

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 напряму 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 Transport». – 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.