При прокручуванні бігового барабана стенда двигуном автомобіля зусилля 1362 Н.

Тоді

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{1362}{1362 + 218} = 0,862$$

Тоді крутний момент двигуна в залежності від величин сили тяги на ведучих колесах визначаємо за рівнянням

$$M_k = \frac{P_T \cdot 0,27646}{4,0764 \cdot 0,862} = P_T \cdot 0,078677.$$

Експериментальні дослідження методів та режимів прогрівання двигуна за різних початкових температур навколишнього середовища проведені на місці зберігання автомобіля та за руху від цих місць.

В автомобілі були встановлені додаткові переносні прилади (багатокомпонентний газоаналізатор МЕТА «Автотест 01» та альфаметр STAG AFR) та засоби зчитування інформації. Живлення приладів забезпечували окремою акумуляторною батареєю, напругою 12В і ємністю 60 А·год. Загальний вигляд вимірювального комплексу показано на рис. 4.8.



Рисунок 4.8 – Загальний вигляд вимірювального комплексу

За програмою випробувань вимірювання починали із запуску двигуна за від'ємних температур атмосферного повітря. Прогрів двигуна здійснювали трьома методами, а саме:

- прогрів двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу (які забезпечувала система розподіленого впорскування з електронним управлінням і зворотним зв'язком);
- комбінований прогрів двигуна з початковим прогрівом в режимі холостого ходу і подальшим прогрівом при русі автомобіля за маршрутом;
- прогрів в русі з мінімальним часом прогріву до початку руху (близько однієї хвилини) після запуску холодного двигуна.

Газоаналізатор МЕТА «Автотест 01» забезпечує вимірювання концентрацій забруднюючих речовин у наступних межах:

– діапазон вимірювання CO – від 0 до 7 %, ціна поділки – 0,01 %, похибка вимірювання $\pm 0,2$ %; для інтервала вимірювань 0–3,3% – $\pm 6\%$; для інтервала вимірювань 3,3–7% – $\pm 0,1$ %.

– діапазон вимірювання C_{mHn} – від 0 до 3000 млн^{-1} , ціна поділки – 2 млн^{-1} , похибка вимірювання ± 20 млн^{-1} ; для діапазону вимірювань 0–330 млн^{-1} – $\pm 6\%$; для діапазона вимірювань 330 – 3000 млн^{-1} – $\pm 3\%$.

Перед використанням в ході експериментальних досліджень прилади відкалібрували еталонними газовими сумішами.

Абсолютні похибки при прямих вимірюваннях визначались точністю обладнання, яке використовувалось. Методи вимірювань, які використовувались при проведенні експериментальних досліджень відповідають вимогам ГОСТ 14846–81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» [88].

Похибки приладів наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Прилади та точність вимірювання

Параметр	Одиниці вимірювання	Засоби вимірювання	Похибка вимірювань
Температура повітря	°C	Спиртовий термометр	±0,1
Тиск у впускному трубопроводі	кПа	Діагностичний адаптер ELM-327	±1
Температура охолодної рідини на виході з блоку циліндрів	°C	Діагностичний адаптер ELM-327	±1
Вміст у ВГ:		Газоаналізатор інфрачервоного типу: МЕТА	±0,02
оксиду вуглецю CO	%		±1
двооксиду вуглецю CO_2	%	Автотест-01	±20
вуглеводнів C_mH_n	млн ⁻¹		

Основні параметри дослідження двигуна отримуються за посередництва діагностичного адаптеру ELM-327, підключеного до діагностичного роз'єму блоку управління двигуном (рис. 4.9)



Рисунок 4.9 – Діагностичний адаптер ELM-327

Блок підтримує стандарт OBDII. Стандарт OBDII регламентує обов'язковий мінімум параметрів, виведення яких повинно підтримуватися блоком управління:

- температура охолодної рідини;
- температура всмоктуваного повітря;
- витрата повітря і/або абсолютний тиск у впускному трубопроводі;
- відносне положення дросельної заслінки;
- кут випередження запалювання;
- значення розрахованого навантаження;
- частота обертання колінчастого вала;
- швидкість автомобіля;
- напруга датчика (датчиків) кисню до нейтралізатора;
- напруга датчика (датчиків) кисню після нейтралізатора;
- показник (показники) паливної корекції;
- показник (показники) паливної адаптації;
- статус (статуси) контуру (контурів) лямбда.

Виведення параметрів можливе за умови ефективного їх оновлення (рис. 4.10).



Рисунок 4.10 – Виведення параметрів поточного діагностування блоку управління двигуном

Параметри можна підбирати індивідуально, в залежності від задач дослідження. Зокрема на приведеному екрані встановлені наступні показники і відображення дати та часу випробувань; абсолютний тиск у впускному трубопроводі, кПа (intake, кра); миттєва витрата палива, л/год (Fuel Flow); частота обертання колінчастого вала двигуна, хв^{-1} (Rews); температура у впускному трубопроводі, $^{\circ}\text{C}$ (Intake, $^{\circ}\text{C}$); температура охолодної рідини, $^{\circ}\text{C}$ (Coolant); пройдена відстань, км (Trip) та швидкість автомобіля, км/год (Speed).

Результати експериментальних досліджень після розшифрування виводимо у вигляді таблиць та графіків, що характеризують різні режими прогріву двигуна (додаток В).

4.4. Результати експериментальних досліджень

Автомобіль Hyundai Getz був випробуваний за Новим Європейським їздовим циклом (NEDC) без попереднього прогріву двигуна та після прогріву двигуна при проходженні першого циклу [89].

Результати експериментальних випробувань представлені у вигляді графіків (рис. 4.11 – 4.22) та таблиць, наведених в додатку Е.

Характеристика зміни швидкості автомобіля при проходженні циклу та зміни температури в системі охолодження двигуна показані на рис. 4.11. На рисунку позначено температуру охолодної рідини непрогрітого двигуна $t_{\text{ох.р.хол}}$ та прогрітого двигуна – $t_{\text{ох.р.пр.}}$.

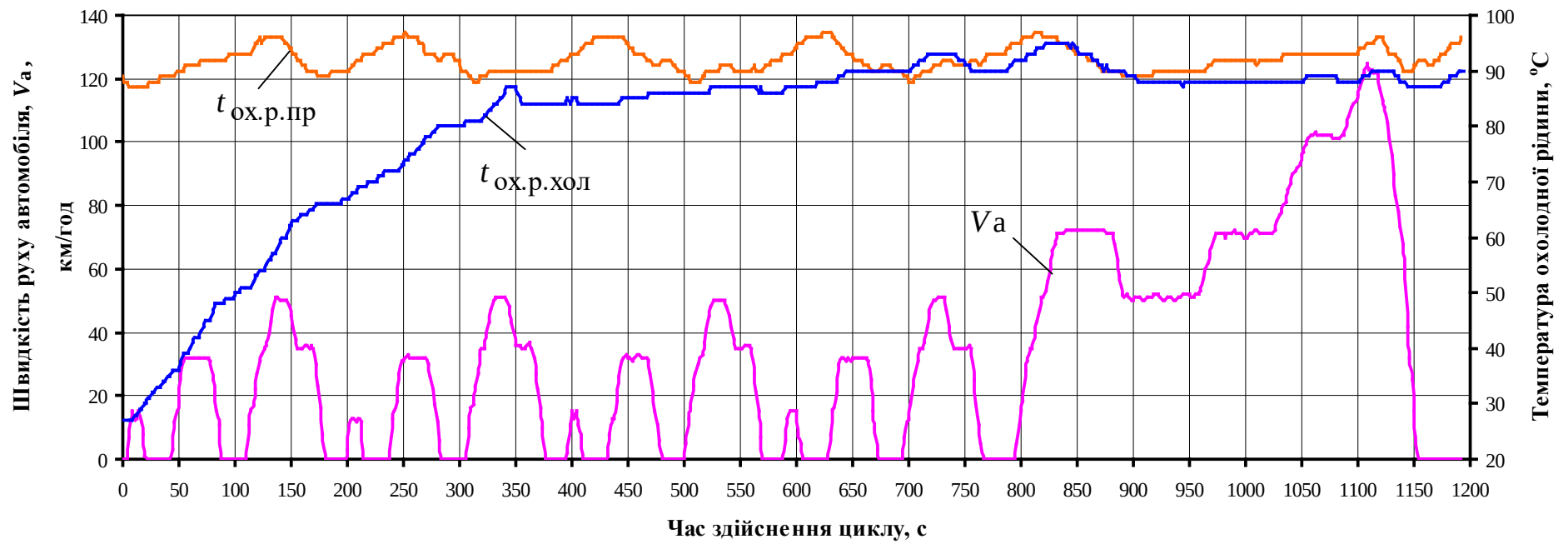
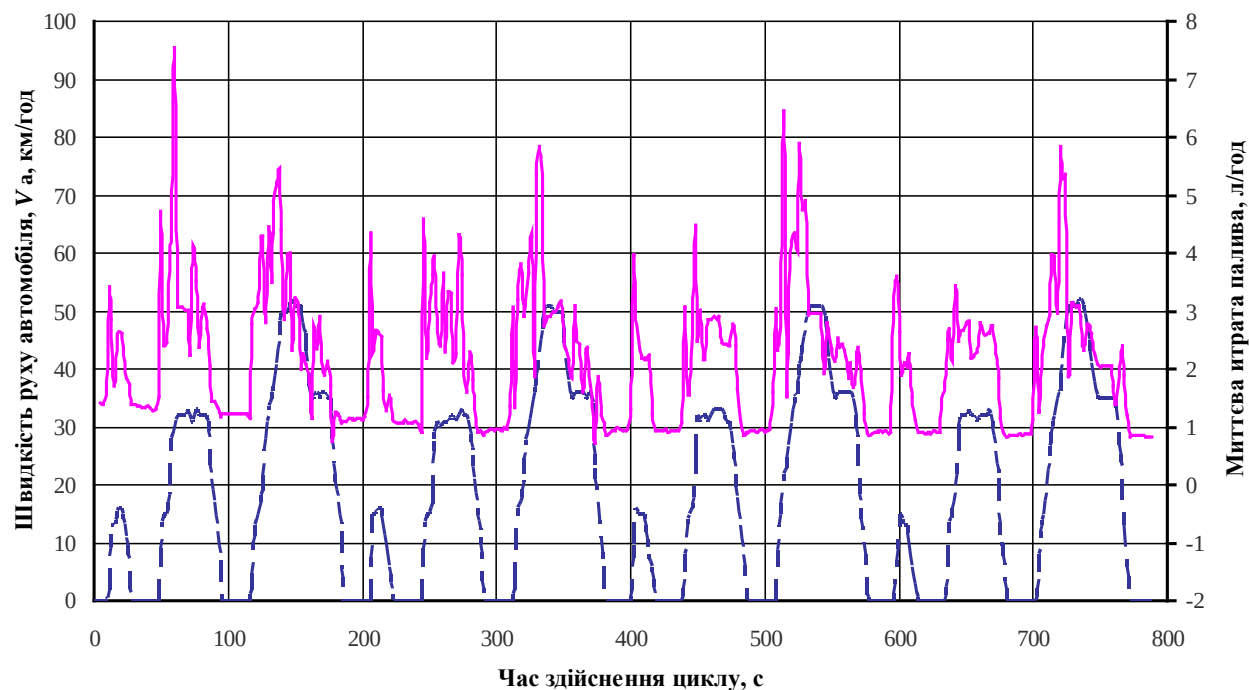
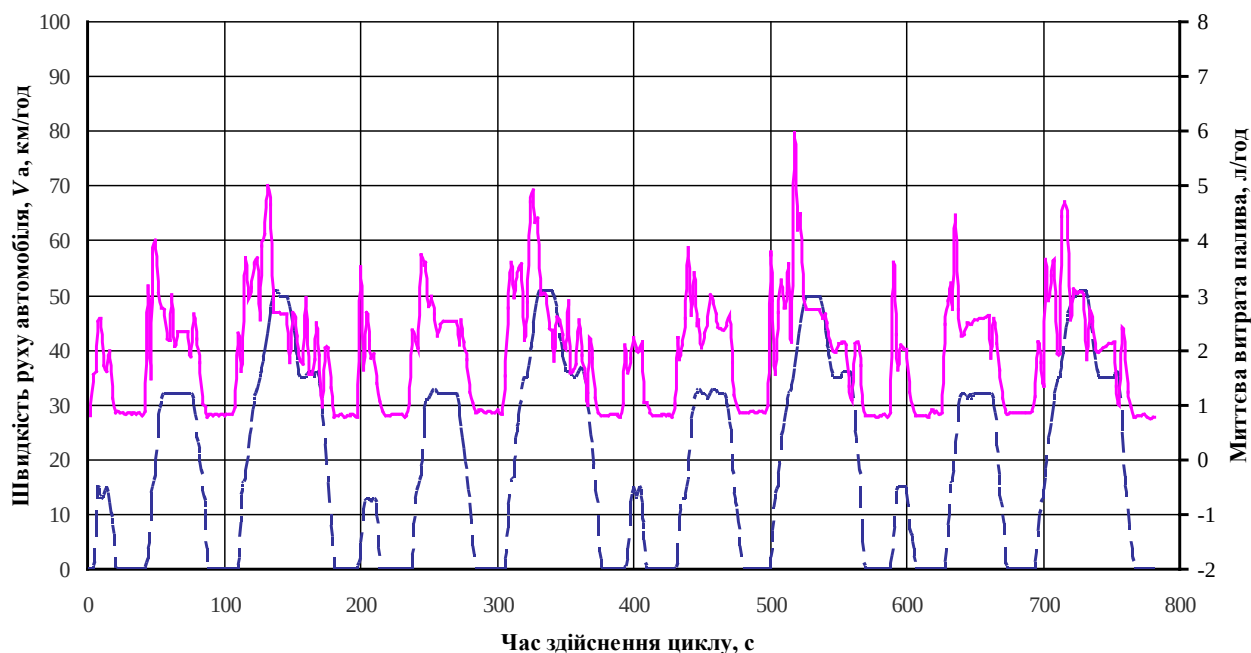


Рисунок 4.11 – Зміна температури охолодної рідини від часу проходження випробувального циклу

Інтенсивне прогрівання двигуна автомобіля до робочої температури здійснюється за перших два фрагменти міської частини їздового циклу. В цей період спостерігається підвищена витрата палива (рис. 4.12) та збільшення концентрацій забруднюючих речовин у ВГ.



а)



б)

— витрата палива, л/год; — — швидкість руху автомобіля, км/год

Рисунок 4.12 – Витрата палива автомобілем з непрогрітим (а) та прогрітим (б) двигуном при проходженні міської частини їздового циклу

Максимальна витрата палива при підтриманні умов руху за першим фрагментом міської частини їздового циклу склала: для непрогрітого двигуна – 7,54 л/год, а для прогрітого двигуна – 5 л/год.

Витрата палива при проходженні замиської частини їздового циклу (рис. 4.13) змінюється незначно в першому і другому варіанті проходження їздового циклу.

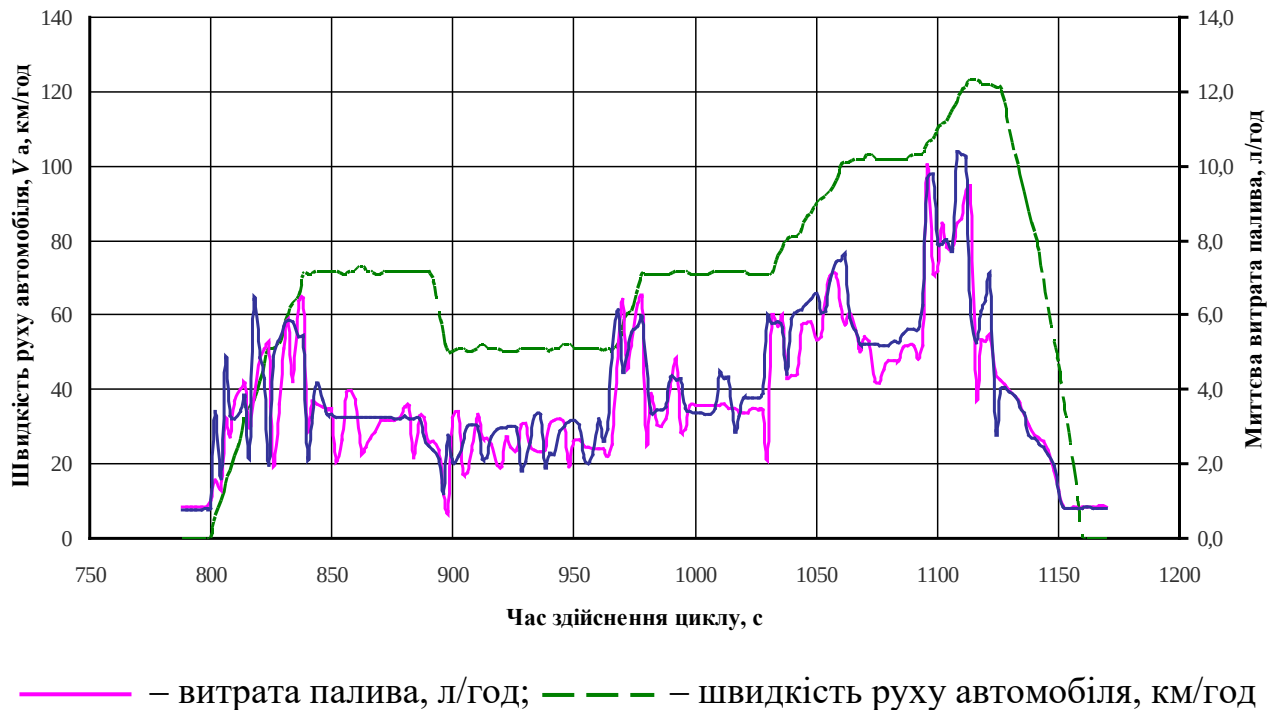
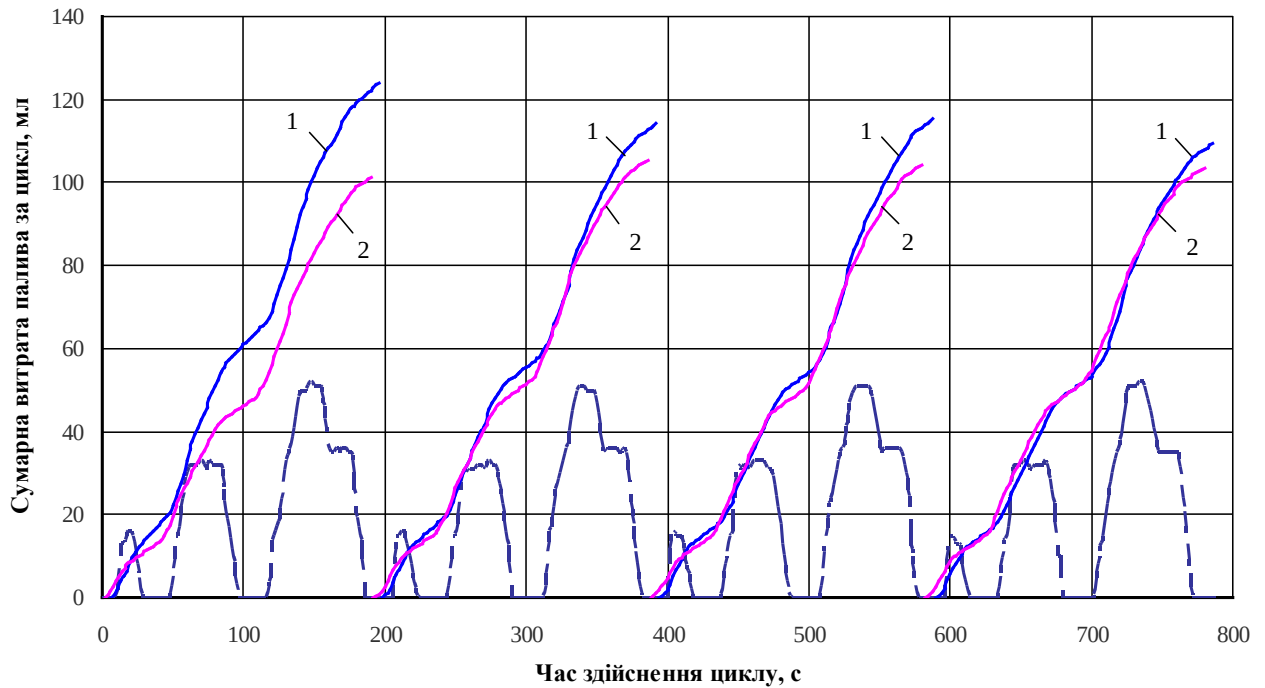


Рисунок 4.13 – Зміна миттєвої витрати палива при проходженні замиської частини їздового циклу

Автомобіль проходить ділянку з повністю прогрітим двигуном і коливання миттєвої витрати палива пов'язані з впливом на управління дросельною заслінкою.

Тому вплив прогрівання двигуна на витрату палива і викиди забруднюючих речовин необхідно розглянути за міською частиною їздового циклу.

Порівняння витрат палива на повне проходження фрагментів міської частини їздового циклу (UDC) показано на рис. 4.14.



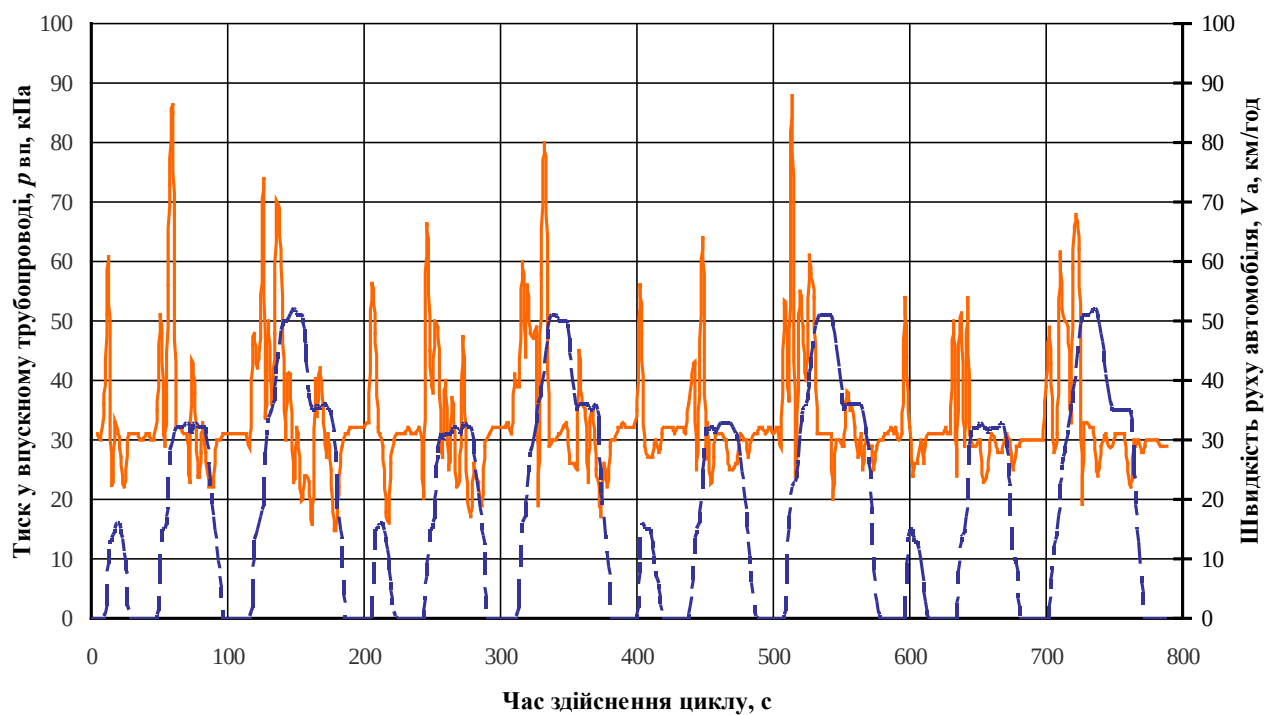
— — витрата палива, л/год; — — — швидкість руху автомобіля, км/год

Рисунок 4.14 – Визначення витрати палива за міським циклом UDC:

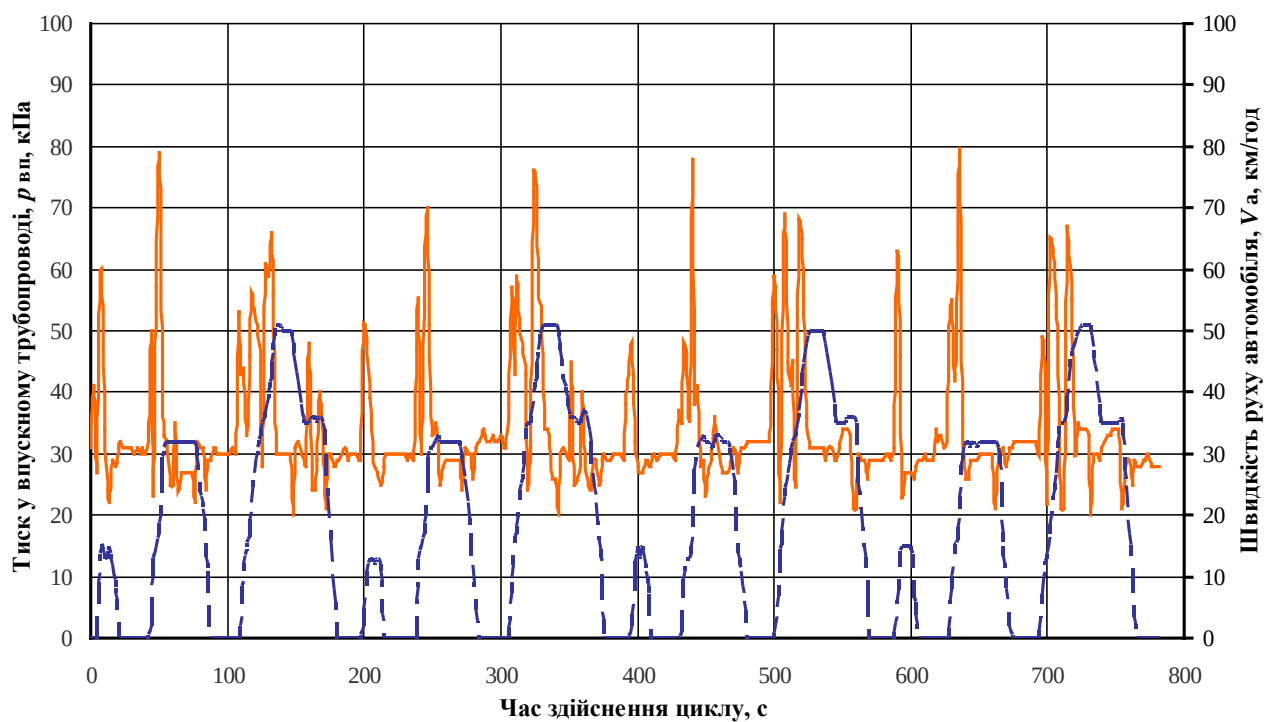
1 – непрогрітий двигун; 2 – прогрітий двигун

Витрата палива автомобіля з непрогрітим двигуном вища при проходженні всіх фрагментів їздового циклу. Найвища вона при проходженні першого фрагменту і складає 123,75 мл за час проходження фрагменту. При цьому у автомобіля з прогрітим двигуном витрата палива становить 101 мл. Витрата палива у непрогрітого двигуна вища на 22,5 %.

Збільшення витрати палива пов'язане зі збільшенням втрати теплоти та механічних втрат у автомобіля з непрогрітим двигуном, що примушує водія збільшувати відсоток відкриття дросельної заслінки. Це підтверджують графіки, наведені на рис. 4.15.



а)



б)

— тиск у впускному трубопроводі, кПа
 — швидкість руху автомобіля, км/год

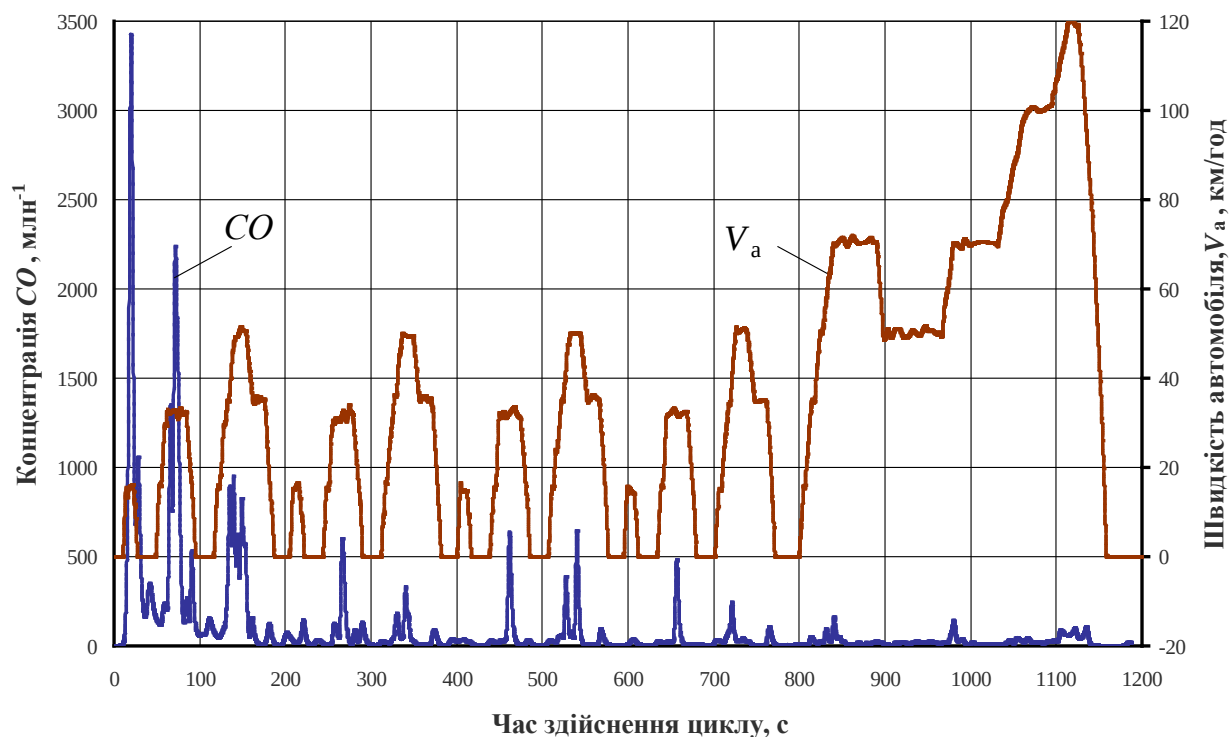
Рисунок 4.15 – Зміна тиску у впускному трубопроводі непрогрітого (а) та прогрітого (б) двигуна при проходженні автомобілем міської частини їздового циклу

Як видно з графіків, втрати теплоти при нагріванні охолодної рідини непрогрітого двигуна вищі і це викликає необхідність більшого відкриття дросельної заслінки, що забезпечує тиск у впускному трубопроводі до 88 кПа при максимальному до 97 кПа за повного відкриття дросельної заслінки. У прогрітого двигуна втрати теплоти менші і максимальний тиск у впускному трубопроводі не перевищує 79 кПа.

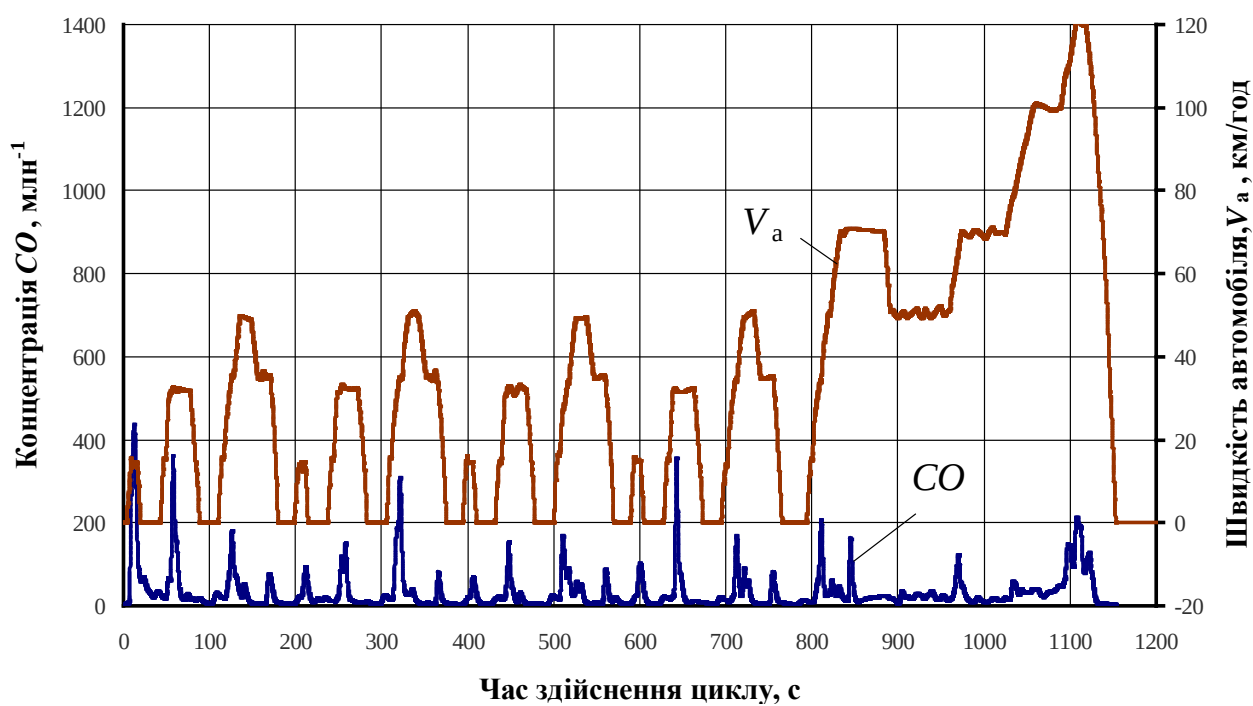
Важливим є показник зміни концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах при здійсненні Нового Європейського їздового циклу.

Зміну концентрацій оксиду вуглецю CO , сумарних вуглеводнів C_mH_n та оксидів азоту NO_x , при проходженні всього циклу Нового Європейського їздового циклу показано на рис 4.16– 4.18.

З графіків видно, що найбільші концентрації забруднюючих речовин спостерігаються за виконання першого фрагменту міської частини їздового циклу як у автомобіля з непрогрітим так і прогрітим двигуном, і в подальшому порівняння концентрацій забруднюючих речовин у ВГ проводили саме за цим фрагментом.

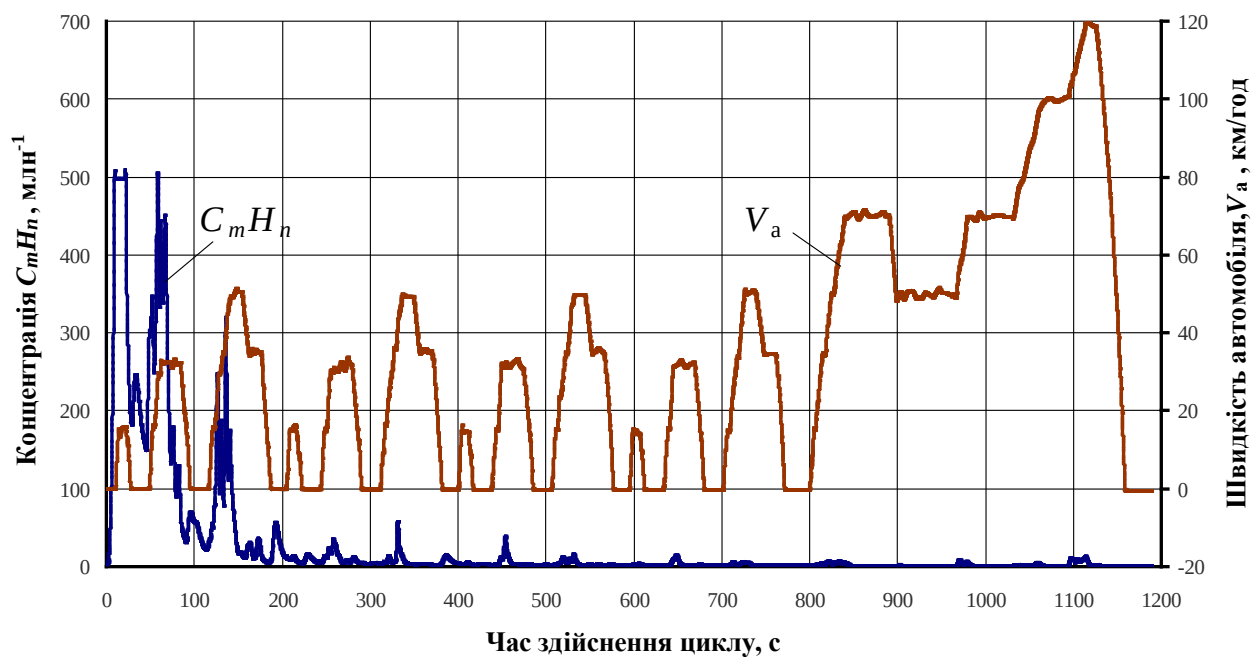


а)

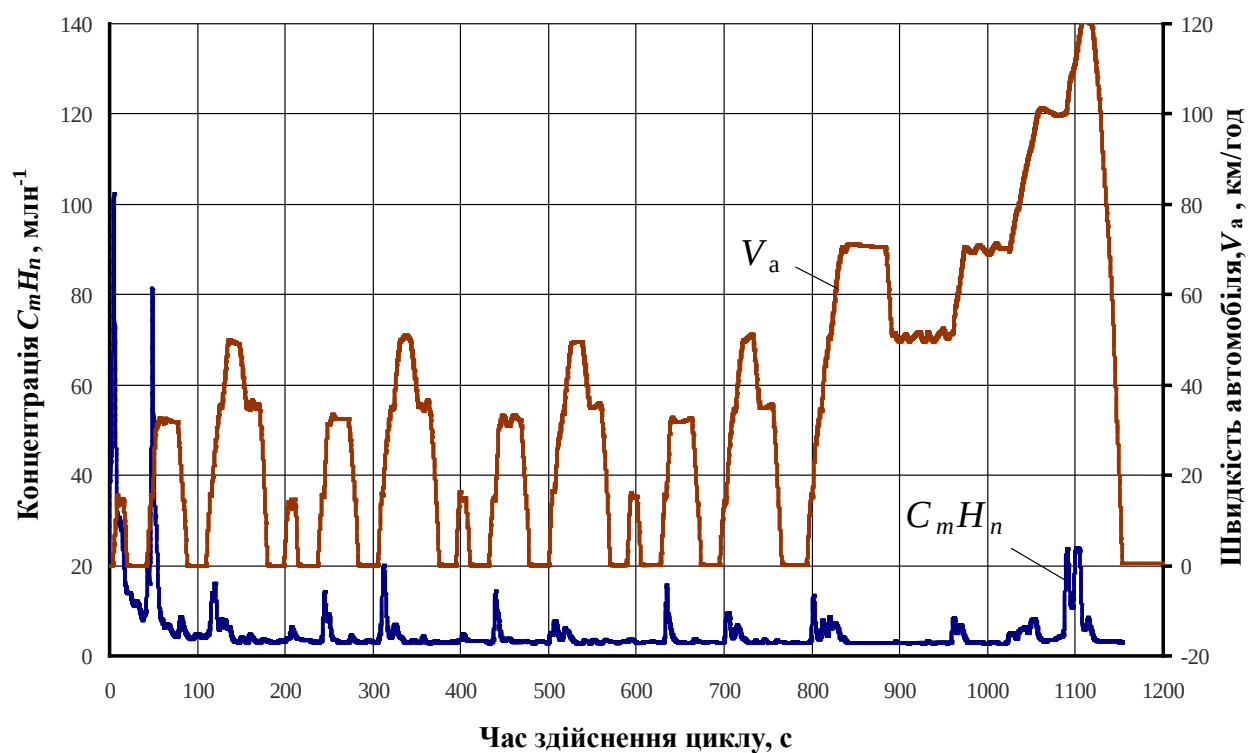


б)

Рисунок 4.16 – Зміна концентрації оксиду вуглецю CO у ВГ автомобіля з непрогрітим двигуном (а) та прогрітим двигуном (б) при русі за режимами Нового Європейського їздового циклу

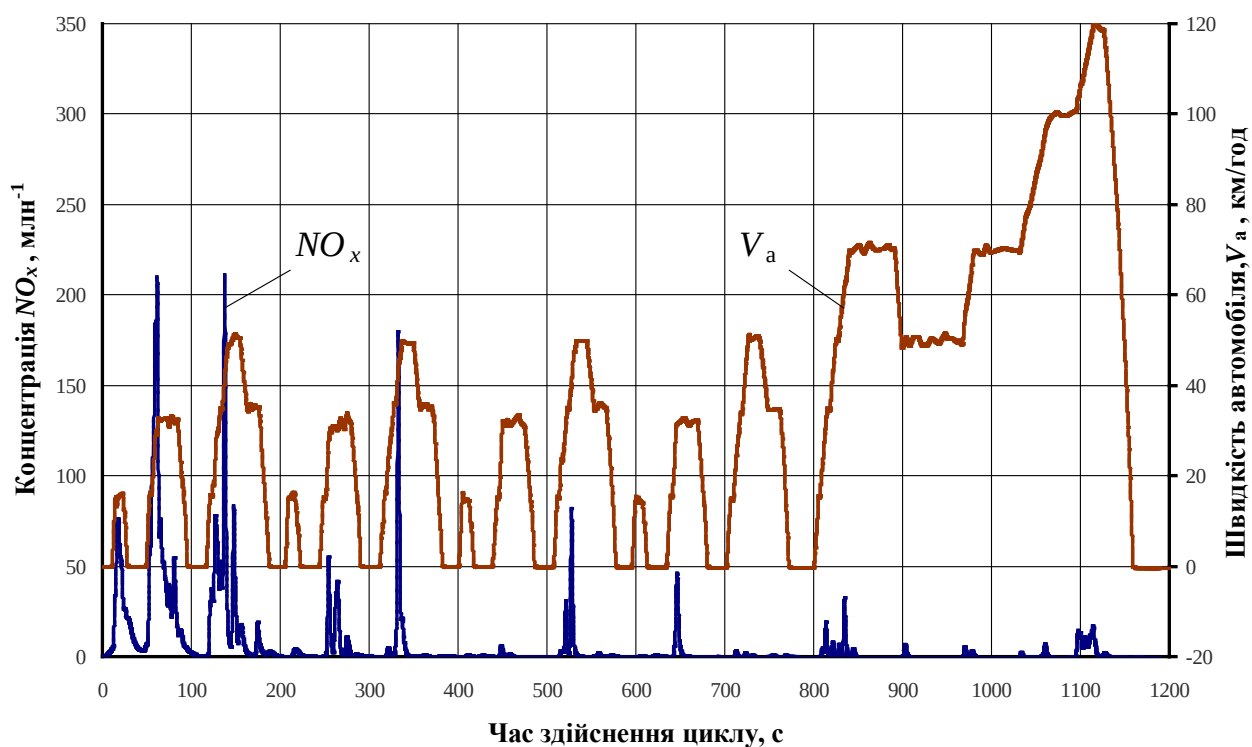


a)

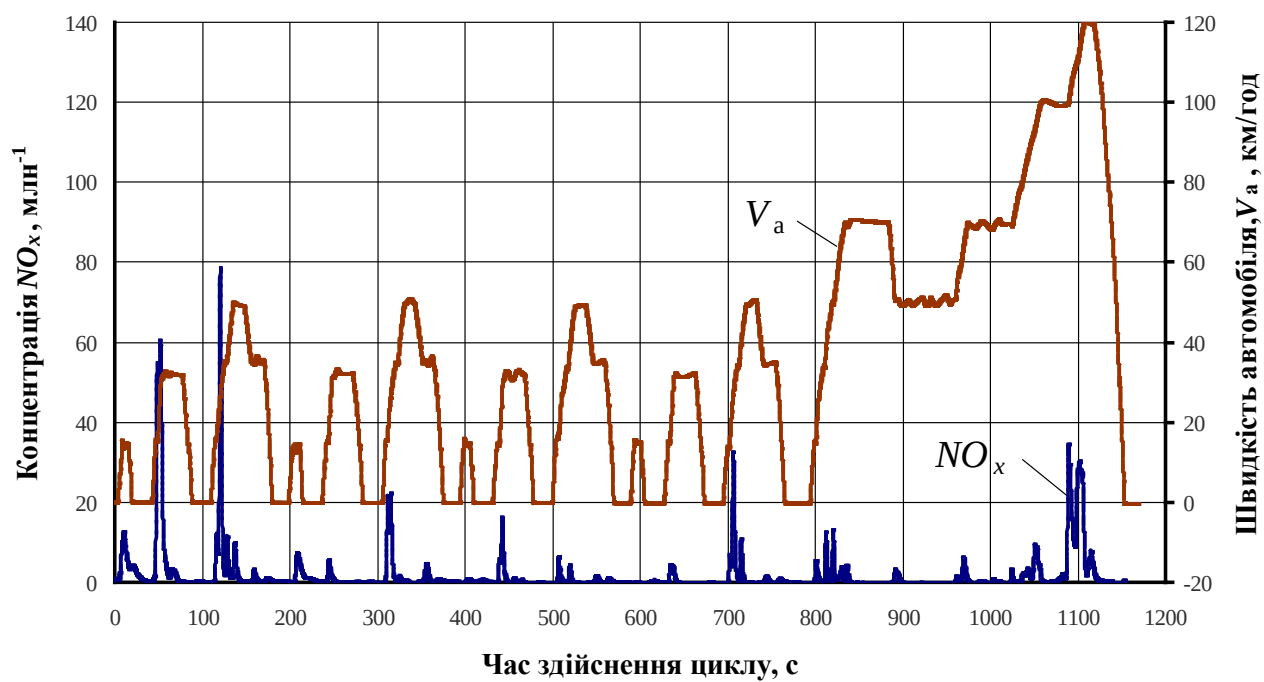


б)

Рисунок 4.17 – Зміна концентрації сумарних вуглеводнів C_mH_n у ВГ автомобіля з непрогрітим двигуном (а) та прогрітим двигуном (б) при русі за режимами Нового Європейського їздового циклу



a)



б)

Рисунок 4.18 – Зміна концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ автомобіля з непрогрітим двигуном (а) та прогрітим двигуном (б) при русі за режимами Нового Європейського їздового циклу

Порівняння концентрацій забруднюючих речовин у розбавлених ВГ при накладанні першого фрагменту циклу, пройденого автомобілем з непрогрітим та прогрітим двигуном, показано на рис. 4.19 – 4.21.

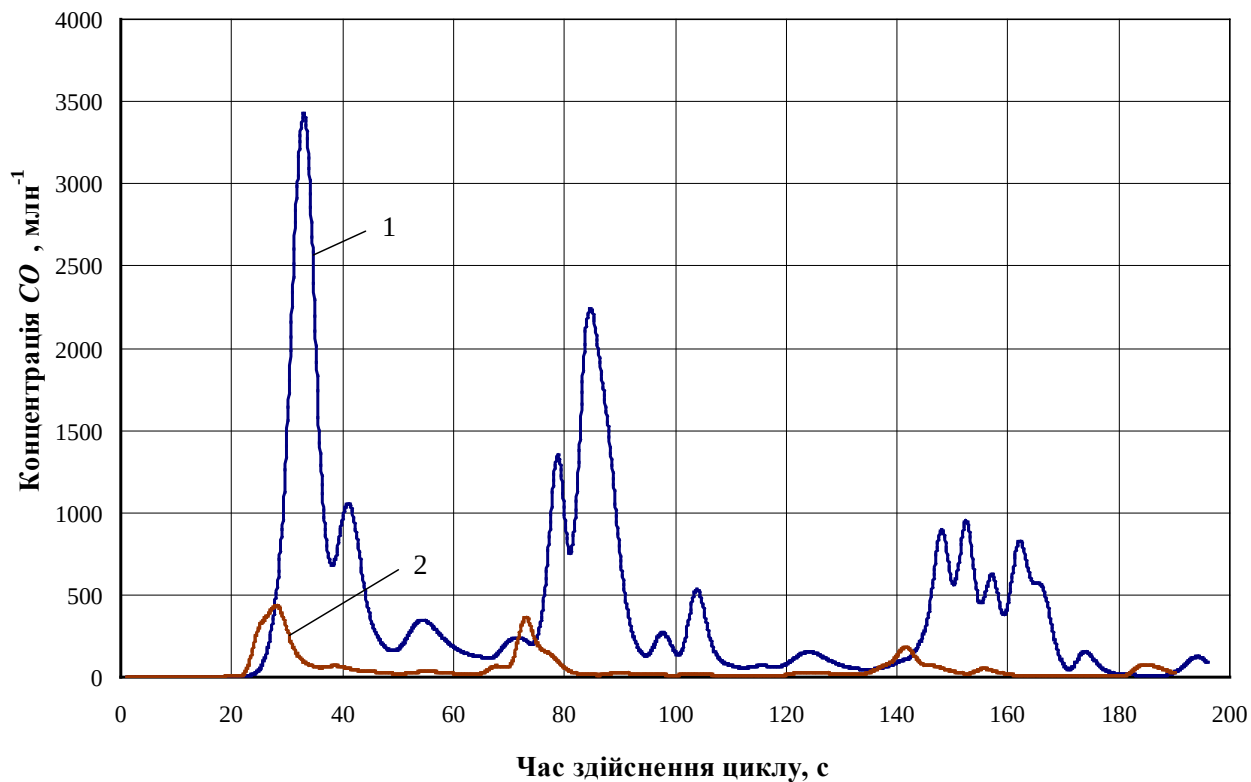


Рисунок 4.19 – Зміна концентрацій оксиду вуглецю CO у ВГ
двигуна автомобіля:

1 – непрогрітий двигун; 2 – прогрітий двигун

З рис. 4.19 видно, що максимальна концентрація оксиду вуглецю CO становить відповідно $3425,4 \text{ млн}^{-1}$ для непрогрітого двигуна та $435,2 \text{ млн}^{-1}$ для прогрітого, тобто концентрація CO у непрогрітого двигуна у 7,87 разів вища ніж у прогрітого.

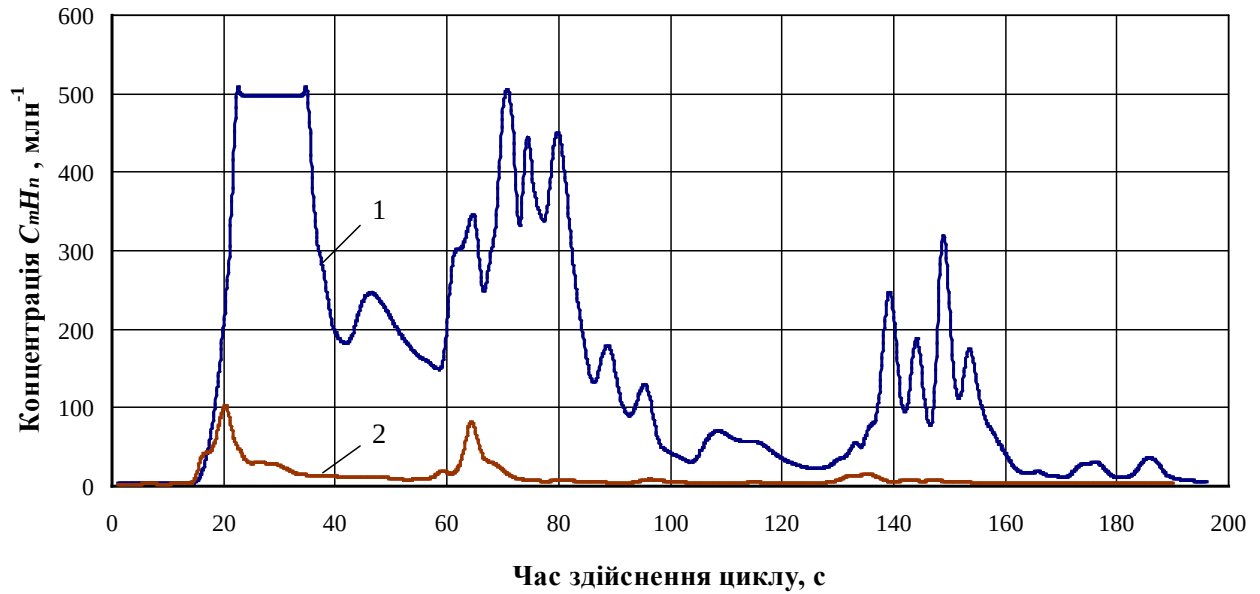


Рисунок 4.20 – Зміна концентрацій сумарних вуглеводнів C_{mH_n} у ВГ

двигуна автомобіля:

1 – непрогрітий двигун; 2 – прогрітий двигун

Максимальна концентрація сумарних вуглеводнів (рис. 4.20) складає для непрогрітого двигуна $508,3 \text{ мг л}^{-1}$ і для прогрітого $102,3 \text{ мг л}^{-1}$, тобто у непрогрітого двигуна концентрація вуглеводнів у 4,97 разів вища за піковими значеннями.

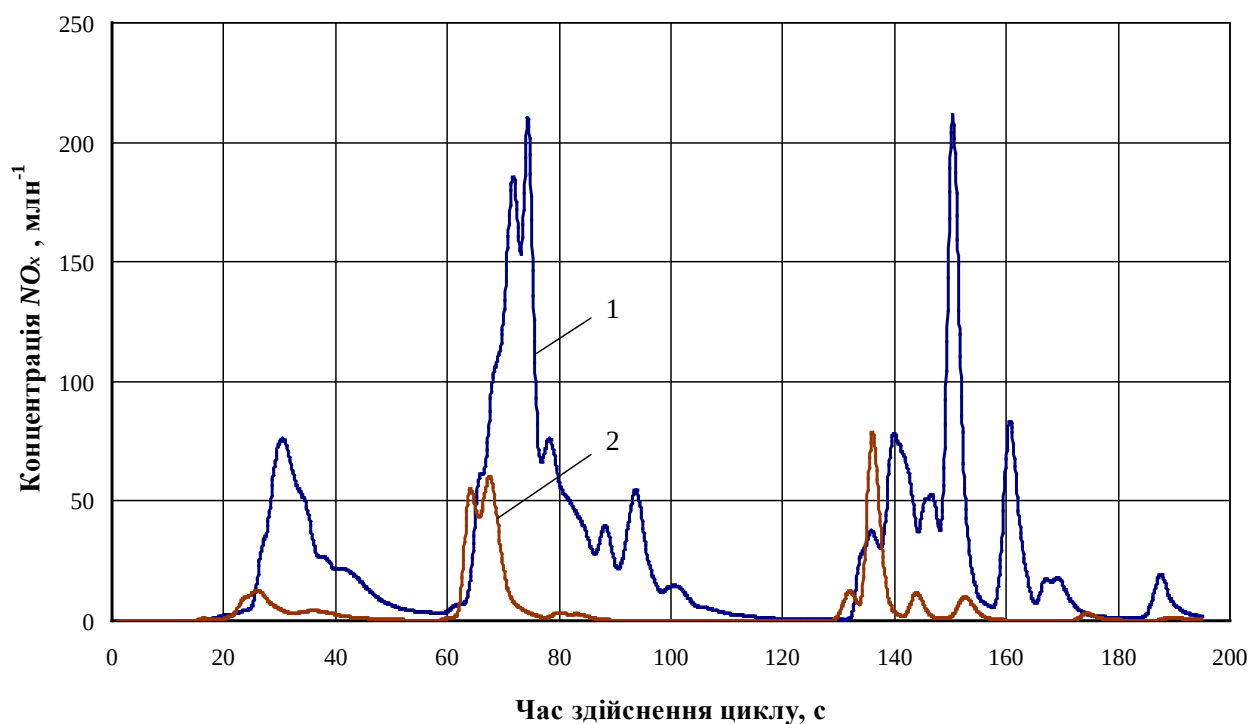


Рисунок 4.21 – Зміна концентрацій оксидів азоту NO_x у ВГ

двигуна автомобіля:

1 – непрогрітий двигун; 2 – прогрітий двигун

Концентрації оксидів азоту (рис. 4.21) не перевищують $210,4 \text{ мг/л}$ для непрогрітого двигуна і $78,6 \text{ мг/л}$ для прогрітого. Таким чином, непрогрітий двигун викидає в довкілля в 2,68 разів більше оксидів азоту.

Малоефективну роботу нейтралізатора відображає рис. 4.22.

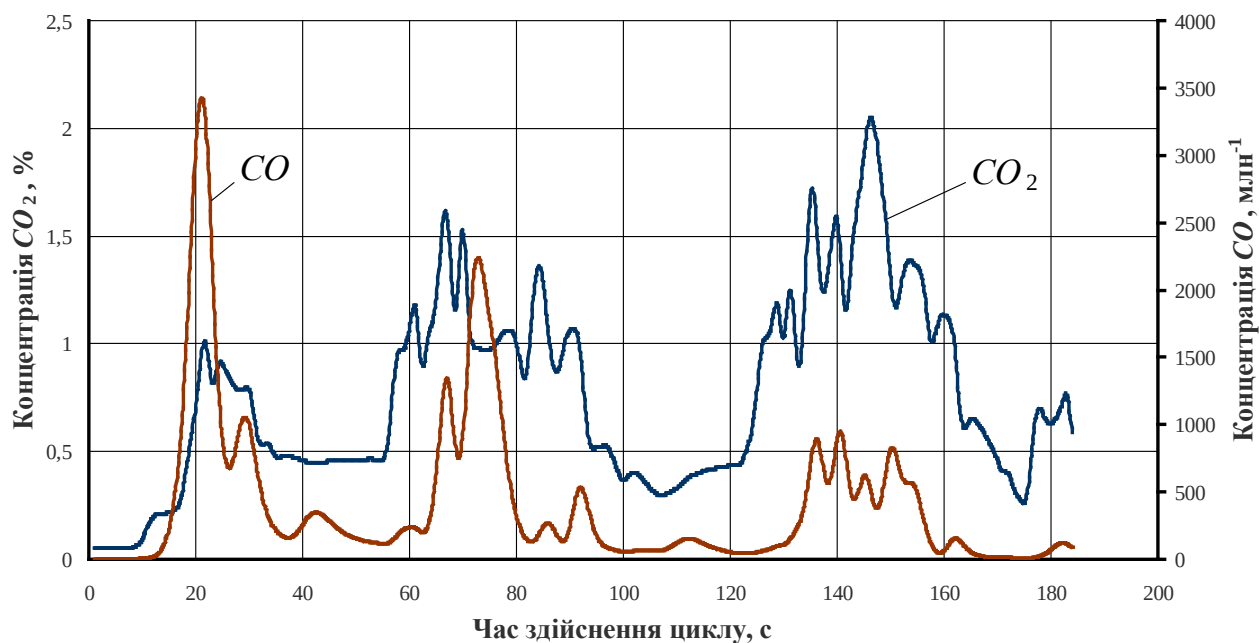


Рисунок 4.22 – Концентрації оксиду вуглецю CO та двооксиду вуглецю CO_2 для автомобіля з непрогрітим двигуном у першому фрагменті міської частини їздового циклу

На початку проходження циклу до окислення CO до CO_2 незначне через низьку температуру нейтралізатора. По мірі прогрівання нейтралізатора концентрації CO знижуються, а CO_2 – зростають.

Після проходження всього їздового циклу без попереднього прогрівання двигуна та автомобілем з прогрітим двигуном, були проведені розрахунки викидів забруднюючих речовин для визначення відповідності автомобіля нормам ЄЕК ООН.

Результати розрахунків наведені в додатку Ж.

За результатами визначення маси викидів забруднюючих речовин за випробувальний цикл та на один кілометр пробігу за циклом встановлено, що автомобіль, який досліджується, відповідає нормам Євро-4, а з прогрітим двигуном, навіть, Євро-5. Нормам Євро-6 автомобіль не відповідає через підвищення викидів CO_2 в довкілля (більше 120 г/км).

Після випробувань автомобіля за їздовими циклами на моделюючому роликовому стенді була отримана навантажувальна характеристика двигуна за частоти обертання $n_d = 2400 \text{ хв}^{-1}$. Автомобіль випробували за руху на четвертій передачі зі швидкістю 61,3 км/год за різного навантаження на двигун. Навантаження змінювалось від максимального до нульового з кроком в 25 %. Результати випробувань наведені в додатку К.

Концентрації забруднюючих речовин були перераховані з концентрацій у розбавлених ВГ до концентрацій в повному потоці ВГ за залежністю:

$$CO_{\text{конц}} = CO_{\text{розб}} \cdot K_{\text{розб}},$$

де $CO_{\text{конц}}$ – концентрація CO у нерозбавлених ВГ;

$CO_{\text{розб}}$ – концентрація CO у розбавлених ВГ;

$K_{\text{розб}}$ – коефіцієнт розбавлення.

Значення коефіцієнта розбавлення визначається за залежністю:

$$K_{\text{розб}} = \frac{Q_{CVS} \cdot 1,29}{\alpha \cdot G_{\Pi} \cdot 14,7 + G_{\Pi}},$$

де Q_{CVS} – витрата розбавлених ВГ, $\text{м}^3/\text{год}$;

G_{Π} – годинна витрата палива, $\text{кг}/\text{год}$;

α – коефіцієнт надміру повітря.

Результати обробки експериментальних даних наведені в табл. 4.5 та побудовані навантажувальні характеристики двигуна автомобіля Hyundai Getz.

Навантажувальна характеристика побудована як залежність витрати палива та концентрацій забруднюючих речовин від крутного моменту двигуна (рис. 4.23). Значення коефіцієнта надміру повітря α визначені за попередніми дослідженнями руху автомобіля в експлуатаційних умовах.

Таблиця 4.5 – Вихідні дані для побудови навантажувальної характеристики двигуна автомобіля Hyundai Getz

$p_{вп},$ кПа	$n,$ хв^{-1}	$t_{ох.р},$ $^{\circ}\text{C}$	Концентрації ЗР у нерозбавлених ВГ				$p_k,$ кПа	$G_p,$ кг/год	$M_e,$ Н·м	α	$Q_{CVS},$ $\text{м}^3/\text{год}$	$K_{розб}$
			$NO_x,$ млн^{-1}	$CO,$ %	$C_mH_n,$ млн^{-1}	$CO_2,$ %						
97	2399	91	325,30	3,457	1572,76	10,64	1	6,985	124,17	0,98	298,73	3,581
77	2395	96	39,35	0,089	102,25	12,00	21	5,498	90,03	0,99	300,2	4,528
58	2392	92	18,59	0,086	63,02	11,87	40	4,123	60,33	1	300,91	5,996
39	2386	89	3,30	0,051	41,26	11,41	59	2,741	30,08	1,01	300,13	8,912
22	2379	86	1,10	0,018	42,59	11,32	76	1,539	3,93	1,02	299,93	15,717

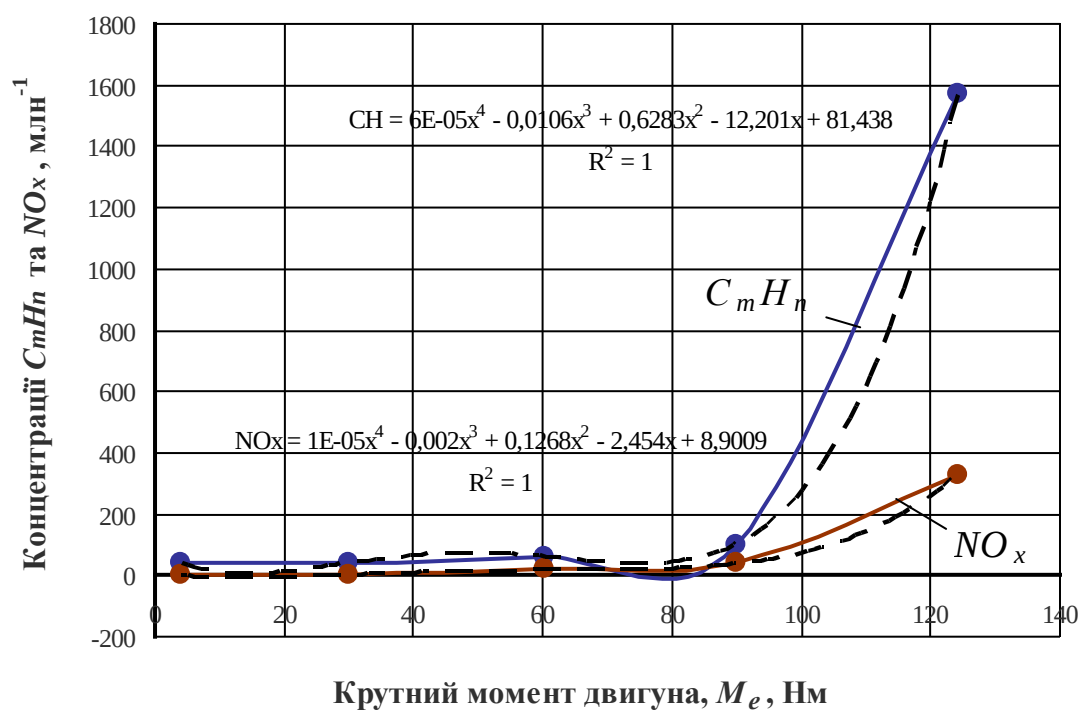
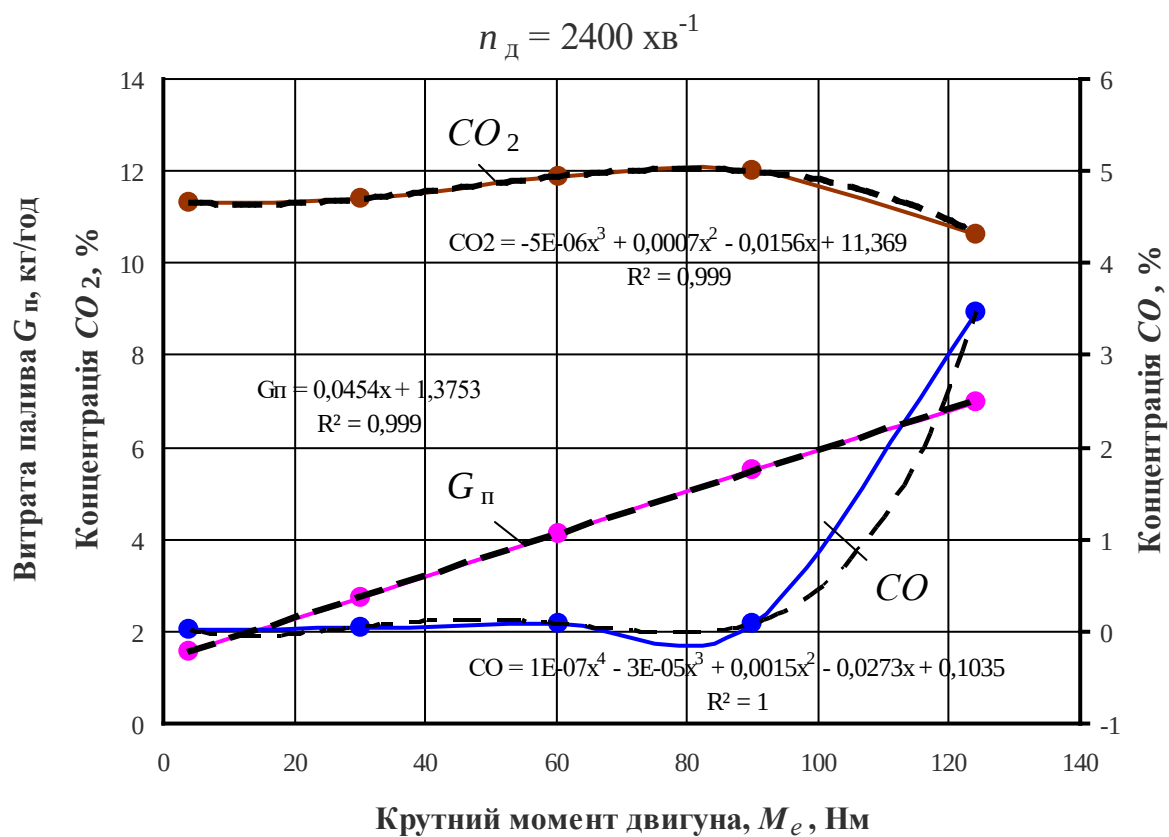


Рисунок 4.23 – Навантажувальна характеристика двигуна автомобіля Hyundai Getz

Лінії доповнені рівняннями апроксимації та значенням середньоквадратичного відхилення R^2 . Як видно з графіків, із збільшенням навантаження на двигун витрата палива зростає пропорційно, концентрація CO_2 збільшується до досягнення 75% навантаження, а далі зменшується через збагачення суміші, що надходить в циліндри двигуна до $\alpha = 0,98$ і стрімкого зростання концентрації CO до 3,3%.

Аналогічний характер має і зміна концентрацій вуглеводнів та оксидів азоту, хоча максимальне значення при повному навантаженні концентрації $C_m H_n - 1572$ млн⁻¹, а максимальна концентрація NO_x ще нижче – 325,3 млн⁻¹.

Рівняння залежностей можуть бути використані в математичній моделі руху автомобіля, але для моделі зручніше використовувати залежності параметрів роботи двигуна і зміни концентрацій забруднюючих речовин від розрідження у впускному трубопроводі. Для цього була визначена залежність зміни крутного моменту від величини розрідження у впускному трубопроводі (рис. 4.24) та перебудовано навантажувальну характеристику в залежності від зміни розрідження у впускному трубопроводі (рис. 4.25).

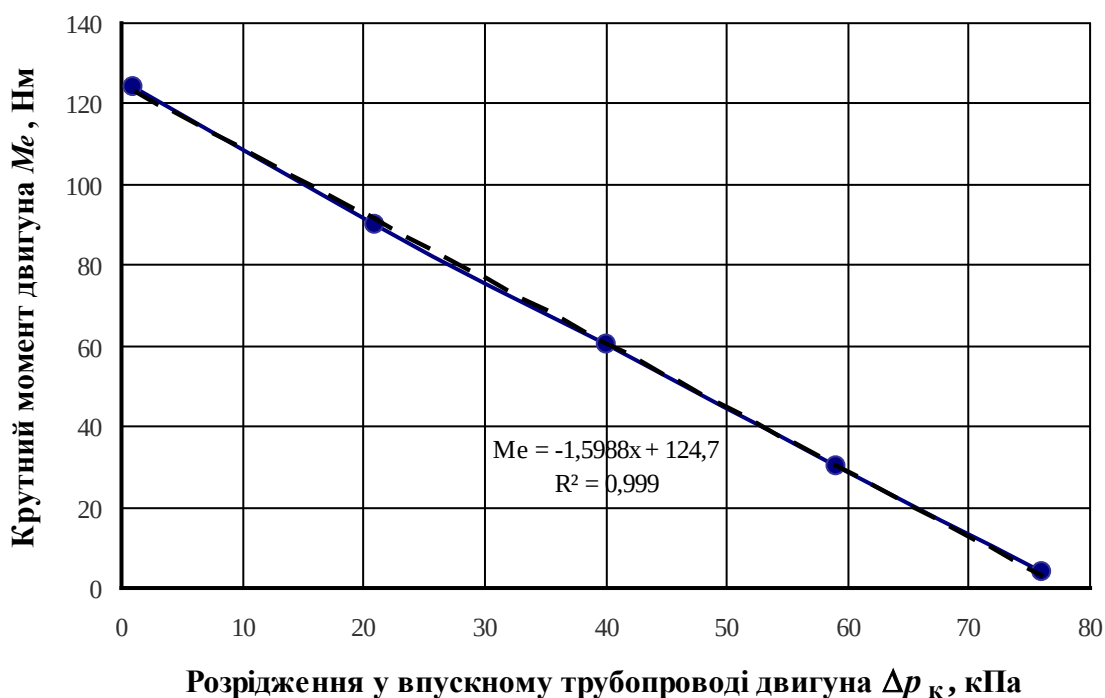


Рисунок 4.24 – Зміна крутного моменту від величини розрідження у впускному трубопроводі

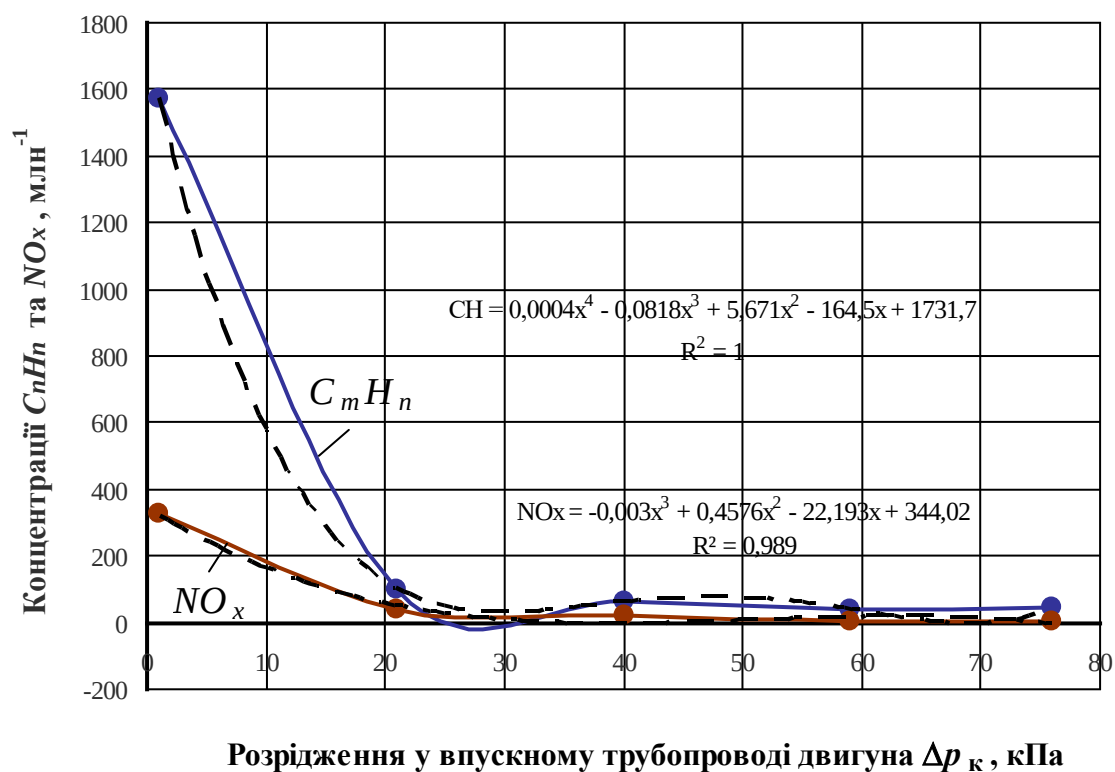
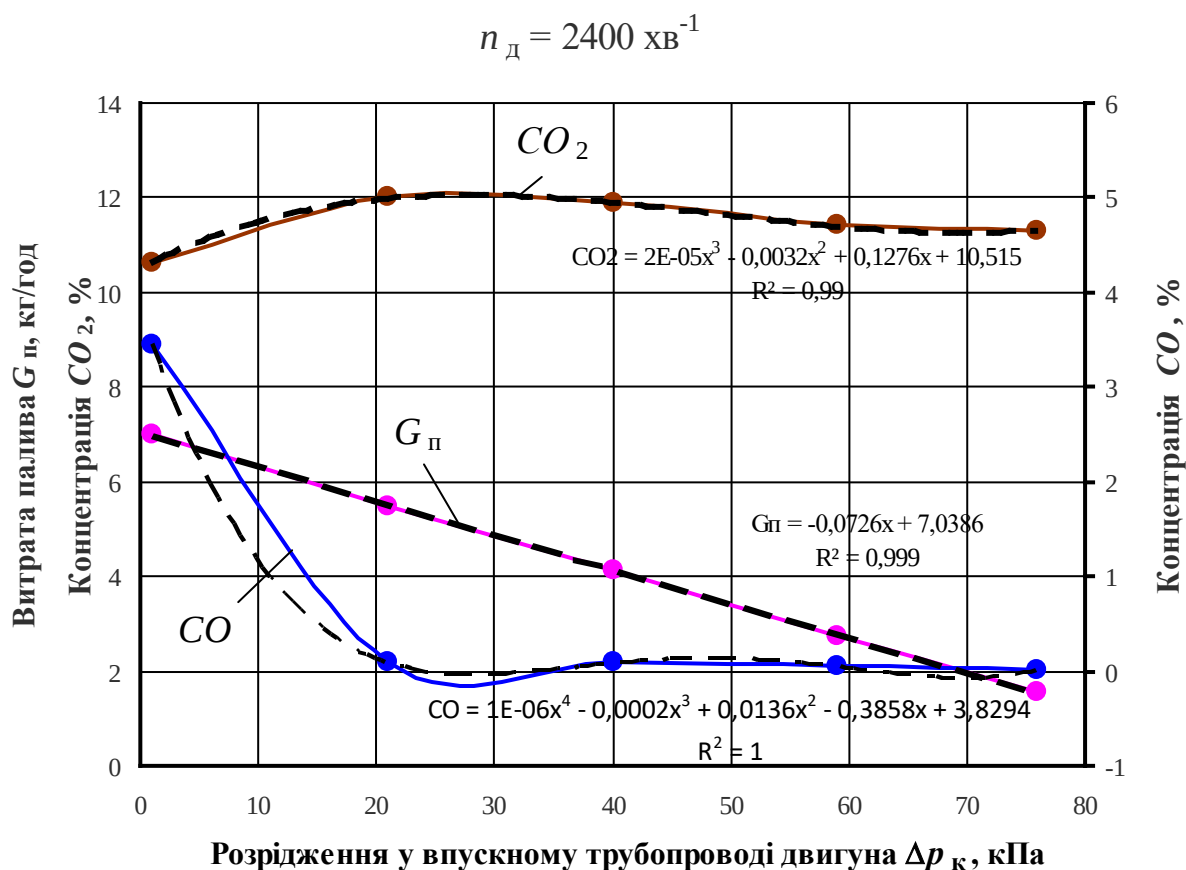


Рисунок 4.25 – Навантажувальна характеристика двигуна автомобіля Hyundai Getz від розрідження у впускному трубопроводі

Для визначення впливу додаткового підведення теплоти до впускного повітря на характеристики двигуна, при прогріванні за низьких температур атмосферного повітря, проведені додаткові експериментальні дослідження (рис. 4.26 та рис. 4.27).



Рисунок 4.26 – Вимірювальний комплекс



Рисунок 4.27 – Спосіб підведення теплоти для додаткового підігрівання впускного повітря

Випробування проводились за роботи двигуна автомобіля в режимі холостого ходу без підігрівання впускного повітря та з підігріванням впускного

повітря перед впускним трубопроводом [90]. Результати експериментальних досліджень приведені у вигляді графіків на рис. 4.28–4.32.

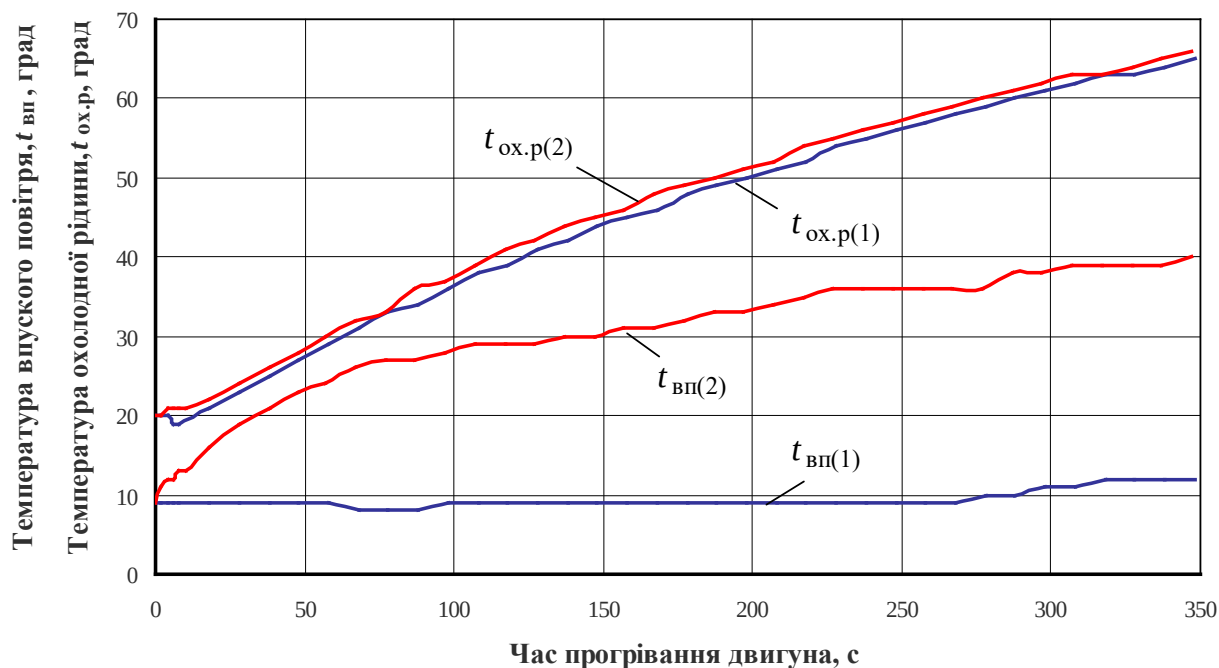


Рисунок 4.28 – Зміна температури впускного повітря та охолодної рідини:

1 – без додаткового підігрівання; 2 – з додатковим підігріванням

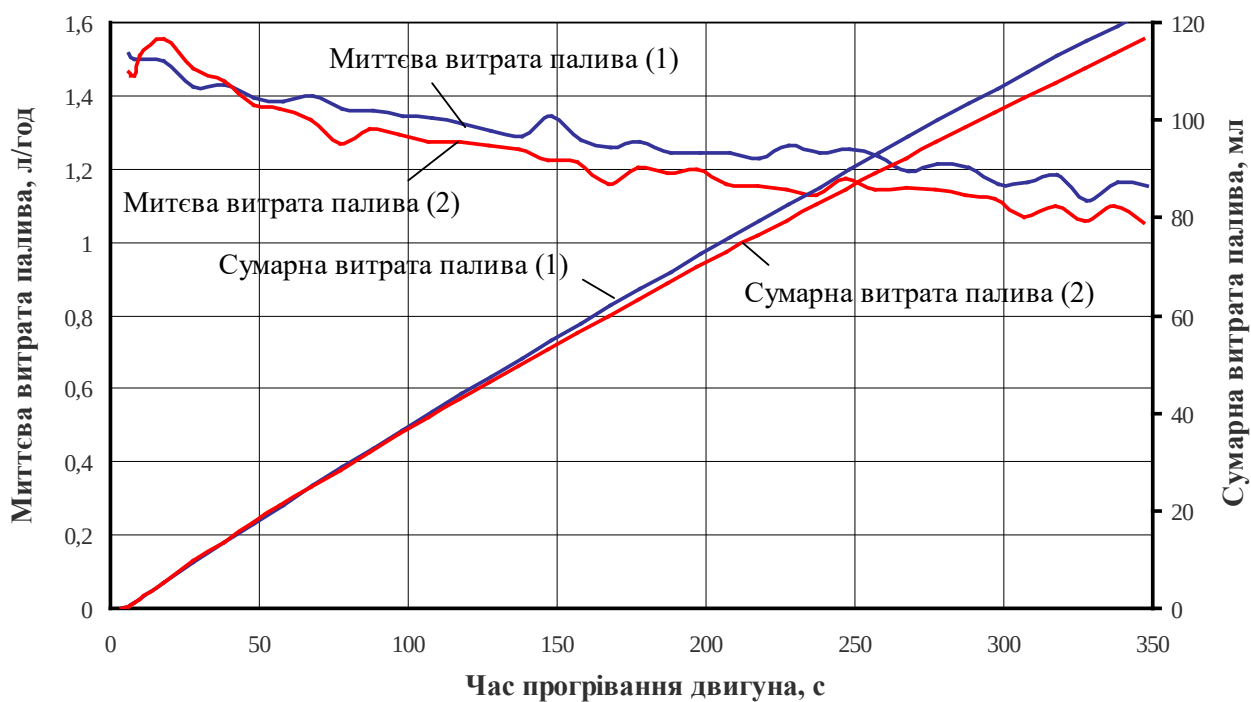


Рисунок 4.29 – Зміна витрати палива за прогрівання двигуна:

1 – без додаткового підігрівання; 2 – з додатковим підігріванням

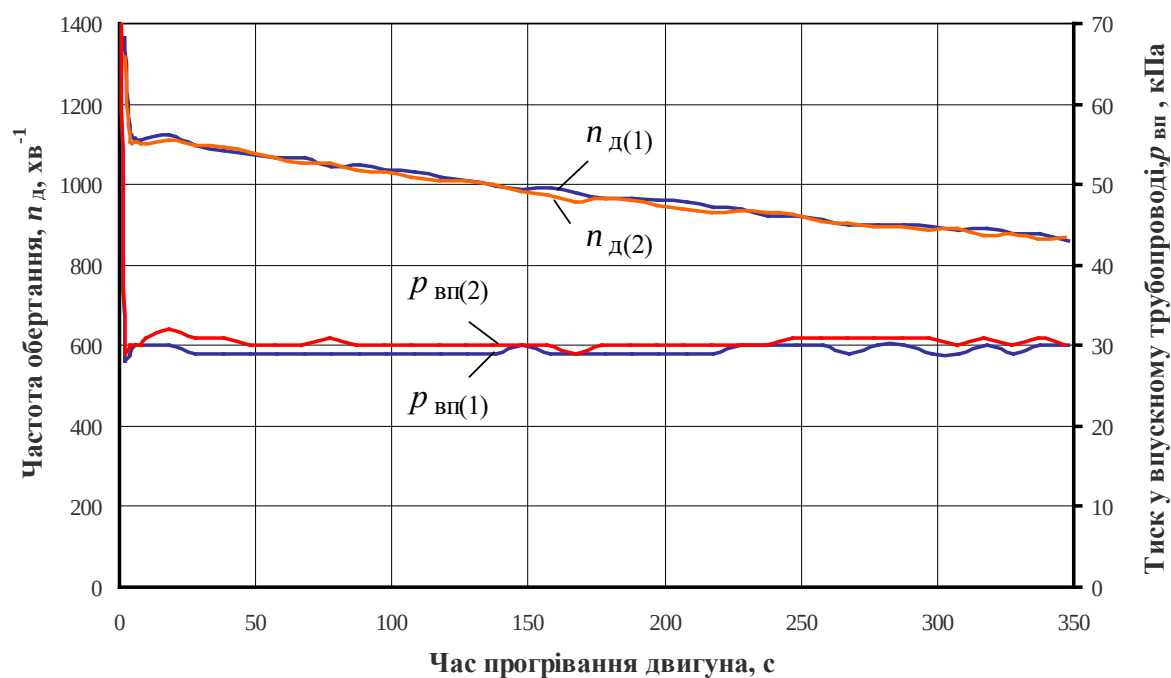


Рисунок 4.30 – Зміна частоти обертання колінчастого вала та тиску у впускному трубопроводі:

1 – без додаткового підігрівання; 2 – з додатковим підігріванням

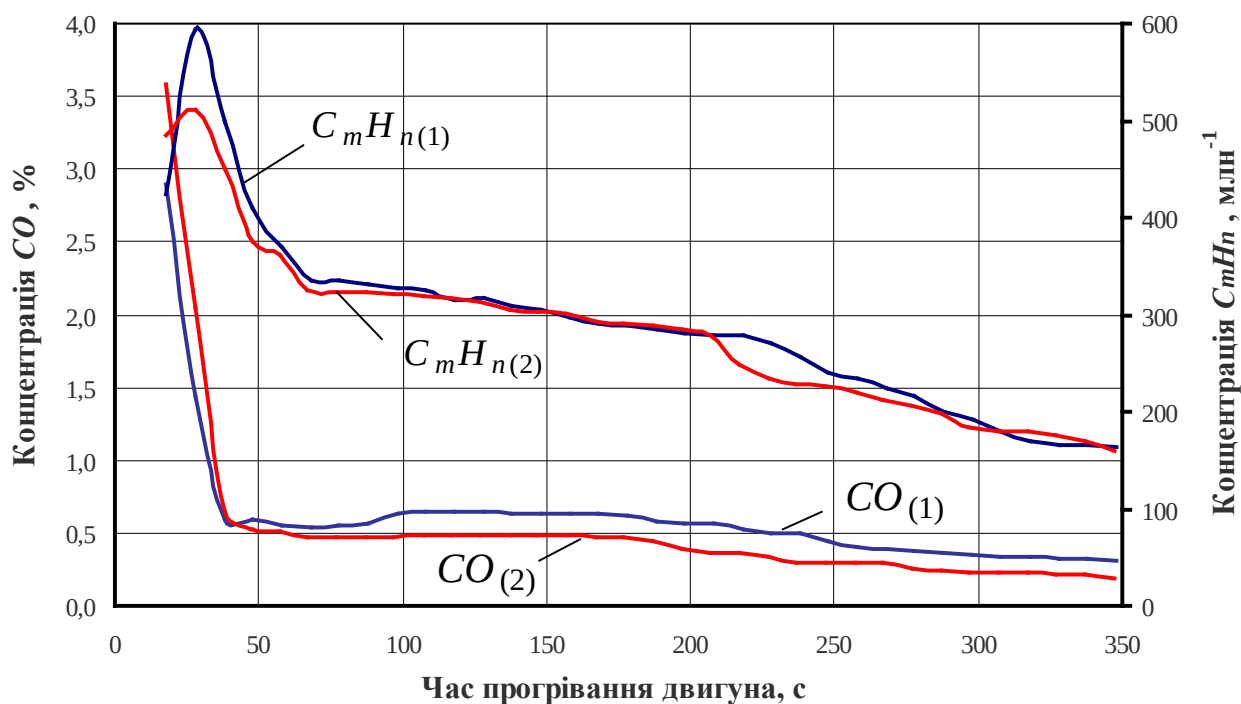


Рисунок 4.31 – Зміна концентрації оксиду вуглецю CO та вуглеводнів C_mH_n під час прогрівання двигуна автомобіля:

1 – без додаткового підігрівання; 2 – з додатковим підігріванням

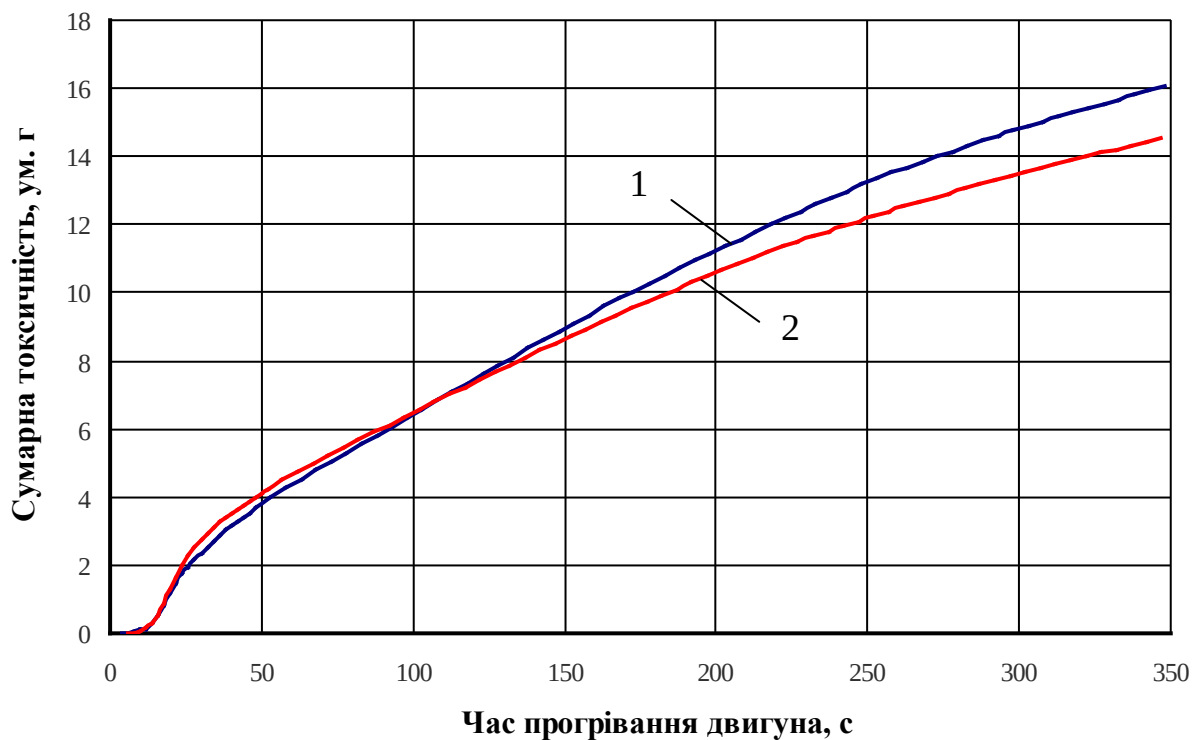


Рисунок 4.32 – Сумарні масові викиди при прогріванні двигуна автомобіля:

1 – без додаткового підігрівання; 2 – з додатковим підігріванням

З графіків, показаних на рис. 4.28 видно, що температура охолодної рідини збільшилась в період прогрівання незначно, але при цьому суттєво зростає температура впускного повітря, що забезпечує зменшення подачі палива за даного режиму роботи двигуна (рис. 4.29).

Так температуру охолодної рідини 50°C при початковій температурі 20°C двигун досягає без додаткового підігрівання через 198 с. роботи, а з підігріванням через 187 с., при цьому температура вхідного повітря складала відповідно 9°C та 33°C без та з додатковим підігріванням. Миттєва витрата палива без підігрівання зменшилась з 1,551 до 1,243 л/год, а з підігріванням з 1,551 до 1,188 л/год.

При цьому частота обертання двигуна і тиск у впускному трубопроводі за часом проведення мають однаковий характер (рис. 4.30).

Зменшення циклової подачі палива блоком керування двигуном впливає на зменшення концентрацій забруднюючих речовин при додатковому підігріванні впускного повітря (рис. 4.31).

Якщо прийняти за контрольний час 200 с. прогрівання двигуна, то з графіків видно, що температура охолодної рідини вище на $1,5^{\circ}\text{C}$, що складає 3%, миттєва витрата палива нижче на 4%, сумарна витрата палива за період прогрівання зменшилась також на 4%, концентрації $C_m H_n$ однакові на рівні 280 млн^{-1} , а концентрації CO за додаткового прогрівання значно нижча і складає 0,39% в порівнянні з 0,56% для прогрівання без додаткового підведення теплоти, що характеризує зниження концентрації на 30%. Сумарні масові викиди за двома компонентами знижуються за період прогрівання в 200 секунд (рис. 4.32) на 6%.

Тобто додаткове підведення теплоти ефективне в період прогрівання двигуна і дає змогу знизити викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Ефективні методи прискореного підігрівання двигунів та каталітичних нейтралізаторів запроваджуються у автомобілів, що відповідають нормам Євро-5 та Євро-6. Проте, як показали проведені дослідження, автомобілі, що відповідають нормам Євро-4 потребують також дообладнання для більш швидкого виведення двигуна автомобіля, зокрема каталітичного нейтралізатора на оптимальний тепловий режим.

4.5. Висновки до розділу 4

1. Визначені мета, задачі, програма експериментальних досліджень, описані об'єкт експериментальних досліджень, прилади та обладнання, особливості методики проведення досліджень.

2. В процесі прогрівання двигуна автомобіля температура охолодної рідини в першому фрагменті їздового циклу зростає з 12°C до 67°C , при якій двигун може сприймати зовнішнє навантаження. Тому дослідження впливу підігріву проводили в межах до 60°C .

3. Концентрації оксиду вуглецю, вуглеводнів і оксидів азоту у ВГ непрогрітого двигуна значно вищі в порівнянні з прогрітим. Максимальні

концентрації цих речовин у ВГ непрогрітого двигуна в порівнянні з прогрітим вищі у 7,87, 4,97, 2,68 разів відповідно.

4. При температурі атмосферного повітря 10°C і підігріві повітря на впуску в двигун до 33°C і відповідно зростання температури охолодної рідини на $1,5^{\circ}\text{C}$ миттєва витрата бензину зменшується на 4%.

5. При прогріванні двигуна до температури охолодної рідини 50°C економія бензину становить 4%, сумарні масові викиди CO і C_mH_n , приведені до CO , зменшуються на 6%.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ З КАТАЛІТИЧНИМ НЕЙТРАЛІЗАТОРОМ В ПРОЦЕСІ ПРОГРІВАННЯ ДВИГУНА

5.1. Визначення коефіцієнтів рівнянь математичної моделі

Для реалізації математичної моделі руху автомобіля за Новим Європейським їздовим циклом та в період прогрівання двигуна необхідно встановити коефіцієнти поліноміальних рівнянь методом апроксимації експериментальних залежностей.

Впродовж всього циклу змінюється тепловий стан двигуна, що характеризується температурою охолодної рідини. Температура охолодної рідини визначається часом попереднього прогрівання двигуна в режимі холостого ходу (за низьких температур) чи часом проходження циклу (за температур більше 27°C).

Період прогрівання двигуна в режимі холостого ходу за низьких температур характеризує рис. 2.4 та рис. 2.8. За даним режимом є можливість прогрівати двигун до 27°C в режимі активного холостого ходу, і потім починати рух за режимами міської частини Нового Європейського їздового циклу. Також є можливість продовжити прогрівання двигуна в режимі активного холостого ходу до 50°C, що на нашу думку є більш оптимальним. Температура прогрівання двигуна при виконанні їздового циклу характеризується часом прогрівання і описується рівнянням

$$T = 27 + 0,2227 \cdot \tau + 0,0004 \cdot \tau^2 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^3 + 5 \cdot 10^{-9} \cdot \tau^4 - 2 \cdot 10^{-12} \cdot \tau^5, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.1)$$

Відповідно до температури охолодної рідини блок управління встановлює рівень мінімальної частоти обертання колінчастого вала за холостого ходу, яка описується рівнянням

$$n_{\text{д}} = 1255,7 - 6,0351 \cdot T, \text{ хв}^{-1} \quad (5.2)$$

Мінімальна частота обертання колінчастого валу за холостого ходу для повністю прогрітого двигуна становить $n_{\text{дх.х.мін}} = 710 \text{ хв}^{-1}$.

Витрата палива в цей період описується рівнянням

$$G_{\text{п}} = 0,2704 + 0,000425 \cdot n_{\text{д}} \cdot 6,1 \cdot 10^{-8} \cdot n_{\text{д}}^2, \text{ кг/год} \quad (5.3)$$

Для встановлення підвищеної частоти обертання переміщуємо дросельну заслінку.

Відсоток відкриття дросельної заслінки $\varphi_{\text{др}}$ від збільшення частоти обертання описуємо рівнянням

$$\varphi_{\text{др}} = -0,3113 + 0,0006 \cdot n_{\text{д}} + 6 \cdot 10^{-7} \cdot n_{\text{д}}^2, \% \quad (5.4)$$

Витрату повітря не вимірювали, а годинну витрату повітря можна визначити через коефіцієнт надміру повітря, який в режимі холостого ходу описується рівнянням в залежності від температури охолодної рідини T , визначеній в °C.

$$\alpha = 0,957 + 0,0017 \cdot T - 1 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \quad (5.5)$$

За попереднього прогрівання до початку виконання циклу, коли двигун запускаємо при низьких температурах атмосферного повітря (до -10°C) зміну температури охолодної рідини описуємо рівнянням

$$T = 0,3156 \cdot \tau - 9,1798 - 0,0005 \cdot \tau^2 + 4 \cdot 10^{-7} \cdot \tau^3, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.6)$$

В режимах примусового холостого ходу блок управління для даної системи розподіленого впорскування, що встановлена на автомобілі Hyundai Getz, не вимикає повністю циклову подачу, а тільки зменшує її для створення гальмівного моменту двигуна.

Витрату палива для цього режиму описуємо рівнянням

$$G_{\Pi} = 0,1692 + 0,0007 \cdot n_{\text{Д}}, \text{ кг/год} \quad (5.7)$$

Температуру охолодної рідини визначаємо як і в режимі активного холостого ходу.

При розгляді руху автомобіля за їздовим циклом найважливіше – встановлення коефіцієнтів в рівняннях щодо визначення концентрацій забруднюючих речовин.

Розглянемо рівняння для конкретних ділянок, тобто для режиму активного холостого ходу, навантажувальних режимів та режиму примусового холостого ходу.

Концентрації забруднюючих речовин визначаються за результатами попередніх досліджень (рис. 2.8, 4.16–4.18, 4.23).

Як результат отримуємо наступні постійні коефіцієнти в рівняннях (табл. 5.1)

Таблиця 5.1 – Значення коефіцієнтів рівнянь

Функції	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Режим активного холостого ходу						
$CO = f(t)$	0,7173	-0,015	0,0001			
$C_m H_n = f(t)$	429,31	-9,374	0,0501			
$CO_2 = f(t)$	7,5775	0,1002	-0,002	$2 \cdot 10^{-5}$	$-1 \cdot 10^{-7}$	
$NO_x = f(n_{\text{Д}})$	-17,637	0,033	$-7,744 \cdot 10^{-6}$			
Навантажувальний режим						
$CO = f(M_{\text{К}})$	0,0166	0,0015	-0,00003	$9 \cdot 10^{-7}$	$-1 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-11}$
$C_m H_n = f(M_{\text{К}})$	37,261	1,0281	-0,095	0,0033	$-4,1 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
$CO_2 = f(M_{\text{К}})$	11,369	-0,0156	0,0007	$-5 \cdot 10^{-6}$		
$NO_x = f(M_{\text{К}})$	8,9009	-2,454	0,1268	-0,002	$1,06 \cdot 10^{-5}$	
Режим примусового холостого ходу						
$CO = f(n_{\text{Д}})$	0,3136	-0,0003	$2 \cdot 10^{-7}$			
$C_m H_n = f(n_{\text{Д}})$	0,4099	-0,0005	$3 \cdot 10^{-7}$	$-4 \cdot 10^{-11}$		
$CO_2 = f(n_{\text{Д}})$	53,06398	-0,07764	$4,4638 \cdot 10^{-5}$	$-8,67 \cdot 10^{-9}$		
$NO_x = f(n_{\text{Д}})$	219,25	-0,1908	$6 \cdot 10^{-5}$			

Коефіцієнти відносяться до програми, реалізованої в системі MathCAD для проведення розрахункових досліджень

5.2. Визначення коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна

Для визначення впливу теплового стану двигуна, який оцінювали температурою охолодної рідини, на витрату палива з використанням залежностей показаних на рис. 3.2 розраховували коефіцієнти впливу температурного стану двигуна за залежністю

$$K_T = \frac{G_{\Pi i \phi}}{G_{\Pi 4 \phi}}, \quad (5.8)$$

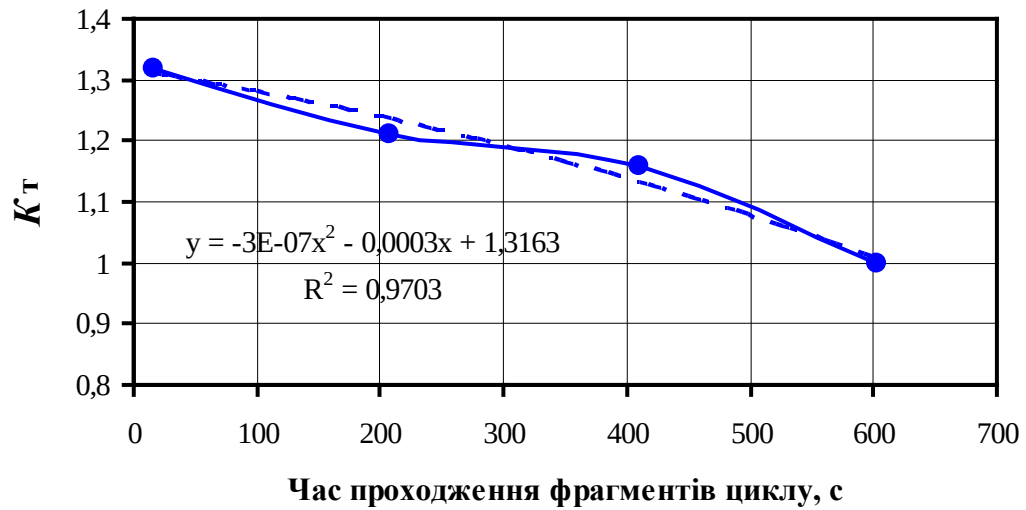
де $G_{\Pi i \phi}$ – годинна витрата бензину або концентрації забруднюючих речовин при русі автомобіля з даною швидкістю в i -му фрагменті їздового циклу;

$G_{\Pi 4 \phi}$ – годинна витрата бензину або концентрації забруднюючих речовин при русі автомобіля з даною швидкістю в 4-му фрагменті їздового циклу.

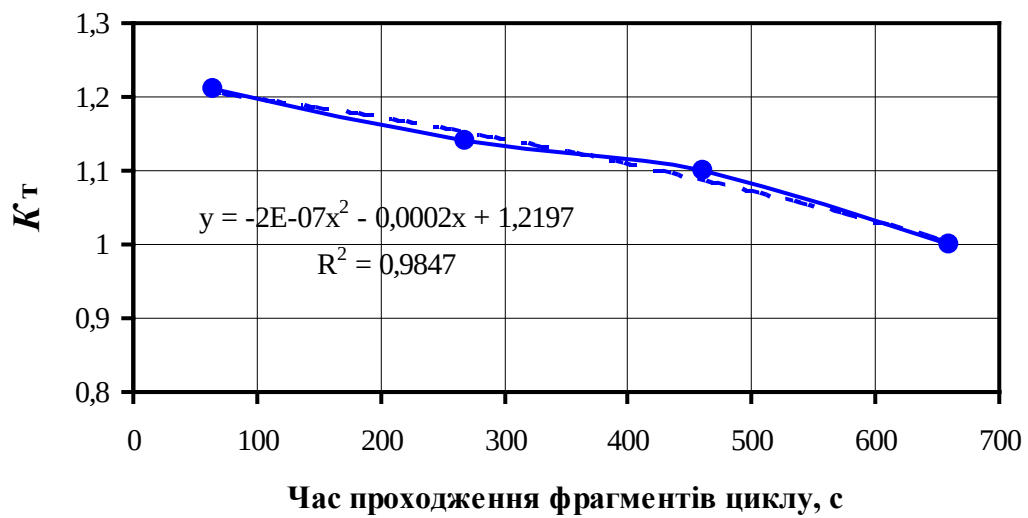
Отримані залежності коефіцієнтів впливу температурного стану наведені в табл. 5.2, а графіки показані на рис. 5.1 (а, б, в).

Таблиця 5.2 – До розрахунку коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на витрату палива

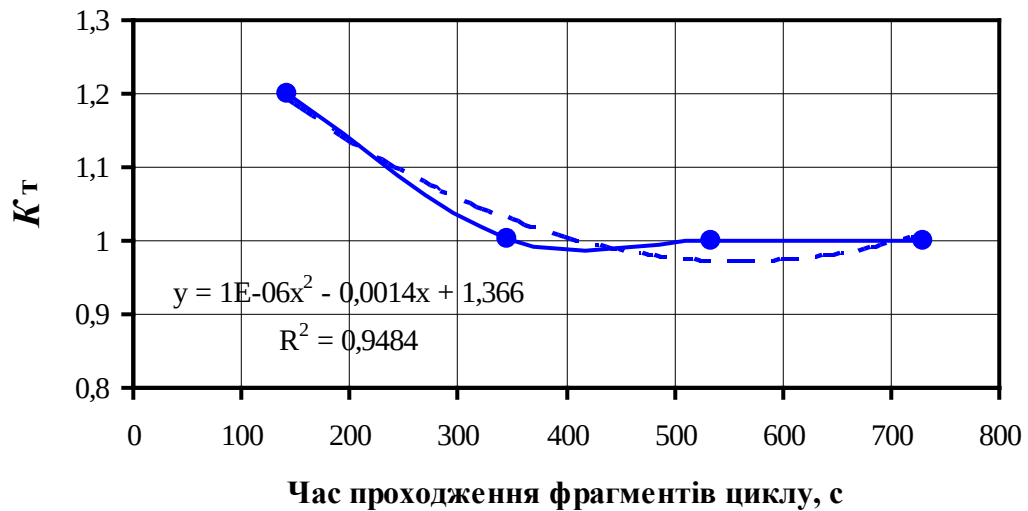
Швидкість автомобіля, км/год	1 фрагмент		2 фрагмент		3 фрагмент		4 фрагмент	
	K_T	τ , с	K_T	τ , с	K_T	τ , с	K_T	τ , с
15	1,32	17	1,21	208	1,159	410	1,0	602
32	1,21	65	1,14	268	1,1	460	1,0	660
50	1,2	142	1,004	346	1,0	534	1,0	730



а)



б)



в)

Рисунок 5.1 – Зміна коефіцієнта впливу температурного стану відносно витрати бензину при сталій швидкості руху автомобіля:
а) при 15 км/год; б) при 32 км/год; в) при 50 км/год

З показаних графічних залежностей видно, що при всіх сталих швидкостях умовного руху автомобіля (15, 32 і 50 км/год) по мірі проходження фрагментів циклу, тобто по мірі прогрівання двигуна коефіцієнти впливу температурного стану зменшуються і в кінці виконання циклу дорівнюють одиниці.

Для визначення спільного впливу теплового стану двигуна за різних швидкостей руху автомобіля на величину коефіцієнтів впливу температурного стану показники графіків (рис. 5.1) нанесли на один графік, показаний на рис. 5.2. Там же наведено аналітичний вираз, що дозволяє розрахувати витрату бензину в будь-якій точці їздового циклу і в цілому за фрагмент та весь цикл.

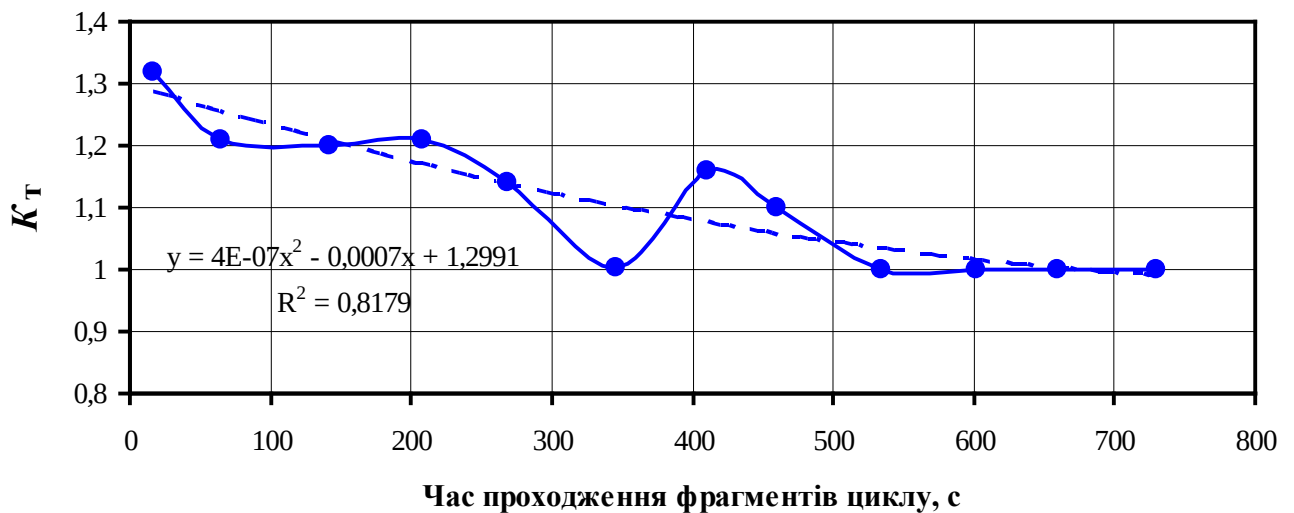


Рисунок 5.2 – Зміна коефіцієнту температурного стану відносно витрати бензину за усталених швидкостей руху автомобіля

З використанням зміни температури охолодної рідини по мірі виконання циклу, показаної на рис. 3.4 та коефіцієнтів впливу температурного стану, показаних на рис. 5.2, отримали залежність коефіцієнтів впливу температурного стану від температури охолодної рідини. В табл. 5.3 наведені показники, які використали для отримання цієї залежності, на рис. 5.3 показана графічна залежність.

Таблиця 5.3 – Контрольні точки міського їздового циклу для визначення коефіцієнтів температурного стану двигуна

τ , с	17	65	142	208	268	346	410	460	534	602	660	730
$t_{\text{ох.р}}$	27	42	60	68	77	84	84	85	87	87	90	90
K_T	1,32	1,2	1,2	1,21	1,14	1,1	1,15	1,1	0,97	1,0	1,0	1,0

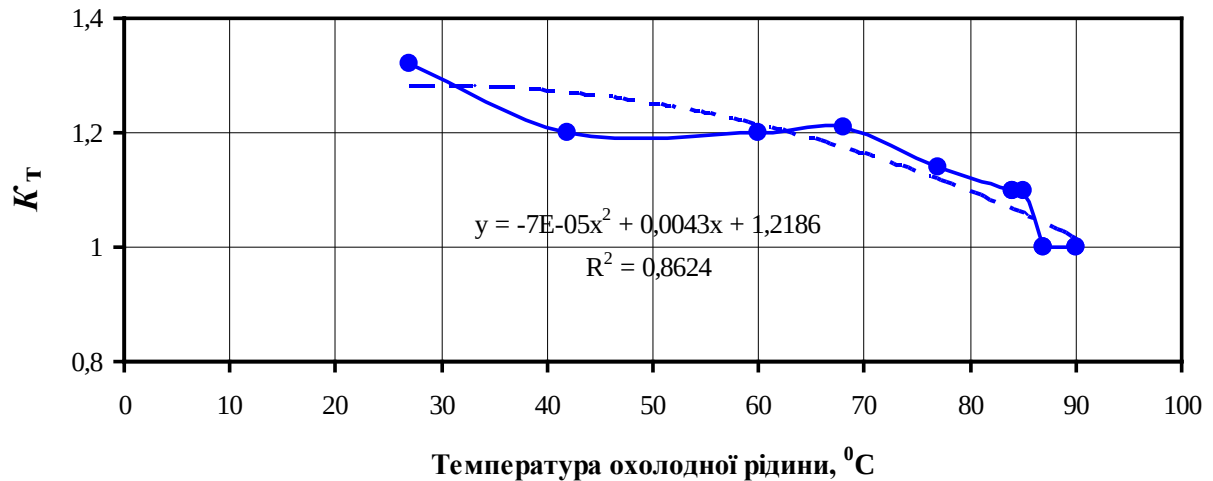


Рисунок 5.3 – Зміна коефіцієнта температурного стану відносно температури охолодної рідини

Показані на рис. 5.2 і 5.3 графіки і наведені аналітичні залежності зручно і доцільно використовувати, коли значно зростає температура охолодної рідини.

Як показує практика і проведені дослідження, двигун внутрішнього згорання підготовлений до сприйняття зовнішнього навантаження при температурі охолодної рідини 50...60 $^{\circ}\text{C}$. В проведених експериментальних дослідженнях в русі автомобіля за режимами Нового Європейського їздового циклу прогрівання здійснювали від 27 $^{\circ}\text{C}$. Ця температура відповідала закінченню прогрівання в режимі холостого ходу при визначеному, як найбільш доцільному, комбінованому методі прогрівання автомобіля при низьких температурах навколишнього середовища. Результати дослідження з цього питання наведені в розділі 2. Тому для більш об'єктивної оцінки впливу

підігріву повітря на впуску в двигун на витрату бензину проаналізували окремо зміну коефіцієнтів впливу температурного стану в інтервалі 27–60°C (рис. 5.4).

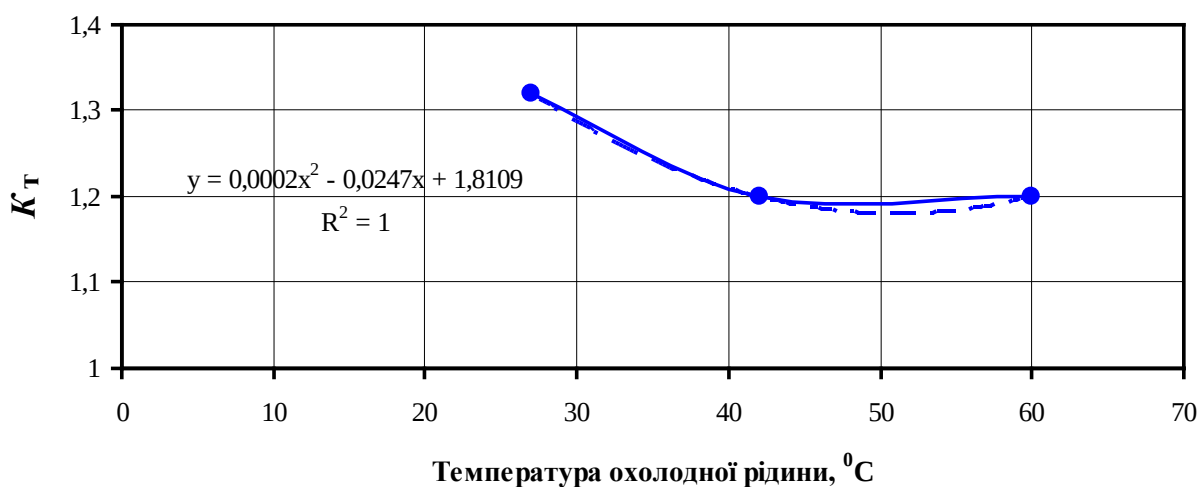


Рисунок 5.4 – Зміна коефіцієнтів температурного стану при прогріванні двигуна від 27 до 60°C

На рис. 5.5 показана заміряна в експериментальних дослідженнях залежність температури охолодної рідини від часу руху автомобіля в режимах першого фрагменту, коли температура зростала від 27 до 60°C. Там же показана зміна температури з підігрівом на 3°C в результаті підігріву повітря на впуску в процесі прогрівання двигуна в режимі холостого ходу при комбінованому методі прогрівання автомобіля при низьких температурах навколишнього середовища. При використанні підігріву повітря температура охолодної рідини зростає до 60°C за 133 с тобто час зменшився на 9 с.

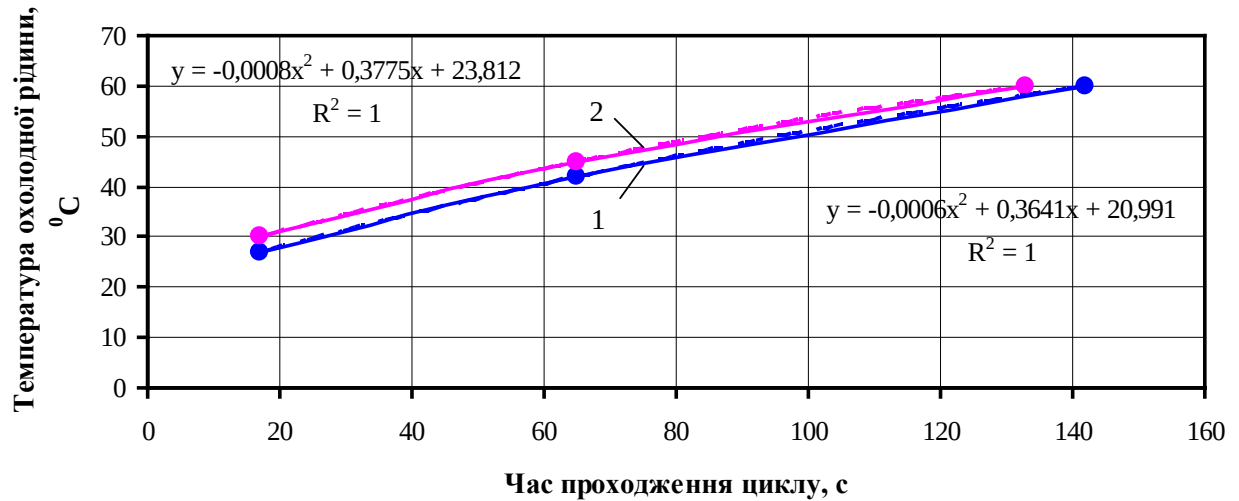


Рисунок 5.5 – Прогрівання двигуна в циклі за різної початкової температури початку руху:

1 – прогрівання двигуна за цикл; 2 – застосування додаткового підігріву до початку руху за цикл

З використанням залежності K_T від температури охолодної рідини, наведеної на рис. 5.4, розраховані залежності K_T для двох закономірностей зміни температури охолодної рідини показані на рис. 5.6. Як видно з показаних графіків, підігрів повітря на впуску з підвищенням температури охолодної рідини лише на 3°C на початку виконання їздового циклу і підтримання цього рівня дозволяє не тільки зменшити час прогрівання, але й зменшити витрату бензину. Зниження коефіцієнту впливу температурного стану на початку виконання їздового циклу складає близько 2,3 %. Це відповідає такому ж зменшенню витрати бензину. По мірі прогрівання ефект зменшується.

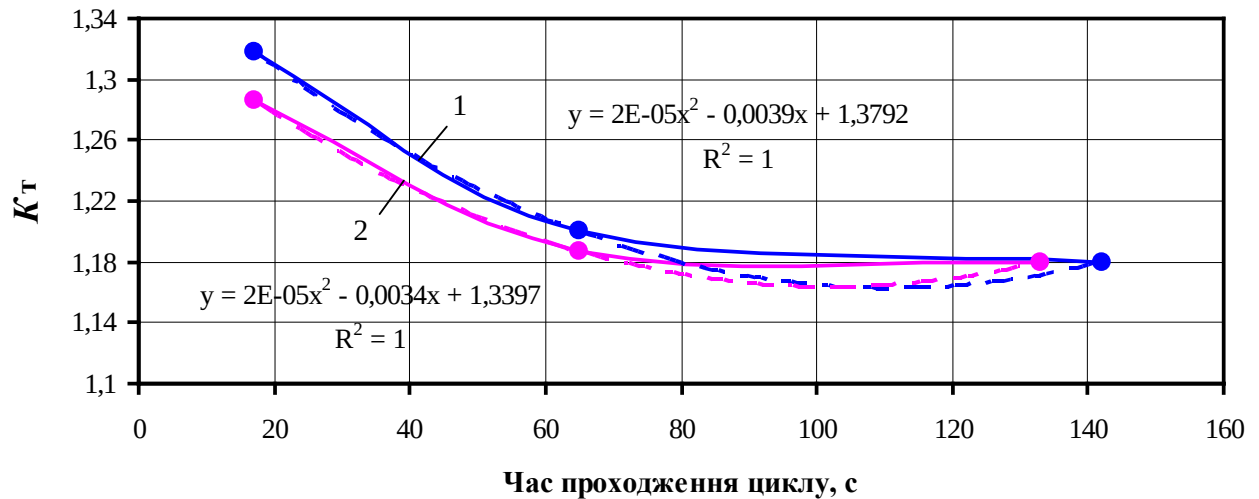


Рисунок 5.6 – Зміна коефіцієнта температурного стану за різних початкових температур охолодної рідини:

- 1 – без додаткового підігрівання впускного повітря;
- 2 – з додатковим підігріванням впускного повітря

Закономірності зміни коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на концентрацію в розбавлених ВГ окремих ЗР (CO , C_mH_n , NO_x) розраховували з використанням табл. 3.3 і 3.4. В табл. 5.4 наведені значення коефіцієнтів в залежності від температури охолодної рідини, а на рис. 5.7–5.9 показані графіки та аналітичні залежності.

Таблиця 5.4 – Значення коефіцієнтів впливу температурного стану на концентрації ЗР у ВГ

$t_{\text{ох.р}}$	K_{CO}	$K_{C_mH_n}$	K_{NO_x}
27		127	4,9
30		150	12,1
31	139	18	40
36	18	36	5,7
37	28	51	30
39	82	83	15
47	1,25	8	1
51	1,03	16	33
57	6,07	8,6	4,1
59	24,5	14,5	150
62	39	35	257
64	19,6	36	236
66	0,92	4,5	79
66	0,53	13,4	78
67	1,73	12	265
68	2	16	76

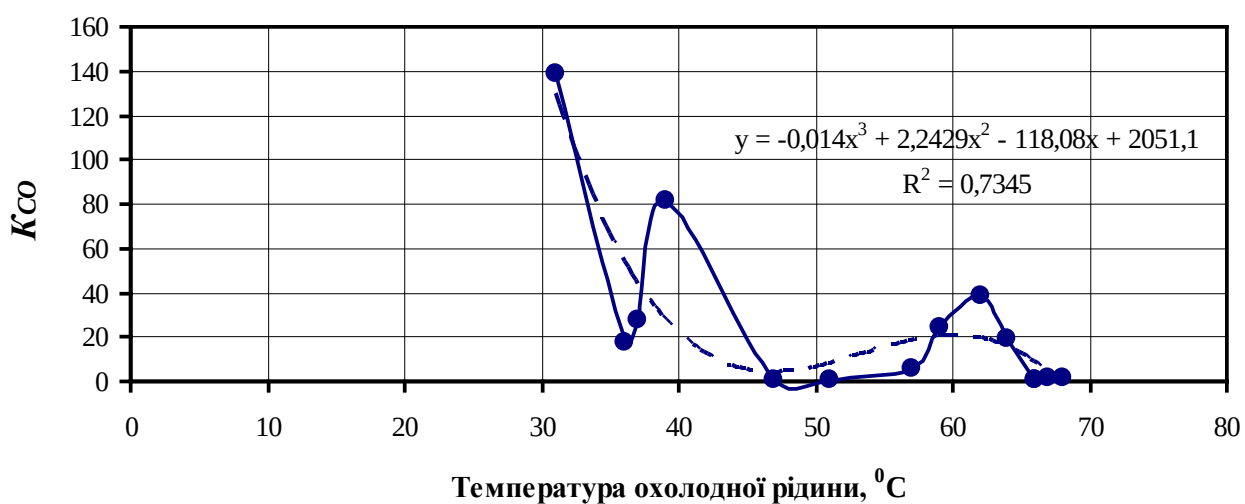


Рисунок 5.7 – Зміна коефіцієнта температурного стану відносно вмісту оксиду вуглецю CO у ВГ

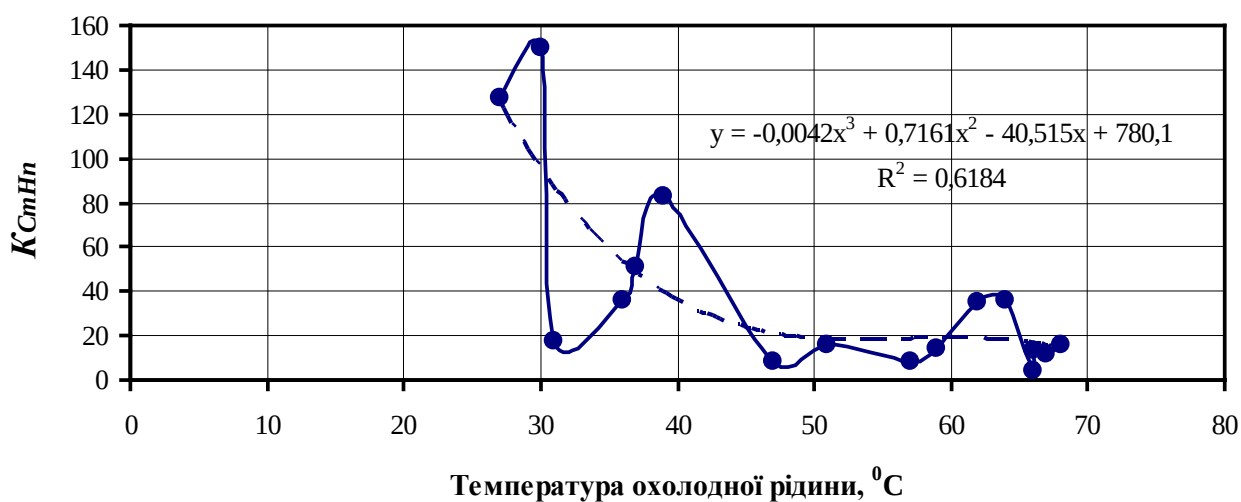


Рисунок 5.8 – Зміна коефіцієнта температурного стану відносно вмісту вуглеводнів C_mH_n у ВГ

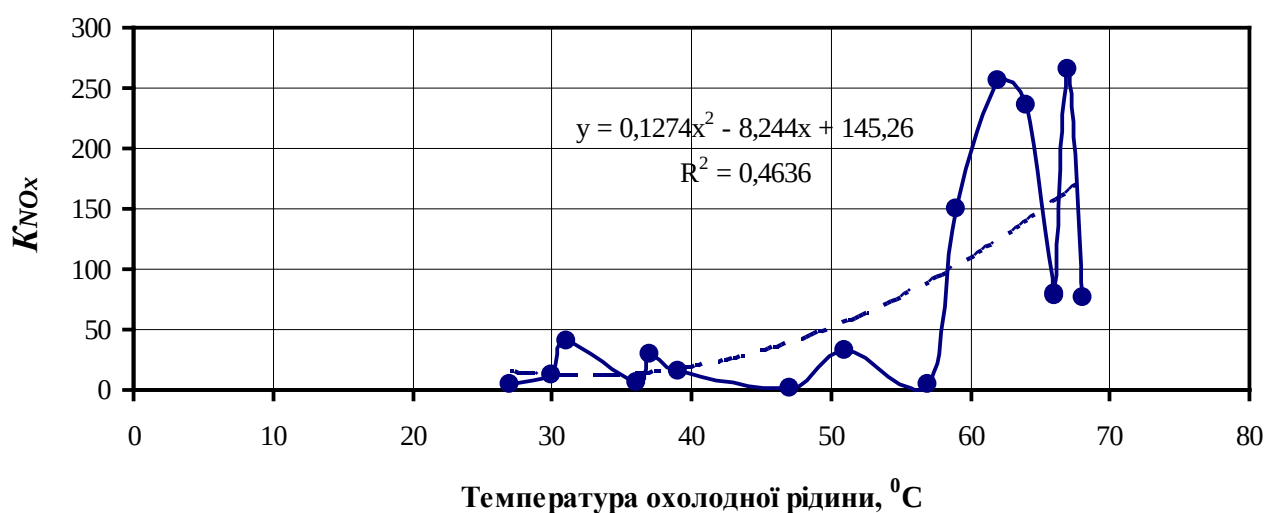


Рисунок 5.9 – Зміна коефіцієнта температурного стану відносно вмісту оксидів азоту NO_x у ВГ

Як видно з показаних графіків, в процесі прогрівання двигуна в русі автомобіля за режимами першого фрагменту їздового циклу концентрація ЗР в ВГ значно відрізняється від концентрації ЗР у ВГ прогрітого двигуна. Про це свідчать великі значення коефіцієнтів K_{CO} і K_{CmHn} на початку прогрівання і великі значення K_{NOx} в кінці першого фрагменту. Пояснити таку закономірність можна тим, що система управління в початковій фазі

прогрівання збагачує паливо-повітряну суміш, що визначає великі значення коефіцієнтів K_{CO} і $K_{C_mH_n}$ і низькі значення K_{NO_x} , в той час як в прогрітому двигуні паливоповітряна суміш близька до стехіометричної. Великі значення K_{NO_x} в кінці першого фрагменту можна пояснити тим, що в кінці першого фрагменту каталітичний нейтралізатор повністю не прогрітий і ефективність його роботи невисока. В кінці четвертого фрагменту тепловий стан нейтралізатора досягає оптимального значення.

Як видно з рис. 5.7–5.9, отримані графіки мають досить складну конфігурацію, точне врахування якої практично неможливе, тому для подальших розрахунків вирішили використати наведені на рисунках отримані аналітичні залежності від температури охолодної рідини та коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на концентрацію в розбавлених ВГ окремих ЗР (CO , C_mH_n , NO_x). З використанням цих залежностей визначили зміну коефіцієнтів по мірі руху автомобіля за режимами першого фрагменту при зростанні температури охолодної рідини від 27°C до 60°C. Дані для визначення наведені в табл. 5.5, графіки показані на рис. 5.10–5.12.

Таблиця 5.5 – Зміна коефіцієнтів впливу температурного стану на концентрації ЗР у ВГ від збільшення температури охолодної рідини

$t_{ox.p}$	τ, c	K_{CO}	$K_{C_mH_n}$	K_{NO_x}
27	12		127	4,9
30	20		150	12,1
31	25	139	18	40
36	46	18	36	5,7
37	52	28	51	30
39	58	82	83	15
47	80	1,25	8	1
51	113	1,03	16	33
57	134	6,07	8,6	4,1
59	140	24,5	14,5	150

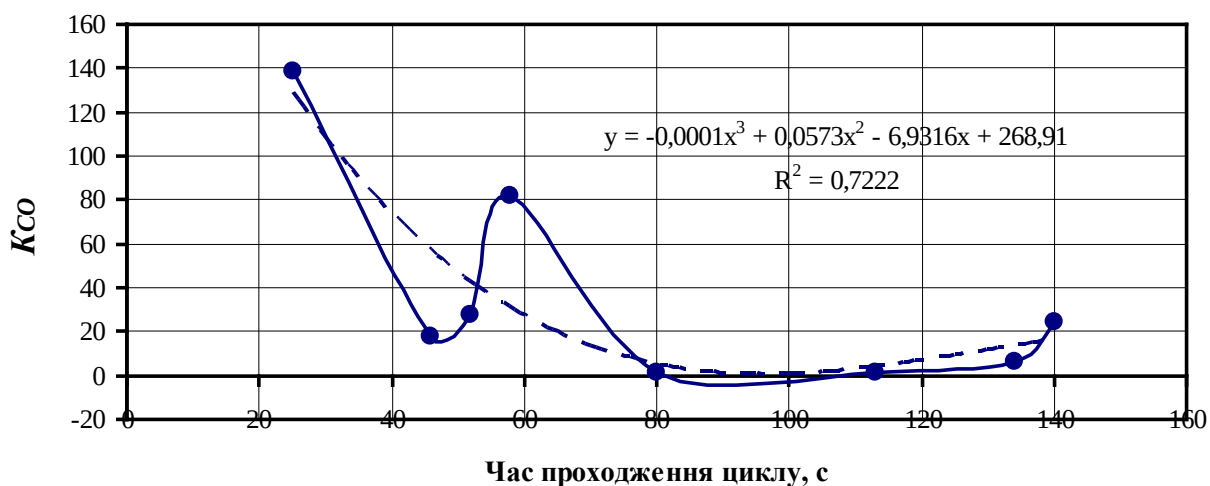


Рисунок 5.10 – Зміна коефіцієнта впливу температурного стану відносно концентрації оксиду вуглецю CO у ВГ при прогріванні від 27 до 60°C

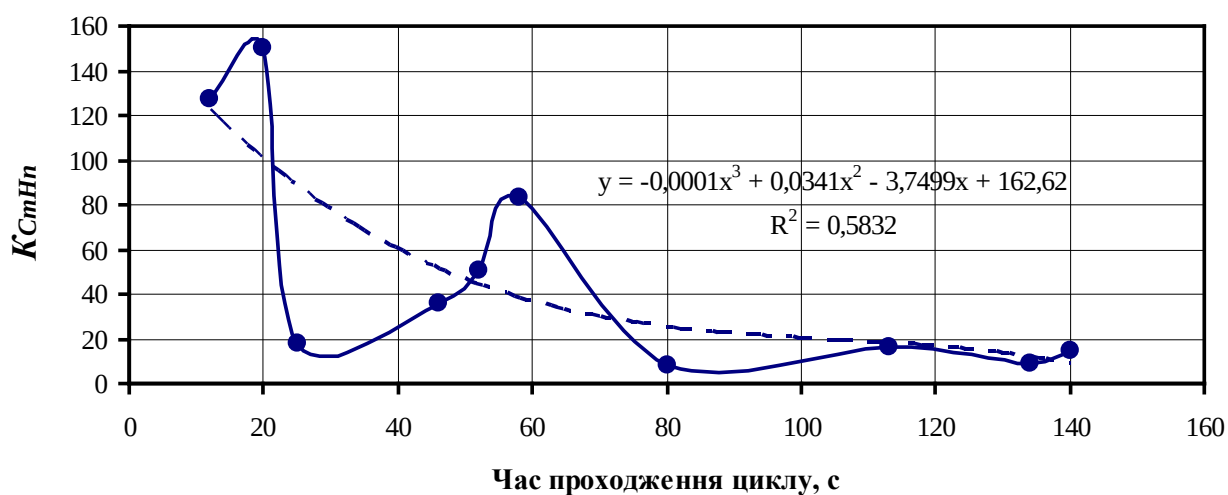


Рисунок 5.11 – Зміна коефіцієнта впливу температурного стану відносно концентрації вуглеводнів $CmHn$ у ВГ при прогріванні від 27 до 60°C

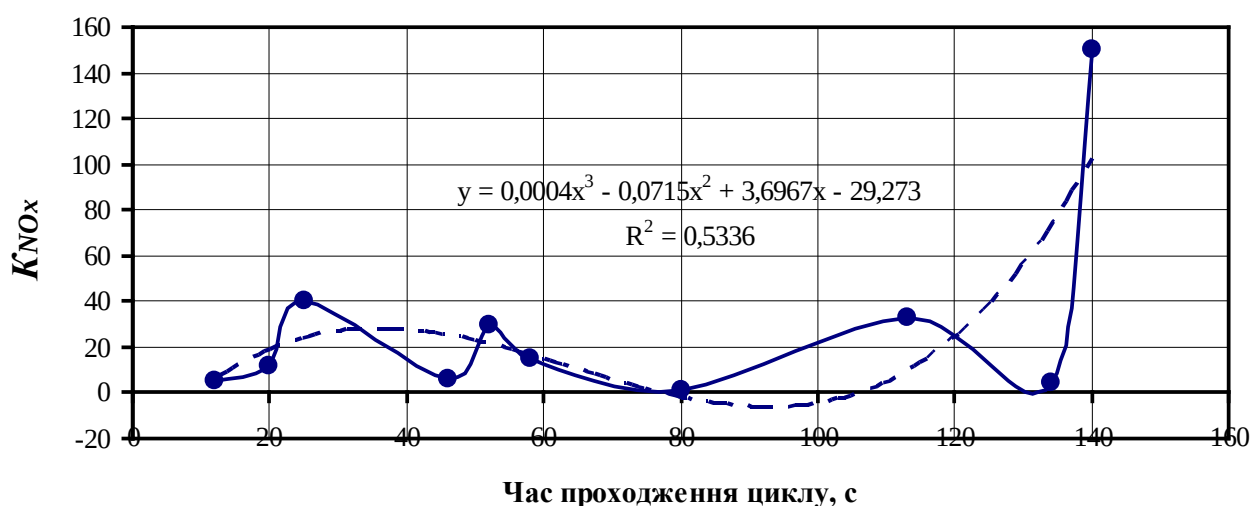


Рисунок 5.12 – Зміна коефіцієнтів впливу температурного стану відносно концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ при прогріванні від 27 до 60°C

Для визначення впливу підігріву повітря на впуску в двигун з використанням наведених на графіках (рис. 5.7–5.9) аналітичних залежностей визначили закономірності зміни коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна на концентрацію в розбавлених ВГ окремих ЗР (CO , C_mH_n , NO_x) для випадків, коли відсутній підігрів і при підігріві охолодної рідини на 3°C. В табл. 5.6 наведені значення коефіцієнтів впливу температурного стану (з позначкою 1 коефіцієнти без підігріву, з позначкою 2 з підігрівом). Графічні залежності показані на рис. 5.13–5.15.

Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнтів впливу температурного стану без додаткового підігріву та з підігрівом впускного повітря

$t_{ох.р}$	τ , с	Без підігріву			З підігрівом		
		K_{CO_1}	$K_{C_mH_{n1}}$	$K_{NO_{x1}}$	K_{CO_2}	$K_{C_mH_{n2}}$	$K_{NO_{x2}}$
27	12		126,7	7,8		96,7	10,1
31	25	129	96,7	11,2	79,14	66,6	15
37	52	43,76	50,4	20,2	20,8	38,9	26,5
47	80	2,6	26,2	45,8	3,6	25,12	56,18
57	134	15,2	27,1	84,8	17	28,2	99,1

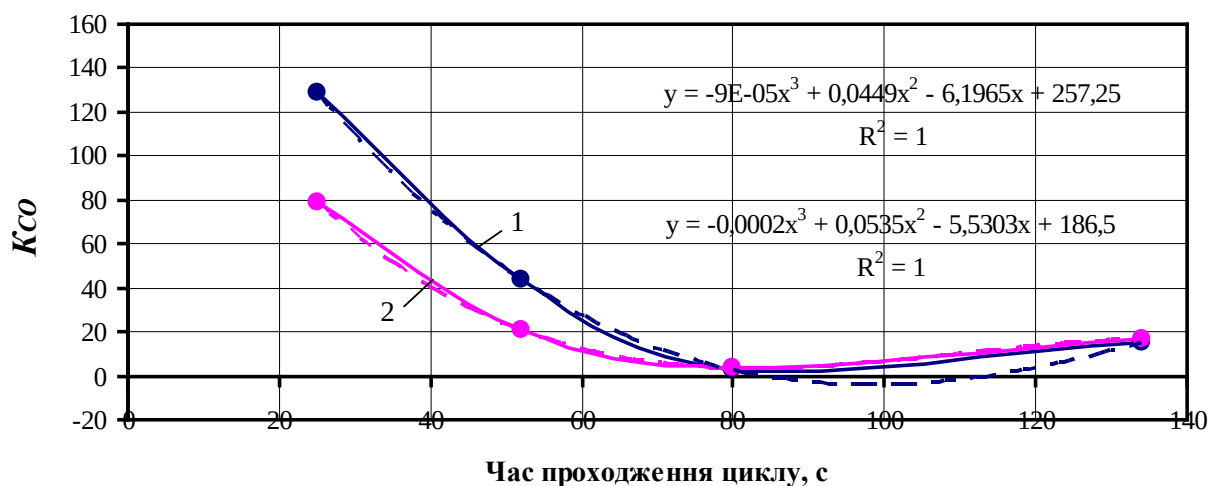


Рисунок 5.13 – Зміна коефіцієнта впливу температурного стану відносно концентрації оксиду вуглецю CO у ВГ:

- 1 – без додаткового підігрівання впускного повітря;
- 2 – з додатковим підігріванням впускного повітря

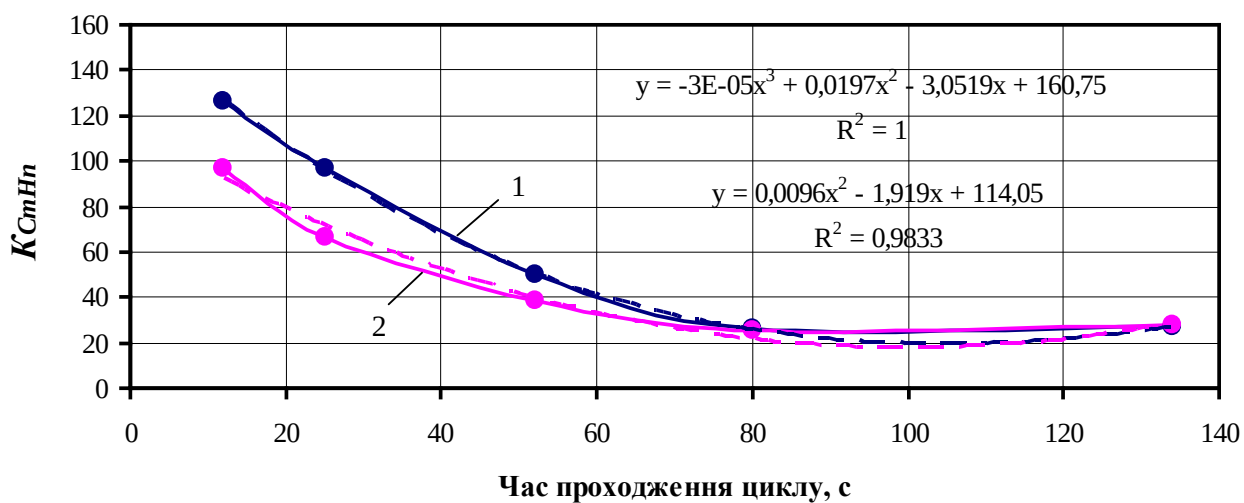


Рисунок 5.14 – Зміна коефіцієнта впливу температурного стану відносно концентрації вуглеводнів C_mH_n у ВГ:

- 1 – без додаткового підігрівання впускного повітря;
- 2 – з додатковим підігріванням впускного повітря

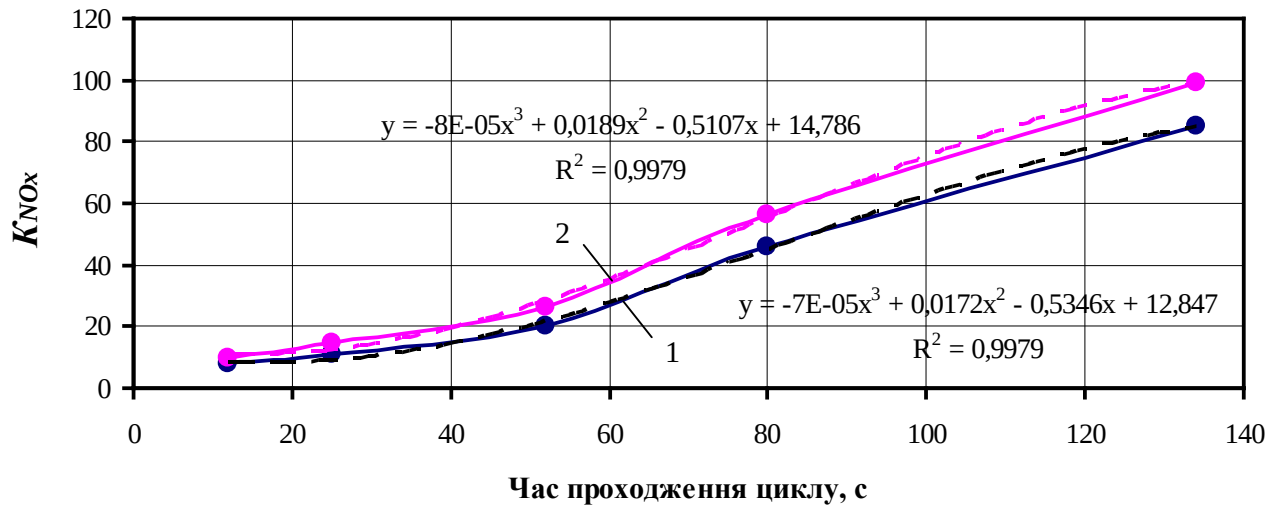


Рисунок 5.15 – Зміна коефіцієнта впливу температурного стану відносно концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ:

- 1 – без додаткового підігрівання впускного повітря;
- 2 – з додатковим підігріванням впускного повітря

Як видно, з показаних на рис. 5.13 і 5.14 графіків, підігрівання повітря на впуску для підвищення температури охолодної рідини в процесі прогрівання автомобіля в режимах руху в першому фрагменті їздового циклу лише на 3°C , значно знижує в ВГ концентрації CO і C_mH_n . Підтвердженням цього є зниження коефіцієнтів впливу температурного стану, зокрема до 80 секунди руху автомобіля, якій відповідає температура охолодної рідини без підігріву 47°C , з підігрівом – 50°C . При такій зміні температури охолодної рідини зниження коефіцієнта впливу температурного стану для концентрації CO змінюється в інтервалі 38-0%, для концентрації C_mH_n 23-0%. Зниження коефіцієнтів впливу температурного стану на концентрацію CO і C_mH_n при підігріві повітря на впуску в двигун підтверджують результати експериментальних досліджень за роботи цього двигуна в режимі холостого ходу (розділ 4). Разом з тим, як і можна було очікувати, при підігріві повітря на впуску зростає в ВГ концентрація NO_x . В межах руху автомобіля до 80 секунди

зростання коефіцієнта впливу температурного стану становить 18-25%. В подальшому зростання дещо зменшується, але абсолютні величини значно зростають. З врахуванням змінення коефіцієнтів можна вважати доцільним використовувати підігрів повітря на впуску в двигун до досягнення температури охолодної рідини до 50°C.

На основі приведених досліджень складено програму для розрахунків умовного руху автомобіля за Новим Європейським їздовим циклом, фрагмент якої наведено в додатку Л.

5.3. Перевірка адекватності математичної моделі

Поліноміальні залежності щодо витрати палива та концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигуна легкового автомобіля на предмет достовірності оцінювали за F -критерієм або критерієм Фішера [91, 92].

Умовою визнання достовірності приведених математичних залежностей є те, що розраховані значення критерію Фішера (F_p) нижче табличних значень (F_T) для заданого рівня значимості.

Для перевірки адекватності залежностей використовували табличні значення критерію Фішера за 5% рівні значимості, що відповідає значенню довірчої вірогідності 95%.

Розрахункове значення критерію Фішера визначали за залежністю:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{від}^2}, \quad (5.9)$$

де $S_{ад}^2$ – дисперсія адекватності;

$S_{від}^2$ – дисперсія відтворюваності.

Дисперсія адекватності – це остаточно сума квадратів різниць між експериментально заміряними значеннями і розрахованими за поліноміальними залежностями, поділена на число ступенів вільності:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i\text{роз}} - Y_{i\text{екс}})^2}{f}, \quad (5.10)$$

де $Y_{i\text{роз}}$ – значення в i -му досліді, розраховані за поліноміальними залежностями;

$Y_{i\text{екс}}$ – значення в i -му досліді, визначені експериментально;

f – число ступенів вільності, а саме – різниця між числом дослідів та числом коефіцієнтів, що визначаються:

$$f = N - k, \quad (5.11)$$

де N – число дослідів;

k – число коефіцієнтів апроксимації.

Дисперсія відтворюваності $S_{\text{від}}^2$ визначалась проведенням додаткових дослідів в одній з точок за залежністю:

$$S_{\text{від}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}, \quad (5.12)$$

де n – число додаткових дослідів, $n = 3$;

Y_i – значення заміряних параметрів, отриманих в кожному досліді;

$\bar{Y}$ – середнє значення заміряних параметрів.

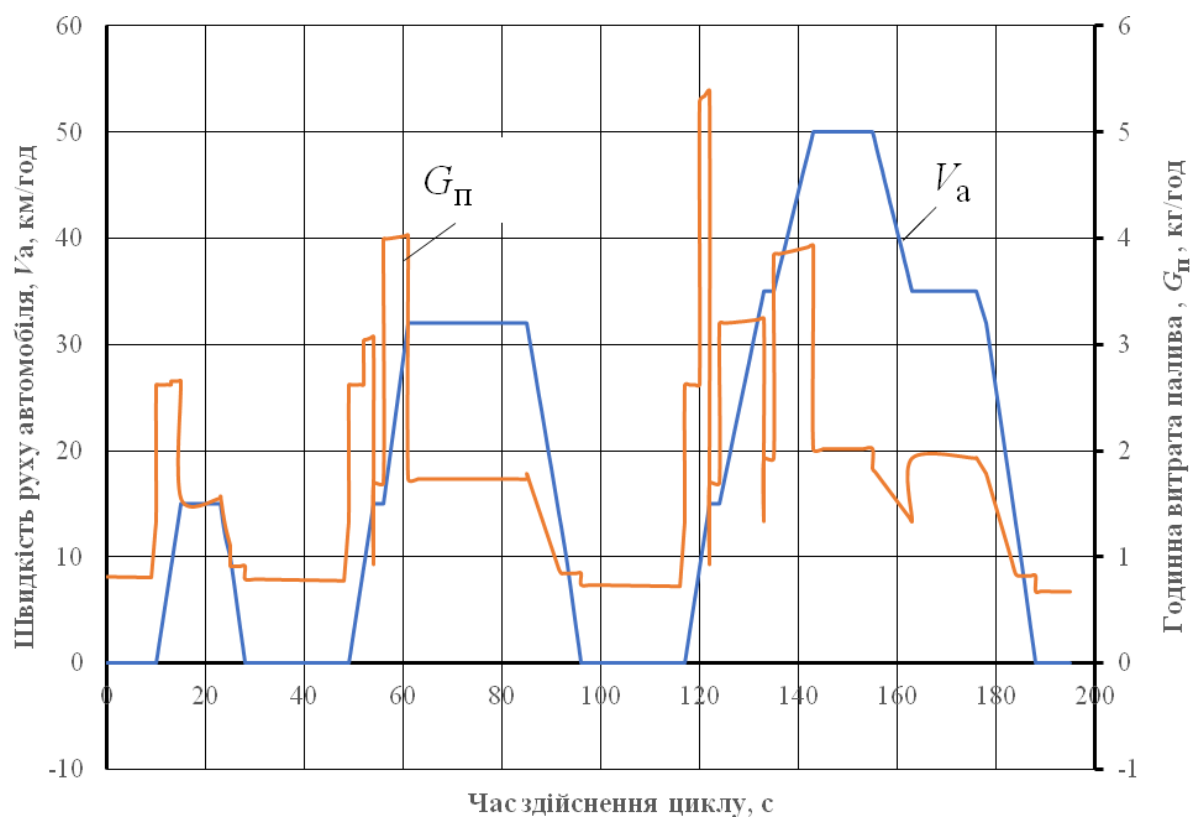
Результати перевірки поліноміальних залежностей приведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Результати перевірки поліноміальних залежностей

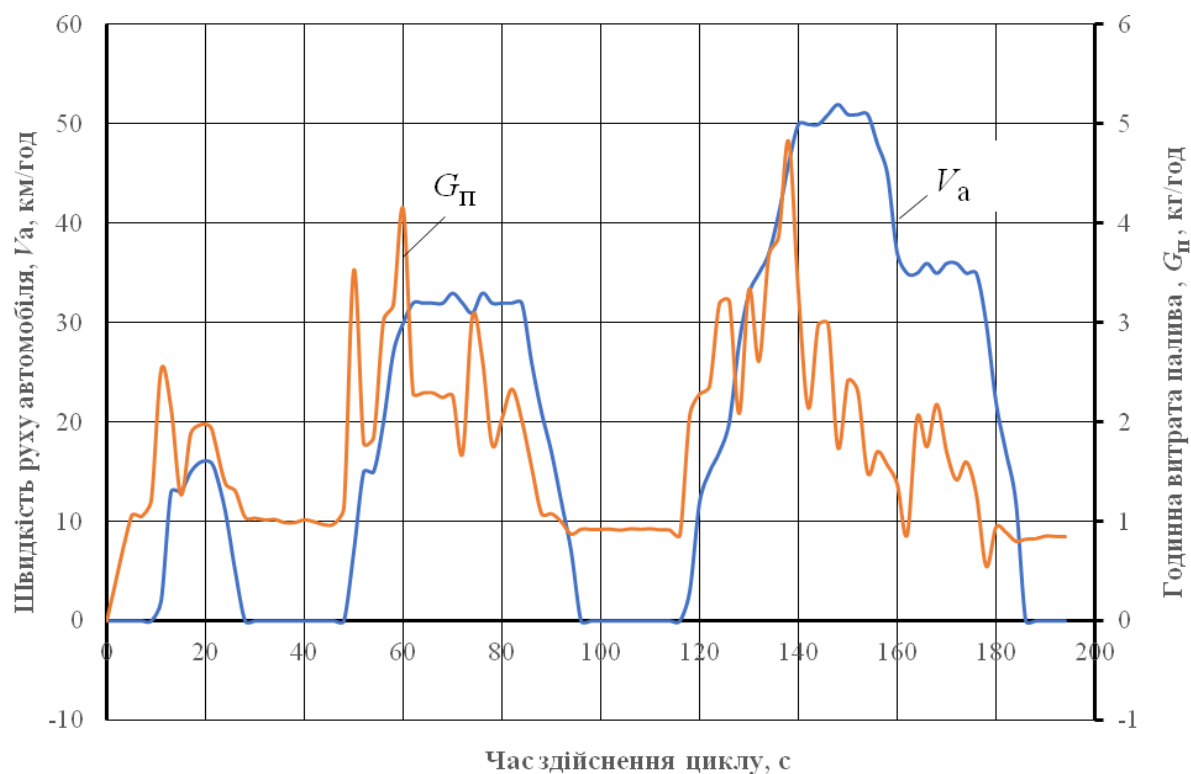
Показники двигуна	Дисперсія адекватності, $S_{ад}^2$	Дисперсія відтворюваності, $S_{від}^2$	Розраховані значення критерію Фішера, F_p	Табличні значення, F_T
Температура охолодної рідини, $t_{ох.р}$	2,044814	0,229862	8,89585	19,43
Коефіцієнт надміру повітря, α	$4,00735 \cdot 10^{-6}$	$3,33 \cdot 10^{-5}$	0,120221	19,0
Частота обертання колінчастого вала двигуна, $n_{д.х.х}$	117,82	16,3	7,228	19,43
Годинна витрата палива, G_{II}	$4,85 \cdot 10^{-5}$	0,0001177	0,411546	19,16
Концентрація оксиду вуглецю, CO	0,00073	0,0003587	2,035047	19,25
Концентрація вуглеводнів, $C_m H_n$	66,90574	8,460939	7,907602	19,16
Концентрація оксидів азоту, NO_x	125,1926	775,9	0,161353	19,25
Концентрація двоокису вуглецю, CO_2	0,000546	0,038898	0,014044	18,51

Результати наведених розрахунків вказують на адекватність поліноміальних залежностей, які використовували в математичній моделі руху автомобіля за режимами міського їздового циклу.

Для визначення можливості використання уточненої математичної моделі для розрахунку показників роботи двигуна легкового автомобіля з каталітичним нейтралізатором, в період прогрівання двигуна за умовного руху за Новим Європейським їздовим циклом, були проведені розрахунки витрати палива для порівняння даних, отриманих експериментально.



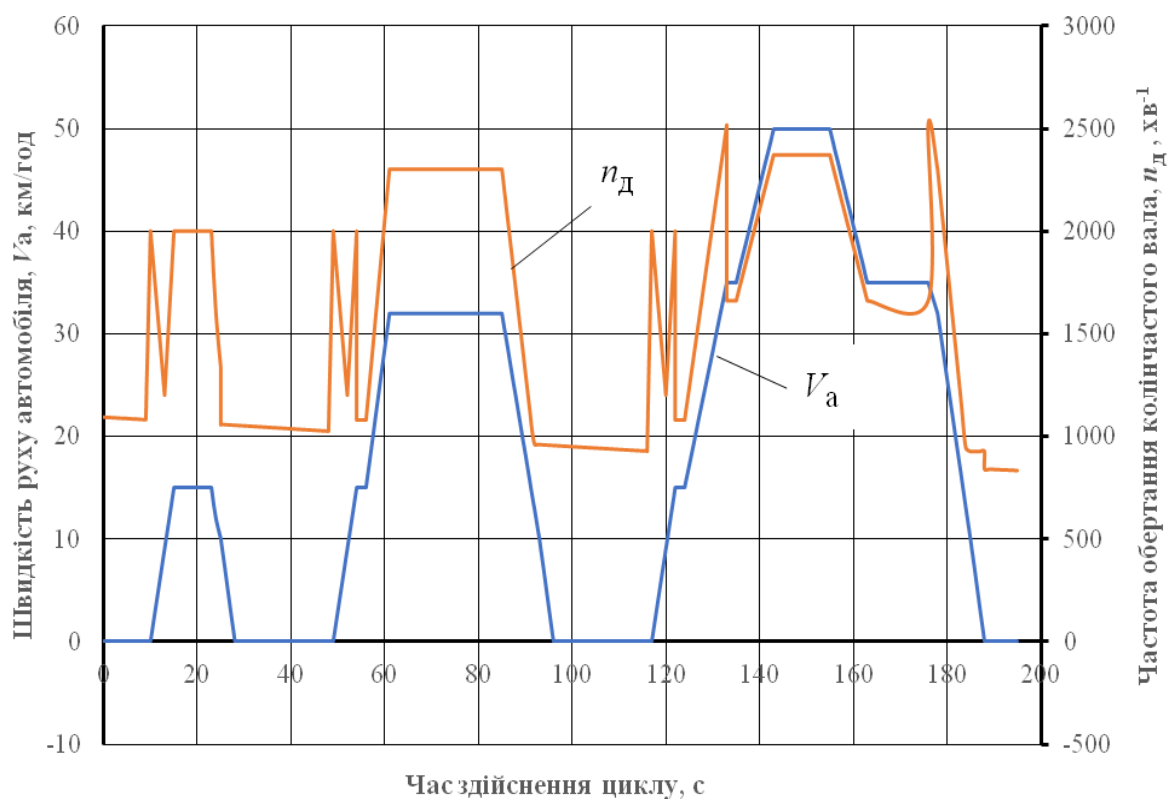
а)



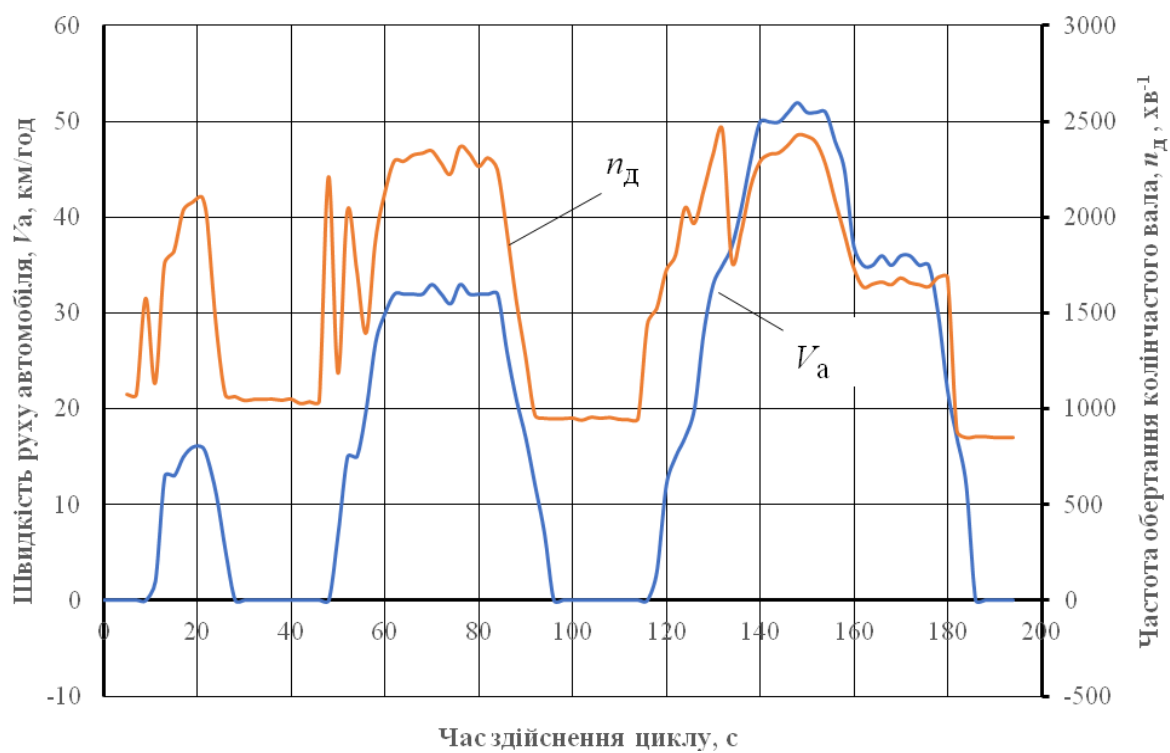
б)

Рисунок 5.16 – Витрата палива за умовного руху першим фрагментом їздового циклу:

а) розрахунок; б) експеримент



а)



б)

Рисунок 5.17 – Частота обертання колінчастого вала двигуна за умовного руху першим фрагментом їздового циклу:

а) розрахунок; б) експеримент

Для характерних точок фрагменту порівняли розрахункові та експериментальні значення показників.

Результати порівняння приведені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – Результати експериментальних та розрахункових досліджень витрати палива та частоти обертання колінчастого вала двигуна за першим фрагментом міського їздового циклу

Час здійснення циклу, с	Експериментальні дані	Розрахункові дані	Похибка, %
Витрата палива, G_{Π} , кг/год			
11	2,5294	2,6169	3,34
60	4,148	4,0268	2,92
144	4,082	3,9285	3,76
160	1,375	1,393	1,3
Витрата палива за фрагмент, г	91,566	90,0151	1,69
Частота обертання колінчастого вала двигуна, $n_{\text{Д}}$, хв ⁻¹			
9	1077	1080,5	0,32
17	2036	1999,3	1,8
68	2335	2300,8	1,46
133	2456	2516,5	2,4
192	854	836	2,1

Відхилення розрахункових даних від експериментальних складає до 3,76%, що не перевищує 5% і вважається нормальним результатом в межах допустимої похибки вимірювальних приладів.

Результати розрахунків та їх порівняння з даними, отриманими експериментально, дозволяє стверджувати про адекватність математичної моделі.

5.4. Розрахункове дослідження умовного руху автомобіля за їздовим циклом

Математична модель дає змогу провести розрахунки умовного руху автомобіля за режимами міської частини Нового Європейського їздового циклу за різних температур навколишнього середовища, за яких проводили запуск двигуна.

Результати розрахунку витрати палива і викидів ЗР в ВГ наведені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9 – Дані прогрівання двигуна за різної початкової температури повітря до температури охолодної рідини 27°C

Початкова температура навколишнього середовища, °C	Час на прогрівання охолодної рідини до 27°C, с	Витрата палива за прогрівання, г/прогр.	Маса викидів за прогрівання, г/прогр.			
			CO	C _m H _n	NO _x	CO ₂
-5	171	69,741	11,542	2,566	0,0167	133,9
0	148	65,838	6,463	1,724	0,0139	117,1
5	125	44,476	3,922	1,289	0,0112	98,7
10	99	34,21	2,323	0,939	0,00851	77,4
15	72,5	24,412	1,254	0,632	0,00597	56,2
20	43,5	14,304	0,601	0,345	0,00342	33,3
25	13	4,186	0,22	0,094	0,00098	9,9

Відповідно до розрахунків, із зменшенням температури навколишнього середовища збільшується час прогрівання двигуна, витрата палива та викиди забруднюючих речовин у ВГ.

Відносно 0°C зменшення температури до -5°C збільшує час прогрівання на 15,5%, витрату палива – на 5,93%, викиди CO – на 78,6%, C_mH_n – 48,8%, NO_x – на 20,1% і CO_2 – на 14,34%.

В той же час збільшення температури до $+5^{\circ}\text{C}$ зменшує час прогрівання на 15,54%, витрату палива – 32,4%, викиди CO – на 60,7%, C_mH_n – 25,2%, NO_x – на 19,4% і CO_2 – на 15,7%.

Для визначення можливості початкового прогрівання двигуна на більш якісне прогрівання нейтралізатора були проведені розрахунки прогрівання двигуна від температури охолодної рідин 10°C до температури 30, 40 та 50°C , результати яких наведені в табл. 5.10 з подальшим розрахунком першого фрагменту їздового циклу (табл. 5.11).

Таблиця 5.10 – Результати розрахунків прогрівання двигуна від температури охолодної рідини 10°C

Кінцева температура прогрівання двигуна, $^{\circ}\text{C}$	Час на прогрівання двигуна, с	Витрата палива за прогрівання, г/прогр.	Маса викидів за прогрівання, г/прогр.			
			CO	C_mH_n	NO_x	CO_2
30	119,5	40,648	2,6428	1,073	0,00998	92,7
40	199	64,608	3,6465	1,47	0,015	149,6
50	317,5	97,527	4,719	1,834	0,0211	229,5

Таблиця 5.11 – Результати розрахунку першого фрагмента їздового циклу в залежності від початкової температури виконання циклу

Температура охолодної рідини на початку циклу, °C	Кінцева температура охолодної рідини після першого фрагмента циклу, °C	Витрата палива за цикл, г/цикл	Маса викидів за цикл, г/цикл			
			CO	C_mH_n	NO_x	$\Sigma CO_{\text{цикл}}$
30	72,2	89,851	1,852	0,525	0,04035	5,169
40	78,4	89,345	1,819	0,513	0,040	5,082
50	83,5	88,9	1,798	0,503	0,0396	5,016

Наведені результати показують, що витрата палива за фрагмент циклу і викиди ЗР зменшуються, але при цьому погіршуються показники за прогрівання двигуна до більш високих температур в системі охолодження. Але таке прогрівання може бути доцільним, якщо застосовувати стороннє джерело теплоти і це підтвердили експериментальні дослідження.

Разом з цим на математичній моделі провели розрахунки прогрівання охолодної рідини від 20 до 50°C за додаткового підведення теплоти до впускного повітря.

Результати розрахунків наведені в таблиці 5.12.

Дані табл. 5.12 підтверджують скорочення як часу прогрівання за підведення додаткової теплоти до впускного повітря двигуна, так і зниження витрати палива та викидів забруднюючих речовин.

Таблиця 5.12 – Результати розрахунків за прогрівання охолодної рідини двигуна від 20 до 50°C без додаткового підведення теплоти та з підведенням теплоти до впускного повітря

Режим	Час на прогрівання, с	Витрата палива за прогрівання, г/прогр.	Маса викидів за прогрівання, г/прогр.			
			CO	C_mH_n	NO_x	CO_2
Без підведення теплоти	198	54,505	2,3447	0,989	0,0125	142,3
З підведенням теплоти	185	52,394	2,189	0,926	0,0116	132,4
Ефект, %	7	4	6,6	6,4	7,2	6,9

Час прогрівання охолодної рідини до 50°C за додаткового підведення теплоти до впускного повітря скорочується на 7%. При цьому зменшується витрата палива на 4% та знижуються масові викиди CO на 6,6%, C_mH_n – на 6,4%, NO_x – на 7,2% та CO_2 – на 6,9%.

5.5. Результати розрахунків економічного та екологічного ефектів від доцільного прогрівання двигуна легкового автомобіля

Доцільний режим прогрівання двигуна перед початком руху легкового автомобіля та в період руху забезпечує зменшення витрати палива та зменшення викидів забруднюючих речовин у ВГ.

Витрата палива в період прогрівання (за комбінованого методу) зменшується на 5,1% або на 12,3 мл.

Поздовжність маршруту руху автомобіля, в середньому, може складати відстань пройденої ділянки заміської частини Нового Європейського їздового циклу, тобто 4,0 км. Залежно від цього і середньорічного пробігу в 20000 км економія палива в натуральному вираженні складає 61,5 літра на рік і тільки завдяки використанню доцільного методу прогрівання двигуна. В грошовому еквіваленті це залежить від вартості палива.

Для визначення шкоди, що завдається довкіллю викидами забруднюючих речовин з відпрацьованими газами, використовуємо результати розрахунків маси забруднюючих речовин, що надходять у повітря при проходженні міської частини Нового Європейського їздового циклу, а саме:

$$m_{CO} = 10,633 \text{ г/випр.}$$

$$m_{C_mH_n} = 1,707 \text{ г/випр.}$$

$$m_{NO_x} = 1,192 \text{ г/випр.}$$

$$m_{CO_2} = 794,768 \text{ г/випр.}$$

Вартість викидів на автомобільному транспорті, відповідно до Директиви 2009/3 Європейського парламенту і ради від 23 квітня 2009 року, складає:

- для CO і CO_2 – 0,03 EUR/кг;

- для NO_x – 0,0044 EUR/г;

- для C_mH_n – 0,001 EUR/г.

За річного пробігу автомобіля 20000 км і відстані пройденої ділянки 4 км, шкода для довкілля в грошовому еквіваленті складає:

$$III_i = m_i \cdot n_{dil} \cdot B_i,$$

де III_i – величина шкоди довкіллю, EUR;

m_i – маса i -тої забруднюючої речовини, г;

n_{dil} – кількість пройдених ділянок;

B_i – вартість викиду i -го компонента.

$$Ш_{CO} = 10,633 \cdot 5000 \cdot 0,03 / 1000 = 1,595 \text{ EUR};$$

$$Ш_{C_mH_n} = 1,707 \cdot 5000 \cdot 0,001 = 8,535 \text{ EUR};$$

$$Ш_{NO_x} = 1,192 \cdot 5000 \cdot 0,0044 = 26,224 \text{ EUR};$$

$$Ш_{CO_2} = 794,768 \cdot 5000 \cdot 0,03 / 1000 = 119,215 \text{ EUR}.$$

Зменшення шкоди за речовинами CO , C_mH_n , NO_x складає 31,5 %, а економія палива і відповідно зменшення викидів CO_2 на 5,1 %, тобто зменшення шкоди, заподіяної середовищу, складає

$$(1,595 + 8,535 + 26,224) \cdot 31,5 / 100 = 11,45 \text{ EUR}$$

$$119,215 \cdot 5,1 / 100 = 6,08 \text{ EUR},$$

а в сумі екологічний ефект складає 17,53 EUR на 1 автомобіль в експлуатації за рік.

5.6. Висновки до розділу 5

1. За результатами експериментальних досліджень розраховали коефіцієнти впливу температурного стану двигуна на витрату палива. Підігрів повітря на впуску з підвищенням температури охолодної рідини лише на 3°C на початку виконання їздового циклу і підтримання цього рівня дозволяє зменшити витрату бензину. Зниження коефіцієнту впливу температурного стану на початку виконання їздового циклу і відповідно витрати бензину складає близько 2,3 %.

2. При підігріву повітря значно зменшуються концентрації CO і C_mH_n . Зменшення коефіцієнту впливу температурного стану на початку виконання

їздового циклу для концентрації CO складає 38 %, для концентрації C_mH_n – 23%. По мірі прогрівання двигуна ефект зменшується. Разом з тим, при цьому зростає коефіцієнт впливу температурного стану для концентрації NO_x в межах 18-25%, що можна пояснити недостатнім прогріванням протягом першого фрагменту руху автомобіля каталітичного нейтралізатора так як при виконанні четвертого фрагменту в аналогічних режимах зростання концентрації NO_x не спостерігали. З врахуванням змінення коефіцієнтів можна вважати доцільним використовувати підігрів повітря на впуску в двигун до досягнення температури охолодної рідини до 50°C.

3. Перевірка поліноміальних моделей, які описують витрати палива та концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигуна, за критерієм Фішера показала їх адекватність.

4. Достовірність результатів розрахунків на уточненій математичній моделі підтвердили незначною різницею в витраті бензину (до 4%) розрахованій і отриманій в експерименті.

5. Розрахунками на математичній моделі встановлено, що підігрів повітря на впуску в двигун в процесі прогрівання двигуна від 20°C до 50°C зменшує час прогрівання на 7%, витрату палива на 4,0%, викиди CO на 6,6%, C_mH_n на 6,4%, NO_x на 7,2%, CO_2 на 6,9%.

ВИСНОВКИ

1. Одним з факторів, який значно впливає на витрату палива і викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами сучасного автомобіля з системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичною нейтралізацією є тепловий стан його двигуна і нейтралізатора. Тому одним з напрямів економії палива і зменшення викидів забруднюючих речовин автомобілями в умовах експлуатації, зокрема при низьких температурах атмосферного повітря, є скорочення часу прогрівання двигуна і відповідно каталітичного нейтралізатора. Це і визначило напрям досліджень кваліфікаційної роботи.

2. За результатами експериментальних і розрахункових досліджень трьох можливих методів прогрівання двигуна після запуску: в режимі активного холостого ходу, в режимі руху автомобіля після запуску і комбінованим методом встановили, що при низькій температурі найбільш доцільним з точки зору мінімальної витрати бензину та зменшення викидів продуктів неповного згорання з відпрацьованими газами є комбінований метод прогрівання двигуна, який включає роботу двигуна в режимі активного холостого ходу та рух автомобіля з невисокою швидкістю. При однаковій відстані пробігу автомобіля в процесі прогрівання охолодної рідини від $-7...8^{\circ}\text{C}$ до 50°C цей метод зменшує витрату палива на 5,1%, викиди CO і C_mH_n , приведені до CO на 31,5% в порівнянні з методом прогрівання в режимі руху автомобіля після пуску двигуна.

3. Експериментальні і розрахункові дослідження показали, що в процесі прогрівання двигуна в режимі холостого ходу – першій фазі комбінованого методу підігрів повітря на впуску в двигун зменшує витрату бензину і викиди продуктів неповного згорання з відпрацьованими газами. При температурі атмосферного повітря 10°C при прогріванні двигуна до температури охолодної

рідини 50°C економія бензину становить 4%, сумарні масові викиди CO і C_mH_n , приведені до CO , зменшуються на 6%.

4. Для визначення впливу підігріву повітря на впуск в двигун на паливну економічність і концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах розроблена методика з введенням в розрахунки коефіцієнтів впливу температурного стану двигуна, які являють собою відношення поточних витрати палива і концентрацій шкідливих речовин в процесі прогрівання двигуна до цих показників за випробування автомобіля з прогрітим двигуном. Коефіцієнти впливу температурного стану в процесі прогрівання двигуна розраховували за результатами випробування автомобіля в русі за режимами Нового Європейського їздового циклу з підігрівом повітря на впуск в двигун і без підігріву.

5. При проведенні випробувань автомобіля в русі за режимами Нового Європейського їздового циклу при температурі навколишнього середовища близько 20°C в третьому і четвертому фрагментах їздового циклу концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах практично однакові, тобто можна зробити висновок, що каталітичний нейтралізатор і двигун в цілому прогрілись до нормального теплового стану, температура охолодної рідини досягла 90°C. Тому коефіцієнти впливу температурного стану визначали порівнянням показників роботи двигуна в першому і четвертому фрагментах їздового циклу.

6. Коефіцієнти впливу температурного стану по мірі прогрівання двигуна зменшується, при цьому на абсолютну величину цих коефіцієнтів впливає використання підігріву повітря на впуск в двигун. Підігрів повітря на впуск з підвищенням температури охолодної рідини лише на 3°C на початку виконання їздового циклу дозволяє, знизити коефіцієнт впливу температурного стану на витрату палива близько 2,3 %. Це відповідає такому ж зменшенню витрати бензину. При цьому значно зменшуються концентрації CO і C_mH_n . Зменшення коефіцієнту впливу температурного стану на початку виконання їздового циклу для концентрації CO складає 38 %, для концентрації C_mH_n -

23%. По мірі прогрівання двигуна ефект зменшується. Разом з тим, при цьому зростає коефіцієнт впливу температурного стану для концентрації NO_x в межах 18-25%, що можна пояснити недостатнім прогріванням протягом першого фрагменту руху автомобіля каталітичного нейтралізатора так як при виконанні четвертого фрагменту в аналогічних режимах зростання концентрації NO_x не спостерігали. З врахуванням змінення коефіцієнтів впливу температурного стану можна вважати доцільним використовувати підігрів повітря на впуску в двигун до досягнення температури охолодної рідини $50^{\circ}C$.

7. Розрахунками на математичній моделі встановлено, що підігрів повітря на впуску в двигун в процесі прогрівання двигуна від $20^{\circ}C$ до $50^{\circ}C$ зменшує час прогрівання на 7%, витрату палива на 4,0%, викиди CO на 6,6%, C_mH_n на 6,4%, NO_x на 7,2%, CO_2 на 6,9%.

8. Результати дослідження прийняті до використання Департаментом транспортної інфраструктури виконавчого органу Київської міської ради (Київська міська державна адміністрація), а також використовують у навчальному процесі в Національному транспортному університеті при підготовці фахівців за спеціальностями «Автомобільний транспорт» та «Енергетичне машинобудування».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України від 21.06.2001 р. № 2556-III «Про внесення змін до Закону України «Про охорону атмосферного повітря»».
2. Статистичний збірник «Довкілля України 2014» [Електрон. ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим доступу: http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/Arhiv_u/07/Arch_dov_zb.htm
3. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення у 2014 році. Статистичний бюлетень [Електрон. ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим доступу: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publnav_ser_u.htm
4. Гутаревич Ю. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10, 05.04.02 / Юрий Феодосиевич Гутаревич. –К., 1985. – 538 с.
- 5 Гутаревич Ю.Ф., Матейчик В.П., Мержиєвська Л.П. Характеристика автомобильного транспорту, як штучного джерела забруднення атмосфери України // Вісник НТУ ТАУ. К., 2000. -№ 4. –С. 66-71
6. Кутенев В.Ф., Свиридов Ю.Б. Экологические проблемы автомобильного двигателя и путь оптимального решения их // Двигателестроение. Л.: Машиностроение, 1990, -№ 10. –С.55-62
7. Гарбер А.З. Совершенствование методов снижения токсичности отработавших газов и расхода топлива городскими автобусами с карбюраторными двигателями в условиях эксплуатации. автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Гарбер Аркадий Зеликович. МАДИ. М., 1986. –16 с.
8. Tobergte M. The importance of advanced test processes to reduce emissions and fuel consumption – Frank Will. In: ICSAT conference, 16th August; 2011.
9. Мурашов О.Д. Повышение топливной экономичности и экологической эффективности четырехтактных ДВС при переходных процессах: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.04.02 / О.Д. Мурашов. –Ташкент, 1982. –42 с.

10. Некоторые факторы, влияющие на уменьшение выброса токсичных веществ с отработавшими газами бензиновых двигателей // Снижение загрязнения воздуха в городах, выхлопными газами автомобилей. М.: НИИАвтопром, 1971. С. 27-32.

11. Жаров К.С. Оцінка обсягів шкідливих викидів колісними транспортними засобами. *Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України. Науково-виробничий журнал*. К.: ДержавтотрансНДІпроект, Укравтодор. 2009. Вип. 12. С. 158-164.

12. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Визначення концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах бензинового двигуна в дорожніх умовах. *Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України. Науково-виробничий журнал*. К.: ДержавтотрансНДІпроект, Укравтодор. 2009. Вип. 12. С. 155-156.

13. Карнаухов В.Н. Сбережение топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации автомобильного транспорта в низкотемпературных условиях: диссертация ... доктора технических наук: 05.22.10. - Тюмень, 2000. - 275 с.: ил. РГБ ОД, 71 00-5/607-3

14. Александр Шабанов. Смерть мотору: греть или не греть современный двигатель? // За рулем, 2015 – Режим доступа до журн.: <http://www.zr.ru/content/articles/504279> – Назва з екрану.

15. Kneba Z. Dependence of the toxic components exhaust emission from the car engine starting temperature // Kneba Z. / Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 17, No. 2 2010. pp 203-208.

16. Тріфонов Д.М. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна: дис ... канд. техн. наук: 05.22.20. / Тріфонов Дмитро Миколайович. К., 2018. –236 с.

17. Прогрев двигателя и особенности зимней эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vita-motors.ru/articles/4/> – Назва з екрану.

18. Roberts A. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions // A. Roberts, R. Brooks, P. Shipway / Energy Conversion and Management, Volume 82, 2014, pp. 327–350.

19. Неговора А.В. Предпусковая подготовка двигателя и агрегатов трансмиссии автомобиля к принятию нагрузки / А.В.Неговора, М.М.Рязяпов, Ю.К.Филиппов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. – Т. 1. – № 14. – С.266–270.

20. Гусаков С.В. Улучшение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска / С.В.Гусаков, А.З.Шарипов, А.А.Меньших // Вестник РУДН, Серия «Инженерные исследования», 2011, – № 3. – С. 60–67.

21. Резник Л.Г. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. Тюмень.: ТГУ, 1985. – 105 с.

22. Шарипов А. Улучшение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска: диссертация кандидата технических наук: 05.04.02 / Москва, 2012 - 136 с. ил.

23. Виленский Л.И. Исследование влияния низких температур окружающего воздуха на эксплуатационную топливную экономичность автомобиля: Дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 1979. - 197 с.

24. Тріфонов Д.М. Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням / Д. М. Тріфонов, О. В. Сирота, С. В. Карев, О. С. Добровольський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Випуск 2 (32.) К. : НТУ, 2015. – С. 278 – 285.

25. Редзюк А.М. Результати дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями / Редзюк А.М., Агеев В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Бондар О.В., Мироненко Ю.В. // Автошляховик України. –2010. – № 2. –С. 2–7.

26. Симоненко Р. Покращення паливної економічності і екологічних показників автомобілів шляхом раціонального прогріву їх двигунів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Роман Вікторович Симоненко. К., 2003. – 210 с.

27. Основные предпосылки создания автомобильных термостатов с электронным управлением / С.А. Журавлев [та ін.] // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2008. – № 6. – С. 2–7.

28. Журавлев С.А. Оптимизация теплового состояния автомобильного бензинового двигателя на основе применения термостата с электронным управлением: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.04.02. / Журавлев Сергей Александрович. Владимир, 2009. – 18 с.

29. Сітовський О.П. Дослідження паливної економічності автомобіля при пуску холодного двигуна і його прогріві під час руху автомобіля // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. – 2011. – № 35. – С. 166–170.

30. Деркач В.Л. Визначення впливу передпускового підігріву на показники роботи двигуна в режимі холостого ходу // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – № 8. – С. 89–92.

31. Сітовський О. Визначення впливу передпускового підігріву на характеристику роботи двигуна з підвищеними обертами холостого ходу / Сітовський О.П., Деркач В.Л. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. – 2014. – № 44. – С. 282–285.

32. Деркач В.Л. Порівняльний аналіз роботи двигуна при різних температурних режимах // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. – 2014. – № 46. – С. 126–130.

33. Деркач В.Л. Результати визначення впливу теплового стану двигуна автомобіля на динамічні та паливо-економічні властивості // Вісник НТУ «ХП». – 2015. – № 10. – С. 65–69.

34. Деркач В.Л. Вплив температурного стану легкового автомобіля на динамічні характеристики. *Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології»* Харків: ХНАДУ, 2015. С.47-48.

35. Використання інтелектуальних інформаційних технологій позиціонування для контролю теплових параметрів системи комбінованого прогріву двигунів внутрішнього згоряння транспортного засобу / В.П.Матейчик [та ін.] // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 3. – С. 136–142.

36. Аналіз результатів дослідження паливної економічності і екологічних показників газового двигуна внутрішнього згоряння, оснащеного системою передпускового прогріву, в процесі здійснення пуску і прогріву / Ю.Ф.Гутаревич [та ін.] // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Science. Vol. 8, 2013. P. 121–127.

37. Грицук І.В. Формування методики визначення паливної економічності та викидів шкідливих речовин двигуна, оснащеного системою комбінованого прогріву, при здійсненні передпускового прогріву, пуску і прискореного прогріву після пуску / Грицук І.В., Адров Д.С. // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2013. – № 33. – С. 163–174.

38. Особливості моделі для дослідження паливної економічності та екологічних показників транспортного засобу з урахуванням прогріву в процесі руху / В.П.Матейчик [та ін.] // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2014. – № 4. – С. 13–23.

39. Грицук І.В. Особливості дослідження системи прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2014. – № 38. – С. 117–133.

40. Гутаревич Ю.Ф. Дослідження системи комбінованого прогріву транспортного двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / Гутаревич Ю.Ф., Грицук І.В. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 1. – С. 67–73.

41. Особливості передпускового прогріву стаціонарного газового двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / В.С.Вербовський [та ін.] // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 2. – С. 85–90.

42. Волков В.П. Формування оптимального температурного стану транспортного двигуна за рахунок комплексного комбінованого прогріву / Волков В.П., Грицук І.В. // Вестник ХНАДУ. – 2015. –Вип. 69. –С. 33–39.

43. Грицук І.В. Формування і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу // Вестник ХНАДУ. – 2015. –Вип. 70. –С. 23–32.

44. Грицук І.В. Комплексний комбінований прогрів: системний підхід до формування схем забезпечення оптимального температурного стану ТЗ в умовах експлуатації // Вісник НТУ «ХП». – 2015. –№ 10. –С. 95–101.

45. Волков В.П. Методи визначення й оцінювання показників оптимального температурного стану двигуна внутрішнього згоряння і транспортного засобу в умовах експлуатації / Волков В.П., Грицук І.В. // Автомобильный транспорт. – 2015. –Вип. 37. –С. 13–21.

46. Trapy J. An investigation of lubricating system warm-up for the improvement of cold start efficiency and emissions of SI automotive engines // J. Trapy, P. Damiral / SAE technical paper 902089: 1990.

47. Andrews G. The use of a water/lube oil heat exchanger and enhanced cooling water heating to increase water and lube oil heating rates in passenger cars for reduced fuel consumption and CO₂ emissions during cold start // G. Andrews, A. Ounzain, H. Li, M. Bell, J. Tate, K. Ropkins. SAE technical paper 2007-01-2067; 2007.

48. Цыплакова Е.Г. Снижение экологической опасности автотранспорта при безгаражном хранении в зимнее время года в зоне жилой застройки // Транспортное дело России. –2013. –№ 6. –С. 53–57.

49. Цыплакова Е.Г. Анализ эколого-экономической эффективности применения предпускового подогрева двигателя автомобиля при зимней эксплуатации. // Вестник Ленинградского государственного университета имени А.С. Пушкина. –2013. –Том: 6. –№ 4. –С. 87–99.

50. Гаврилов А.К. Исследование зависимости токсичных выбросов от температурного режима системы охлаждения двигателя при использовании

бензина и сжиженного газа / Гаврилов А.К., Буров Ю.А. // Защита воздушного бассейна от загрязнения токсичными выбросами транспортных средств: В 2-х т. Харьков, 1977. –Т. 1. –С. 133–152.

51. Кухтик Н.О. Прогрів каталітичного нейтралізатора після запуску холодного двигуна і його вплив на ефективність нейтралізації забруднюючих речовин. / Н.О.Кухтик. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ, Випуск 1 (37). С. 195–202. 2017.

52. Соловйов С.О. Каталітичні нейтралізатори відпрацьованих газів / Соловйов С.О., Орлик С.М. // Наука та інновації, 2005. –Т. 1. –№ 2. С. 58–72.

53. Папкин Б. Разработка и исследование каталитических нейтрализаторов бензиновых двигателей для автомобилей массой до 3,5 т, обеспечивающих выполнение экологических требований: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Папкин Борис Аркадьевич. М., 2009. – 188 с.

54. Вплив типу системи живлення на екологічні показники бензинового двигуна / Ю.Ф.Гутаревич [та ін.] // Вісник Національного транспортного університету. – 2011. –№ 24(1). – С. 86–93.

55. Испытания нейтрализатора на эффективность очистки отработавших газов двигателя с принудительным зажиганием / А.А.Лисовал [та ін.] // Двигатели внутреннего сгорания – 2015. –№ 1. – С. 44–48.

56. Замкнутая система управления нейтрализацией отработавших газов автомобилей / Р.И.Сольнищев [та ін.] // Информационно-управляющие системы. – 2015. –№ 2. – С. 37–39.

57. Колмыков А.Н. Автомобильный транспорт. Каталитический нейтрализатор, как новый химический агент загрязнения окружающей среды // «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов»: сборник трудов II международного экологического конгресса (IV Международной научно-технической конференции), 24-27 сентября 2009 г., г.Тольятти, Россия. Тольятти: ТГУ, 2009. –Т. 1. –400с.

58. Burch S.D. Reducing Cold-Start Emissions by Catalytic Converter Thermal Management / S.D. Burch, T.F. Potter, M.A. Keyser, M.J. Brady, K.F. Michaels // SAE Technical Paper Series. № 950409. 1995. P.13–21.

59. Murphy O. Electrically Initiated Chemically Heated Catalytic Converter to Reduce Cold-Start Emissions from Automobiles / O. Murphy, R. Kukreja, C. Andrews // SAE Technical Paper Series. № 991233. 1999. P. 1–11.

60. Кузьмина Р.И. Каталитическая очистка газовых выбросов от оксидов азота и углерода / Р.И.Кузьменко, В.П.Севастьянов // Российский химический журнал. – 15.02.2000. – Vol. 44, № 1. –С. 71–76.

61. Гандзюк М.О. Проблема створення каталітичних нейтралізаторів відпрацьованих газів // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 134/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2012. – Вип. 134. –С. 234–237.

62. Лешаков И.А. Математическая модель расчета основных параметров каталитических нейтрализаторов / Кравченко И.Н., Ерофеев М.Н. // Современные наукоемкие технологии. –2013. –№ 5. –С. 76–80.

63. Каталитические нейтрализаторы отработавших газов двигателей внутреннего сгорания / Инновационный проект ГОСНИТИ. [Электронный ресурс] // ГОСНИТИ. –Режим доступа: <http://www.gosniti.ru>.

64. Апелинский Д. Повышение эффективности нейтрализации отработавших газов бензинового двигателя на режимах холостого пуска и прогрева: дис ... канд. техн. наук: 05.04.02. / Апелинский Дмитрий Викторович. –М., 2003. –135 с.

65. Jarrier L. Warm-up of a DI diesel engine: experiment and modeling // L. Jarrier, J. Champoussin, R. Yu / SAE technical paper 2000-01-0299; 2000.

66. Семёнов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур. М.: Транспорт, 1993. - 190 с.

67. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В. С. Найман. М. : Изд-во «Астрель», 2007. – 213 с.

68. Патент № 129967 Україна, МПК (2018.01) F02N 19/00, F01P 3/22 (2006.01), B60H 1/04 (2006.01) «Система підігріву повітря на впуску двигуна

внутрішнього згоряння з тепловим акумулятором фазового переходу» / Ю.Ф. Гутаревич, Д.М. Тріфонов, О.В. Сирота, Є.В. Шуба, Н.О. Кухтик (Україна); Заявник і патентовласник: Національний транспортний університет, Державний № у 2018 04461; завл. 23.04.2018; опубл. 26.11.2018, бюл. № 22.

69. Герасименко С.А. Метод совершенствования стартовых экологических характеристик двигателя и системы нейтрализации: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.04.02. / Герасименко Сергей Анатольевич. –М., МАМИ, 2009. –23 с.

70. Кухтик Н.О. Вплив методу прогріву на витрату палива автомобілем з двигуном з системою впорскування бензину. Кухтик Н.О., Кухтик В.В. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» (за галузями знань «Технічні науки»). Луцьк, Випуск 62. С. 152–156. 2018.

71. Кухтик Н. Вплив методу прогріву двигуна легкового автомобіля на токсичність відпрацьованих газів. // Systemy i środki transportu samochodowego. Badania i technologia silników spalinowych. Wybrane zagadnienia. Monografia. Nr 13. Seria: Transport. Rzeszów. 2018. P. 41–48.

72. Кухтик Н.О. Визначення витрати палива та концентрацій шкідливих речовин за прогріву двигуна легкового автомобіля в умовах низьких температур середовища. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. Житомир, 2018. Вип. 2 (82). С. 88-93.

73. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганок К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: Підручник. К.: Арістей, 2004. -476 с.

74. Кухтик Н.О. Уточнення математичної моделі руху автомобіля з урахуванням прогрівання двигуна в процесі руху. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. К.: 2020. Том 31(70). № 4. С. 233-238.

75. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний: ГОСТ 20306-90. – [Чинний від 1992-01-01]. М.: Изд-во стандартов, 1991. – 32 с. – (Національний стандарт України).

76. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів (Правила ЕЭК ООН № 83–05:2005, IDT): ДСТУ UN/ECE R 83–05:09. – [Чинний від 2009–10–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 343 с. – (Національні стандарти України).

77. Кульбако В.П. Покращення екологічних показників автомобіля в експлуатаційних умовах додавкою біоетанолу до бензину: дис ... канд. техн. наук: 05.22.20. / Кульбако Валентин Петрович. К., 2012. –212 с.

78. Чудаков Е.А. Расчет автомобиля / Е. А. Чудаков. М.: Машгиз., 1947. – 587 с.

79. Говорущенко Н.Я. Методы системного расчетно-аналитического и стендового диагностирования легковых автомобилей / Н.Я. Говорущенко, Ю.В.Горбик // Автомобильный транспорт: Сб. научн. Трудов. Харьков: ХНАДУ, 2009. -№ 25. –С. 58-61.

80. Захарченко О. М. Покращення паливної економічності та екологічних показників автомобілів раціональним використанням бензинів з добавками біоетанолу: дис. ... канд. наук: 05.22.20 / Захарченко Олексій Миколайович; Національний транспортний університет. К., 2008. – 261 с.

81. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / За ред. прф. А.П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А.Ф.Шеховцова. Харків: Прапор, 2004. – 344 с.

82. Андрюхіна О. С. Розробка спрощеного випробувального циклу для перевірки технічного стану бензинових двигунів легкових автомобілів в умовах експлуатації: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Андрюхіна Олена Сергіївна; Національний транспортний університет. К., 2006 – 171 с.

83. Hyundai Getz. Керівництво з експлуатації. Hyundai Motor Company. 231, Yangjae-Dodg, Seocho-Gu. Seul, 137-938, Korea. – Режим доступу: www.hyundai.com.ua

84. Клименко О.А. Дослідження та створення перспективної системи для визначення масових викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів. Клименко О.А., Редзюк А.М., Кудренко О.В. та інші. Автошляховик України № 5 – С. 2–8. – 2012

85. Редзюк А.М. Щодо визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів. Редзюк А.М., Клименко О.А., Кудренко О.В. Автошляховик України № 4(228) – С. 2–7. – 2012

86. AVL ROADSIM 48" MIM LIGHT TRUCK™ Chassis Dynamometer – Режим доступу: <https://www.avl.com/web/guest/-/avl-roadsim-48-mim-light-truck-chassis-dynamometer>

87. Государственный реестр средств измерений. Газоанализатор МЕХА-7000. Режим доступу: <https://all-pribors.ru/opisanie/71264-18-mekha-7000>

88. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний: ГОСТ 14846–81 – [Дата введения с 1982-01-21. С изменениями от 2003]. М.: Изд-во стандартов, 2003. (Межгосударственный стандарт).

89. Кухтик Н. Порівняння витрати палива та викидів шкідливих речовин непрогрітого та прогрітого двигуна легкового автомобіля за Європейським їздовим циклом. // Systemy i środki tranaportu samochodowego. Badania i technologia silników spalinowych. Wybrane zagadnienia. Monografia. Nr 17. Seria: Transport. Rzezów. 2019. P. 35–41.

90. Гутаревич Ю.Ф., Кухтик Н.О., Кухтик В.В. Скорочення часу прогрівання двигуна легкового автомобіля за використання додаткового джерела теплоти. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки».* Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2021. Вип. 1 (48). С. 117–128.

91. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних: навчальний посібник для студентів / В.Є.Бахрушин. Запоріжжя: КПУ, 2011. – 268 с. ISBN 978-966-414-103-8/

92. Ковалева М.А. Анализ данных. Учебное пособие. Ковалева М.А., Волошин С.Б. М.: Мир науки, 2019. -129 с. –Сетевое издание. Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/32MNNPU19.pdf> ISBN 978-5-6043306-2-3

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в наукових фахових виданнях України:

1. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Визначення концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах бензинового двигуна в дорожніх умовах. *Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України. Науково-виробничий журнал*. К.: ДержавтотрансНДІпроект, Укравтодор. 2009. Вип. 12. С. 155-156.
2. Кухтик Н.О. Прогрів каталітичного нейтралізатора після запуску холодного двигуна і його вплив на ефективність нейтралізації забруднюючих речовин. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник (ISSN: 2308-6645)*. К.: НТУ, 2017. –Вип. 1 (37), С. 195–202.
3. Кухтик Н.О., Кухтик В.В. Вплив методу прогріву на витрату палива автомобілем з двигуном з системою впорскування бензину. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» (за галузями знань «Технічні науки»)* (ISSN: 24-15-39-66). Луцьк: ЛНТУ, 2018. Вип. 62. С. 152-156.
4. Кухтик Н.О. Визначення витрати палива та концентрацій шкідливих речовин за прогріву двигуна легкового автомобіля в умовах низьких температур середовища. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки (ISSN: 1728-4260)*. Житомир, 2018. Вип. 2 (82). С. 88-93.
5. Кухтик Н.О. Уточнення математичної моделі руху автомобіля з урахуванням прогрівання двигуна в процесі руху. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки» (ISSN: 2663-595X)*. К.: 2020. Том 31(70). № 4. С. 233-238.
6. Гутаревич Ю.Ф., Кухтик Н.О., Кухтик В.В. Скорочення часу прогрівання двигуна легкового автомобіля за використання додаткового джерела теплоти. *Вісник Національного транспортного університету. Серія*

«Технічні науки». Науково-технічний збірник (ISSN: 2523-496X). К.: НТУ, 2021. Вип. 1 (48). С. 117–128.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

7. Кухтик Н.О. Вплив методу прогріву двигуна легкового автомобіля на токсичність відпрацьованих газів. *Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy. Seria: Transport «Systemy I Środki transportu samochodowego»* (ISBN: 978-83-7934-229-7). Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2018. Nr 13, p. 41-48.

8. Кухтик Н.О. Порівняння витрати палива та викидів шкідливих речовин непрогрітого та прогрітого двигуна легкового автомобіля за європейським їздовим циклом. *Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy. Seria: Transport «Systemy I Środki transportu samochodowego»* (ISBN: 978-83-7934-316-4). Rzeszów: Politechnika Rzeszowska. 2019. Nr 17, .p. 35-41.

Публікації апробаційного характеру

9. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Методи прогріву двигуна і їх вплив на роботу системи каталітичної нейтралізації. *Матеріали LXX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету.* - К.: НТУ, 2014. С.23.

10. Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Вплив параметрів навколишнього середовища на вибір методу прогріву двигуна в режимі холостого ходу. *Матеріали LXXI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету.* К.: НТУ, 2015. С.23.

11 Кухтик В.В., Кухтик Н.О. Контроль ефективності прогріву двигуна після його запуску. *Матеріали LXXII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету.* К.: НТУ, 2016. С.27.

12. Кухтик Н.О. Вплив теплового стану нейтралізатора на екологічні показники автомобіля. *Матеріали LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету.* К.: НТУ, 2017. С.44.

13. Кухтик Н.О. Прогрів двигуна легкового автомобіля за низьких температур навколишнього середовища. *Матеріали LXXIV наукової*

конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. К.: НТУ, 2018. С.39-40.

14. Кухтик Н.О. Стендові випробування автомобіля на паливну економічність та токсичність в процесі прогрівання двигуна. *Матеріали LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2019. С.40.

15. Кухтик Н.О. Математична модель руху автомобіля з бензиновим двигуном за їздовим циклом за різної початкової температури навколишнього середовища. *Матеріали LXXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. -К.: НТУ, 2020. С.39.

Патент на корисну модель

16. Патент № 129967 Україна, МПК (2018.01) F02N 19/00, F01P 3/22 (2006.01), B60H 1/04 (2006.01) «Система підігріву повітря на впуску двигуна внутрішнього згоряння з тепловим акумулятором фазового переходу» / Ю.Ф. Гутаревич, Д.М. Тріфонов, О.В. Сирота, Є.В. Шуба, Н.О. Кухтик (Україна); Заявник і патентовласник: Національний транспортний університет, Державний № у 2018 04461; завл. 23.04.2018; опубл. 26.11.2018, бюл. № 22.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

17. Літературний письмовий твір наукового характеру «Порівняння методів прогрівання двигуна легкового автомобіля для визначення рівня забруднення навколишнього середовища за рівнозначних умов подолання певної ділянки шляху» / Ю.Ф. Гутаревич, Н.О. Кухтик // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 102961. Дата реєстрації 02.03.2021 р.

18. Літературний письмовий твір наукового характеру «Експериментальні дослідження впливу низьких температур атмосферного повітря на економічні та екологічні показники двигуна і автомобіля» / Ю.Ф. Гутаревич, Н.О. Кухтик // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 102962. Дата реєстрації 02.03.2021 р.

Апробація результатів дисертації.

Теоретичні, методичні та практичні положення дисертаційної роботи представлені у вигляді тез та доповідей на 7-ми всеукраїнських наукових

конференціях: LXX, LXXI, LXXII, LXXIII, LXXIV, LXXV, LXXVI
всеукраїнських наукових конференціях професорсько-викладацького складу,
аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, НТУ, 2014, 2015,
2016, 2017, 2018, 2019 і 2020 роки, м. Київ та на V Міжнародній науково-
технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і
транспортно-дорожньої галузей», ЛНТУ, 2018 року, Луцьк-Світязь, Україна.



(11) **129967**(19) **UA**

(51) МПК (2018.01)
F02N 19/00
F01P 3/22 (2006.01)
B60H 1/04 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2018 04461**(22) Дата подання заявки: **23.04.2018**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **26.11.2018**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **26.11.2018, Бюл. № 22**

(72) Винахідники:
Гутаревич Юрій
Феодосійович, UA,
Тріфонов Дмитро
Миколайович, UA,
Сирота Олександр
Вадимович, UA,
Шуба Євгеній Василійович,
UA,
Кухтик Наталія
Олександрівна, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
 вул. М. Омеляновича-
 Павленка, 1, м. Київ-10, 01010,
 UA

(54) Назва корисної моделі:

СИСТЕМА ПІДІГРІВУ ПОВІТРЯ НА ВПУСКУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

(57) Формула корисної моделі:

Система підігріву повітря на впуску двигуна внутрішнього згорання з тепловим акумулятором фазового переходу, що містить тепловий акумулятор фазового переходу, газовий трубний теплообмінник, трубопроводи, прохідні запірні крани, яка відрізняється тим, що має пристрій автоматичного регулювання температури повітря на впуску двигуна внутрішнього згорання.



УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 102962

Літературний письмовий твір наукового характеру «Експериментальні дослідження впливу низьких температур атмосферного повітря на економічні та екологічні показники двигуна і автомобіля»

(визн. назва твору)

Автор(и) **Гутаревич Юрій Феодосійович, Кухтик Наталія Олександрівна**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації 2 березня 2021 р.

Генеральний директор
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»

 **Андрій КУДІН**



ПК «Україна» Зам. 20-2002, 2020 р. II кв

**ПРОТОКОЛИ ВИПРОБУВАНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ДАНИХ
ПРИ ПРОГРІВАННІ ДВИГУНА ЗА РІЗНОЇ ПОЧАТКОВОЇ
ТЕМПЕРАТУРИ І ЗА РІЗНИХ МЕТОДІВ ПРОГРІВАННЯ**

Таблиця В.1.1 – Протокол випробувань за прогрівання двигуна в режимі
активного холостого ходу

Дата проведення: 18.03.2018 р.

$t_0 = -8^{\circ}\text{C}$; $p_0 = 100$ кПа

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	n_d , хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °C	$t_{\text{ох.р.}}$, °C	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
0	100	0	0	-8	-8	0	0	0	0	0	21	
5	100	0	0	-8	-7	0	0	0,00	0	0,00	21	0,81
10	100	0	0	-8	-6	0	0	1,38	245	2,90	21	0,79
15	35	0	1339	-8	-5	0	0	4,03	600	7,64	21	0,8
20	34	0,000	1328	-7	-3	0	0	4,15	863	7,99	21	0,82
25	34	2,147	1312	-7	-2	0	0	3,78	859	8,08	21	0,85
30	34	2,134	1309	-8	-1	0	0	3,25	694	8,88	21	0,87
35	34	2,117	1308	-8	0	0	0	2,73	547	9,40	21	0,89
40	34	2,121	1310	-8	1	0	0	2,19	463	9,53	21	0,91
45	34	2,090	1289	-7	3	0	0	2,19	463	9,53	21	0,93
50	34	2,064	1280	-7	3	0	0	1,75	416	10,10	21,1	0,93
55	33	1,980	1261	-7	5	0	0	1,47	392	10,30	21,1	0,94
60	33	1,970	1254	-7	6	0	0	1,30	371	10,30	21,1	0,94
65	33	1,970	1232	-7	8	0	0	1,28	349	10,40	21,1	0,95
70	32	1,876	1226	-7	9	0	0	1,16	341	10,50	21,1	0,96
75	32	1,844	1218	-7	9	0	0	1,03	335	10,60	21,1	0,97
80	32	1,834	1206	-7	11	0	0	1,03	329	10,60	21,1	0,98
85	31	1,764	1200	-7	12	0	0	0,83	318	10,70	21,1	0,98
90	31	1,761	1187	-7	13	0	0	0,74	308	10,70	21,1	0,99
95	31	1,750	1176	-7	14	0	0	0,69	306	10,80	21,1	1
100	31	1,719	1165	-7	15	0	0	0,63	304	10,80	21,1	1,01
105	31	1,710	1163	-7	16	0	0	0,61	297	10,80	21,1	1,02
110	31	1,700	1143	-7	17	0	0	0,42	287	10,90	21,1	1,02
115	31	1,682	1138	-7	18	0	0	0,37	277	10,90	21,2	1,03
120	30	1,620	1134	-7	18	0	0	0,36	276	11,10	21,2	1,03
125	31	1,658	1127	-7	20	0	0	0,34	273	11,10	21,2	1,03
130	31	1,640	1115	-7	21	0	0	0,31	266	11,10	21,2	1,03
135	31	1,639	1108	-7	21	0	0	0,31	265	11,10	21,2	1,02
140	31	1,622	1105	-6	22	0	0	0,30	264	11,20	21,2	1,02
145	31	1,605	1102	-6	23	0	0	0,35	263	11,20	21,2	1,02
150	30	1,555	1096	-6	24	0	0	0,38	261	11,20	21,2	1,02
155	30	1,555	1095	-6	24	0	0	0,39	261	11,20	21,2	1,02
160	30	1,540	1092	-6	25	0	0	0,39	260	11,20	21,2	1,02
165	30	1,530	1087	-6	26	0	0	0,40	260	11,20	21,2	1,02
170	30	1,519	1081	-6	27	0	0	0,40	260	11,20	21,2	1,02
175	30	1,533	1080	-6	27	0	0	0,40	260	11,20	21,2	1,02
180	30	1,528	1078	-6	28	0	0	0,40	260	11,20	21,2	1,02
185	30	1,518	1068	-6	29	0	0	0,40	259	11,20	21,2	1,02
190	30	1,515	1070	-6	30	0	0	0,40	258	11,20	21,2	1,02
195	30	1,507	1062	-6	30	0	0	0,40	256	11,20	21,3	1,02
200	30	1,517	1068	-6	31	0	0	0,40	249	11,20	21,3	1,02
205	30	1,496	1054	-6	32	0	0	0,39	246	11,20	21,3	1,02
210	30	1,500	1054	-6	32	0	0	0,39	243	11,20	21,3	1,01
215	30	1,487	1049	-6	33	0	0	0,38	236	11,20	21,3	1,01
220	30	1,479	1048	-6	33	0	0	0,38	230	11,30	21,3	1,02
225	30	1,487	1052	-6	33	0	0	0,38	228	11,30	21,3	1,02
230	30	1,478	1056	-6	34	0	0	0,37	225	11,30	21,3	1,02
235	30	1,465	1033	-6	35	0	0	0,36	223	11,30	21,3	1,02

Продовження табл. В.1.1

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °С	$t_{\text{ох.р}}$, °С	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
240	30	1,464	1032	-6	36	0	0	0,35	220	11,30	21,3	1,03
245	30	1,480	1034	-5	36	0	0	0,35	214	11,40	21,3	1,02
250	30	1,443	1028	-6	36	0	0	0,35	211	11,40	21,4	1,03
255	30	1,454	1027	-5	37	0	0	0,35	209	11,40	21,4	1,02
260	30	1,452	1028	-5	37	0	0	0,35	207	11,40	21,4	1,02
265	30	1,454	1028	-6	38	0	0	0,33	200	11,40	21,4	1,02
270	30	1,457	1018	-5	38	0	0	0,32	197	11,40	21,4	1,02
275	30	1,430	1015	-5	39	0	0	0,32	195	11,40	21,4	1,02
280	30	1,437	1017	-5	39	0	0	0,32	195	11,40	21,4	1,02
285	30	1,430	1018	-5	40	0	0	0,32	194	11,50	21,4	1,02
290	30	1,430	1014	-5	40	0	0	0,32	193	11,50	21,4	1,02
295	30	1,438	1005	-5	40	0	0	0,32	192	11,50	21,4	1,02
300	30	1,423	1011	-4	41	0	0	0,32	190	11,50	21,4	1,02
305	30	1,418	1008	-4	42	0	0	0,32	187	11,50	21,4	1,02
310	30	1,409	1005	-4	42	0	0	0,31	185	11,50	21,4	1,02
315	30	1,397	1001	-4	42	0	0	0,31	182	11,50	21,4	1,02
320	30	1,404	993	-4	42	0	0	0,31	182	11,50	21,4	1,02
325	30	1,414	1008	-3	43	0	0	0,31	181	11,50	21,5	1,02
330	30	1,406	994	-4	43	0	0	0,31	181	11,50	21,5	1,02
335	30	1,382	987	-4	44	0	0	0,31	177	11,50	21,5	1,02
340	30	1,390	989	-3	44	0	0	0,31	176	11,50	21,5	1,02
345	30	1,390	987	-4	45	0	0	0,31	173	11,50	21,5	1,02
350	30	1,384	988	-3	45	0	0	0,31	171	11,50	21,5	1,02
355	30	1,393	986	-3	45	0	0	0,31	171	11,50	21,5	1,02
360	30	1,375	977	-3	45	0	0	0,31	171	11,50	21,5	1,02
365	29	1,310	980	-3	46	0	0	0,31	171	11,50	21,5	1,02
370	29	1,332	983	-3	46	0	0	0,31	170	11,50	21,5	1,02
375	29	1,321	972	-3	47	0	0	0,30	170	11,50	21,5	1,02
380	30	1,370	980	-3	47	0	0	0,30	169	11,50	21,5	1,02
385	30	1,365	966	-3	48	0	0	0,30	169	11,60	21,5	1,03
390	29	1,316	971	-3	48	0	0	0,30	168	11,60	21,5	1,03
395	30	1,354	970	-3	48	0	0	0,30	167	11,60	21,5	1,03
400	30	1,357	964	-3	48	0	0	0,30	166	11,60	21,5	1,03
405	30	1,360	955	-2	48	0	0	0,30	165	11,60	21,5	1,03
410	30	1,326	949	-2	49	0	0	0,30	164	11,60	21,5	1,04
415	30	1,340	956	-2	49	0	0	0,30	163	11,60	21,5	1,04
420	30	1,330	954	-2	50	0	0	0,30	162	11,60	21,5	1,04
425	30	1,354	957	-2	50	0	0	0,30	160	11,60	21,5	1,05
430	30	1,335	957	-2	51	0	0	0,30	157	11,60	21,5	1,04
435	29	1,293	958	-1	51	0	0	0,30	155	11,60	21,6	1,04
440	30	1,337	943	-1	51	0	0	0,30	153	11,60	21,5	1,04
445	29	1,286	949	-1	51	0	0	0,30	152	11,60	21,6	1,05
450	29	1,280	945	-1	52	0	0	0,30	151	11,60	21,6	1,05
455	30	1,309	944	0	52	0	0	0,30	150	11,60	21,6	1,05
460	29	1,279	946	-1	52	0	0	0,30	148	11,60	21,6	1,05
465	29	1,254	938	0	53	0	0	0,30	148	11,60	21,6	1,06
470	29	1,260	937	0	53	0	0	0,29	147	11,60	21,6	1,07
475	29	1,267	940	0	54	0	0	0,29	146	11,60	21,6	1,07
480	29	1,257	938	0	54	0	0	0,29	145	11,60	21,6	1,08

Таблиця В.1.2 – Результати обробки даних випробувань за прогрівання двигуна в режимі активного холостого ходу

τ , с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO , кг/год	C_mH_n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
5	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
25	1,491	1,608103	0,672621	0,711902	0,124223	0,494377	0,086266
30	4,464	1,598366	0,679175	0,618049	0,10134	1,417954	0,242907
35	7,416	1,585633	0,684307	0,523084	0,080478	2,210408	0,369169
40	10,359	1,588629	0,696161	0,426886	0,069299	2,870109	0,473181
45	13,283	1,56541	0,696394	0,427029	0,069323	3,463106	0,569446
50	16,168	1,545936	0,687731	0,336988	0,061511	3,993673	0,660303
55	18,976	1,48302	0,664671	0,273579	0,056019	4,417678	0,74192
60	21,719	1,47553	0,661315	0,240718	0,05275	4,774829	0,817454
65	24,456	1,47553	0,66622	0,238773	0,04999	5,107809	0,8888
70	27,126	1,405124	0,639101	0,20758	0,046856	5,417776	0,956054
75	29,710	1,381156	0,632791	0,182497	0,045577	5,688663	1,020244
80	32,264	1,373666	0,633926	0,182824	0,044841	5,942358	1,083033
85	34,763	1,321236	0,60973	0,141701	0,041687	6,167723	1,143122
90	37,210	1,318989	0,613078	0,12703	0,040598	6,354342	1,200265
95	39,649	1,31075	0,6136	0,118547	0,040369	6,524882	1,256492
100	42,058	1,287531	0,608373	0,107317	0,039763	6,681732	1,312139
105	44,439	1,28079	0,610801	0,104325	0,039003	6,828705	1,366838
110	46,807	1,2733	0,607229	0,07141	0,037469	6,950743	1,419943
115	49,156	1,259818	0,60632	0,062815	0,036109	7,043955	1,471039
120	51,449	1,21338	0,583971	0,058864	0,034653	7,128455	1,520179
125	53,725	1,241842	0,597669	0,056898	0,03508	7,208845	1,568605
130	56,015	1,22836	0,59118	0,051314	0,03381	7,283993	1,616445
135	58,292	1,227611	0,58544	0,050816	0,033355	7,354917	1,663088
140	60,557	1,214878	0,579368	0,048667	0,032885	7,424002	1,709088
145	62,798	1,202145	0,573295	0,056183	0,032417	7,496814	1,754436
150	64,992	1,164695	0,555436	0,059098	0,031168	7,576871	1,798593
155	67,152	1,164695	0,555436	0,060654	0,031168	7,660032	1,841882
160	69,301	1,15346	0,550078	0,060068	0,030749	7,743867	1,88488
165	71,433	1,14597	0,546506	0,061209	0,03055	7,828087	1,927449
170	73,551	1,137731	0,542577	0,060769	0,03033	7,912793	1,969727
175	75,670	1,148217	0,547577	0,061329	0,03061	7,997583	2,012046
180	77,796	1,144472	0,545791	0,061129	0,03051	8,082623	2,05449
185	79,911	1,136982	0,542219	0,060729	0,030193	8,167246	2,096645
190	82,017	1,134735	0,541148	0,060609	0,030017	8,251508	2,138458
195	84,116	1,128743	0,53829	0,060289	0,029628	8,335464	2,179878
200	86,216	1,136233	0,541862	0,060689	0,029009	8,419476	2,220598
205	88,308	1,120504	0,534361	0,058352	0,028262	8,502143	2,260369
210	90,389	1,1235	0,530866	0,057971	0,027735	8,582923	2,299256
215	92,463	1,113763	0,526266	0,055995	0,026703	8,662066	2,33706
220	94,523	1,107771	0,528289	0,05621	0,026124	8,739986	2,373746
225	96,583	1,113763	0,531146	0,056514	0,026037	8,818266	2,409968
230	98,806	1,107022	0,527932	0,054694	0,025539	8,901672	2,44865
235	100,687	1,097285	0,523288	0,052747	0,025089	8,970315	2,480995
240	102,721	1,096536	0,527737	0,051718	0,024962	9,04286	2,515753
245	104,765	1,10852	0,528646	0,051807	0,024323	9,114753	2,549979

Продовження табл. В.1.2

τ, с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO , кг/год	C_mH_n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
250	106,795	1,080807	0,520167	0,050976	0,023597	9,186131	2,583257
255	108,806	1,088672	0,519181	0,05088	0,023329	9,256864	2,615845
260	110,824	1,087548	0,518645	0,050827	0,023082	9,327494	2,648075
265	112,842	1,089046	0,519359	0,047989	0,022332	9,396116	2,679613
270	114,864	1,091293	0,520431	0,046631	0,022043	9,461824	2,710429
275	116,869	1,07107	0,510786	0,045766	0,021415	9,525988	2,740608
280	118,860	1,076313	0,513287	0,04599	0,02152	9,589709	2,770424
285	120,851	1,07107	0,510786	0,045766	0,021305	9,653429	2,800163
290	122,837	1,07107	0,510786	0,045766	0,021195	9,716993	2,829677
295	124,828	1,077062	0,513644	0,046023	0,021203	9,780736	2,85912
300	126,815	1,065827	0,508286	0,045542	0,020763	9,844322	2,888264
305	128,788	1,062082	0,5065	0,045382	0,020364	9,907465	2,916824
310	130,751	1,055341	0,503285	0,043685	0,020018	9,969317	2,944867
315	132,700	1,046353	0,498999	0,043313	0,019526	10,02973	2,972328
320	134,645	1,051596	0,501499	0,04353	0,019624	10,09004	2,999515
325	136,602	1,059086	0,505071	0,04384	0,019655	10,15071	3,026792
330	138,560	1,053094	0,502214	0,043592	0,019544	10,21143	3,054013
335	140,496	1,035118	0,493641	0,042848	0,018786	10,27146	3,080631
340	142,421	1,04111	0,496499	0,043096	0,018788	10,33114	3,106723
345	144,352	1,04111	0,496499	0,043096	0,018467	10,391	3,132595
350	146,278	1,036616	0,494356	0,04291	0,018175	10,45072	3,158041
355	148,207	1,043357	0,49757	0,043189	0,018293	10,51052	3,183366
360	150,129	1,029875	0,491141	0,042631	0,018057	10,57011	3,208609
365	151,994	0,98119	0,467923	0,040616	0,017203	10,62792	3,233095
370	153,828	0,997668	0,475782	0,041298	0,01739	10,68481	3,257118
375	155,671	0,989429	0,471852	0,039636	0,017246	10,74101	3,281171
380	157,539	1,02613	0,489355	0,041106	0,017781	10,79708	3,305495
385	159,439	1,022385	0,492049	0,041332	0,017879	10,85433	3,330258
390	161,301	0,985684	0,474386	0,039848	0,017135	10,91071	3,354573
395	163,155	1,014146	0,488084	0,040999	0,017525	10,96685	3,378642
400	165,037	1,016393	0,489166	0,04109	0,017458	11,02386	3,402936
405	166,924	1,01864	0,490247	0,041181	0,017392	11,08099	3,427137
410	168,789	0,993174	0,482343	0,040517	0,017007	11,13772	3,451025
415	170,641	1,00366	0,487436	0,040945	0,017082	11,19429	3,474699
420	172,495	0,99617	0,483798	0,040639	0,016851	11,25095	3,498263
425	174,359	1,014146	0,496973	0,041746	0,017096	11,30816	3,521837
430	176,226	0,999915	0,485617	0,040792	0,016392	11,36548	3,545093
435	178,051	0,968457	0,470339	0,039509	0,015674	11,42124	3,567361
440	179,878	1,001413	0,486345	0,040853	0,015998	11,47705	3,589356
445	181,699	0,963214	0,472014	0,039649	0,015425	11,53295	3,611178
450	183,481	0,95872	0,469812	0,039464	0,015252	11,58789	3,632482
455	185,279	0,980441	0,480456	0,040358	0,015495	11,64333	3,653834
460	187,076	0,957971	0,469445	0,039433	0,014938	11,69874	3,674968
465	188,835	0,939246	0,464385	0,039008	0,014777	11,75321	3,695603
470	190,581	0,94374	0,470743	0,038224	0,014878	11,80684	3,716196
475	192,336	0,948983	0,473358	0,038437	0,014859	11,86008	3,736846
480	194,089	0,941493	0,473748	0,038468	0,014769	11,91349	3,757421

Таблиця В.2.1 – Протокол випробувань за прогрівання двигуна в русі

Дата проведення: 25.02.2018 р.

 $t_0 = -12^{\circ}\text{C}$; $p_0 = 100 \text{ кПа}$

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °C	$t_{\text{ох.р.}}$, °C	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
0	100	0	0	-12	-8	0	0	0	0	0	21,2	
5	34	2,250	1369	-12	-8	0	0	4,56	1184	4,29	21,2	0,9
10	33	2,160	1342	-12	-7	0	0	3,67	1316	4,77	21,2	0,91
15	33	2,140	1343	-12	-6	0	0	3,19	992	5,16	21,2	0,91
20	33	2,125	1331	-12	-5	0	0	2,72	739	5,57	21,2	0,92
25	33	2,117	1322	-12	-3	0	0	2,21	571	5,94	21,3	0,93
30	33	2,090	1310	-12	-2	0	0	2,21	571	6,17	21,3	0,93
35	33	2,084	1301	-12	-1	0	0	1,83	466	6,18	21,3	0,94
40	33	2,078	1309	-12	0	0	0	1,59	395	6,20	21,3	0,95
45	39	2,819	1255	-12	2	0	0	1,38	346	6,24	21,3	0,96
50	34	3,285	1580	-12	3	0	0	1,17	300	6,22	21,3	0,97
55	36	2,574	2015	-12	4	0	0	1,11	278	5,99	21,4	0,98
60	37	3,150	1717	-12	6	0	0	1,12	257	5,28	21,4	0,98
65	46	2,541	1467	-12	8	0	5	1,12	242	5,30	21,4	0,98
70	36	2,554	1438	-12	9	0,014	10	1,32	222	4,55	21,4	0,96
75	36	2,278	1295	-12	10	0,029	7	0,98	176	4,08	21,4	0,99
80	88	5,726	1681	-12	11	0,034	0	0,97	152	3,68	21,4	0,99
85	48	2,580	1293	-12	13	0,034	1	1,12	149	3,60	21,4	0,98
90	34	2,257	1373	-12	14	0,037	2	1,12	148	5,11	21,4	0,99
95	37	2,561	1431	-12	15	0,045	11	1,40	199	6,44	21,4	0,99
100	30	2,147	1772	-11	16	0,063	13	1,40	199	6,74	21,4	0,99
105	44	2,311	1222	-11	18	0,074	15	2,14	200	6,74	21,4	1
110	32	1,919	1339	-11	19	0,099	16	2,14	201	6,74	21,5	1
115	32	2,072	1316	-11	20	0,117	6	2,14	201	6,74	21,5	1
120	41	2,387	1158	-11	21	0,127	7	2,14	216	7,01	21,5	1
125	29	2,136	1408	-11	22	0,134	11	2,07	216	7,02	21,5	1
130	33	1,915	1186	-11	23	0,149	8	1,17	211	7,70	21,5	1
135	40	2,285	957	-11	24	0,157	7	1,17	205	7,69	21,5	1
140	28	2,685	1563	-11	26	0,173	11	1,17	169	7,68	21,5	1
145	34	2,336	1300	-11	26	0,189	10	0,65	126	8,00	21,5	1
150	45	3,341	1642	-11	27	0,206	12	0,65	126	8,00	21,5	1
155	44	3,517	1666	-10	28	0,216	13	0,65	126	7,99	21,6	1
160	65	3,434	1301	-10	29	0,241	20	0,41	126	8,27	21,6	1
165	39	3,064	1712	-10	30	0,276	23	0,41	117	8,27	21,6	1
170	38	3,226	1811	-10	31	0,295	25	0,41	117	8,26	21,6	1
175	23	1,989	1802	-10	33	0,335	25	0,41	117	8,26	21,6	1,01
180	30	2,305	1601	-10	33	0,369	22	0,41	116	8,31	21,6	1
185	32	4,510	1110	-9	34	0,395	12	0,41	77	8,41	21,6	1
190	36	2,300	1343	-9	35	0,423	18	0,41	77	8,41	21,6	1,01
195	30	2,052	1431	-9	36	0,436	16	0,27	76	8,42	21,6	1,01
200	31	1,858	1206	-9	36	0,452	5	0,27	76	7,87	21,7	1,01
205	33	1,823	952	-9	37	0,457	2	0,74	76	7,87	21,7	1,01
210	63	4,231	1232	-9	38	0,462	7	0,36	76	7,97	21,6	1
215	30	2,420	1268	-9	39	0,470	12	0,22	71	8,34	21,6	1,01
220	50	3,671	1536	-9	39	0,485	12	0,22	61	8,34	21,6	1,01
225	58	4,106	1481	-9	40	0,511	20	0,39	59	8,34	21,7	1
230	43	3,300	1803	-9	40	0,547	25	0,39	59	8,32	21,7	1,01
235	24	2,001	1417	-9	42	0,566	23	0,39	59	8,32	21,7	1,01
240	32	1,837	1043	-8	42	0,595	16	0,39	59	8,32	21,7	1,01
245	55	3,312	1264	-8	42	0,620	18	0,28	59	8,32	21,7	1,01

Продовження табл. В.2.1

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °С	$t_{\text{ох.р}}$, °С	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
250	46	3,640	1774	-8	44	0,654	23	0,28	59	8,30	21,7	1,01
255	66	4,508	1494	-8	44	0,686	21	0,25	55	8,30	21,7	1,01
260	68	6,962	2066	-8	45	0,706	30	0,37	53	8,30	21,7	1,01
265	27	9,070	1835	-8	46	0,764	40	0,37	53	8,37	21,7	1
270	66	5,403	1641	-8	47	0,822	36	0,37	53	8,36	21,8	1
275	84	7,546	2206	-8	48	0,852	41	0,37	53	7,85	21,8	1
280	84	6,860	1850	-8	49	0,959	48	0,68	48	7,87	21,8	1
285	38	3,536	1882	-8	51	0,997	51	0,68	47	7,89	21,8	1,01
290	53	4,752	1877	-8	52	1,074	50	0,68	47	7,89	21,8	1,01
295	39	3,466	1800	-7	53	1,150	46	0,44	47	7,94	21,8	1,01
300	28	2,125	1743	-7	54	1,184	41	0,44	41	8,05	21,8	1,02
305	18	1,220	1429	-7	54	1,241	32	0,17	37	8,05	21,8	1,02
310	31	1,630	1108	-7	54	1,276	10	0,17	25	5,72	21,8	1,02
315	31	1,385	935	-7	54	1,276	0	0,17	25	5,72	21,8	1,02
320	31	1,365	927	-7	54	1,276	0	0,53	34	7,29	21,8	1,02
325	31	1,369	933	-7	54	1,276	0	0,53	24	7,82	21,8	1,02
330	31	1,363	930	-6	54	1,276	0	0,32	24	8,21	21,8	1,02
335	31	1,362	1798	-6	54	1,276	0	0,20	24	8,32	21,9	1,02
340	92	8,414	1878	-6	54	1,290	27	0,19	23	8,33	21,9	1
345	86	7,404	1821	-6	55	1,310	25	0,19	23	8,32	21,9	1
350	36	5,542	3256	-6	56	1,363	47	0,84	23	8,20	21,9	1,01
355	42	4,202	2210	-6	57	1,436	47	0,85	23	8,24	21,9	1,01
360	33	3,476	2365	-6	58	1,513	51	0,44	22	8,22	21,9	1,01
365	96	10,489	2648	-6	60	1,552	50	0,43	22	8,16	21,9	1
370	64	6,331	2092	-6	61	1,638	56	0,43	21	8,23	21,9	1,01
375	52	5,147	2147	-6	62	1,726	56	0,43	20	8,23	21,9	1,01
380	39	3,888	2054	-6	63	1,812	53	0,46	20	8,23	21,9	1,02
385	53	5,365	2153	-6	63	1,899	57	0,46	14	8,23	21,9	1,02
390	59	6,141	2178	-6	65	1,988	57	0,17	13	8,27	21,9	1,02
395	58	6,226	2279	-5	66	2,034	60	0,17	9	8,27	22	1,02
400	29	3,206	2047	-6	66	2,130	62	0,25	8	8,28	22	1,02
405	63	5,571	1919	-5	67	2,228	63	0,16	8	8,26	22	1,02
410	55	4,947	1866	-5	68	2,326	62	0,16	8	8,27	22	1,02
415	28	2,498	1894	-5	69	2,375	62	0,16	8	8,40	22	1,02
420	28	1,690	834	-5	69	2,464	53	0,15	7	8,40	22	1,02
425	30	1,206	851	-5	69	2,543	46	0,15	8	8,39	22	1,02
430	31	1,242	838	-5	69	2,578	43	0,43	8	8,36	22	1,02
435	31	1,223	839	-5	69	2,628	22	0,43	9	8,36	22	1,02
440	31	1,228	850	-4	69	2,648	5	0,27	7	8,27	22	1,02
445	32	1,276	845	-4	69	2,648	0	0,17	6	8,27	22	1,02
450	31	1,240	856	-4	69	2,648	0	0,16	6	8,27	22	1,02
455	31	1,236	850	-4	68	2,648	0	0,14	6	8,28	22	1,02
460	32	1,268	852	-4	68	2,648	0	0,14	5	8,30	22	1,02
465	31	1,245	847	-4	68	2,648	0	0,11	5	8,31	22	1,02
470	31	1,234	846	-4	68	2,648	0	0,11	5	8,34	22	1,02
475	31	1,236	853	-4	68	2,648	0	0,11	5	8,44	22	1,02
480	32	1,264	845	-3	68	2,648	0	0,11	5	8,45	22	1,02
485	31	1,218	862	-3	67	2,648	0	0,11	5	8,45	22	1,02
490	31	1,244	856	-3	67	2,648	0	0,11	5	8,45	22	1,02
495	31	1,238	854	-3	67	2,648	0	0,11	4	8,44	22	1,02
500	31	1,246	860	-3	67	2,648	0	0,11	4	8,44	22	1,02
505	31	1,242	855	-3	67	2,648	0	0,12	4	8,44	22	1,02
510	31	1,259	862	-2	67	2,648	0	0,14	3	8,45	22	1,02
515	31	1,247	860	-2	67	2,648	0	0,14	3	8,47	22	1,02
520	31	1,232	853	-2	67	2,648	0	0,14	3	8,47	22	1,02

Продовження табл. В.2.1

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °C	$t_{\text{ох.р}}$, °C	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
525	29	1,170	855	-2	67	2,648	0	0,15	3	8,48	22	1,02
530	57	2,269	1714	-2	67	2,648	13	0,15	3	8,50	22,1	1,01
535	80	5,540	2424	-2	67	2,683	35	0,14	2	8,51	22,1	1,01
540	26	1,742	1025	-2	68	2,712	38	0,46	1	8,52	22,1	1,01
545	31	1,253	871	-1	68	2,761	21	0,46	1	7,82	22,1	1,02
550	31	1,233	852	-1	69	2,776	2	0,46	2	7,82	22,1	1,02
555	31	1,202	849	0	69	2,776	0	0,46	2	7,82	22,1	1,02
560	53	2,249	1762	0	69	2,776	0	0,26	2	8,40	22,1	1,02
565	36	2,574	1547	0	68	2,790	23	0,14	2	8,40	22,1	1,02
570	19	2,094	2384	0	69	2,835	36	0,14	2	8,39	22,1	1,02
575	78	6,744	2166	0	69	2,900	48	0,37	1	8,39	22,1	1,01
580	25	2,241	1092	0	71	2,981	51	0,37	1	8,31	22,1	1,02
585	26	1,026	853	0	72	3,020	48	0,37	1	8,31	22,1	1,02
590	27	2,680	1642	0	72	3,087	33	0,37	1	8,30	22,1	1,02
595	97	5,984	1803	0	72	3,140	40	0,31	1	8,15	22,1	1,02
600	18	1,917	1468	0	72	3,215	52	0,18	1	8,17	22,1	1,02
605	72	6,332	2025	0	73	3,255	50	0,17	1	8,16	22,1	1,01
610	26	2,685	2234	0	74	3,339	58	0,17	0	8,16	22,1	1,02
615	27	1,549	863	0	75	3,426	51	0,17	0	8,18	22,1	1,01
620	29	1,052	768	0	75	3,463	46	0,17	0	8,18	22,1	1,02
625	29	1,035	765	0	76	3,529	38	0,3	0	8,17	22,1	1,02
630	30	1,069	1414	0	75	3,583	28	0,3	0	8,17	22,1	1,02
635	72	4,688	1902	1	75	3,621	28	0,21	0	8,15	22,1	1,01
640	93	12,9	2174	0	75	3,683	47	0,17	0	8,37	22,1	0,98
645	27	3,304	2034	0	77	3,767	52	0,17	0	8,48	22,1	1,01

Таблиця В.2.2 – Результати обробки даних випробувань
за прогрівання двигуна в русі

τ , с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO , кг/год	C_mH_n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
5	0,000	1,685	0,7329	0,935767	0,186567	0	0
10	3,063	1,618	0,708962	0,728529	0,200594	1,155761	0,268862
15	6,049	1,603	0,702398	0,627382	0,149807	2,097366	0,512196
20	9,010	1,592	0,702765	0,535226	0,111659	2,904732	0,693769
25	11,956	1,586	0,70539	0,436496	0,086597	3,579539	0,831447
30	14,878	1,565	0,696394	0,430929	0,085493	4,181917	0,950954
35	17,776	1,561	0,699584	0,358467	0,070091	4,730108	1,058999
40	20,667	1,556	0,702743	0,312861	0,05968	5,196308	1,149118
45	24,067	2,111	0,960355	0,371081	0,071441	5,671268	1,240175
50	28,306	2,460	1,127288	0,369299	0,07271	6,185421	1,340279
55	32,375	1,928	0,889708	0,276521	0,053178	6,633908	1,427701
60	36,350	2,359	1,088804	0,341449	0,060162	7,063054	1,50641
65	40,302	1,903	0,878302	0,275435	0,045698	7,491446	1,579923
70	43,840	1,913	0,870077	0,32158	0,041529	7,90604	1,640498
75	47,196	1,706	0,793067	0,217618	0,03001	8,280483	1,690177
80	52,754	4,289	1,99346	0,541424	0,065146	8,807595	1,756258
85	58,522	1,932	0,891782	0,279663	0,028568	9,377794	1,821337
90	61,881	1,690	0,785756	0,246413	0,025003	9,743125	1,858539
95	65,227	1,918	0,891591	0,349504	0,038147	10,15696	1,902393
100	68,497	1,608	0,74746	0,293004	0,03198	10,60314	1,951092
105	71,592	1,731	0,810302	0,485533	0,034843	11,14379	1,997497
110	74,530	1,437	0,672856	0,403175	0,029077	11,76095	2,041886
115	77,301	1,552	0,726502	0,43532	0,031396	12,34324	2,083882
120	80,398	1,788	0,83695	0,501501	0,038868	12,99381	2,132676
125	83,539	1,600	0,748942	0,434087	0,034781	13,64352	2,183821
130	86,352	1,434	0,671454	0,219968	0,03046	14,09773	2,229127
135	89,269	1,711	0,801186	0,262469	0,035312	14,43275	2,274803
140	92,720	2,011	0,941438	0,308415	0,034207	14,8292	2,32308
145	96,207	1,750	0,819068	0,14907	0,022189	15,1469	2,362244
150	100,149	2,502	1,17145	0,213204	0,031735	15,39848	2,399691
155	104,912	2,634	1,23316	0,224435	0,033406	15,7024	2,444927
160	109,739	2,572	1,204058	0,138226	0,032618	15,95424	2,490778
165	114,251	2,295	1,074326	0,123333	0,027025	16,13588	2,532196
170	118,619	2,416	1,131128	0,129853	0,028454	16,3117	2,570723
175	122,241	1,490	0,703929	0,080811	0,017707	16,458	2,602779
180	125,223	1,726	0,808199	0,092781	0,020156	16,57855	2,629073
185	129,956	3,378	1,581335	0,181537	0,026179	16,76905	2,66125
190	134,685	1,723	0,813995	0,093447	0,013476	16,96001	2,688788
195	137,707	1,537	0,726225	0,054903	0,011867	17,06303	2,706387
200	140,422	1,392	0,657566	0,049712	0,010745	17,13568	2,722089
205	142,978	1,365	0,64518	0,133681	0,010542	17,26304	2,736872
210	147,183	3,169	1,483509	0,149538	0,024241	17,45972	2,761027
215	151,801	1,813	0,856464	0,052758	0,013074	17,6002	2,786939
220	156,031	2,750	1,299207	0,080031	0,017039	17,69241	2,807851
225	161,432	3,075	1,439681	0,157213	0,018262	17,85717	2,832366
230	166,575	2,472	1,167906	0,127535	0,014815	18,05491	2,855336
235	170,256	1,499	0,708176	0,077333	0,008983	18,19718	2,871863
240	172,922	1,376	0,650134	0,070995	0,008247	18,30018	2,883828
245	176,497	2,481	1,172153	0,091897	0,014869	18,4133	2,899881

Продовження табл. В.2.2

τ, с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO, кг/год	C _m H _n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
250	181,325	2,726	1,288236	0,100998	0,016341	18,54726	2,921555
255	186,983	3,376	1,59543	0,11168	0,018866	18,69495	2,946004
260	194,949	5,215	2,463928	0,255263	0,028076	18,94977	2,978603
265	206,082	6,793	3,180201	0,329469	0,036238	19,35583	3,023266
270	216,133	4,047	1,894446	0,196265	0,021587	19,72093	3,063423
275	225,125	5,652	2,645843	0,274109	0,030149	20,04758	3,099351
280	235,129	5,138	2,405312	0,457971	0,024823	20,55597	3,137526
285	242,349	2,648	1,251429	0,238272	0,012646	21,03947	3,163546
290	248,104	3,559	1,681785	0,320212	0,016994	21,4273	3,184129
295	253,811	2,596	1,226655	0,151124	0,012395	21,75462	3,204539
300	257,694	1,592	0,759036	0,093513	0,006691	21,92451	3,217793
305	260,017	0,914	0,435776	0,020743	0,003467	22,00385	3,224847
310	261,996	1,221	0,582225	0,027714	0,003129	22,0375	3,229427
315	264,090	1,037	0,494713	0,023548	0,002659	22,0731	3,233447
320	265,999	1,022	0,487569	0,072355	0,003564	22,1397	3,237769
325	267,898	1,025	0,488998	0,072567	0,002523	22,24034	3,241996
330	269,795	1,021	0,486855	0,043622	0,002512	22,32103	3,245493
335	271,688	1,020	0,486497	0,027244	0,00251	22,37024	3,248981
340	278,476	6,302	2,950188	0,15695	0,014589	22,49815	3,260855
345	289,461	5,546	2,596053	0,13811	0,012837	22,70306	3,279901
350	298,451	4,151	1,961374	0,461315	0,009699	23,11932	3,295552
355	305,218	3,147	1,487134	0,353938	0,007354	23,68547	3,307394
360	310,550	2,604	1,230194	0,15156	0,005819	24,03651	3,316542
365	320,248	7,856	3,677742	0,4428	0,017396	24,44926	3,332663
370	331,928	4,742	2,24061	0,269769	0,010116	24,9441	3,351768
375	339,899	3,855	1,82158	0,219318	0,007833	25,28375	3,364233
380	346,174	2,912	1,388768	0,178873	0,005972	25,56027	3,373819
385	352,599	4,018	1,916342	0,246825	0,005768	25,85589	3,381972
390	360,590	4,600	2,193524	0,104412	0,006131	26,09981	3,390235
395	369,178	4,663	2,223886	0,105857	0,004303	26,24583	3,397481
400	375,728	2,401	1,145162	0,080161	0,00197	26,37501	3,401838
405	381,823	4,173	1,989924	0,089149	0,003423	26,49258	3,405582
410	389,127	3,705	1,767035	0,079163	0,003039	26,60946	3,41007
415	394,297	1,871	0,892269	0,039974	0,001535	26,6922	3,413246
420	397,206	1,266	0,603657	0,025354	0,000909	26,73756	3,414943
425	399,217	0,903	0,430775	0,018093	0,000741	26,76774	3,416088
430	400,917	0,930	0,443634	0,053414	0,000763	26,81739	3,417133
435	402,628	0,916	0,436847	0,052596	0,000845	26,89101	3,41825
440	404,331	0,920	0,438633	0,033161	0,00066	26,95056	3,419295
445	406,069	0,956	0,455779	0,021695	0,000588	26,98866	3,420162
450	407,817	0,929	0,44292	0,019843	0,000571	27,0175	3,420967
455	409,536	0,926	0,441491	0,017306	0,00057	27,0433	3,421759
460	411,275	0,950	0,452921	0,017755	0,000487	27,06765	3,422493
465	413,020	0,933	0,444706	0,013697	0,000478	27,08949	3,423163
470	414,742	0,924	0,440777	0,013576	0,000474	27,10843	3,423824
475	416,457	0,926	0,441491	0,013598	0,000475	27,1273	3,424483
480	418,193	0,947	0,451492	0,013906	0,000485	27,1464	3,425149
485	419,917	0,912	0,435061	0,0134	0,000468	27,16536	3,425811
490	421,626	0,932	0,444349	0,013686	0,000478	27,18417	3,426467
495	423,350	0,927	0,442205	0,01362	0,00038	27,20314	3,427063
500	425,075	0,933	0,445063	0,013708	0,000383	27,22211	3,427593
505	426,803	0,930	0,443634	0,014906	0,000382	27,24198	3,428124

Продовження табл. В.2.2

τ, с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згорання, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO , кг/год	C_mH_n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
510	428,540	0,943	0,449706	0,017628	0,00029	27,26458	3,42859
515	430,280	0,934	0,44542	0,01746	0,000287	27,28895	3,428991
520	432,001	0,923	0,440062	0,01725	0,000284	27,31305	3,429388
525	433,669	0,876	0,417916	0,017552	0,00027	27,33722	3,429772
530	436,058	1,699	0,803024	0,033727	0,000518	27,37283	3,430319
535	441,481	4,149	1,960667	0,076858	0,000843	27,44962	3,431264
540	446,538	1,305	0,616513	0,079407	0,000133	27,55814	3,431942
545	448,617	0,938	0,447563	0,057646	9,62E-05	27,65332	3,432101
550	450,344	0,924	0,440419	0,056726	0,000189	27,73274	3,432299
555	452,035	0,900	0,429346	0,0553	0,000185	27,81054	3,432559
560	454,431	1,685	0,803328	0,058482	0,000345	27,88955	3,432927
565	457,781	1,928	0,919416	0,036041	0,000395	27,9552	3,433441
570	461,022	1,568	0,747963	0,02932	0,000322	28,00059	3,433939
575	467,160	5,051	2,386775	0,24727	0,000513	28,19266	3,434519
580	473,399	1,679	0,80047	0,082929	0,000172	28,42197	3,434995
585	475,668	0,768	0,36648	0,037967	7,88E-05	28,50592	3,435169
590	478,242	2,007	0,957278	0,099174	0,000206	28,60116	3,435367
595	484,258	4,482	2,137445	0,18553	0,00046	28,79887	3,435829
600	489,745	1,436	0,68474	0,034511	0,000147	28,95168	3,43625
605	495,474	4,743	2,240964	0,10667	0,000482	29,04972	3,436687
610	501,735	2,011	0,959064	0,045651	0	29,1555	3,437021
615	504,676	1,160	0,548208	0,026095	0	29,20532	3,437021
620	506,482	0,788	0,375767	0,017887	0	29,23586	3,437021
625	507,931	0,775	0,369695	0,031054	0	29,26985	3,437021
630	509,392	0,801	0,38184	0,032075	0	29,31369	3,437021
635	513,390	3,511	1,659134	0,097557	0	29,40371	3,437021
640	525,604	9,662	4,45891	0,212244	0	29,61885	3,437021
645	536,857	2,475	1,169322	0,05566	0	29,8049	3,437021

Таблиця В.3.1 – Протокол випробувань за комбінованого методу прогрівання двигуна

Дата проведення: 24.02.2018 р.

$t_0 = -7^{\circ}\text{C}$; $p_0 = 99 \text{ кПа}$

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °C	$t_{\text{ох.р}}$, °C	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
0	99	0	0	-7	-7	0	0	0	0	0	21,1	
10	99	0	0	-7	-7	0	0	2,92	410	5,09	21,1	0,89
14	34	0	1328	-7	-3	0	0	3,41	630	6,24	21,1	0,9
20	34	2,120	1316	-7	-3	0	0	3,05	741	6,67	21,1	0,91
26	34	2,124	1307	-7	-1	0	0	2,63	740	7,01	21,1	0,92
30	34	2,100	1304	-6	0	0	0	2,11	597	7,41	21,2	0,93
35	34	2,098	1302	-6	1	0	0	1,66	476	7,88	21,2	0,94
40	33	2,011	1284	-7	3	0	0	1,34	399	8,15	21,2	0,95
45	33	1,997	1273	-6	4	0	0	1,34	348	8,17	21,2	0,96
50	33	1,977	1258	-6	5	0	0	1,09	329	8,30	21,2	0,97
55	33	1,957	1250	-6	6	0	0	0,98	306	8,42	21,2	0,98
60	32	1,862	1234	-6	8	0	0	0,97	295	8,45	21,2	0,98
65	32	1,855	1226	-6	9	0	0	0,85	272	8,48	21,2	0,99
70	32	1,844	1213	-6	9	0	0	0,70	269	8,48	21,2	0,99
75	32	1,821	1210	-6	11	0	0	0,70	264	8,50	21,2	0,99
80	31	1,749	1190	-6	12	0	0	0,64	257	8,62	21,3	0,99
85	31	1,738	1186	-6	13	0	0	0,58	247	8,88	21,3	0,99
90	31	1,740	1178	-6	15	0	0	0,56	241	8,87	21,3	1
95	31	1,710	1156	-6	15	0	0	0,53	239	8,88	21,3	1
100	30	1,636	1160	-6	16	0	0	0,40	233	8,88	21,3	1,01
105	30	1,622	1140	-6	18	0	0	0,35	224	8,92	21,3	1
110	31	1,671	1134	-6	19	0	0	0,31	223	8,93	21,3	1
115	30	1,595	1128	-6	19	0	0	0,29	221	8,93	21,3	1
120	31	1,625	1110	-6	21	0	0	0,26	220	8,93	21,3	1
125	31	1,616	1102	-6	21	0	0	0,26	219	8,95	21,3	1
130	31	1,626	1110	-6	23	0	0	0,26	218	8,99	21,4	1
135	33	1,711	1097	-6	24	0	0	0,26	217	9,02	21,4	1
140	34	1,753	1102	-6	24	0	0	0,30	217	9,05	21,4	1
145	33	1,712	1092	-6	24	0	0	0,31	217	9,04	21,4	1
150	34	1,749	1088	-6	25	0	0	0,31	217	9,05	21,4	1
155	34	1,747	1090	-6	26	0	0	0,31	217	9,04	21,4	1
160	33	1,692	1089	-6	27	0	0	0,32	216	9,07	21,4	1
165	33	1,689	1074	-6	27	0	0	0,32	216	9,10	21,4	1
170	33	1,677	1075	-6	28	0	0	0,32	215	9,12	21,4	1
175	33	1,682	1078	-6	29	0	0	0,32	213	9,12	21,4	1
180	33	1,671	1064	-6	30	0	0	0,31	212	9,12	21,4	1
185	33	1,663	1065	-6	30	0	0	0,32	211	9,13	21,4	1
190	33	1,679	1066	-6	30	0	0	0,32	210	9,15	21,4	1,01
195	33	1,654	1060	-6	31	0	0	0,31	208	9,26	21,5	1,01
200	33	1,645	1063	-5	32	0	0	0,31	207	9,27	21,5	1,01
205	32	1,609	1060	-5	32	0	0	0,31	204	9,30	21,5	1,01
210	33	1,627	1048	-5	33	0	0	0,31	201	9,31	21,5	1,01
215	33	1,618	1041	-5	33	0	0	0,29	199	9,31	21,5	1,01
220	33	1,623	1044	-5	34	0	0	0,28	193	9,34	21,5	1,01
225	37	1,845	2152	-6	34	0	0	0,27	187	9,35	21,5	1
230	37	3,032	1454	-5	35	0	0	0,26	185	9,38	21,5	1
235	43	3,150	1434	-5	36	0	0	0,26	185	9,38	21,5	1
240	52	3,163	1191	-5	37	0	1	0,42	178	9,38	21,5	1

Продовження табл. В.3.1

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	n_d , хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °С	$t_{\text{ох.р.}}$, °С	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
245	36	2,012	1262	-5	38	0,010	8	0,42	162	9,37	21,5	1
250	36	1,732	1041	-4	38	0,021	7	0,39	156	9,37	21,6	1
255	38	1,780	1100	-4	39	0,032	6	0,39	155	9,38	21,6	1
260	42	2,063	1047	-4	39	0,035	1	0,35	153	9,41	21,6	1
265	37	2,185	1032	-4	40	0,036	2	0,26	151	9,53	21,6	1
270	38	1,837	1082	-4	40	0,040	2	0,26	150	9,52	21,6	1
275	50	3,256	1228	-4	41	0,040	8	0,36	149	9,51	20,4	1
280	37	2,076	1303	-4	42	0,046	8	0,36	143	9,54	20,5	1
285	34	2,078	1338	-3	42	0,061	10	0,32	132	9,53	20,5	1,01
290	36	2,353	1459	-3	43	0,077	11	0,28	122	9,53	20,5	1,01
295	32	2,251	1476	-3	44	0,094	11	0,23	120	9,87	20,5	1,01
300	31	1,958	1062	-3	45	0,102	10	0,22	120	9,87	20,5	1,01
305	33	1,638	1003	-3	45	0,114	5	0,22	119	9,87	20,5	1,01
310	50	2,344	1024	-3	45	0,118	7	0,22	117	9,87	20,5	1,01
315	31	2,259	1559	-3	46	0,139	11	0,22	103	9,87	20,5	1,01
320	34	1,736	1012	-3	46	0,147	7	0,22	93	9,78	20,5	1,01
325	35	1,655	1057	-3	47	0,154	5	0,31	92	9,82	20,5	1,01
330	28	2,118	1609	-2	47	0,169	11	0,31	90	9,83	20,5	1,01
335	30	1,727	1158	-2	48	0,183	7	0,31	88	9,84	20,5	1,01
340	67	5,075	1082	-2	48	0,200	15	0,31	88	9,83	20,5	1,01
345	36	1,784	1064	-2	48	0,214	15	0,33	88	9,84	20,6	1,01
350	44	1,962	1096	-2	49	0,239	15	0,33	87	9,83	20,6	1,01
355	38	2,810	1726	-1	50	0,269	23	0,33	86	9,82	20,6	1,01
360	29	2,328	1532	-1	51	0,287	23	0,33	86	9,83	20,6	1,01
365	33	2,405	1570	-1	51	0,322	22	0,33	85	9,83	20,6	1,01
370	34	2,450	1550	0	52	0,356	21	0,33	83	9,84	20,6	1,01
375	34	1,716	963	0	52	0,382	11	0,13	61	10,20	20,6	1,01
380	55	2,366	890	-1	53	0,397	12	0,13	50	10,20	20,6	1,02
385	59	2,428	1228	0	53	0,408	17	0,13	48	10,20	20,6	1,02
390	32	1,842	1088	0	54	0,434	15	0,13	48	10,10	20,6	1,02
395	33	1,475	948	0	54	0,452	7	0,55	48	10,00	20,6	1,02
400	34	1,574	1076	0	54	0,462	6	0,55	64	10,00	20,6	1,02
405	40	1,627	1447	0	54	0,467	7	0,55	64	10,00	20,6	1,02
410	36	1,927	1158	0	55	0,480	7	0,27	63	10,00	20,6	1,02
415	34	1,978	1438	0	56	0,495	11	0,40	62	10,00	20,6	1,02
420	29	2,047	1139	0	56	0,520	11	0,40	61	10,00	20,6	1,02
425	56	2,948	1036	0	57	0,536	10	0,14	50	10,10	20,6	1,02
430	64	3,710	918	0	57	0,549	8	0,14	45	10,10	20,6	1,02
435	30	2,274	1309	0	57	0,556	10	0,18	45	10,10	20,6	1,02
440	33	1,997	913	0	57	0,562	0	0,19	45	10,10	20,6	1,02
445	33	1,390	908	0	57	0,562	0	0,21	42	10,10	20,6	1,02
450	33	1,394	912	0	58	0,562	0	0,21	40	10,10	20,6	1,02
455	33	1,382	907	0	58	0,562	0	0,17	40	10,10	20,6	1,02
460	33	1,384	916	0	58	0,562	0	0,14	39	10,10	20,6	1,03
465	29	2,379	1120	0	58	0,562	0	0,13	37	10,10	20,6	1,03
470	33	1,789	1372	0	59	0,562	0	0,13	36	10,10	20,6	1,03
475	37	2,530	1252	0	59	0,562	0	0,63	36	10,10	20,6	1,03
480	19	1,178	1346	1	60	0,567	10	0,63	36	10,00	20,6	1,03
485	59	3,262	1688	2	60	0,594	25	0,63	36	10,00	20,6	1,03
490	19	1,735	1377	1	61	0,640	31	0,46	36	10,00	20,6	1,03
495	65	5,054	1793	2	62	0,697	40	0,59	37	10,00	20,6	1,03
500	51	4,383	1872	2	63	0,728	40	0,59	37	10,00	20,6	1,03
505	48	3,957	1832	2	64	0,788	38	0,45	37	10,00	20,6	1,03
510	28	2,112	1060	2	65	0,844	33	0,44	31	10,00	20,6	1,03
515	37	2,373	1400	2	65	0,892	30	1,02	31	9,26	20,6	1,03

Продовження табл. В.3.1

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °С	$t_{\text{ох.р}}$, °С	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
520	45	2,742	1294	2	65	0,915	28	0,63	31	9,26	20,6	1,03
525	28	1,748	1290	2	66	0,959	28	0,63	31	9,75	20,6	1,04
530	47	2,772	1497	2	66	1,004	32	0,63	30	10,10	20,6	1,04
535	27	2,087	1437	2	66	1,057	30	0,26	29	10,10	20,7	1,04
540	25	1,487	1181	2	66	1,079	27	0,26	29	10,00	20,7	1,04
545	44	2,263	1124	3	66	1,118	23	0,49	28	10,00	20,7	1,04
550	63	2,933	2069	3	67	1,159	30	0,49	27	7,92	20,7	1,04
555	27	2,419	1376	3	68	1,221	18	0,32	27	10,10	20,7	1,04
560	52	4,750	2194	3	68	1,294	31	0,18	26	7,78	20,7	1,04
565	29	1,790	996	3	69	1,341	27	0,18	26	7,78	20,7	1,05
570	61	3,384	1354	3	69	1,384	30	0,18	26	10,20	20,7	1,05
575	26	1,853	1604	3	70	1,434	33	0,14	26	10,20	20,7	1,05
580	27	1,984	1607	3	71	1,461	35	0,15	25	10,20	20,7	1,05
585	28	1,773	1385	3	71	1,511	30	0,15	24	10,20	20,7	1,05
590	20	1,619	1228	4	71	1,552	22	0,14	22	9,44	20,7	1,05
595	34	1,514	836	4	71	1,575	8	0,13	22	7,81	20,7	1,05
600	33	1,245	825	4	71	1,581	5	0,13	21	7,81	20,7	1,05
605	34	1,285	830	4	71	1,581	0	0,13	21	9,91	20,7	1,05
610	28	1,055	827	4	71	1,581	0	0,12	20	10,40	20,7	1,05
615	56	2,249	2475	4	71	1,588	13	0,12	20	10,40	20,7	1,05
620	49	3,496	2227	4	71	1,602	23	0,12	20	10,40	20,7	1,05
625	24	1,856	1830	4	72	1,652	38	0,52	16	10,40	20,7	1,05
630	20	1,668	2026	4	73	1,725	42	0,52	11	10,20	20,7	1,05
635	34	2,972	2038	4	74	1,784	43	0,52	9	10,20	20,7	1,05
640	22	2,208	1220	4	75	1,819	47	0,21	8	9,69	20,7	1,05
645	25	2,063	1734	4	76	1,893	47	0,21	8	9,70	20,7	1,05
650	37	2,923	1845	4	77	1,966	47	0,21	6	10,20	20,7	1,05
655	42	3,398	1731	4	77	2,038	45	0,21	3	10,30	20,7	1,05
660	20	1,614	1904	4	78	2,107	41	0,27	2	10,40	20,7	1,05
665	42	3,219	1620	5	78	2,136	35	0,24	2	10,40	20,7	1,05
670	32	2,074	745	5	78	2,189	30	0,13	1	10,00	20,7	1,05
675	34	1,150	758	5	78	2,222	12	0,13	1	9,57	20,7	1,05
680	62	3,313	2092	6	78	2,251	28	0,13	1	9,58	20,7	1,05
685	22	2,060	1315	6	78	2,274	31	0,33	1	10,30	20,7	1,05
690	69	4,100	1500	6	79	2,322	32	0,33	2	10,40	20,7	1,05
695	30	1,975	744	6	79	2,367	21	0,32	1	10,40	20,7	1,05
700	76	4,813	2589	6	79	2,403	30	0,16	1	10,40	20,7	1,05
705	33	3,200	2187	6	79	2,452	35	0,16	1	10,40	20,7	1,05
710	25	2,053	1670	5	81	2,481	37	0,16	1	10,40	20,7	1,05
715	33	2,502	1542	6	81	2,535	33	0,15	0	10,40	20,7	1,05
720	22	1,585	1346	6	81	2,585	28	0,16	0	10,40	20,7	1,05
725	56	4,038	1741	6	81	2,623	25	0,26	0	10,40	20,7	1,05
730	81	9,486	2588	6	81	2,648	38	0,26	0	10,40	20,7	1,05
735	37	3,214	1920	6	82	2,708	41	0,26	0	10,40	20,7	1,05
740	39	3,252	1822	6	83	2,771	40	0,23	0	10,50	20,7	1,05
745	29	2,339	1698	6	84	2,83	37	0,20	0	10,50	20,7	1,05
750	28	2,324	1602	6	84	2,887	33	0,20	0	10,80	20,7	1,05
755	27	2,161	1770	6	84	2,914	37	0,20	0	10,80	20,7	1,05
760	42	3,019	1510	6	84	2,966	32	0,20	0	9,08	20,7	1,05
765	76	5,373	1636	6	84	3,019	35	0,19	0	9,04	20,7	1,05
770	27	2,075	1481	6	84	3,071	27	0,19	0	9,05	20,7	1,05
775	40	3,413	1851	6	84	3,112	26	0,19	0	9,03	20,7	1,05
780	30	2,983	2206	7	84	3,135	32	0,18	0	10,00	20,7	1,05
785	25	2,262	1830	7	84	3,179	25	0,18	0	10,00	20,7	1,05
790	21	1,410	1132	7	84	3,211	18	0,18	0	10,40	20,6	1,05

Продовження табл. В.3.1

τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °С	$t_{\text{ох.р}}$, °С	Пройдена відстань, км	V_a , км/год	Концентрації ЗР				α
								CO , %	$C_m H_n$, млн ⁻¹	CO_2 , %	O_2 , %	
795	36	1,130	775	8	84	3,224	15	0,18	0	10,40	20,6	1,05
800	34	2,237	1464	8	84	3,24	13	0,18	0	8,92	20,6	1,05
805	44	2,350	1312	8	84	3,266	18	0,17	0	8,91	20,6	1,05
810	62	5,427	2452	8	85	3,306	33	0,17	0	10,30	20,6	1,05
815	33	2,395	1692	7	86	3,359	36	0,20	0	10,50	20,6	1,05
820	60	4,318	1596	7	86	3,387	35	0,20	0	10,50	20,6	1,05
825	27	2,075	1602	7	85	3,443	35	0,20	0	10,50	20,6	1,05
830	82	6,694	2050	7	84	3,505	45	0,20	0	10,50	20,6	1,05
835	25	2,218	1824	7	84	3,571	38	0,19	0	10,50	20,6	1,05
840	27	2,414	1440	8	84	3,654	18	0,19	0	10,50	20,6	1,05

Таблиця В.3.2 – Результати обробки даних випробувань
за комбінованого методу прогрівання двигуна

τ , с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO , кг/год	C_mH_n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
20	1,767	1,58788	0,695833	0,594242	0,110857	0,495201	0,092381
26	5,303	1,590876	0,702434	0,517273	0,111757	1,421463	0,277892
30	7,650	1,5729	0,699726	0,413398	0,089813	1,938502	0,389876
35	10,565	1,571402	0,704283	0,327351	0,072076	2,452911	0,502299
40	13,419	1,506239	0,680085	0,255168	0,058341	2,857438	0,592867
45	16,202	1,495753	0,680323	0,255257	0,050902	3,2119	0,66873
50	18,962	1,480773	0,678432	0,207057	0,047989	3,532952	0,737404
55	21,694	1,465793	0,676441	0,185615	0,044503	3,805641	0,801635
60	24,346	1,394638	0,643604	0,174803	0,040821	4,055932	0,860887
65	26,927	1,389395	0,645803	0,153701	0,037767	4,284059	0,915461
70	29,496	1,381156	0,641973	0,125827	0,037129	4,478176	0,967472
75	32,041	1,363929	0,633966	0,124257	0,035984	4,651845	1,018244
80	34,520	1,310001	0,6089	0,109115	0,033645	4,813909	1,066598
85	36,942	1,301762	0,60507	0,098263	0,032132	4,957922	1,112276
90	39,357	1,30326	0,610094	0,095663	0,031612	5,092593	1,156543
95	41,753	1,28079	0,599575	0,088977	0,030809	5,220815	1,199891
100	44,076	1,225364	0,578998	0,064848	0,029005	5,327638	1,241429
105	46,339	1,214878	0,568719	0,055735	0,02739	5,411375	1,280591
110	48,626	1,251579	0,5859	0,050856	0,028091	5,485397	1,31912
115	50,894	1,194655	0,559252	0,045411	0,026573	5,552249	1,357081
120	53,130	1,217125	0,569771	0,041479	0,02695	5,61259	1,394249
125	55,381	1,210384	0,566616	0,04125	0,026679	5,670041	1,431492
130	57,632	1,217874	0,570122	0,041505	0,026722	5,727509	1,468576
135	59,949	1,281539	0,599925	0,043675	0,02799	5,786661	1,50657
140	62,355	1,312997	0,614652	0,051631	0,028677	5,852846	1,545921
145	64,761	1,282288	0,600276	0,052104	0,028006	5,924884	1,585284
150	67,165	1,310001	0,613249	0,05323	0,028611	5,998032	1,624601
155	69,592	1,308503	0,612548	0,053169	0,028578	6,071921	1,664316
160	71,981	1,267308	0,593263	0,053156	0,027551	6,145758	1,703295
165	74,328	1,265061	0,592212	0,053062	0,027502	6,219521	1,741527
170	76,666	1,256073	0,588004	0,052685	0,02718	6,292956	1,779501
175	78,999	1,259818	0,589757	0,052842	0,027008	6,366239	1,817132
180	81,327	1,251579	0,5859	0,050856	0,026705	6,438252	1,854433
185	83,642	1,245587	0,583095	0,052245	0,026452	6,50985	1,891347
190	85,963	1,257571	0,594216	0,053242	0,026829	6,583105	1,928348
195	88,278	1,238846	0,585369	0,05081	0,026178	6,655363	1,965158
200	90,569	1,232105	0,582183	0,050534	0,02591	6,725741	2,00133
205	92,828	1,205141	0,569443	0,049428	0,024976	6,795158	2,036668
210	95,076	1,218623	0,575813	0,049981	0,024884	6,864192	2,071292
215	97,329	1,211882	0,572628	0,046497	0,0245	6,93119	2,105587
220	99,580	1,215627	0,574397	0,045033	0,023835	6,994753	2,139152
225	101,988	1,381905	0,64691	0,048906	0,026009	7,059988	2,173766
230	105,375	2,270968	1,063106	0,077394	0,042285	7,147697	2,221192
235	109,668	2,35935	1,10448	0,080406	0,043931	7,257281	2,281064
240	114,052	2,369087	1,109038	0,130423	0,042443	7,40369	2,341046
245	117,646	1,506988	0,705465	0,082963	0,024571	7,551874	2,387584

Продовження табл. В.3.2

τ, с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO, кг/год	C _m H _n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
250	120,246	1,297268	0,607289	0,066316	0,020368	7,65554	2,418792
255	122,685	1,33322	0,624119	0,068154	0,020799	7,748921	2,44738
260	125,353	1,545187	0,723347	0,070888	0,023794	7,845478	2,478348
265	128,303	1,636565	0,766123	0,055774	0,024872	7,933438	2,512144
270	131,097	1,375913	0,644105	0,046891	0,020772	8,004732	2,543842
275	134,633	2,438744	1,141646	0,115078	0,036573	8,117211	2,583664
280	138,336	1,554924	0,727905	0,073373	0,022379	8,248079	2,624603
285	141,221	1,556422	0,735427	0,065894	0,020871	8,344793	2,654639
290	144,298	1,762397	0,832752	0,065288	0,021843	8,435891	2,684302
295	147,495	1,685999	0,796653	0,051304	0,020554	8,516858	2,713744
300	150,418	1,466542	0,692958	0,042686	0,017878	8,582129	2,740433
305	152,915	1,226862	0,579706	0,03571	0,014832	8,636571	2,763148
310	155,681	1,755656	0,829567	0,051101	0,020868	8,696857	2,787939
315	158,877	1,691991	0,799485	0,049248	0,017705	8,766544	2,814726
320	161,651	1,300264	0,614389	0,037846	0,012285	8,827026	2,835552
325	164,006	1,239595	0,585723	0,050841	0,011586	8,888615	2,852128
330	166,626	1,586382	0,749583	0,065064	0,014504	8,969104	2,870246
335	169,297	1,293523	0,611204	0,053053	0,011564	9,051129	2,888349
340	174,020	3,801175	1,796098	0,155901	0,033982	9,196236	2,919979
345	178,783	1,336216	0,631377	0,058339	0,011946	9,345014	2,951873
350	181,385	1,469538	0,694373	0,06416	0,012988	9,430083	2,969188
355	184,699	2,10469	0,99449	0,091891	0,018388	9,538452	2,990977
360	188,267	1,743672	0,823905	0,076129	0,015234	9,655132	3,014326
365	191,553	1,801345	0,851156	0,078647	0,015555	9,762615	3,035707
370	194,925	1,83505	0,867082	0,080118	0,015473	9,872869	3,057254
375	197,818	1,285284	0,607311	0,022106	0,007965	9,943858	3,073531
380	200,653	1,772134	0,845119	0,030762	0,009085	9,980572	3,085371
385	203,982	1,818572	0,867265	0,031568	0,00895	10,02386	3,097895
390	206,947	1,379658	0,65795	0,023949	0,00679	10,06241	3,108826
395	209,251	1,104775	0,52686	0,081136	0,005437	10,13539	3,117317
400	211,368	1,178926	0,562222	0,086582	0,007736	10,25186	3,126465
405	213,591	1,218623	0,581154	0,089498	0,007997	10,37414	3,137391
410	216,059	1,443323	0,688312	0,052036	0,009323	10,47242	3,149419
415	218,771	1,481522	0,706528	0,079131	0,009418	10,56351	3,162433
420	221,566	1,533203	0,731175	0,081892	0,009589	10,67533	3,175633
425	225,035	2,208052	1,053006	0,041278	0,01132	10,76087	3,190153
430	229,658	2,77879	1,325187	0,051947	0,012821	10,82561	3,206918
435	233,814	1,703226	0,812258	0,040938	0,007859	10,89011	3,221279
440	236,780	1,495753	0,713315	0,037948	0,006901	10,94489	3,231529
445	239,132	1,04111	0,496499	0,029194	0,004483	10,99152	3,239435
450	241,065	1,044106	0,497928	0,029278	0,004282	11,03213	3,245522
455	242,993	1,035118	0,493641	0,023497	0,004245	11,06878	3,251444
460	244,914	1,036616	0,498898	0,019557	0,004183	11,09867	3,257297
465	247,527	1,781871	0,857572	0,031216	0,006822	11,13393	3,264939
470	250,422	1,339961	0,644891	0,023474	0,004991	11,17191	3,273143
475	253,421	1,89497	0,912004	0,160877	0,007059	11,29993	3,281512
480	255,996	0,882322	0,42464	0,074907	0,003287	11,46367	3,288696
485	259,079	2,443238	1,175872	0,207424	0,009101	11,65974	3,297299
490	262,549	1,299515	0,625425	0,080555	0,004841	11,85972	3,306981
495	267,264	3,785446	1,821844	0,300969	0,014493	12,12467	3,320407
500	273,817	3,282867	1,579965	0,26101	0,012569	12,51493	3,339199
505	279,609	2,963793	1,426403	0,179727	0,011347	12,821	3,355808

Продовження табл. В.3.2

τ, с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO, кг/год	C _m H _n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
510	283,824	1,581888	0,761325	0,093795	0,005074	13,01094	3,367211
515	286,938	1,777377	0,855409	0,244305	0,005701	13,24574	3,374694
520	290,490	2,053758	0,988425	0,174358	0,006588	13,53647	3,383228
525	293,608	1,309252	0,635849	0,112164	0,004238	13,73545	3,390746
530	296,747	2,076228	1,008338	0,177871	0,006504	13,93686	3,398206
535	300,122	1,563163	0,759163	0,055267	0,004733	14,09876	3,406009
540	302,603	1,113763	0,540908	0,039378	0,003373	14,16449	3,411639
545	305,208	1,694987	0,823185	0,112941	0,004956	14,27026	3,417422
550	308,816	2,196817	1,066903	0,146379	0,006193	14,45035	3,425164
555	312,533	1,811831	0,879931	0,078842	0,005108	14,60675	3,433012
560	317,511	3,55775	1,727851	0,087084	0,009659	14,72198	3,443267
565	322,053	1,34071	0,657003	0,033113	0,003673	14,80545	3,452525
570	325,646	2,534616	1,242065	0,0626	0,006943	14,87191	3,459897
575	329,283	1,387897	0,680126	0,026661	0,003802	14,9339	3,467359
580	331,947	1,486016	0,728209	0,030585	0,003914	14,97366	3,472717
585	334,556	1,327977	0,650763	0,027332	0,003358	15,01388	3,477767
590	336,912	1,212631	0,594239	0,023294	0,002811	15,04903	3,482051
595	339,088	1,133986	0,555699	0,020227	0,002628	15,07926	3,485828
600	341,003	0,932505	0,456966	0,016634	0,002063	15,10485	3,489086
605	342,760	0,962465	0,471647	0,017168	0,002129	15,12833	3,491998
610	344,385	0,790195	0,387228	0,013011	0,001665	15,14928	3,494633
615	346,680	1,684501	0,825474	0,027736	0,00355	15,17758	3,498254
620	350,669	2,618504	1,283174	0,043115	0,005518	15,22678	3,504551
625	354,386	1,390144	0,681227	0,099187	0,002343	15,3256	3,51001
630	356,833	1,249332	0,612224	0,08914	0,001448	15,45639	3,512643
635	360,056	2,226028	1,090845	0,158827	0,002111	15,62858	3,515114
640	363,653	1,653792	0,810426	0,047653	0,001394	15,77197	3,517548
645	366,619	1,545187	0,757205	0,044524	0,001302	15,83598	3,519421
650	370,081	2,189327	1,07286	0,063084	0,001384	15,91071	3,521286
655	374,471	2,545102	1,247204	0,073336	0,000804	16,00545	3,522806
660	377,951	1,208886	0,592403	0,044786	0,000255	16,08748	3,523541
665	381,308	2,411031	1,181504	0,079397	0,000508	16,17372	3,524071
670	384,983	1,553426	0,761242	0,027709	0,000164	16,24809	3,524538
675	387,222	0,86135	0,422097	0,015364	9,08E-05	16,27801	3,524714
680	390,322	2,481437	1,216005	0,044263	0,000261	16,31941	3,524959
685	394,053	1,54294	0,756104	0,069864	0,000163	16,39867	3,525253
690	398,331	3,0709	1,504866	0,13905	0,000647	16,54375	3,525816
695	402,549	1,479275	0,724905	0,064952	0,000156	16,68542	3,526373
700	407,263	3,604937	1,766566	0,079142	0,00038	16,78548	3,526745
705	412,828	2,3968	1,17453	0,052619	0,000253	16,87698	3,527184
710	416,476	1,537697	0,753534	0,033758	0,000162	16,93697	3,527472
715	419,639	1,873998	0,918336	0,03857	0	16,98719	3,527585
720	422,477	1,187165	0,581759	0,026063	0	17,03208	3,527585
725	426,382	3,024462	1,48211	0,107898	0	17,12511	3,527585
730	435,774	7,105014	3,481747	0,253471	0	17,37606	3,527585
735	444,593	2,407286	1,179668	0,08588	0	17,61172	3,527585
740	449,083	2,435748	1,193616	0,076869	0	17,72474	3,527585
745	452,966	1,751911	0,858508	0,048076	0	17,8115	3,527585
750	456,204	1,740676	0,853002	0,047768	0	17,87806	3,527585
755	459,319	1,618589	0,793175	0,044418	0	17,94208	3,527585
760	462,916	2,261231	1,108096	0,062053	0	18,01602	3,527585
765	468,744	4,024377	1,972109	0,104916	0	18,13197	3,527585

Продовження табл. В.3.2

τ , с	Сумарна витрата палива, мл	Годинна витрата палива, кг/год	Кількість сухих продуктів згоряння, кмоль/год	Масові викиди ЗР			
				CO , кг/год	C_mH_n , кг/год	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г	Сумарні викиди CO від початку випробувань, г
770	473,916	1,554175	0,761609	0,040518	0	18,23297	3,527585
775	477,727	2,556337	1,25271	0,066644	0	18,30738	3,527585
780	482,169	2,234267	1,094882	0,055182	0	18,39199	3,527585
785	485,811	1,694238	0,830246	0,041844	0	18,45936	3,527585
790	488,361	1,05609	0,517527	0,026083	0	18,50654	3,527585
795	490,125	0,84637	0,414756	0,020904	0	18,53917	3,527585
800	492,463	1,675513	0,82107	0,041382	0	18,58242	3,527585
805	495,649	1,76015	0,862545	0,041057	0	18,63967	3,527585
810	501,049	4,064823	1,991929	0,094816	0	18,73403	3,527585
815	506,481	1,793855	0,879062	0,049227	0	18,83406	3,527585
820	511,143	3,234182	1,584881	0,088753	0	18,92988	3,527585
825	515,583	1,554175	0,761609	0,04265	0	19,02113	3,527585
830	521,672	5,013806	2,45697	0,13759	0	19,1463	3,527585
835	527,861	1,661282	0,814096	0,04331	0	19,27192	3,527585
840	531,078	1,808086	0,886036	0,047137	0	19,33473	3,527585

Форма № 11-НК

ТОВ «ГЛОБУС-ПЕТРОЛЕУМ», 02218, Україна, м. Київ, пр-т Генерала Ватутіна, 16
(підприємство, організація, місце знаходження)

Ідентифікаційний код за ЄДРПОУ 21589149

Код за ДКУД 1003004

Випробувальна лабораторія нафтопродуктів в місті Києві ТОВ «ГЛОБУС-ПЕТРОЛЕУМ»
04073, м. Київ, вул. Куренівська, 146

ПАСПОРТ ЯКОСТІ № 466 від «15» травня 2018 року

Найменування і марка нафтопродукту

Бензин автомобільний А-95-Євро5-Е5

Номер нормативного документа на нафтопродукт

ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови»

Завод-виробник основи, адреса

ВАТ «Мозирський нафтопереробний завод», Гомельська обл., м. Мозир-11

Постачальник, адреса

ТОВ «ВОГ ТРЕЙД», м. Луцьк, вул. Кременецька, 38

Декларація про відповідність

МУА.09012018-А-95 від 09.01.2018р.

Дата виготовлення нафтопродукту

06.05.2018 року

Номер резервуару (транспортного засобу)

Резервуар №6 (н/б ТОВ «ІМПОРТ ТРАНС СЕРВІС», 04073, м. Київ, вул. Куренівська, 146)

Рівень наповнення (мм) / Кількість (м³)

- / 775

Акт відбирання проби

№ 151 від «15» травня 2018 року

Дата проведення лабораторних випробувань

«15» травня 2018 року

СТАНДАРТНИЙ

Назва показника	Одиниця виміру	Значення за ТР (у відношенні екологічного класу Євро5)	Значення згідно ДСТУ (у відношенні екологічного класу Євро5)		Фактичні значення	Метод контролювання
			Міні-мальне	Макси-мальне		
1.Детонаційна стійкість: - октанове число за дослідним методом - октанове число за моторним методом	-	не менше 95 не менше 85	95 85	- -	95,6 85,8	ГОСТ 8226 ГОСТ 511
2. Тиск насиченої пари, період року - літній (з 16.04 до 15.10) - зимовий (з 16.11 до 15.03) - перехідний (з 16.03 до 15.04)	кПа	45-80 60-100 50-90	45 60 50	80 100 90	51,0	ДСТУ 4160
3. Концентрація свинцю	мг/дм³	не більше 5	-	5	відсутність*	ДСТУ EN 237
4. Густина при 15 °С	кг/м³	-	720	775	749,2	ДСТУ ГОСТ 31072
5. Фракційний склад: - при 70 °С випаровується - при 100 °С випаровується - при 150 °С випаровується - температура википання кінцева - залишок після википання	% (об) % (об) % (об) °С %	- - - - -	20,0 46,0 75 - -	50,0 71,0 - 210 2	26,0 50,0 83,0 205 0,8	ГОСТ 2177
6. Вміст сірки	мг/кг	не більше 10	-	10	5,2	ДСТУ ISO 20846
7. Об'ємна частка вуглеводнів - олефінових - ароматичних:	%	не більше 18 не більше 35	- -	18 35	6,4* 29,8	ДСТУ 7686 ГОСТ 29040
8. Об'ємна частка бензолу	%	не більше 1	-	1	0,36	ДСТУ EN 12177
9. Масова частка кисню	%	не більше 2,7	-	2,7	1,46	ДСТУ EN 13132
10. Об'ємна частка кисневмісних сполук - метанолу - (біо)етанолу - ізопропілового спирту - ізобутилового спирту - третбутилового спирту - етери (C5 і вище) - інших органічних кисневих сполук з температурою кінця кипіння не вище ніж 210 °С	%	не більше 3,0 не більше 5 не більше 10 не більше 10 не більше 7 не більше 15 не більше 10	- - - - - - -	3,0 5 10 10 7 15 10	0 0 0 0 0 8,7 0	ДСТУ EN 13132
11. Вміст марганцю	мг/дм³	-	-	18	відсутність*	EN 16135
12. Індукційний період	хв	-	360	-	більше 360	ГОСТ 4039
13. Концентрація фактичних смол	мг/100см³	-	-	5	1	ДСТУ ГОСТ 1567
14. Корозія на мідній пластинці (3 год при 50 °С)	клас	-	1	-	1	ГОСТ 6321
15. Зовнішній вигляд	-	-	Прозорий та світлий з різними відтінками залежно від кольору присадок, без механічних домішок та води		Прозорий та світлий без механічних домішок і води	п.9.4 ДСТУ

Знаком * позначаються показники згідно паспорту постачальника №704 від 07.05.2018 р.

Гарантійний термін зберігання - 6 місяців від дати виготовлення. Інформація щодо присадок: бензин не містить присадок*

ВИСНОВОК: за перевіреними показниками зразок відповідає вимогам ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови» та додатку 2 Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив.

Начальник випробувальної лабораторії

Інженер-лаборант

м.п.

Київ

(підпис)

(підпис)

БЕЛЯНСКИЙ А.В.

(п.і.б.)

ЧУХРАЙ Т.О.

(п.і.б.)

РЕЗУЛЬТАТ ВИВЕДЕННЯ ДАНИХ ЗА ВИПРОБУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ HYUNDAI GETZ НА СТЕНДІ AVL-ZOLLNER (ФРАГМЕНТ)

hh	mm	ss	time,s	CO,ppm	THC,ppm	NOx,ppm	CO2,%	CH4,ppm	NMHC,pp	O2,%	CVSflow,l	TurboCon	Zaslonska	MTflow1	MTflow2	k21	k22	MTvalve	VPzad	VacAfterB	Tveris	Рточотб	Тточотб	V83	AVLspeed	AVLforce	MUSOflov	MUSOtemp	
10	45	32	12012,6	217,77	-1,71	3,42	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,12	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,85	28,78	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	32	12012,7	217,77	-1,71	3,42	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,14	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,84	28,78	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	32	12012,8	217,77	-1,72	3,43	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,16	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,86	28,79	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12012,9	217,77	-1,72	3,44	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,15	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013	217,76	-1,72	3,47	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,14	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,1	217,76	-1,72	3,48	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,86	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,2	217,76	-1,71	3,48	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,85	28,79	0,02	28,27	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,3	217,76	-1,71	3,49	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,88	28,79	0,02	28,27	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,4	217,85	-1,71	3,49	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,88	28,79	0,02	28,27	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,5	217,85	-1,71	3,49	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,89	28,79	0,02	28,27	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,6	217,85	-1,71	3,48	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,14	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,7	217,81	-1,71	3,47	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,86	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	33	12013,8	217,81	-1,71	3,47	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,14	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,85	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12013,9	217,9	-1,71	3,45	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,14	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014	217,9	-1,71	3,44	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,85	28,79	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,1	217,9	-1,71	3,44	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,2	217,9	-1,71	3,44	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,12	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,89	28,79	0,02	28,27	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,3	217,9	-1,71	3,44	0,23	-6,47	4,77	-0,02	200,12	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,89	28,79	0,02	28,28	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,4	217,9	-1,71	3,43	0,23	-6,47	4,77	-0,02	200,12	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,28	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,5	217,9	-1,71	3,42	0,23	-6,47	4,77	-0,02	200,11	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,85	28,79	0,02	28,28	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,6	217,85	-1,71	3,4	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,1	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,85	28,79	0,02	28,28	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,7	217,85	-1,71	3,38	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,1	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,86	28,79	0,02	28,28	0	0	11,8	0	0
10	45	34	12014,8	217,85	-1,71	3,37	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,11	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,88	28,79	0,02	28,29	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12014,9	217,85	-1,71	3,36	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,12	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,29	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015	217,85	-1,71	3,36	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,12	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,88	28,79	0,02	28,29	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,1	217,85	-1,71	3,38	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,13	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,87	28,79	0,02	28,28	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,2	217,8	-1,71	3,38	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,14	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,86	28,8	0,02	28,28	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,3	217,8	-1,71	3,39	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,15	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,85	28,8	0,02	28,27	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,4	217,8	-1,71	3,4	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,16	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,86	28,8	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,5	217,89	-1,71	3,4	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,18	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,88	28,8	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,6	217,89	-1,71	3,4	0,23	-6,49	4,78	-0,02	200,21	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,89	28,8	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,7	217,8	-1,71	3,4	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,23	200	150	0	0	0	0	0	0	7454	4,88	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	35	12015,8	217,8	-1,71	3,39	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,25	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,8	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12015,9	217,8	-1,71	3,38	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,28	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,8	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016	217,8	-1,71	3,37	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,3	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,85	28,8	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016,1	217,8	-1,71	3,35	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,29	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,79	0,02	28,24	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016,2	217,8	-1,71	3,33	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,26	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,79	0,02	28,24	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016,3	217,8	-1,71	3,33	0,23	-6,47	4,76	-0,02	200,24	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,87	28,79	0,02	28,24	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016,4	217,8	-1,72	3,33	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,23	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,79	0,02	28,24	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016,5	217,8	-1,72	3,34	0,23	-6,49	4,77	-0,02	200,19	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,84	28,79	0,02	28,24	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016,7	217,8	-1,72	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,17	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,85	28,79	0,02	28,23	0	0	11,8	0	0
10	45	36	12016,8	217,8	-1,71	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,17	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,79	0,02	28,23	0	0	11,8	0	0
10	45	37	12016,9	217,8	-1,72	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,02	200,19	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,79	0,02	28,23	0	0	11,8	0	0
10	45	37	12017	217,8	-1,72	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,03	200,21	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,86	28,79	0,02	28,24	0	0	11,8	0	0
10	45	37	12017,1	217,8	-1,72	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,03	200,22	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,85	28,79	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	37	12017,2	217,8	-1,71	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,03	200,24	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,87	28,79	0,02	28,25	0	0	11,8	0	0
10	45	37	12017,3	217,8	-1,71	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,03	200,26	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,87	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	37	12017,4	217,8	-1,71	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,03	200,23	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,89	28,79	0,02	28,26	0	0	11,8	0	0
10	45	37	12017,5	217,8	-1,71	3,35	0,23	-6,5	4,78	-0,03	200,21	200	150	0	0	0	0	0	0	7453	4,89	28,79	0,02	28,27					

**ПРОТОКОЛИ ВИПРОБУВАНЬ АВТОМОБІЛЯ HYUNDAI GETZ
ЗА НОВИМ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ЇЗДОВИМ ЦИКЛОМ**

Таблиця Е.1 – Протокол випробувань автомобіля з непрогрітим двигуном (фрагмент)

Дата проведення: 13.07.2018 р.

Час проведення випробувань			Загальний час випробувань, с	Час від початку руху за циклом, с	Концентрації забруднюючих речовин						O_2 , %	Кількість газів в тунелі, м ³ /год	Температура газів в тунелі, °С	Швидкість стенда, км/год	Тягове зусилля, Н
год.	хв.	с.			CO , млн ⁻¹	C_mH_n , млн ⁻¹	NO_x , млн ⁻¹	CO_2 , %	CH_4 , млн ⁻¹	НМЛЮС, млн ⁻¹					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	49	8	12228,33	0	2,7	3,25	0,04	0,05	2,01	1,24	21,03	300,26	28,58	0	1,1
10	49	10	12230,41	2,08	2,82	5,93	0,04	0,05	2,16	3,77	21,03	300,16	28,57	0	1,1
10	49	12	12232,43	4,1	2,7	39,25	0,36	0,05	2,83	36,42	21,03	300,05	28,56	0	1,8
10	49	14	12234,34	6,01	2,78	127,53	1,44	0,05	4,25	123,28	21,03	300,22	28,56	0	0,2
10	49	16	12236,37	8,04	3,84	282,15	2,49	0,07	11,47	270,68	21,01	300,59	28,56	0	1,7
10	49	18	12238,39	10,06	10,02	501,08	3,78	0,16	30,38	470,7	20,93	300,51	28,56	0	3,2
10	49	20	12240,35	12,02	43,92	498,4	5,55	0,21	43,25	455,15	20,78	300,48	28,56	7,16	110,4
10	49	22	12242,38	14,05	231,94	498,4	31,36	0,22	31,86	466,54	20,74	300,69	28,56	15,33	54,6
10	49	24	12244,41	16,08	852,52	498,4	62,97	0,27	10,75	487,65	20,65	300,57	28,55	14,36	43,5
10	49	26	12246,42	18,09	2339,6	498,4	74,82	0,56	9,85	488,55	20,19	300,81	28,55	15,6	10,1
10	49	28	12248,35	20,02	3424,7	498,4	57,21	0,95	27,68	470,72	19,62	300,52	28,55	15,8	12
10	49	30	12250,43	22,1	2199,1	503,76	46,17	0,82	22,39	481,37	19,59	300,44	28,55	15,99	12,3
10	49	32	12252,33	24	894,99	306,61	26,91	0,91	9,98	296,63	19,74	300,13	28,55	12,21	23,9
10	49	34	12254,36	26,03	744,26	227,85	24,27	0,81	6,37	221,48	19,83	299,97	28,54	6,64	58,3
10	49	36	12256,42	28,09	1054,8	186,32	21,54	0,79	4,85	181,47	19,87	299,58	28,52	0,04	39,6
10	49	38	12258,33	30	785,3	190,17	19,79	0,66	4,91	185,26	19,97	299,78	28,52	0,01	14,4
10	49	40	12260,39	32,06	375,8	234,63	15,32	0,54	6,82	227,81	20,32	299,39	28,52	0	14
10	49	42	12262,41	34,08	209,25	244,58	10,53	0,47	7,95	236,63	20,39	299,04	28,52	0	9,4
10	49	44	12264,43	36,1	160,42	226,03	7,43	0,48	7,19	218,84	20,42	298,76	28,51	0	11,4
10	49	46	12266,35	38,02	199,92	202,34	5,67	0,47	6,3	196,04	20,42	299,5	28,52	0	9,2
10	49	48	12268,36	40,03	316,03	180,62	4,41	0,45	5,62	175	20,44	300,25	28,53	0	10,6
10	49	50	12270,45	42,12	341,85	165,5	3,73	0,45	5,21	160,29	20,45	300,51	28,53	0	10,4
10	49	52	12272,36	44,03	283,03	156,96	3,44	0,46	4,99	151,97	20,44	300,98	28,53	0	9,6
10	49	54	12274,39	46,06	211,08	151,04	3,2	0,46	4,82	146,22	20,44	301,24	28,53	0	9,2

Продовження табл. Е.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	49	56	12276,41	48,08	167,67	268,27	5,36	0,46	5,67	262,6	20,45	301,08	28,54	0	10,7
10	49	58	12278,33	50	141,36	303,04	6,6	0,46	8,13	294,91	20,45	300,59	28,53	4,24	93,2
10	50	0	12280,36	52,03	125,54	344,32	23,33	0,46	8,15	336,17	20,44	300,99	28,56	13,43	74,3
10	50	2	12282,34	54,01	116,76	259,68	61,32	0,46	6,93	252,75	20,45	301,24	28,57	15,92	1,1
10	50	4	12284,35	56,02	151,22	305,98	101,59	0,83	5,57	300,41	20,2	301,03	28,57	18,49	53,4
10	50	6	12286,39	58,06	225,12	491,18	130,28	0,98	12,61	478,57	19,72	301,55	28,56	25,67	89
10	50	8	12288,38	60,05	236,27	383,53	174,93	1,18	16,59	366,94	19,49	301,79	28,55	29,76	12,3
10	50	10	12290,41	62,08	215,55	439,71	201,71	0,95	9,64	430,07	19,78	301,87	28,56	32,74	73,2
10	50	12	12292,41	64,08	641,09	345,03	66,61	1,21	15,85	329,18	19,48	300,86	28,57	32,13	16
10	50	14	12294,33	66	1347,1	417,39	72,3	1,59	14,59	402,8	18,74	300,65	28,56	32,44	13,8
10	50	16	12296,4	68,07	754,59	406,98	52,44	1,27	16,67	390,31	19,32	300,24	28,57	32,59	12
10	50	18	12298,42	70,09	1662,8	256,01	44,79	1,11	10,27	245,74	18,97	299,83	28,57	32,69	14,3
10	50	20	12300,36	72,03	2229,4	165,22	35,58	0,98	7,26	157,96	19,51	299,42	28,56	32,66	10,4
10	50	22	12302,34	74,01	1788,6	139,12	29,59	0,97	5,7	133,42	19,59	298,97	28,56	31,07	4,2
10	50	24	12304,35	76,02	1169,6	178,99	35,73	1,04	8,21	170,78	19,6	298,84	28,56	32,32	32,1
10	50	26	12306,4	78,07	512,4	118,3	22,63	1,06	8,44	109,86	19,58	298,71	28,56	32,97	0
10	50	28	12308,41	80,08	199,84	90,75	49,17	0,87	4,99	85,76	19,75	298,45	28,55	31,74	4,5
10	50	30	12310,42	82,09	135,31	128,11	38,31	1,22	6,91	121,2	19,7	298,57	28,54	32,15	18,6
10	50	32	12312,4	84,07	247,78	87,83	17,5	1,27	8,23	79,61	19,2	298,32	28,54	32,44	13,6
10	50	34	12314,43	86,1	215,68	46,92	12,82	0,88	4,35	42,57	19,71	298,14	28,53	27,35	40,9
10	50	36	12316,35	88,02	141,31	39,7	14,54	1	3,94	35,76	19,81	298,14	28,52	22,17	39,7
10	50	38	12318,38	90,05	447,35	32,06	9,8	1,06	3,86	28,2	19,56	298,14	28,5	17,65	25,7
10	50	40	12320,39	92,06	434,12	38,76	5,82	0,65	3,45	35,31	19,87	298,51	28,5	12,93	36,1
10	50	42	12322,35	94,02	165,28	63,34	4,99	0,52	4,15	59,19	20,38	299,4	28,49	5,71	69,8
10	50	44	12324,41	96,08	84,29	69,76	3,59	0,52	4,5	65,26	20,37	300,11	28,48	0,09	34,7
10	50	46	12326,33	98	63,58	62,08	2,69	0,41	4,29	57,8	20,47	300,18	28,49	0,01	8,4
10	50	48	12328,35	100,02	57,6	57,69	2,16	0,39	4,56	53,13	20,59	299,73	28,49	0	7,9
10	50	50	12330,37	102,04	68,55	56,93	1,6	0,39	5,33	51,6	20,56	299,96	28,48	0	9,9
10	50	52	12332,43	104,1	66,02	51,04	1,19	0,33	5,45	45,59	20,62	299,97	28,48	0	6,9
10	50	54	12334,36	106,03	64,94	40,35	0,88	0,3	4,9	35,46	20,68	300,01	28,48	0	8,3
10	50	56	12336,4	108,07	98,67	32,1	0,66	0,32	4,35	27,75	20,67	300,57	28,47	0	6,6
10	50	58	12338,44	110,11	144,99	26,18	0,5	0,36	3,98	22,2	20,62	300,45	28,46	0	7,2
10	51	0	12340,34	112,01	148,95	23,06	0,39	0,39	3,8	19,26	20,57	300,17	28,48	0	3,1
10	51	2	12342,4	114,07	116,29	22,42	0,33	0,41	3,8	18,62	20,54	299,94	28,49	0	4,8
10	51	4	12344,41	116,08	84,06	28,16	0,35	0,42	4,29	23,87	20,51	299,78	28,5	0,17	20,6
10	51	6	12346,33	118	63,17	36,12	0,31	0,43	6	30,12	20,5	299,54	28,51	5,23	87,4

Продовження табл. Е.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	51	8	12348,34	120,01	50,3	54,6	11,1	0,44	6,51	48,09	20,49	300,08	28,52	13,09	57,6
10	51	10	12350,38	122,05	46,58	62,62	32,26	0,51	5,45	57,16	20,45	300,09	28,55	15,54	0,3
10	51	12	12352,37	124,04	54,9	88,56	32,93	0,79	6,31	82,25	20,2	300,44	28,56	17,83	33,3
10	51	14	12354,4	126,07	73,94	241,13	61,62	1,04	10,6	230,53	19,67	300,22	28,58	21,7	90,5
10	51	16	12356,41	128,08	102,46	137,99	72,98	1,15	14,13	123,86	19,45	299,51	28,6	29,24	45,2
10	51	18	12358,33	130	141,04	122,58	57,06	1,23	7,13	115,45	19,53	298,98	28,63	30,46	29,2
10	51	20	12360,37	132,04	280,78	152,47	45,9	0,91	10,5	141,97	19,65	299,27	28,68	34,26	48,1
10	51	22	12362,43	134,1	741,39	92,24	50,85	1,71	6,16	86,08	18,96	298,89	28,7	34,8	20,3
10	51	24	12364,36	136,03	766,99	319,66	72,23	1,28	14,29	305,37	18,92	298,75	28,7	38,77	58
10	51	26	12366,39	138,06	655,28	133,89	187,3	1,5	13	120,89	19,12	298,72	28,72	44,26	64,8
10	51	28	12368,42	140,09	896,87	160,75	39,38	1,25	8,92	151,83	18,9	298,82	28,74	47,97	38
10	51	30	12370,35	142,02	451,14	130,03	10,76	1,49	9,01	121,02	19,24	298,94	28,74	49,3	12,6
10	51	32	12372,43	144,1	620,73	77,94	6,1	1,89	6,61	71,33	18,54	299,02	28,74	49,35	21
10	51	34	12374,34	146,01	401,82	55,32	22,08	2	7,86	47,45	18,15	299,69	28,74	50,35	26,3
10	51	36	12376,38	148,05	634,68	31,75	82,25	1,59	5,44	26,31	18,53	299,69	28,74	51,42	21,1
10	51	38	12378,4	150,07	770,97	17,65	31,19	1,17	3,68	13,97	19,25	299,44	28,73	50,67	13
10	51	40	12380,43	152,1	567,92	17,57	7,99	1,38	3,99	13,58	19,2	299,68	28,7	50,61	14,1
10	51	42	12382,34	154,01	482,8	16,03	17,12	1,35	4,96	11,07	19,11	299,75	28,68	50,46	11,6
10	51	44	12384,41	156,08	173,29	12,95	17,61	1,08	3,4	9,55	19,36	300,01	28,66	46,76	21,1
10	51	46	12386,42	158,09	48,23	11,5	11,31	1,11	3,16	8,34	19,63	299,81	28,64	42,56	21,2
10	51	48	12388,43	160,1	127,06	23,89	4,62	1,1	3,06	20,84	19,51	300,32	28,64	38,65	23,4
10	51	50	12390,35	162,02	134,99	28,76	2,49	0,69	3,74	25,02	19,85	300,11	28,63	35,17	11,2
10	51	52	12392,37	164,04	54,21	28,05	1,81	0,65	3,79	24,26	20,23	300,13	28,63	34,46	23,1
10	51	54	12394,42	166,09	23,5	13,86	1,19	0,6	2,98	10,88	20,23	299,96	28,63	35,87	20,3
10	51	56	12396,43	168,1	15,36	11,41	1,26	0,51	2,62	8,79	20,35	299,48	28,62	34,74	20,1
10	51	58	12398,34	170,01	13,67	15	1,28	0,41	3,37	11,64	20,49	299,37	28,61	35,73	13,5
10	52	0	12400,35	172,02	12,19	33,6	2,23	0,33	4,29	29,31	20,58	299,97	28,59	35,21	6,3
10	52	2	12402,36	174,03	9,2	32,44	16,12	0,26	5,26	27,18	20,72	300,37	28,57	34,97	11,6
10	52	4	12404,36	176,03	16,17	14,21	11,35	0,65	3,93	10,29	20,45	300,18	28,55	34,48	22,7
10	52	6	12406,4	178,07	46,03	8,9	4,98	0,65	2,58	6,32	20,15	299,91	28,53	29,12	64,1
10	52	8	12408,42	180,09	107,34	7,07	2,71	0,66	2,22	4,85	20,2	299,79	28,5	22,14	45,5
10	52	10	12410,33	182	115,62	6,15	1,7	0,76	2,15	4	20,05	299,88	28,5	16,54	46,3
10	52	12	12412,34	184,01	56,79	5,92	1,53	0,46	2,06	3,86	20,34	299,83	28,5	10,81	34,5
10	52	14	12414,41	186,08	20,84	6,57	2,28	0,35	2,16	4,4	20,56	299,8	28,5	4	63,2
10	52	16	12416,36	188,03	11,99	14,14	2,78	0,32	2,46	11,68	20,64	299,99	28,49	0,04	31,8
10	52	18	12418,38	190,05	8,92	38,75	2,53	0,3	4,1	34,65	20,68	299,94	28,47	0	8,9

Продовження табл. Е.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	52	20	12420,33	192	7,62	56,21	1,9	0,34	6,81	49,4	20,65	300,47	28,46	0	8,6
10	52	22	12422,35	194,02	7,19	51,4	1,27	0,36	7,93	43,47	20,6	300,1	28,47	0	7,2
10	52	24	12424,42	196,09	12,43	37,99	0,84	0,37	6,82	31,17	20,6	300,11	28,47	0	9,4
10	52	26	12426,33	198	33,15	26,63	0,6	0,37	5,36	21,28	20,58	300,39	28,46	0	7,4
10	52	28	12428,37	200,04	62,53	18,49	0,39	0,38	4,11	14,38	20,57	300,33	28,47	0	9,9
10	52	30	12430,38	202,05	72,76	13,26	0,3	0,38	3,34	9,91	20,57	300,38	28,5	0	7,5
10	52	32	12432,4	204,07	60,56	13,72	0,28	0,39	3,04	10,68	20,56	300,66	28,51	0	8,3
10	52	34	12434,37	206,04	44,02	9,53	0,19	0,39	3,06	6,47	20,56	300,91	28,53	3,14	58,9
10	52	36	12436,4	208,07	30,08	9,73	0,17	0,39	2,91	6,82	20,56	300,83	28,53	12,31	97,1
10	52	38	12438,42	210,09	20,81	9,23	0,25	0,43	2,98	6,25	20,55	300,27	28,51	15	0,5
10	52	40	12440,43	212,1	18,97	14,54	0,26	0,8	3,26	11,29	20,13	300,17	28,49	15,65	19,6
10	52	42	12442,33	214	16,78	12,12	0,98	0,84	3,52	8,6	20,02	300,08	28,48	16,28	15,3
10	52	44	12444,38	216,05	28,09	7,8	4,03	1,11	2,97	4,83	19,49	299,99	28,46	15,22	32,2
10	52	46	12446,42	218,09	58,46	6,21	3,7	0,85	2,5	3,72	19,86	299,64	28,44	11,3	39,3
10	52	48	12448,33	220	128,5	5,6	2,97	0,89	2,36	3,24	19,85	299,57	28,43	7,7	18
10	52	50	12450,37	222,04	120	5,04	1,89	0,79	2,27	2,77	19,89	299,09	28,42	0,3	0,1
10	52	52	12452,4	224,07	50,81	5,49	1,13	0,47	2,19	3,3	20,3	298,91	28,4	0,01	8,6
10	52	54	12454,35	226,02	19,2	9,85	0,69	0,38	2,41	7,44	20,53	298,76	28,39	0	7,3
10	52	56	12456,36	228,03	10,6	15,76	0,56	0,38	3,16	12,61	20,58	298,74	28,39	0	8,9
10	52	58	12458,39	230,06	8,32	15,74	0,48	0,36	3,7	12,03	20,59	298,97	28,38	0	7,9
10	53	0	12460,42	232,09	8,56	12,91	0,42	0,37	3,5	9,41	20,59	299,62	28,38	0	8,2
10	53	2	12462,35	234,02	15,89	10,3	0,34	0,36	3,13	7,17	20,59	299,81	28,39	0	6,3
10	53	4	12464,41	236,08	29,2	8,13	0,29	0,36	2,8	5,33	20,59	299,63	28,39	0	8,6
10	53	6	12466,44	238,11	32,9	6,73	0,19	0,36	2,55	4,18	20,6	299,77	28,41	0	6,9
10	53	8	12468,35	240,02	27,74	5,99	0,22	0,37	2,42	3,56	20,59	300,08	28,42	0	7,5
10	53	10	12470,4	242,07	20,68	6,29	0,19	0,37	2,36	3,93	20,59	300,1	28,45	0	9,2
10	53	12	12472,43	244,1	14,71	6,49	0,18	0,36	2,93	3,56	20,6	299,92	28,48	0,86	29,9
10	53	14	12474,4	246,07	11,48	7,18	0,16	0,36	2,58	4,6	20,59	300,04	28,5	6,82	85
10	53	16	12476,42	248,09	9,66	13,62	0,24	0,37	3,91	9,71	20,59	299,86	28,54	14,93	48,4
10	53	18	12478,44	250,11	10,29	12,1	0,78	0,67	3,78	8,32	20,47	300,07	28,58	15,08	21,7
10	53	20	12480,37	252,04	12,6	17,53	3,63	0,7	3,65	13,88	19,95	300,26	28,61	18,72	75,8
10	53	22	12482,39	254,06	22,78	23,14	52,06	1,02	5,29	17,85	19,97	299,95	28,6	28,02	68
10	53	24	12484,39	256,06	106,06	18,07	26,43	0,86	4,49	13,58	19,6	299,68	28,6	30,52	8,6
10	53	26	12486,35	258,02	116,7	35,74	6,34	0,75	5,39	30,34	20,07	299,42	28,62	30,37	34,1
10	53	28	12488,4	260,07	84,56	29,3	3,61	1,54	6,04	23,27	19,46	299,26	28,63	30,56	3,1
10	53	30	12490,4	262,07	44,8	18,83	29,74	1,51	5,45	13,37	18,66	299,18	28,65	30,72	2,2

Продовження табл. Е.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	53	32	12492,42	264,09	150,83	15,38	40,66	0,93	3,95	11,43	19,55	299,15	28,64	30,34	18,3
10	53	34	12494,38	266,05	546,64	10,22	27,04	1,06	4,24	5,99	19,55	299,18	28,63	31,86	26,6
10	53	36	12496,4	268,07	515,69	5,79	5,42	0,92	3,02	2,78	19,78	299,23	28,64	32,39	7,6
10	53	38	12498,41	270,08	256,98	5,22	1,53	0,78	2,5	2,73	19,94	299,6	28,67	30,95	0,1
10	53	40	12500,33	272	94,12	7,64	0,96	1,03	3,14	4,5	19,8	299,77	28,67	30,81	39,2
10	53	42	12502,33	274	30,94	8,12	8,81	1,15	4,46	3,66	19,47	300,14	28,66	33,34	30,9
10	53	44	12504,35	276,02	14,52	6,24	8,4	0,78	3,08	3,16	19,83	299,85	28,64	32,59	3,8
10	53	46	12506,42	278,09	16,36	7,37	3,41	0,79	2,89	4,48	20,06	300,14	28,61	31,98	6,5
10	53	48	12508,33	280	66,99	10,55	0,95	1,26	4,06	6,48	19,56	300,43	28,59	29,74	31,8
10	53	50	12510,34	282,01	77,09	12,17	0,68	1,08	5,29	6,88	19,33	300,84	28,58	24,89	32,8
10	53	52	12512,35	284,02	27,89	8,03	1,36	0,84	4,36	3,67	19,93	301,11	28,55	19,9	37,9
10	53	54	12514,37	286,04	37,16	6,29	1,53	0,78	3,11	3,18	19,91	301,39	28,52	14,97	25,6
10	53	56	12516,34	288,01	94,59	5,74	1,14	0,54	2,6	3,14	20,29	301,01	28,51	10,92	39,5
10	53	58	12518,37	290,04	129,37	5,73	1,03	0,58	2,45	3,29	20,28	301,54	28,5	0,45	48,1
10	54	0	12520,39	292,06	83,52	5,28	0,84	0,45	2,35	2,94	20,39	301,94	28,45	0	13,7
10	54	2	12522,4	294,07	35,5	4,8	0,61	0,3	2,19	2,62	20,61	301,78	28,44	0,01	9,8
10	54	4	12524,43	296,1	17,71	4,37	0,48	0,24	2,09	2,28	20,75	301,16	28,45	0	10,6
10	54	6	12526,39	298,06	13,38	4,17	0,35	0,22	2,01	2,16	20,78	301,22	28,44	0	11,3
10	54	8	12528,4	300,07	10,77	4,35	0,34	0,18	2,07	2,27	20,83	301,65	28,43	0	10,6
10	54	10	12530,41	302,08	8,65	5,32	0,31	0,14	2,3	3,03	20,88	301,12	28,4	0	9,4
10	54	12	12532,41	304,08	7,04	5,86	0,25	0,12	2,58	3,28	20,92	300,23	28,39	0	9,6
10	54	14	12534,39	306,06	6,06	5,56	0,21	0,14	2,56	3	20,91	300,01	28,43	0	8,8
10	54	16	12536,35	308,02	7,71	5,12	0,17	0,18	2,45	2,68	20,88	300,34	28,52	0	9,8
10	54	18	12538,37	310,04	16,31	5,09	0,16	0,22	2,3	2,79	20,81	300,06	28,5	0	8,6
10	54	20	12540,39	312,06	25,34	5,45	0,16	0,25	2,57	2,88	20,77	299,92	28,51	0,61	33,5
10	54	22	12542,42	314,09	25,41	5,05	0,1	0,27	2,45	2,6	20,73	299,26	28,55	7,57	49,6
10	54	24	12544,36	316,03	21,21	6,56	0,13	0,28	2,82	3,74	20,7	299,04	28,59	12,36	106
10	54	26	12546,43	318,1	17,95	5,23	0,08	0,49	2,78	2,45	20,6	299,35	28,66	16,21	3,4
10	54	28	12548,34	320,01	18,01	11,02	2,18	0,75	2,99	8,02	20,06	299,08	28,69	20,54	63,4
10	54	30	12550,38	322,05	16,3	12,83	4,65	0,69	5,14	7,68	20,19	298,79	28,71	25,29	46
10	54	32	12552,43	324,1	32,81	7,23	1,25	1,12	3,88	3,35	19,59	298,87	28,74	28,87	44,7
10	54	34	12554,34	326,01	42,04	6,31	0,31	0,85	2,77	3,54	19,97	299,2	28,83	32,34	51,1
10	54	36	12556,4	328,07	111,55	6,57	0,87	1,15	3,18	3,39	19,55	299,09	28,87	35,99	2,6
10	54	38	12558,43	330,1	183,2	24,76	10,61	1,26	3,13	21,63	19,34	299,2	28,85	37,21	49,2
10	54	40	12560,43	332,1	119,22	55,35	125,81	1,35	10,16	45,19	19,23	299,6	28,87	43,08	68,7
10	54	42	12562,34	334,01	47,13	23,09	110,49	1,66	7,7	15,39	18,98	299,71	28,89	45,9	34,8

Таблиця Е.2 – Протокол випробувань автомобіля з прогрітим двигуном (фрагмент)

Дата проведення: 13.07.2018 р.

Час проведення випробувань			Загальний час випробувань, с	Час від початку руху за циклом, с	Концентрації забруднюючих речовин						O_2 , %	Кількість газів в тунелі, м ³ /год	Температура газів в тунелі, °С	Швидкість стенда, км/год	Тягове зусилля, Н
ГОД.	ХВ.	С.			CO , млн ⁻¹	C_mH_n , млн ⁻¹	NO_x , млн ⁻¹	CO_2 , %	CH_4 , млн ⁻¹	НМЛОС, млн ⁻¹					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	22	46	14246,12	0	3,49	21,22	0,37	0,05	1,84	19,38	21,07	299,82	28,46	0	6,8
11	22	48	14248,22	2,1	3,85	44,3	0,77	0,07	5,64	38,66	21,06	300,85	28,47	0	4,9
11	22	50	14250,2	4,08	5,22	87,44	0,53	0,14	6,71	80,73	20,99	300,88	28,48	1,08	41
11	22	52	14252,15	6,03	7,61	76,32	2,17	0,19	10,15	66,17	20,89	300,59	28,48	6,75	56,5
11	22	54	14254,16	8,04	126,73	38,36	9,12	0,49	6,25	32,11	20,58	300,97	28,48	13,76	108,7
11	22	56	14256,19	10,07	335,76	29,67	12,12	0,37	4,44	25,23	20,52	301,18	28,51	13,84	39,4
11	22	58	14258,13	12,01	419,55	29,51	9,65	0,76	4,19	25,32	20,32	301,1	28,52	13,66	3,2
11	23	0	14260,21	14,09	354,23	27,75	5,64	0,76	3,91	23,83	19,85	301,1	28,53	14,77	18,1
11	23	2	14262,13	16,01	171,32	21,89	3,53	0,64	4,04	17,85	20,14	301,48	28,55	13,28	30,9
11	23	4	14264,17	18,05	84,58	15,63	3,32	0,69	3,43	12,2	20,21	300,73	28,57	8,4	35,2
11	23	6	14266,18	20,06	60,23	13,97	4,1	0,52	3,14	10,83	20,31	300,3	28,58	0,02	47,2
11	23	8	14268,19	22,07	65,6	13,75	3,84	0,43	3,23	10,52	20,5	299,85	28,58	0,02	10,5
11	23	10	14270,14	24,02	66,65	13,31	2,96	0,34	3,34	9,96	20,62	299,48	28,58	0,01	9,1
11	23	12	14272,17	26,05	49,89	11,71	1,84	0,29	3,09	8,61	20,72	299,33	28,57	0	6,2
11	23	14	14274,18	28,06	37,96	11,18	1,33	0,29	3,02	8,16	20,73	299,36	28,57	0	6,8
11	23	16	14276,22	30,1	32,83	11,95	1,03	0,28	3,22	8,73	20,74	299,2	28,55	0	7,3
11	23	18	14278,22	32,1	26,96	11,48	0,7	0,24	3,26	8,22	20,78	299,12	28,55	0	8,3
11	23	20	14280,2	34,08	21,54	10,55	0,51	0,21	3,13	7,42	20,83	299,48	28,56	0	7,4
11	23	22	14282,22	36,1	23,37	8,89	0,37	0,21	2,89	6	20,85	299,71	28,56	0	6,1
11	23	24	14284,14	38,02	30,88	8,15	0,25	0,21	2,7	5,45	20,85	300	28,54	0	6,2
11	23	26	14286,17	40,05	33,78	9,27	0,28	0,22	3,01	6,26	20,83	299,56	28,54	0	6
11	23	28	14288,19	42,07	30,2	11,87	0,16	0,23	3,58	8,29	20,82	299,39	28,54	0,26	19,5
11	23	30	14290,18	44,06	24,13	19,64	0,72	0,24	4,71	14,94	20,8	299,95	28,55	5,1	80,2
11	23	32	14292,21	46,09	19,45	18,88	2,11	0,35	3,9	14,97	20,75	299,86	28,55	12,76	69,9

Продовження табл. Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	23	34	14294,14	48,02	18,73	61,55	45,74	0,67	5,43	56,12	20,4	299,62	28,57	15,23	0,8
11	23	36	14296,18	50,06	28,17	59,79	43,74	1	9,22	50,57	19,86	299,46	28,6	19,08	83,8
11	23	38	14298,23	52,11	67,31	31,22	60,41	0,9	5,11	26,11	19,67	299,31	28,62	28,56	74,8
11	23	40	14300,21	54,09	59,69	23,84	31,56	0,93	4,63	19,2	20,03	299,35	28,64	31,14	20,8
11	23	42	14302,13	56,01	182,75	13,25	9,62	1,63	4,21	9,04	19,11	299,3	28,7	32,06	23,1
11	23	44	14304,17	58,05	354,85	8,71	4,76	1,33	3,54	5,17	18,91	299,56	28,75	32,6	8,6
11	23	46	14306,19	60,07	187,53	7,79	2,6	1,01	3,55	4,24	19,62	299,71	28,79	31,99	7,8
11	23	48	14308,21	62,09	139,53	6,32	1,17	0,94	3,59	2,73	19,75	299,81	28,82	31,41	7,8
11	23	50	14310,17	64,05	76,65	6,98	3,04	0,78	3,37	3,61	19,98	299,87	28,82	32,46	15,6
11	23	52	14312,2	66,08	30,71	6,88	2,78	0,74	3,75	3,13	20,11	299,15	28,82	32,13	10,5
11	23	54	14314,22	68,1	18,81	6,41	2,78	0,96	3,71	2,69	19,9	299,41	28,82	32,01	9,8
11	23	56	14316,22	70,1	14,12	5,46	1,53	0,83	3,38	2,08	19,93	299,68	28,84	31,92	12,9
11	23	58	14318,12	72	16,61	5,01	0,59	0,82	3,12	1,89	19,99	299,79	28,83	31,84	11,8
11	24	0	14320,18	74,06	27,5	4,43	0,26	0,81	2,86	1,58	20,01	299,33	28,83	31,75	10,8
11	24	2	14322,21	76,09	23,22	4,18	0,17	0,81	2,45	1,73	20,01	299,7	28,83	31,69	11,3
11	24	4	14324,12	78	15,59	4,77	0,16	0,81	2,52	2,25	20,01	299,8	28,85	30,36	26,1
11	24	6	14326,15	80,03	16,62	8,04	0,14	0,81	2,65	5,39	20,02	299,93	28,86	24,95	36,2
11	24	8	14328,17	82,05	15,16	8,02	0,1	0,74	2,63	5,39	20,03	300,19	28,86	19,2	43,6
11	24	10	14330,12	84	12,68	6,29	0,13	0,69	2,27	4,02	20,2	300,4	28,85	14,3	6,2
11	24	12	14332,15	86,03	15,05	5,26	0,09	0,65	2,05	3,21	20,19	300,6	28,86	9,73	52
11	24	14	14334,18	88,06	18,7	4,61	0,1	0,45	1,94	2,67	20,42	301,15	28,85	0,19	22,2
11	24	16	14336,21	90,09	16,58	4,04	0,09	0,27	1,84	2,2	20,69	301,02	28,82	0,02	11,5
11	24	18	14338,13	92,01	12,06	3,68	0,1	0,18	1,78	1,9	20,86	300,88	28,8	0	8,9
11	24	20	14340,21	94,09	8,84	3,67	0,16	0,14	1,85	1,82	20,94	301,37	28,79	0	8
11	24	22	14342,13	96,01	7,3	4,04	0,22	0,11	2,06	1,98	20,98	300,87	28,77	0	8,2
11	24	24	14344,15	98,03	6,41	4,65	0,21	0,1	2,45	2,2	21	300,53	28,76	0	8,7
11	24	26	14346,16	100,04	5,6	4,8	0,16	0,1	2,63	2,17	21,02	300,44	28,75	0	6,7
11	24	28	14348,18	102,06	5,87	4,57	0,13	0,11	2,63	1,93	21	300,04	28,74	0	7
11	24	30	14350,15	104,03	10,95	4,19	0,1	0,14	2,46	1,73	20,97	299,71	28,72	0	5,5
11	24	32	14352,17	106,05	23,11	4,21	0,09	0,17	2,22	1,98	20,92	299,6	28,71	0,01	5,7
11	24	34	14354,18	108,06	30,3	4,14	0,08	0,19	2,41	1,73	20,89	299,76	28,72	0	7,4
11	24	36	14356,22	110,1	28,86	4,27	0,06	0,21	2,29	1,99	20,87	299,38	28,72	0,52	25,3
11	24	38	14358,12	112	23,66	4,57	0,07	0,22	2,75	1,83	20,84	299,48	28,72	8,39	67,2
11	24	40	14360,22	114,1	20,37	6,49	1,01	0,41	2,92	3,57	20,74	299,36	28,72	14,95	70,1
11	24	42	14362,14	116,02	19,49	11,92	11,07	0,55	3,52	8,4	20,42	299,56	28,72	15,66	30
11	24	44	14364,16	118,04	16,78	13,34	7,27	0,91	5,42	7,92	20,11	299,09	28,72	20,54	50,8

Продовження табл. Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	24	46	14366,21	120,09	34,8	15,99	68,11	0,83	4,53	11,45	19,85	299,25	28,75	25,5	52,5
11	24	48	14368,12	122	68,17	10,33	41,51	0,96	4,24	6,1	19,84	299,31	28,79	29,63	48,8
11	24	50	14370,17	124,05	111,67	5,89	5,07	1,14	3,57	2,32	19,64	298,71	28,83	33,4	40,6
11	24	52	14372,14	126,02	180,39	6,98	1,84	1,33	3,19	3,78	19,33	299,19	28,88	35,26	6,7
11	24	54	14374,17	128,05	115,18	7,75	10,51	1,41	4,06	3,69	19,17	299,27	28,92	36,12	35,2
11	24	56	14376,2	130,08	72,1	6,41	5,04	1,26	3,37	3,04	19,17	300	28,95	39,56	45,6
11	24	58	14378,12	132	61,45	7,83	1,3	0,94	3,47	4,37	19,82	301,18	28,97	43,01	52,2
11	25	0	14380,17	134,05	40,12	6,11	1,12	1,36	2,96	3,15	19,45	301,09	29	47,42	54,1
11	25	2	14382,14	136,02	25,65	6,35	6,72	1,56	2,61	3,74	19,02	300,95	29,04	49,87	12
11	25	4	14384,17	138,05	24,83	4,95	8,28	1,86	2,55	2,4	18,64	301,34	29,09	49,65	15,4
11	25	6	14386,2	140,08	52,1	3,63	2,4	1,54	2,09	1,54	18,58	300,94	29,13	49,49	13
11	25	8	14388,12	142	36,92	3,25	0,74	1,01	1,84	1,41	19,56	300,91	29,13	49,34	15,9
11	25	10	14390,14	144,02	20,89	3,1	0,33	0,94	1,74	1,37	19,81	301,06	29,14	49,17	10,6
11	25	12	14392,12	146	11,69	3	0,22	0,94	1,69	1,31	19,85	300,92	29,16	49,03	12,8
11	25	14	14394,15	148,03	7,65	3,1	0,14	0,93	1,63	1,47	19,86	300,28	29,14	48,62	1,1
11	25	16	14396,19	150,07	6,47	4,04	0,16	0,93	1,8	2,23	19,86	299,59	29,15	45,15	14,6
11	25	18	14398,12	152	6,2	3,75	0,18	0,88	1,9	1,85	19,87	299,34	29,15	41,78	16,8
11	25	20	14400,17	154,05	5,93	3,23	0,25	0,76	1,73	1,5	20,11	299,62	29,14	38,11	21,5
11	25	22	14402,14	156,02	6,02	2,95	0,24	0,76	1,65	1,3	20,07	299,06	29,14	34,84	8,2
11	25	24	14404,15	158,03	6,77	3,48	2,03	0,56	1,64	1,84	20,24	299,1	29,12	34,85	4,8
11	25	26	14406,17	160,05	6,59	4,59	2,14	0,3	2,92	1,67	20,62	299,26	29,11	34,62	21,4
11	25	28	14408,21	162,09	5,63	4,12	0,83	0,17	2,96	1,17	20,87	299,36	29,1	36,59	21,6
11	25	30	14410,13	164,01	4,93	3,63	0,43	0,12	2,56	1,07	20,99	299,75	29,08	35,74	4,4
11	25	32	14412,13	166,01	12,66	3,19	0,25	0,39	2,12	1,06	20,83	299,5	29,07	34,84	6,4
11	25	34	14414,15	168,03	63,24	2,93	0,14	0,47	1,73	1,2	20,49	299,28	29,05	35,13	22,2
11	25	36	14416,18	170,06	74,41	2,89	0,08	0,5	1,65	1,24	20,49	299,79	29,03	35,26	1,8
11	25	38	14418,2	172,08	52,91	3,1	0,48	0,71	1,68	1,42	20,32	300,3	29,02	30,98	38,4
11	25	40	14420,22	174,1	29,37	3,52	1,21	0,73	1,8	1,72	20,05	300,54	29,03	25,77	48,5
11	25	42	14422,2	176,08	13,02	3,55	0,92	0,51	1,84	1,71	20,4	300,54	29,03	17,84	78,6
11	25	44	14424,13	178,01	8,81	3,39	0,63	0,65	1,8	1,59	20,36	300,19	29,02	9,19	70
11	25	46	14426,16	180,04	8,6	3,22	0,43	0,6	1,75	1,47	20,25	299,95	29,02	0,06	42,3
11	25	48	14428,19	182,07	7,43	3,06	0,32	0,39	1,74	1,32	20,52	300	29	0,02	13,9
11	25	50	14430,23	184,11	6,18	2,95	0,25	0,26	1,7	1,25	20,75	299,55	28,97	0	10,7
11	25	52	14432,19	186,07	5,49	2,89	0,19	0,19	1,7	1,19	20,88	299,43	28,97	0	13
11	25	54	14434,12	188	5,02	2,87	0,25	0,15	1,7	1,17	20,94	299,4	28,96	0	11,1
11	25	56	14436,17	190,05	4,63	2,92	0,25	0,11	1,73	1,2	20,99	299,93	28,93	0	13,2

Продовження табл. Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	25	58	14438,18	192,06	4,37	3,04	0,2	0,1	1,8	1,24	21,02	299,82	28,92	0	11,4
11	26	0	14440,23	194,11	4,21	3,24	0,18	0,11	1,9	1,34	21,03	300,05	28,92	0	14,6
11	26	2	14442,19	196,07	4,1	3,3	0,17	0,13	2,21	1,08	20,99	300,19	28,89	0	8,1
11	26	4	14444,22	198,1	4,73	3,13	0,16	0,17	1,94	1,19	20,96	300,31	28,87	0,04	6,3
11	26	6	14446,16	200,04	7,68	3,29	0,08	0,18	1,89	1,4	20,92	300,25	28,86	4,47	46,8
11	26	8	14448,18	202,06	14,97	3,88	0,04	0,31	2,11	1,76	20,87	300,22	28,84	10,99	50,1
11	26	10	14450,21	204,09	23,51	3,79	0,04	0,39	2,36	1,43	20,61	300,02	28,84	14,02	7,3
11	26	12	14452,2	206,08	20,84	5,39	1,43	0,74	2,2	3,19	20,35	300,15	28,85	14,55	40,4
11	26	14	14454,22	208,1	33,39	5,93	7,38	0,79	2,47	3,45	20,05	301,37	28,86	13,44	39,4
11	26	16	14456,14	210,02	73,19	4,92	6,25	0,71	2,39	2,54	20,2	301,36	28,89	14,48	12,7
11	26	18	14458,19	212,07	91,14	4,13	4,01	0,68	2,2	1,93	20,22	301,29	28,9	11,62	32,1
11	26	20	14460,12	214	59,56	3,72	2,46	0,71	2,1	1,62	20,13	301,03	28,9	2,52	100,7
11	26	22	14462,16	216,04	26,59	3,6	1,6	0,51	2,11	1,49	20,33	300,97	28,89	0,04	13
11	26	24	14464,14	218,02	12,16	3,55	1,22	0,38	2,06	1,48	20,57	300,74	28,87	0,01	9,1
11	26	26	14466,16	220,04	8,51	3,42	1,15	0,31	1,98	1,44	20,72	300,65	28,87	0	12,3
11	26	28	14468,2	222,08	10,95	3,42	1,15	0,27	1,98	1,45	20,8	300,3	28,87	0	8,9
11	26	30	14470,22	224,1	15,42	3,48	0,98	0,28	2,06	1,42	20,8	300,27	28,84	0	11,6
11	26	32	14472,13	226,01	16,69	3,42	0,82	0,26	2,14	1,28	20,8	300,82	28,84	0	12
11	26	34	14474,19	228,07	14,01	3,27	0,57	0,23	2,09	1,18	20,84	300,37	28,83	0	8,5
11	26	36	14476,22	230,1	12,87	3,11	0,41	0,22	1,96	1,14	20,87	300,63	28,8	0	11,8
11	26	38	14478,13	232,01	15,94	3	0,28	0,22	1,88	1,12	20,88	300,28	28,78	0	11,1
11	26	40	14480,18	234,06	19,1	3	0,31	0,23	1,83	1,17	20,86	299,78	28,78	0,01	9,8
11	26	42	14482,12	236	18,2	2,84	0,19	0,23	1,78	1,07	20,86	299,28	28,78	0	11,7
11	26	44	14484,19	238,07	15,36	2,92	0,1	0,23	1,68	1,24	20,86	299,29	28,77	3,51	72,6
11	26	46	14486,12	240	12,72	3,05	0,05	0,27	1,8	1,24	20,85	299,07	28,76	9,83	56,5
11	26	48	14488,16	242,04	12,62	4,43	0,18	0,48	1,99	2,44	20,61	299,1	28,77	15,4	13,3
11	26	50	14490,2	244,08	10,99	11,66	5,13	0,58	3,04	8,62	20,45	299,24	28,8	16,29	45,9
11	26	52	14492,14	246,02	10,86	11,64	3,3	0,91	4,51	7,13	20,13	299,83	28,72	22,9	83,8
11	26	54	14494,12	248	16,68	7,79	1,36	0,8	3,06	4,73	19,87	299,95	28,73	30,06	72,9
11	26	56	14496,16	250,04	31,86	8,62	0,69	0,94	3,33	5,29	20,06	299,09	28,85	31,15	11,8
11	26	58	14498,19	252,07	81,54	5,07	0,16	1,54	2,86	2,21	19,25	298,94	28,83	32,34	24,2
11	27	0	14500,22	254,1	113,33	3,62	0,09	1,34	2,01	1,61	18,9	298,69	28,95	33,33	15,8
11	27	2	14502,14	256,02	86,34	3,45	0,07	1,01	1,93	1,52	19,75	298,03	29,04	32,55	5,6
11	27	4	14504,18	258,06	150,03	3,29	0,04	1,07	2	1,29	19,67	298,2	29,07	32,26	13,1
11	27	6	14506,21	260,09	75,92	3,02	0,07	0,82	1,84	1,18	19,9	298,61	29,1	32,25	13,5
11	27	8	14508,12	262	23,39	2,98	0,01	0,83	1,71	1,27	20,06	298,99	29,06	32,24	11,5

Продовження табл. Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	27	10	14510,18	264,06	13,81	2,97	0,04	0,87	1,74	1,23	19,97	299,3	29,06	32,22	11,3
11	27	12	14512,17	266,05	12,87	2,95	0,04	0,87	1,73	1,22	19,97	299,09	29,08	32,24	11,6
11	27	14	14514,16	268,04	10,19	2,91	0,04	0,87	1,74	1,17	19,97	299,7	29,09	32,25	12,2
11	27	16	14516,23	270,11	8,72	2,87	0,06	0,88	1,73	1,15	19,96	299,36	29,08	32,26	12,2
11	27	18	14518,14	272,02	8,92	2,94	0,09	0,88	1,68	1,26	19,96	299,81	29,1	32,01	0,9
11	27	20	14520,17	274,05	9,24	4,04	0,03	0,87	1,79	2,26	19,96	299,6	29,12	27,93	24,2
11	27	22	14522,21	276,09	9	4,15	0,1	0,83	2	2,15	19,99	300,02	29,12	23,67	32,5
11	27	24	14524,18	278,06	8,3	3,53	0,05	0,69	1,93	1,61	20,2	299,98	29,11	18,67	42,7
11	27	26	14526,22	280,1	8,11	3,14	0,07	0,7	1,79	1,35	20,2	300,48	29,08	13,22	35,5
11	27	28	14528,13	282,01	9,85	3	0,06	0,58	1,7	1,3	20,28	301,21	29,08	5,45	85,5
11	27	30	14530,17	284,05	10,49	2,91	0,06	0,32	1,71	1,2	20,61	301,37	29,12	0,08	37,2
11	27	32	14532,2	286,08	7,92	2,84	0,08	0,18	1,65	1,19	20,89	301,13	29,06	0,01	13,4
11	27	34	14534,16	288,04	6,16	2,8	0,1	0,12	1,65	1,15	20,99	301,31	28,96	0	9,3
11	27	36	14536,16	290,04	5,19	2,87	0,14	0,1	1,71	1,15	21,03	301,49	28,92	0	12,1
11	27	38	14538,18	292,06	4,61	3,11	0,12	0,09	1,81	1,3	21,06	300,91	28,97	0	10,4
11	27	40	14540,22	294,1	4,3	3,29	0,15	0,09	2,06	1,23	21,07	301,06	28,97	0	11,4
11	27	42	14542,14	296,02	4,06	3,25	0,08	0,11	2,12	1,13	21,06	300,53	28,98	0	12,4
11	27	44	14544,22	298,1	4,77	3,12	0,05	0,15	2,03	1,09	21,01	300,34	28,93	0	12
11	27	46	14546,14	300,02	10,6	2,97	0,04	0,19	1,9	1,07	20,97	300,62	28,92	0	11
11	27	48	14548,16	302,04	21,39	2,94	0,07	0,21	1,83	1,11	20,92	300,26	28,94	0	11,9
11	27	50	14550,17	304,05	25,58	2,82	0,04	0,23	1,76	1,06	20,89	299,58	28,96	0	8,3
11	27	52	14552,21	306,09	22,73	3,45	0,04	0,24	1,76	1,68	20,86	299,58	28,94	1,79	37,8
11	27	54	14554,17	308,05	17,5	4,91	0,03	0,25	2,44	2,47	20,86	299,44	28,94	9,92	91,7
11	27	56	14556,22	310,1	15,2	10,66	3,44	0,43	3,18	7,48	20,71	299,22	28,94	15,78	9,1
11	27	58	14558,13	312,01	14,19	19,7	21,81	0,71	3,98	15,72	20,37	299,48	28,94	18,06	63,2
11	28	0	14560,18	314,06	40,14	15,27	14,05	1,06	5,02	10,25	19,8	299,63	28,99	24,02	54,4
11	28	2	14562,22	316,1	127,39	7,35	17,48	0,89	3,6	3,75	19,93	299,51	29,02	28,3	47,9
11	28	4	14564,2	318,08	186,6	4,51	3,24	1,12	2,68	1,82	19,69	299,28	29,06	31,77	40,9
11	28	6	14566,12	320	219,99	3,91	0,66	1,27	2,27	1,64	19,44	299,33	29,1	34,45	35,9
11	28	8	14568,16	322,04	294,98	4,41	0,39	1,33	2,31	2,09	19,3	298,94	29,16	34,64	14,3
11	28	10	14570,18	324,06	121,71	6,61	1,3	1,36	2,48	4,13	19,25	299,31	29,21	36,12	47,8
11	28	12	14572,22	326,1	41,79	6,65	1,04	0,85	2,65	4	19,64	300,08	29,23	41,62	60,4
11	28	14	14574,27	328,15	28,46	4,96	0,34	0,97	2,55	2,41	20,09	300,09	29,23	45,97	44,5
11	28	16	14576,2	330,08	25,82	4,1	0,23	1,76	2,11	1,99	19,08	300,48	29,27	48,81	40,6
11	28	18	14578,12	332	28,83	3,97	0,42	1,83	2,06	1,9	18,5	300,54	29,34	49,78	17,5
11	28	20	14580,14	334,02	33,2	3,34	0,34	1,66	2,05	1,29	18,79	300,76	29,39	50,29	20,7

Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин на відповідність нормам ЄЕК ООН 83-06

Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин згідно з процедурою випробовування типу I Правил ЄЕК ООН № 83-06.

замовник – Фізична особа: Кухтик Наталія
договір – від 00.01.1900 № 0
дата проведення випробовування – 13.07.2018 (10:49)
тип автомобіля (версія): Hyundai Getz
виробник КТЗ – Hyundai
VIN – 0
виробник двигуна – Hyundai
паливо – бензин А-95 Євро5
випробувальний цикл – Net непрогрітий двигун

#	CO ₂ , %	CO ₂ , чнм	Q _{CO2} , г/л	CO, чнм	Q _{CO} , г/л	HC, чнм	Q _{HC} , г/л	CH ₄ , чнм	NMCH, чнм	Q _{NMCH} , г/л	NOx, чнм	Q _{NOx} , г/л	Ra, %	Pb, кПа	Pd, кПа	t, °C	G _{max} , мм³/л ас	t, с	V _{тис} , л	d, км	H	Kn	DF	m _{CO2} , мг/исп	m _{HC} , мг/исп	m _{NMCH} , мг/исп	m _{NOx} , мг/исп	
Cd (первый мешок)	0,05	500	-	3,31	-	3,52	-	1,83	1,69	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ce (первый мешок)	0,70	7000	-	223,88	-	81,56	-	5,14	76,42	-	14,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CI	0,65	6527,26	1,964	220,75	1,25	78,23	0,631	-	74,82	0,631	14,79	2,05	55,2	98,0	3,764	28,0	300	390	32500	2,0270	13,440	1,099	18,342	8967,99	1604,34	1534,41	1082,46	
Cd (второй мешок)	0,05	500	-	2,43	-	3,08	-	1,81	1,27	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ce (второй мешок)	0,64	6400	-	43,29	-	7,92	-	2,26	5,66	-	1,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CI	0,59	5924,07	1,964	40,98	1,25	4,99	0,631	-	4,45	0,631	1,49	2,05	54,9	98,0	3,803	28,1	300	390	32500	2,0370	13,509	1,101	20,771	1664,69	102,30	91,28	109,66	
Cd (третий мешок)	0,05	500	-	2,21	-	2,90	-	1,77	1,13	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ce (третий мешок)	1,16	11600	-	24,32	-	4,88	-	1,78	3,11	-	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CI	1,11	11143,39	1,964	22,30	1,25	2,23	0,631	-	2,08	0,631	1,44	2,05	54,5	98,0	3,974	28,9	300	400	33333,33	7,1100	14,023	-	1,122	11,523	929,24	46,94	43,71	110,14
																					11,1740	Σmi	мг/исп	11561,92	1753,58	1669,41	1302,25	
																					MI	мг/км	1034,7	156,9	149,4	116,5		
																					R 83-06	мг/км	1000	100	68	60		
																					згідно з розділом V додатка 4 до Наказу	2280,0			300,0	360,0		

Розрахунки виконав:

Розрахунки виконав:

$$M_i = \frac{V_{\text{тис}} \cdot Q_i \cdot k_n \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{d}$$

M_i – масса выброса загрязняющего вещества i в граммах на километр,
 $V_{\text{тис}}$ – объем разреженных выхлопных газов, выраженный в литрах на одно испытание и скорректированный на стандартные условия (273,2 К и 101,33 кПа),
 Q_i – плотность загрязняющего вещества i в г/л при нормальных значениях температуры и давления (273,2 К и 101,33 кПа),
 k_n – коэффициент поправки на влажность, используемый для расчета массы выделяемых окислов азота. Для HC и CO поправка на влажность не применяется,
 C_i – концентрация загрязняющего вещества i в разреженных выхлопных газах, выраженная в млн.⁻¹ и скорректированная на количество загрязняющего вещества i , содержащегося в разреженном воздухе,
 d – реальное расстояние в км, пройденное в рамках рабочего цикла.

$$C_i = C_e - C_d \left(1 - \frac{1}{DF}\right)$$

C_i – концентрация загрязняющего вещества i в разреженном выхлопном газе, выраженная в млн.⁻¹ и скорректированная в соответствии с количеством i , содержащимся в разбавляющем воздухе,
 C_e – измеренная концентрация загрязняющего вещества i в разреженном выхлопном газе, выраженная в млн.⁻¹,
 C_d – концентрация загрязняющего вещества i в используемом для разрежения воздухе, выраженная в млн.⁻¹,
 DF – коэффициент разрежения.

$$DF = \frac{13,4}{C_{\text{CO}_2} + (C_{\text{HC}} + C_{\text{CO}}) \cdot 10^{-4}}$$

для бензина и дизельного топлива,

$$DF = \frac{11,9}{C_{\text{CO}_2} + (C_{\text{HC}} + C_{\text{CO}}) \cdot 10^{-4}}$$

для СНГ

C_{CO_2} – концентрация CO₂ в разреженном выхлопном газе, содержащемся в камере для отбора проб, выраженная в процентах объема,
 C_{HC} – концентрация HC в разреженном выхлопном газе, содержащемся в камере для отбора проб, выраженная в млн.⁻¹ углеродного эквивалента,
 C_{CO} – концентрация CO в разреженном выхлопном газе, содержащемся в камере для отбора проб, выраженная в млн.⁻¹.

$$k_n = \frac{1}{1 - 0,0329 \cdot (H - 10,71)}$$

$$H = \frac{6,211 \cdot R_a \cdot P_d}{P_B - P_d \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

H – абсолютная влажность, выраженная в граммах воды на кг сухого воздуха (5,5 ≤ H ≤ 12,2),
 R_a – относительная влажность окружающего воздуха в процентах,
 P_d – упругость насыщенного водяного пара при температуре окружающего воздуха, выраженная в кПа,
 P_B – атмосферное давление в помещении, выраженное в кПа.

Результати розрахунку викидів забруднюючих речовин згідно з процедурою випробовування тигу I Правил ЄЕК ООН № 83-06.

замовник – Фізична особа: Кухтик Наталія

договір - від 00.01.1900 № 0

дата проведення випробовування - 13.07.2018 (11:22)

тип автомобіля (версія): Hyundai Getz

виробник КТЗ - Hyundai

VIN - 0

виробник двигуна – Hyundai

паливо - бензин А-95 Євро 5

випробувальний цикл – №2 прогрітий двигун

#	CO ₂ , %	CO ₂ , чнм	Q _{CO2} , г/л	CO, чнм	Q _{CO} , г/л	HC, чнм	Q _{HC} , г/л	CH ₄ , чнм	NMCH, чнм	Q _{NMCH} , г/л	NOx, чнм	Q _{NOx} , г/л	Ra, %	Pb, кПа	Pd, кПа	t, °C	G _{max} мм³/ч ас	t, с	V _{max} , л	d, км	H	Kh	DF	m _{CO} , мг/исп	m _{HC} , мг/исп	m _{NMCH} , мг/исп	m _{NOx} , мг/исп
Cd (первый мешок)	0,05	500	-	3,47	-	2,98	-	1,66	1,32	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ce (первый мешок)	0,60	6000	-	51,83	-	13,11	-	2,71	10,41	-	3,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ci	0,55	5522,63	1,964	48,52	1,25	10,26	0,631	-	9,15	0,631	3,56	2,05	55,2	98,0	3,878	28,5	300	390	32500	2,0210	13,858	1,116	22,094	1971,01	210,51	187,64	264,76
Cd (второй мешок)	0,05	500	-	3,18	-	2,85	-	1,67	1,18	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ce (второй мешок)	0,61	6100	-	27,06	-	4,25	-	1,90	2,35	-	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ci	0,56	5622,88	1,964	24,03	1,25	1,53	0,631	-	1,22	0,631	0,87	2,05	54,9	98,0	4,054	29,2	300	390	32500	2,0180	14,420	1,139	21,855	976,04	31,38	25,10	66,16
Cd (третий мешок)	0,05	500	-	3,27	-	2,80	-	1,66	1,15	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ce (третий мешок)	1,26	12600	-	33,61	-	4,39	-	1,72	2,67	-	2,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ci	1,21	12147,16	1,964	30,65	1,25	1,85	0,631	-	1,63	0,631	2,05	2,05	54,5	98,0	4,290	30,2	300	400	33333,33	7,1280	15,167	1,172	10,603	1277,02	39,00	34,25	164,45
																					11,1650						
																						Σmi	мг/исп	4224,06	280,89	246,99	495,37
																						Mi	мг/км	378,3	25,2	22,1	44,4
																						R 83-06	мг/км	1000	100	68	80
Розрахунки виконав:																						згідно з розділом V додатка 4 до Наказу		2280,0		300,0	360,0

Розрахунки виконав:

$$M_i = \frac{V_{mix} \cdot Q_i \cdot k_h \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{d}$$

M_i – масса выброса загрязняющего вещества i в граммах на километр,

V_{mix} – объем разреженных выхлопных газов, выраженный в литрах на одно испытание и скорректированный на стандартные условия (273,2 К и 101,33 кПа),

Q_i – плотность загрязняющего вещества i в г/л при нормальных значениях температуры и давления (273,2 К и 101,33 кПа),

k_h – коэффициент поправки на влажность, используемый для расчета массы выделяемых окислов азота. Для HC и CO поправка на влажность не применяется,

C_i – концентрация загрязняющего вещества i в разреженных выхлопных газах, выраженная в млн.⁻¹ и скорректированная на количество загрязняющего вещества i , содержащегося в разрежающем воздухе,

d – реальное расстояние в км, пройденное в рамках рабочего цикла.

$$C_i = C_a - C_a \left(1 - \frac{1}{DF} \right)$$

C_i – концентрация загрязняющего вещества i в разреженном выхлопном газе, выраженная в млн.⁻¹ и скорректированная в соответствии с количеством i , содержащимся в разбавляющем воздухе,

C_a – измеренная концентрация загрязняющего вещества i в разреженном выхлопном газе, выраженная в млн.⁻¹,

C_d – концентрация загрязняющего вещества i в используемом для разрежения воздухе, выраженная в млн.⁻¹,

DF – коэффициент разрежения.

$$DF = \frac{13,4}{C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}} \quad \text{для бензина и дизельного топлива,}$$

$$DF = \frac{11,9}{C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}} \quad \text{для СНГ}$$

C_{CO_2} – концентрация CO₂ в разреженном выхлопном газе, содержащемся в камере для отбора проб, выраженная в процентах объема,

C_{HC} – концентрация HC в разреженном выхлопном газе, содержащемся в камере для отбора проб, выраженная в млн.⁻¹ углеродного эквивалента,

C_{CO} – концентрация CO в разреженном выхлопном газе, содержащемся в камере для отбора проб, выраженная в млн.⁻¹,

$$k_h = \frac{1}{1 - 0,0329 \cdot (H - 10,71)}$$

$$H = \frac{6,211 \cdot R_a \cdot P_d}{P_B - P_d \cdot R_a \cdot 10^{-2}}$$

H – абсолютная влажность, выраженная в граммах воды на кг сухого воздуха (5,5 ≤ H ≤ 12,2),

R_a – относительная влажность окружающего воздуха в процентах,

P_d – упругость насыщенного водяного пара при температуре окружающего воздуха, выраженная в кПа,

P_B – атмосферное давление в помещении, выраженное в кПа.

НАВАНТАЖУВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ HYUNDAI GETZ

Дата проведення: 13.07.2018 р.

$t_0 = 27^\circ\text{C}$; $p_0 = 98 \text{ кПа}$; $V_a = 61,3 \text{ км/год}$; ККД трансмісії - 0,862025

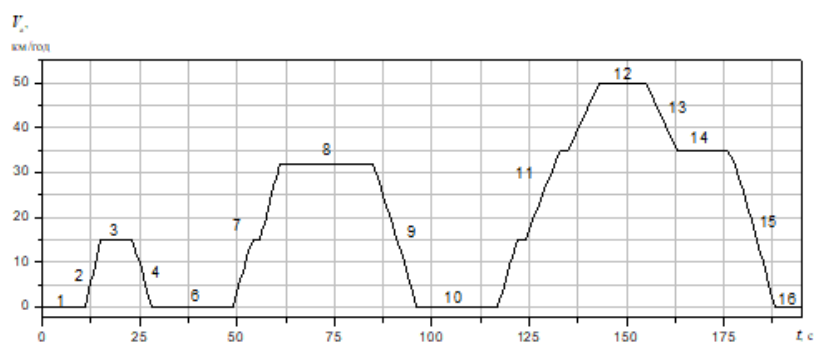
τ , с	$p_{\text{вп}}$, кПа	Витрата палива, л/год	$n_{\text{д}}$, хв ⁻¹	$t_{\text{вп}}$, °C	$t_{\text{ох.р.}}$, °C	Концентрації ЗР				Витрата палива, кг/год	M_e , Н·м	Зусилля стенда, Н	Сумарне зусил- ля на двигун, Н
						NO_x , млн ⁻¹	CO , млн ⁻¹	C_mH_n , млн ⁻¹	CO_2 , %				
0	97	9,161	2398	48	87	46,03	296,7	32,52	1,65	6,862	125,94	1382,7	1600,7
10	97	9,246	2398	45	88	22	100,3	85,4	2,04	6,925	124,76	1367,7	1585,7
20	97	9,261	2398	44	89	32,07	7807	359,2	3,07	6,937	124,29	1361,7	1579,7
30	97	9,336	2402	42	90	67,25	9053,3	422	3,01	6,993	125,07	1371,7	1589,7
40	97	9,326	2399	42	91	90,84	9654	439,2	2,97	6,985	124,17	1360,2	1578,2
50	98	9,439	2398	42	92	101,32	9510,1	447,6	2,98	7,070	124,07	1358,9	1576,9
60	97	9,319	2401	42	93	105,89	9693,1	454,56	2,96	6,980	123,28	1348,9	1566,9
70	97	9,358	2400	41	94	107,02	9866,3	454,56	2,95	7,008	123,67	1353,9	1571,9
80	95	9,171	2398	42	95	107,49	10089	454,17	2,94	6,869	114,74	1240,4	1458,4
90	76	7,299	2396	42	95	30,95	10068	68,12	2,93	5,467	88,72	909,6	1127,6
100	78	7,46	2394	43	96	33,81	442,13	23,74	3,32	5,588	89,44	918,8	1136,8
110	77	7,347	2395	44	96	8,69	195,97	22,58	2,56	5,503	89,97	925,5	1143,5
120	77	7,341	2394	44	95	8,47	140,68	20,92	2,65	5,498	90,03	926,3	1144,3
130	77	7,342	2396	44	95	7,84	151,81	20,45	2,64	5,499	90,05	926,5	1144,5
140	77	7,349	2397	44	95	8,31	186,96	20,17	2,65	5,504	89,91	924,8	1142,8
150	77	7,346	2394	44	95	8,35	219,56	19,64	2,64	5,502	90,23	928,8	1146,8
160	77	7,345	2396	44	95	8,68	202,65	19,24	2,65	5,501	89,87	924,2	1142,2
170	45	4,279	2389	44	95	8,46	198,15	18,97	2,65	3,205	38,40	270,1	488,1
180	58	5,507	2391	45	94	6,68	212,92	14,97	2,64	4,125	58,76	528,9	746,9
190	58	5,508	2392	45	93	3,71	154,78	10,44	1,51	4,126	59,52	538,5	756,5
200	68	5,502	2390	45	93	3,35	143,74	10,61	1,98	4,121	59,87	543	761
210	58	5,504	2391	45	93	3,64	173,82	10,37	1,98	4,123	60,44	550,2	768,2
220	58	5,505	2392	45	92	3,1	169,69	10,51	1,98	4,123	60,33	548,8	766,8
230	58	5,506	2390	45	92	3,21	146,38	10,46	1,97	4,124	60,22	547,4	765,4
240	58	5,503	2390	45	92	3,08	139,09	10,1	1,98	4,122	6,15	-139,9	78,1
250	44	4,156	2388	46	91	4,01	128,74	9,64	1,97	3,113	36,41	244,8	462,8
260	39	3,684	2388	46	90	2,33	114,16	4,39	1,65	2,759	30,29	167	385
270	38	3,578	2388	47	90	0,29	76,46	4,36	1,46	2,680	29,90	162	380
280	39	3,670	2387	47	90	0,27	54,60	4,51	1,31	2,749	30,03	163,7	381,7
290	39	3,66	2386	48	89	0,37	57,22	4,63	1,28	2,741	30,08	164,3	382,3
300	39	3,661	2388	48	89	0,42	62,78	4,84	1,29	2,742	29,78	160,5	378,5
310	39	3,66	2387	48	89	0,36	54,84	4,81	1,29	2,741	30,14	165,1	383,1
320	24	2,177	2271	48	89	0,39	48,80	4,93	1,29	1,631	6,84	-131,1	86,9
330	26	2,402	2323	48	88	0,33	44,43	4,07	1,28	1,799	10,23	-88	130
340	43	3,999	2365	48	88	0,75	24,23	5,28	0,74	2,995	37,45	258	476
350	24	1,879	2318	48	88	0,12	31,40	4,47	0,82	1,407	3,23	-176,9	41,1
360	23	2,181	2451	48	87	0,45	96,66	4,38	1,42	1,634	3,30	-176,1	41,9
370	22	1,953	2289	49	87	3,18	14,01	3,08	0,47	1,463	3,19	-177,5	40,5
380	22	1,986	2295	49	86	0,11	13,21	2,84	0,73	1,487	3,53	-173,2	44,8
390	23	2,072	2298	49	86	0,07	5,25	2,8	0,68	1,552	3,40	-174,8	43,2
400	22	2,061	2411	49	86	0,07	5,25	2,78	0,68	1,544	3,67	-171,4	46,6
410	22	2,079	2434	50	86	0,04	9,34	2,74	0,71	1,557	4,06	-166,4	51,6
420	22	2,108	2451	50	86	0,05	15,97	2,73	0,72	1,579	4,26	-163,9	54,1
430	22	2,055	2379	50	86	0,07	11,35	2,71	0,72	1,539	3,93	-168,1	49,9
440	22	2,052	2387	50	87	0,05	13,91	2,69	0,73	1,537	4,32	-163,1	54,9
450	27	0,780	718	50	87					0,584	0	0	0

Додаток Л

ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ УМОВНОГО РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА НОВИМ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ІЗДОВИМ ЦИКЛОМ (ФРАГМЕНТ)

© кафедра "Двигуни і теплотехніка" НТУ, 2020.

Програма для теоретичних досліджень на математичній моделі впливу прогріву на показники двигуна при русі автомобіля Hyundai Getz за європейським їздовим циклом



+

БЛОК ВИХІДНИХ ДАНИХ

Параметри автомобіля, палива

маса автомобіля, кг	$G_a := 1143$	мін частота обертання к.в. на х.х., хв^{-1}	$nd_{x\min} := 710$
маса вантажу, кг	$G_{\text{вант}} := 100$		
динамічний радіус колеса, м	$r_d := 0.2764$	Початкова температура в системі охолодження двигуна (при запуску холодного двигуна відповідає температурі середовища) в градусах Цельсія	$T_{\text{охрз}} := 10$
передаточні відношення:		Відмітка часу початку циклу	$t_{\text{поч}} := 13$
1 передачі	$U_1 := 3.615$		
2 передачі	$U_2 := 1.95$		
3 передачі	$U_3 := 1.286$	Початкова температура при виконанні першого фрагменту циклу	$T_{\text{ц}} := 30$
4 передачі	$U_4 := 1.061$		
5 передачі	$U_5 := 0.838$		$k_F := 0.3$
головної передачі	$U_p := 3.842$	густина бензину, г/см^3	$\rho_b := 0.749$
коефіцієнт опору коченню і умовного опору повітря, кг/кг	$f_0 := 0.013$	нижча теплота згоряння бензину, МДж/кг	$h_{\text{нб}} := 44$
момент інерції колеса	$I_k := 0.0979$		
момент інерції двигуна	$I_d := 0.010$	теоритично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива, кг/кг :	
ККД трансмісії	$\eta_t := 0.862$		

БЛОК РОЗРАХУНКУ ПОПЕРЕДНЬОГО ПРОГРІВАННЯ ПІСЛЯ ХОЛОДНОГО ЗАПУСКУ ДВИГУНА

1. РОБОТА ДВИГУНА В РЕЖИМІ АКТИВНОГО ХОЛОСТОГО ХОДУ

	$T_{охр}(t) := -8 + 0.2285 \cdot t - 0.00021t^2$	$T_{охр}(85.) = 9.9$
час відведення на операцію	$t_{пр} := 85,90...205$	
Температура охол рідини	$T_{пр}(t_{пр}) := T_{охр}(t_{пр})$	$T_{пр}(205) = 30$
Частота обертання к.в.	$n_{дпр}(T_{пр}) := 1255.7 - 6.0351 \cdot T_{пр}$	$n_{дпр}(9) = 1201.4$
Витрата палива при прогріванні двигуна	$G_{палпр}(T_{пр}) := \frac{1}{3.6} (1.6148 - 0.0294 \cdot T_{пр} + 0.0006 \cdot T_{пр}^2 - 5.5 \cdot 10^{-6} \cdot T_{пр}^3)$	$G_{палпр}(20) = 0.3397$
витрата палива за весь період прогрівання	$G_{ппр} := \int_{85.5}^{205} G_{палпр}(T_{пр}(t)) dt$	$G_{ппр} = 40.6836$
коэф. надміру повітря	$\alpha_{пр}(T_{пр}) := 0.8964 + 0.0107 \cdot T_{пр} - 0.00031 \cdot T_{пр}^2 + 0.000003 \cdot T_{пр}^3$	$\alpha_{пр}(20) = 1.01$
викиди CO з ВГ	$CO_{пр}(T_{пр}) := \begin{cases} 0.7173 - 0.015 \cdot T_{пр} + 0.0001 \cdot T_{пр}^2 & \text{if } T_{пр} > 25 \\ 2.7492 - 0.3788 \cdot T_{пр} + 0.0343 \cdot T_{пр}^2 - 0.00167 \cdot T_{пр}^3 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot T_{пр}^4 & \text{if } T_{пр} \leq 25 \end{cases}$	
викиди CO2 з ВГ	$CO2_{пр}(T_{пр}) := \begin{cases} 10.732 + 0.0172 \cdot T_{пр} & \text{if } T_{пр} > 17 \\ 9.1297 + 0.2586 \cdot T_{пр} - 0.0146 \cdot T_{пр}^2 + 0.0004 \cdot T_{пр}^3 - 6 \cdot 10^{-6} \cdot T_{пр}^4 + 3 \times 10^{-8} \cdot T_{пр}^5 & \text{if } T_{пр} \leq 17 \end{cases}$	
викиди CH з ВГ	$CH_{пр}(T_{пр}) := \begin{cases} 429.31 - 9.374 \cdot T_{пр} + 0.0501 \cdot T_{пр}^2 & \text{if } T_{пр} > 15 \\ 582.8 - 75.405 \cdot T_{пр} + 9.6405 \cdot T_{пр}^2 - 0.5941 \cdot T_{пр}^3 + 0.0135 \cdot T_{пр}^4 & \text{if } T_{пр} \leq 15 \end{cases}$	
викиди NOX з ВГ	$NOX_{пр}(T_{пр}) := 11.593 - 0.082 \cdot T_{пр} - 0.0003 \cdot T_{пр}^2$	

Значення постійних розрахункових коефіцієнтів при вимірюванні сухих та вологих продуктів згорання

$$\begin{aligned}
 a_{пр}(T_{пр}) &:= \begin{cases} 0.132713 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) < 1 \\ 0.02988925 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) \geq 1 \end{cases} & a1_{пр}(T_{пр}) &:= \begin{cases} 0.14253 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) < 1 \\ 0.03670625 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) \geq 1 \end{cases} \\
 b_{пр}(T_{пр}) &:= \begin{cases} 0.33242 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) < 1 \\ 0.4382396 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) \geq 1 \end{cases} & b1_{пр}(T_{пр}) &:= \begin{cases} 0.3981 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) < 1 \\ 0.5039226 & \text{if } \alpha_{пр}(T_{пр}) \geq 1 \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рівняння для визначення масових викидів ЗР в режимі х.х.

$$M_{вгпр}(T_{пр}) := (a_{пр}(T_{пр}) + b_{пр}(T_{пр}) \cdot \alpha_{пр}(T_{пр})) \cdot G_{палпр}(T_{пр})$$

$$M_{вгвпр}(T_{пр}) := (a1_{пр}(T_{пр}) + b1_{пр}(T_{пр}) \cdot \alpha_{пр}(T_{пр})) \cdot G_{палпр}(T_{пр})$$

$$GCO_{пр}(T_{пр}) := \frac{CO_{пр}(T_{пр})}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot M_{вгпр}(T_{пр})$$

$$GCO2_{пр}(T_{пр}) := \frac{CO2_{пр}(T_{пр})}{100} \cdot \mu_{CO2} \cdot M_{вгпр}(T_{пр})$$

$$GCH_{пр}(T_{пр}) := \frac{CH_{пр}(T_{пр})}{10^6} \cdot \mu_{CH} \cdot M_{вгпр}(T_{пр})$$

$$GNOX_{пр}(T_{пр}) := \frac{NOX_{пр}(T_{пр})}{10^6} \cdot \mu_{NOX} \cdot M_{вгвпр}(T_{пр})$$

масові викиди CO	$GCO_{сумпр} := \int_{85.5}^{205} GCO_{пр}(T_{пр}(t)) dt$	$GCO_{сумпр} = 2.6428$
масові викиди CO2	$GCO2_{сумпр} := \int_{85.5}^{205} GCO2_{пр}(T_{пр}(t)) dt$	$GCO2_{сумпр} = 92.7$
масові викиди CH	$GCH_{сумпр} := \int_{85.5}^{205} GCH_{пр}(T_{пр}(t)) dt$	$GCH_{сумпр} = 1.073$

tnp =	ndnp(Tnp(tnp))	Tnp(tnp) =	Gnлnp(Tnp(tnp))	αnp(Tnp(tnp))	COnp(Tnp(tnp))	CHnp(Tnp(tnp))	NOXnp(Tnp(tnp))
85	1195.9	9.9	0.3825	0.975	1.028	334.3	10.751
90	1190.1	10.9	0.3775	0.98	0.959	327.7	10.667
95	1184.4	11.8	0.3728	0.984	0.892	320.9	10.583
100	1178.8	12.8	0.3684	0.989	0.827	314	10.499
105	1173.2	13.7	0.3641	0.992	0.762	307.3	10.415
110	1167.6	14.6	0.3601	0.996	0.696	301.4	10.332
115	1162.2	15.5	0.3563	0.999	0.631	296	10.25
120	1156.7	16.4	0.3527	1.002	0.566	289.1	10.168
125	1151.4	17.3	0.3493	1.004	0.503	282.3	10.086
130	1146.1	18.2	0.3461	1.006	0.443	275.6	10.005
135	1140.9	19	0.343	1.008	0.388	269.1	9.925
140	1135.8	19.9	0.3401	1.01	0.34	262.8	9.845
145	1130.7	20.7	0.3373	1.012	0.3	256.6	9.765
150	1125.6	21.5	0.3347	1.013	0.272	250.6	9.687
155	1120.7	22.4	0.3322	1.014	0.258	244.7	9.608
160	1115.8	23.2	0.3298	1.015	0.26	238.9	9.531
165	1110.9	24	0.3275	1.016	0.281	233.3	9.454
170	1106.2	24.8	0.3253	1.017	0.325	227.8	9.377
175	1101.5	25.6	0.3232	1.017	0.399	222.5	9.301
180	1096.8	26.3	0.3212	1.018	0.392	217.3	9.226
185	1092.2	27.1	0.3193	1.018	0.384	212.2	9.152
190	1087.7	27.8	0.3174	1.019	0.377	207.2	9.078
195	1083.3	28.6	0.3156	1.019	0.37	202.4	9.005
200	1078.9	29.3	0.3139	1.019	0.364	197.7	8.933
205	1074.5	30	0.3123	1.019	0.357	193.1	8.861

БЛОК РОЗРАХУНКУ ФРАГМЕНТА МІСЬКОЇ ЧАСТИНИ ЇЗДОВОГО ЦИКЛУ

1. РОБОТА ДВИГУНА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ



Робота двигуна в режимі холостого ходу при мінімальній частоті обертання к.в. двигуна

$$T(t) := \begin{cases} T(t) & \text{if } T(t) \leq 90 \\ 90 & \text{otherwise} \end{cases}$$

час відведення на операцію

$$t009 := 0,1 \dots 9$$

Температура охол рідини

$$T009(t) := T(t + tноч)$$

$$T009(13) = 33$$

частота обертання к.в.

$$nd009(t) := nd(T(t + tноч))$$

$$nd009(9) = 1062.2$$

швидкість автомобіля

$$Va009(t) := 0$$

крутний момент на к.в.

$$M009(t) := 0$$

витрата палива

$$Gnл009 := \int_0^9 Gnлxx(nd009(t)) dt$$

коєф. надміру повітря

$$\alpha009(t) := \alpha xx(T009(t))$$

відкриття дрос. заслінок

$$FIDR009(t) := FIDRxx(nd009(t))$$

викиди CO з ВГ

$$CO009(t) := COxx(T(t))$$

викиди CO2 з ВГ

$$CO2009(t) := CO2xx(T(t))$$

викиди CH з ВГ

$$CH009(t) := CHxx(T(t))$$

викиди NOX з ВГ

$$NOX009(t) := NOXxx(nd009(t))$$

масові викиди CO

$$GCO009 := \int_0^9 GCOxx(nd009(t), T(t)) dt$$

+

2. РОЗГІН АВТОМОБІЛЯ



Розгін автомобіля при буксуючому зчепленні на 1-й передачі

час відведення на операцію

$$t_{011} := 10, 10.5 \dots 13$$

$$T_{011}(t) := T(t + t_{\text{поч}})$$

приведений до зчеплення момент інерції на 1-й передачі

$$I_{\text{пр}1} := \frac{(G_a + G_{\text{вант}}) \cdot r_d^2}{U_1^2 \cdot U_p^2} + \frac{2 \cdot I_k}{U_1^2 \cdot U_p^2}$$

зміна кутової швидкості веденої ланки

$$\omega_{\text{пр}011}(t) := \frac{15 \cdot U_1 \cdot U_p}{r_d \cdot 3.6 \cdot 5} \cdot (t - 10)$$

частота обертання веденої ланки

$$n_{\text{пр}011}(t) := \frac{\omega_{\text{пр}011}(t) \cdot 30}{\pi}$$

зміна кутової швидкості к.в.

$$\omega_{d011}(t) := \frac{\pi \cdot 2000}{30} - \frac{\frac{\pi \cdot 2000}{30} - \omega_{\text{пр}011}(13.0)}{3.0} \cdot (t - 10)$$

частота обертання к.в.

$$n_{d011}(t) := \frac{\omega_{d011}(t) \cdot 30}{\pi}$$

швидкість автомобіля

$$V_{a011}(t) := \frac{\omega_{\text{пр}011}(t) \cdot r_d \cdot 3.6}{U_1 \cdot U_p}$$

момент опору руху на 1-й передачі

$$M_{\text{оп}011}(t) := \frac{\left[(G_a + G_{\text{вант}}) \cdot f_0 \cdot 9.81 + k_F \cdot \left(\frac{\omega_{\text{пр}011}(t) \cdot r_d}{U_1 \cdot U_p} \right)^2 \right] \cdot r_d}{U_1 \cdot U_p \cdot \eta_t}$$

момент при розгоні на 1-й передачі при буксуючому зчепленні

$$M_{\text{розгбукс}011}(t) := \frac{d}{dt}(\omega_{d011}(t) \cdot I_d) + M_{\text{оп}011}(t) + \frac{1}{\eta_t} \cdot \frac{d}{dt}(\omega_{\text{пр}011}(t) \cdot I_{\text{пр}1})$$

момент на к.в.

$$M_{011}(t) := M_{\text{розгбукс}011}(t)$$

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ



$$G_a = 1143$$

$$G_{\text{палцикл}} = 89.8508$$

$$G_{\text{СОцикл}} = 1.852$$

$$G_{\text{вант}} = 100$$

$$G_{\text{CHцикл}} = 0.525$$

$$I_k = 44$$

$$G_{\text{NOXцикл}} = 0.040346$$

$$\rho = 0.749$$

$$G_{\text{CO2цикл}} = 200.3$$

$$FIDR_{\text{max}} = 71.8$$

$$G_{\text{SOцикл}} = 5.169$$

1. РОБОТА ДВИГУНА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

t009 =	nd009(t009)	Va009(t009)	M009(t009)	T009(t009)	α009(t009)	CO009(t009)	CO2009(t009)	CH009(t009)	NOX009(t009)
0	1074.9	0	0	30	0.999	0.385	9.2	212.7	8.887
1	1073.5	0	0	30.2	0.999	0.383	9.2	211.2	8.864
2	1072.1	0	0	30.4	0.999	0.381	9.2	209.8	8.841
3	1070.7	0	0	30.7	1	0.379	9.2	208.3	8.818
4	1069.3	0	0	30.9	1	0.377	9.2	206.8	8.795
5	1067.9	0	0	31.1	1	0.375	9.2	205.3	8.772
6	1066.5	0	0	31.4	1	0.372	9.2	203.8	8.749
7	1065	0	0	31.6	1.001	0.37	9.2	202.3	8.725
8	1063.6	0	0	31.8	1.001	0.368	9.2	200.9	8.702
9	1062.2	0	0	32.1	1.001	0.366	9.2	199.4	8.678

015713



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

01010, м. Київ, вул.М.Омеляновича-Павленка, 1, т.ф. +38 (044) 280 82 03, т. +38 (044) 280 87 65
e-mail: general@ntu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070915

09.08.2021 № 1893/05

на № _____

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи
Кухтик Наталії Олександрівни

Основні матеріали дисертаційної роботи Кухтик Н.О. на тему «Поліпшення паливної економічності і екологічних показників сучасних автомобілів раціональним прогрівом їх двигунів» використовуються при підготовці фахівців за спеціальністю «Автомобільний транспорт» при вивченні дисциплін «Екологія транспорту», «Стратегія сталого розвитку» та за спеціальністю «Енергетичне машинобудування» при вивченні дисциплін «Системи ДВЗ», «Математичне моделювання в дослідженнях двигунів внутрішнього згорання» та «Екологізація двигунів внутрішнього згорання».

Зокрема використовуються:

- методика визначення впливу теплового стану двигуна на паливну економічність і викиди забруднюючих речовин автомобілем в експлуатаційних умовах;
- показники паливної економічності та екологічні показники транспортних засобів при використанні різних методів прогрівання;
- методика випробування автомобіля за Новим Європейським їздовим циклом;
- математичні моделі двигуна, що враховують прогрівання двигуна в період випробувань.

Проректор з навчальної роботи
професор



О.К.Гришук



УКРАЇНА

ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
(КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)

ДЕПАРТАМЕНТ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

вул. Леонтовича, 6, м. Київ, 01030, тел. (044) 366 63 05, (044) 366 63 43
Контактний центр міста Києва (044)15-51 E-mail: transport@kyivcity.gov.ua
Код ЄДРПОУ 37405284

16.08.2021 № 053-2247/
На № 1894/13 від 09.08.2021

ДОВІДКА

**про використання результатів кваліфікаційної наукової праці
Кухтик Наталії Олександрівни
на тему «Поліпшення паливної економічності і екологічних показників
сучасних автомобілів раціональним прогрівом їх двигунів»**

Використання автомобіля протягом року передбачає його експлуатацію за різних температурних режимів. Значний період легкові автомобілі експлуатують в умовах від'ємних температур атмосферного повітря. Особлива увага приділяється умовам безгаражного зберігання автомобіля, запуску і прогріванню двигуна на відкритих майданчиках паркування, руху автомобіля в початковий момент зі швидкістю до 20 км/год для виїзду від місця паркування в житловому секторі та подальшому руху автомобіля вулицями загального користування.

Особливо значний негативний вплив автомобільного транспорту у великих містах, де концентрація автомобілів на дорогах суттєво більша в порівнянні з заміськими і магістральними трасами. Негативний вплив автомобільного транспорту різносторонній, але найбільшої школи природі та людині завдають саме викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами автомобільних двигунів. Величина шкідливих викидів автомобільними двигунами залежить від багатьох експлуатаційних факторів. Одним з таких факторів є тепловий стан двигуна. Тому визначення напрямів, які з мінімальними витратами паливно-енергетичних ресурсів забезпечують швидкий і безаварійний пуск холодного двигуна і прискорене прогрівання є важливою науково-технічною задачею. Саме такий напрям досліджує Кухтик Н.О. в дисертації. Тому результати досліджень, отримані Кухтик Н.О. в дисертації на тему «Поліпшення паливної економічності і

екологічних показників сучасних автомобілів раціональним прогрівом їх двигунів», мають наукове і практичне значення.

Одним з питань, яке досліджено в дисертації, є визначення найбільш доцільного методу прогрівання двигуна легкового автомобіля з врахуванням паливної економічності і екологічних показників. Результати цього дослідження прийняті до використання при розробленні напрямів економії палива і зниження забруднення навколишнього середовища автомобілями.

В.о. директора



Іван ШПИЛЬОВИЙ