

technologies on navigation systems, are being examined. Attention is given to the use of alternative fuels and speed optimization as means of reducing fuel consumption and emissions. Special attention is devoted to Danube navigation, where large-tonnage convoys are used for cargo transportation. The technological peculiarities of this type of transport and navigation conditions that can affect vessel energy efficiency are analyzed. Measures are proposed to improve the efficiency of navigation. The authors suggest a new approach to forming an energy efficiency index that takes into account the specifics of inland navigation, specifically large-tonnage convoys and navigation conditions. This approach allows determining the level of vessel energy efficiency in the context of the energy transition, beyond the conversion to CO<sub>2</sub> emissions alone. It is noted that inadequate navigation conditions can impact vessel energy efficiency, particularly by increasing water resistance and the need for higher power for propulsion. The authors explore the possibility of applying new technologies and solutions that can help reduce fuel consumption and enhance vessel energy efficiency under such conditions, and they propose new approaches to measuring and assessing the energy efficiency of navigation. As a result of the conducted research, an approach to transforming the form of the energy efficiency index for inland navigation vessels is proposed, which avoids limitations associated with measuring only CO<sub>2</sub> emissions and allows for a comprehensive assessment of vessel energy efficiency. The proposed approach will contribute to a more accurate evaluation and comparison of different vessels in the context of the energy transition, considering their performance and fuel costs under real navigation conditions. The research findings can be valuable for scientists and experts in the field of inland navigation in developing effective strategies and policies for reducing greenhouse gas emissions and improving vessel energy efficiency.

**Key words:** diesel engine; harmful emissions; energy efficiency; inland navigation; fuel efficiency; econavigation.

УДК 656.13 : 621.43 : 681.518

DOI: 10.20998/0419-8719.2023.2.06

*І.В. Грицук, Д.С. Погорлецький, А.П. Полив'янчук, І.В. Худяков, В.В. Черненко, О.В. Поліщук*

## ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТА ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З СИСТЕМАМИ ПОДАЧІ БЕНЗИНУ І ГАЗУ (ДВИГУН З СИСТЕМАМИ ПОДАЧІ БЕНЗИНУ І ЗРІДЖЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ)

*Застосування системи теплової підготовки транспортного двигуна на основі теплового акумулятора фазового переходу дозволяє суттєво знизити витрати палива та викидів шкідливих речовин. В той же час використання систем теплової підготовки для транспортних засобів, працюючих на бензині і зрідженому нафтовому газі, і оцінювання витрати палива та викидів шкідливих речовин в умовах експлуатації не проводилось. В статті розглядаються особливості формування методу визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і газу, які оснащені системою теплової підготовки з використанням теплового акумулятора фазового переходу. Виконаний аналіз методів оцінювання витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів з урахуванням формування в умовах експлуатації теплової підготовки. Розроблений алгоритм визначення та оцінювання окремих критеріїв забезпечення в умовах експлуатації теплової підготовки транспортного двигуна. Удосконалено метод розрахунку витрати палива і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, оснащені тепловим акумулятором фазового переходу, саме в процесах передпускової і післяпускової теплової підготовки. В результаті реалізації розробленого методу визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і газу підтверджено можливість визначення суттєвого зниження в умовах експлуатації часових параметрів теплової підготовки (прогріву) двигуна транспортного засобу і зниження витрати палива (бензин / газ) на прогрів.*

**Ключові слова:** автомобільний двигун; система подачі палива; бензин; зріджений нафтовий газ; метод; витрата палива; викиди шкідливих речовин.

### Вступ

В даний час не викликає сумнівів актуальність проблеми забезпечення зниження витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів. Не менш важливо це і для багатопаливних двигунів, які можуть працювати не тільки на бензині, а й на зрідженому нафтовому газі.

Одним із дієвих засобів покращення паливної економічності і екологічності двигунів транспортного призначення є використання системи теплової

підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу [1, 2].

Проте часто є проблематичним однозначно визначити точні значення економії палива і зниження шкідливих викидів двигунів транспортних засобів, що працюють на рідкому нафтовому і газовому паливі. Потрібні особливі методи визначення і засоби реалізації, щоб урахувати режими теплової підготовки і витрати різних палив, як рідкого нафтового так і газового в процесах прогріву. Тим більше потрібно враховувати особливості отримання

мання інформації в сучасних транспортних засобах 1 - 6].

В статті здійснена спроба на основі експериментальних і розрахунково-аналітичних даних розкрити особливості удосконаленого методу визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і газу (для використання в двигуні автомобіля з системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу).

#### **Аналіз попередніх досліджень**

Застосування системи теплової підготовки (СТП) автомобільного двигуна з тепловим акумулятором (ТА) фазового переходу (ТАФП) дозволяє суттєво покращити показники витрати палива та викидів шкідливих речовин [1-12].

Відзначається широке використання аналітичних моделей і програмних комплексів для дослідження процесів роботи транспортного двигуна в періоди теплової підготовки транспортного засобу [1-10, 13-18], широко застосовуються експериментальні методи досліджень [1-4, 15, 18].

Особливості роботи системи теплової підготовки полягає в тому, що час для виконання теплової підготовки до температури 50°C транспортний двигун не працює, тому що передпускова тепла підготовка проводиться за допомогою теплового акумулятора фазового переходу. При цьому виконати вимоги відомих аналітичних і експериментальних методів дослідження транспортного двигуна неможливо [1-2]. Саме тому, для оцінювання паливної економічності та екологічних показників двигунів транспортних засобів, працюючих на рідкому нафтовому і зрідженому газовому паливі, з урахуванням забезпечення теплової підготовки в умовах експлуатації було запропоновано використати авторський метод. Метод враховує вид палива, на якому працює двигун, період і режим теплової підготовки, поєднує одночасне використання результатів моніторингу транспортного засобу, дані окремих експериментальних досліджень і комплекс розрахунково-аналітичного забезпечення [1-2]. Досвід використання схожих методів і підходів бракує.

Вищезгадане обумовлює актуальність дослідження в частині розробки та застосування удосконаленого методу визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і газу (коли двигун автомобіля, оснащений системою теплової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу та системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу).

#### **Методика проведення досліджень**

Для визначення впливу та обґрунтування доцільності використання окремих складових системи теплової підготовки на роботу двигуна транспортного засобу з системою подачі бензину і зрідженого нафтового газу авторами був розроблений удосконалений метод визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин (рис. 1).

Особливість запропонованого удосконаленого методу передбачає спільне використання усіх можливих засобів і методів отримання технічної інформації про процеси експлуатації ТЗ в умовах експлуатації, про тепловий стан і про параметри окремих систем двигуна, витрату палива на прогрів і викиди шкідливих речовин в процесах теплової підготовки.

Визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигуном транспортного засобу з системою подачі бензину і газу можливо в результаті поєднання результатів дистанційного моніторингу транспортного засобу з двигуном, оснащеним системою теплової підготовки та системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу; експериментального дослідження транспортного засобу з двигуном, оснащеним системою теплової підготовки (двигун автомобіля оснащений одночасно системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу) і розрахунково-аналітичного дослідження в частині витрати палива та викидів шкідливих речовин двигуном транспортного засобу з системами подачі бензину і газу. Особливість розрахунково-аналітичного дослідження полягає в тому, що воно базується на результатах перших двох складових.

Для отримання результатів дистанційного моніторингу транспортного засобу були використані наступні режими дослідження: режими руху транспортного засобу (характерні і окремі) в умовах експлуатації; режими теплової підготовки двигуна транспортного засобу в русі і в нерухомому стані; визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигуном транспортного засобу.

Для отримання результатів експериментального і розрахунково-аналітичного дослідження були використані наступні режими дослідження транспортного засобу: режими руху транспортного засобу як характерні так і окремі для специфічних умов експлуатації; окремі режими теплової підготовки двигуна транспортного засобу в русі і в нерухомому стані; визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигуном транспортного засобу в умовах експлуатації. Крім цього проводилось дослідження впливу СТП з ТА на витрату палива транспортного засобу і викидів шкідливих речовин, оснащеного системою подачі бензину і зрідженого нафтового газу, в процесах

прогрівання, а саме: 1 – тепла підготовка нерухомого ТЗ в режимі холостого ходу (х.х.); 2 – тепла підготовка нерухомого ТЗ в режимі х.х. з підключенням електричних споживачів ТЗ; 3 –

теплова підготовка нерухомого ТЗ в режимі х.х. і в процесі руху; 4 – тепла підготовка ТЗ в процесі руху (рис. 1).

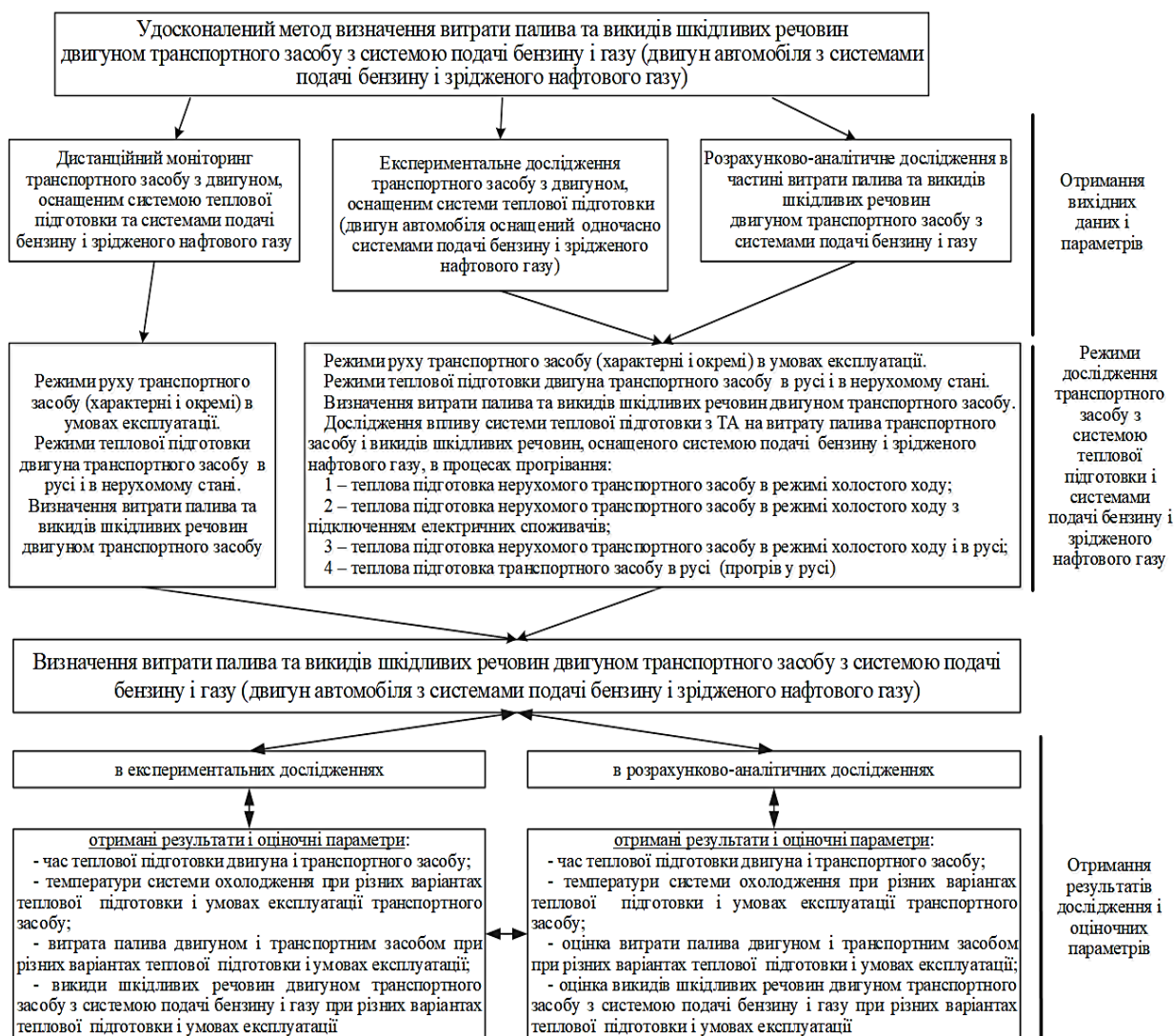


Рис. 1. Схема функціональна формування методу визначення витрати палива та екологічних показників транспортного засобу, що працюють на газовому паливі

Для визначення термінових параметрів (часу теплової підготовки), температури в елементах системи охолодження, значень витрати палива і шкідливих викидів двигуна ТЗ, їх співставлення й аналізу використовували такий прийом. Саме ті параметри експлуатації і показники роботи транспортного засобу, які неможливо визначити експериментально, можливо після попередньої підготовки визначити за результатами розрахунково-аналітичного дослідження за допомогою адаптованих методик та моделей. Для реалізації методу визначення витрати палива та екологічних показників ТЗ з двигунами, які працюють на рідкому нафтовому паливі і газовому паливі, потрібно створити

єдині підходи для реалізації в умовах експлуатації теплової підготовки ТЗ [1-4, 6-15] відповідними способами. На рис. 2 показана схема алгоритму для визначення та оцінювання окремих критеріїв формування теплової підготовки двигуна транспортного засобу для роботи на рідкому і газовому паливі на основі [1-4, 6-15]. Оцінювання витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і газу під час теплової підготовки здійснюється за допомогою запропонованих показників. Ці показники виступають в якості окремих критеріїв теплової підготовки двигуна ТЗ (до них відносимо показники часу/шляху в процесі теплової підготовки, витрати

палива (бензину / газу) на прогрів двигуна, основні викиди шкідливих речовин, показники ефективнос-

ті паливовикористання). Все оцінювання виконуємо поетапно у відповідності до рис.2.

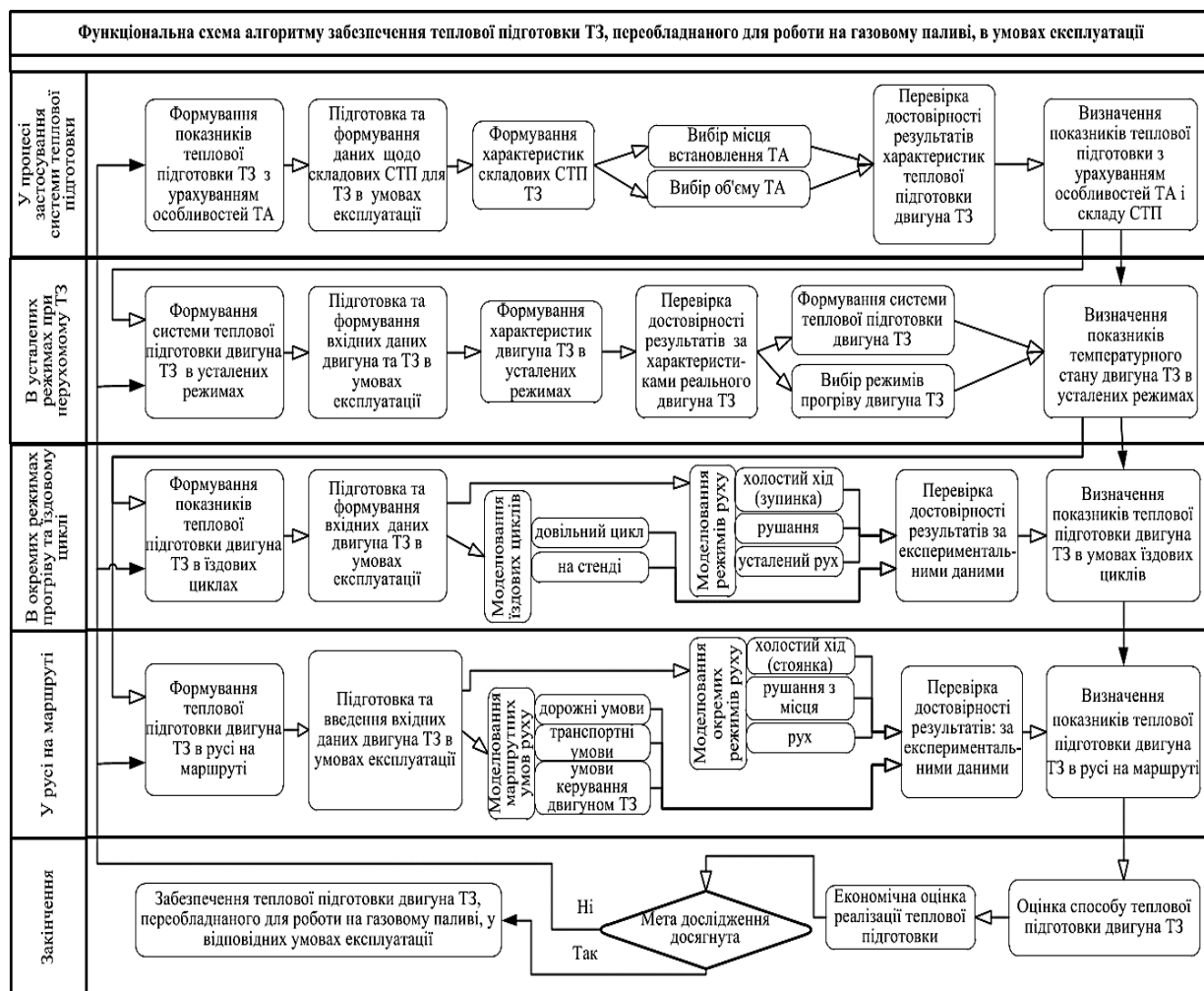


Рис. 2. Схема алгоритму для визначення та оцінювання окремих критеріїв формування теплової підготовки двигуна транспортного засобу для роботи на рідкому і газовому паливі

Перший етап (рис. 2). Здійснюємо визначення (оцінювання) показників окремих складових теплової підготовки двигуна ТЗ [1-4, 6-15] на етапі формування СТП, проводимо аналіз отриманих результатів і оцінювання. Також на цьому етапі здійснюється адаптація СТП до ТЗ в частині урахування особливостей ТАФП і складу компонентів самої СТП. Отриманий результат базується на описах даних складових СТП для адаптації її для конкретного транспортного засобу і умов його експлуатації. Особливість формування СТП полягає в тому, що потрібно урахувати місце, де планується встановлення ТАФП та його об'єм, а також отримати характеристик складових СТП. Після перевірки ефективності процесів прогріву ТА фазового переходу СТП транспортного двигуна, у відповідності до властивих йому характеристик, можливо про-

вести визначення показників ефективності суцільної теплової підготовки ТЗ з урахуванням особливостей конструкції ТА і складових елементів СТП.

Другий етап (рис. 2). Здійснюється визначення (оцінювання) показників забезпечення (формування) теплової підготовки двигуна транспортного засобу на усталених режимах його роботи. Формування базується на описі характеристик двигуна, ТЗ і усталених режимів [1-4, 6-15], саме за допомогою яких і досліджуються окремі критерії визначення (оцінювання) у відповідному (стандартизованому) циклі усталених режимів. Одним з недоліків цього етапу і алгоритму в цілому - є неможливість урахування особливостей роботи транспортних двигунів на неусталених режимах роботи. Крім цього (в частині недоліків), мають місце різні умови порівняння характеристик процесів прогріву різних ти-

пів транспортних двигунів. На цьому етапі алгоритму доцільно використовувати характеристики теплової підготовки двигуна, отримані експериментально та за допомогою математичних моделей. Після перевірки ефективності процесів теплової підготовки транспортного двигуна в усталених режимах, можливо проводити відповідне визначення показників ефективності суцільної теплової підготовки ТЗ з урахуванням режимних параметрів з корекцією конструкції ТА і складових елементів СТП.

Третій етап (рис. 2). Здійснюється формування режимів руху ТЗ в їздових циклах, визначаються показники забезпечення (формування) теплової підготовки двигуна ТЗ в неусталених режимах у процесі руху, а також уточнюються параметри самого процесу прогріву двигуна транспортного засобу [1-4, 6-15]. Після перевірки достовірності результатів за експериментальними даними можна проводити визначення показників теплової підготовки двигуна транспортного засобу в умовах їздових циклів. Після перевірки ефективності процесів теплової підготовки транспортного двигуна за експериментальними даними можливо проводити визначення показників теплової підготовки двигуна ТЗ в умовах їздових циклів з корекцією конструкції ТА і складових елементів СТП.

Четвертий етап (рис. 2). Здійснюється визначення показників забезпечення теплової підготовки транспортного двигуна у русі ТЗ на маршруті [1 - 6]. На цьому етапі поряд з моделюванням окремих режимів руху ТЗ моделюються маршрутні умови експлуатації. Саме тут і враховуються дорожні, транспортні й умови керування двигуном ТЗ у відповідних умовах експлуатації, враховуючи тип палива. Після виконання перевірки достовірності результатів за експериментальними даними можна проводити визначення показників теплової підготовки двигуна транспортного засобу у русі на маршруті [1-4, 6-16]. Після перевірки ефективності процесів теплової підготовки транспортного двигуна за експериментальними даними можливо проводити визначення показників теплової підготовки двигуна ТЗ при русі на маршруті з корекцією конструкції ТА і складових елементів СТП.

Особливість алгоритму полягає, що на кожному з етапів відбувається визначення (та оцінювання) показників забезпечення теплової підготовки транспортного двигуна на основі співставлення отриманих результатів з експериментальними та статистичними даними моніторингу ТЗ в умовах експлуатації.

Загальне оцінювання способу теплової підготовки транспортного двигуна і загальна економічна

оцінка реалізації досліджуваних варіантів теплової підготовки виконується наприкінці алгоритму. За отриманими результатами формується висновок щодо можливості реалізації у відповідних умовах експлуатації варіанту теплової підготовки транспортного двигуна засобу при роботі на рідкому нафтовому паливі (бензині) і газовому паливі [1-4, 6-15].

Сформований підхід, який реалізовано представленим алгоритмом (рис. 2) дозволяє на системному рівні вирішувати задачі теплової підготовки транспортного двигуна в різноманітних умовах експлуатації.

Розроблені методи дослідження і забезпечення паливної економічності та екологічних показників є ефективною основою для системного формування СТП з ТА фазового переходу. Крім цього в процесі застосування методу можливо коригування конструктивних і технологічних параметрів СТП та оптимізація складових елементів її конструкції в залежності від особливостей ТЗ, працюючого на бензині і зрідженому нафтовому газі.

Задача формування теплової підготовки двигуна транспортного засобу для роботи на рідкому нафтовому паливі (бензині) і газовому паливі під час передпускового та післяпускового прогріву і подальшої експлуатації – це завдання, яке вирішується використанням системних методів дослідження [1 - 4]. Складовою частиною дослідження є визначення витрати палива і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах [1 - 4]. Для одночасного впливу на основні системні об'єкти двигуна транспортного засобу на рідкому нафтовому паливі (бензині) і газовому паливі використовувалася СТП на основі ТА фазового переходу [1 - 8]. Для реалізації цієї задачі на основі математичної моделі системи «Двигун-нейтралізатор» [1 - 6] удосконалено метод визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу, які оснащені ТА фазового переходу під час передпускового та післяпускового прогріву в умовах експлуатації. Для дослідження температурного стану двигуна транспортного засобу, визначення паливо-економічних і екологічних показників необхідно розглянути можливі варіанти його забезпечення в процесах експлуатації. Метод визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину, що оснащені СТП на основі ТА фазового переходу під час передпускового та післяпускового прогріву в умовах експлуатації, був розроблений і застосований раніше, що описано в [1 - 6].

Особливості методу, що був удосконалений у представленій статті, полягає в наступному. В удосконаленому методі описуються як окремі режими руху транспортного засобу, переобладнаного для роботи на газовому паливі, так і характерні режими руху в їздовому циклі, до того ж враховуються особливості виду палива, роботи двигуна транспортного засобу у неусталених режимах у процесі руху, а також у процесах прогріву. Після перевірки достовірності результатів за експериментальними даними можна проводити визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигуна транспортного засобу, переобладнаного для роботи на газовому паливі, з урахуванням прогрівання двигуна ТЗ в процесі руху в умовах їздових циклів. У іншому випадку описуються відповідні показники в процесі руху на маршруті, де одночасно з моделюванням окремих режимів руху транспортного засобу моделюються маршрутні умови, які враховують дорожні, транспортні, природно-кліматичні та умови керування. Після виконання перевірки достовірності результатів за експериментальними даними можливо провести визначення паливної економічності та екологічних показників з урахуванням прогріву в процесі експлуатації транспортного засобу.

На кожному етапі визначення паливної економічності та екологічних показників з урахуванням прогріву двигуна транспортного засобу в процесах експлуатації проводиться перевірка достовірності результатів шляхом порівняння з експериментальними та статистичними даними, діючими екологічними нормами тощо. Наприкінці алгоритму, що базується на удосконаленій методиці, проводиться загальна економічна оцінка досліджуваних варіантів і формується загальний висновок щодо забезпечення паливної економічності та екологічних показників з урахуванням прогріву (рис. 2). Використання запропонованого методу та удосконаленої системи визначення паливної економічності й екологічних показників з урахуванням прогріву в процесах експлуатації має свої особливості. Для досягнення поставленої мети було розроблено метод дослідження витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і газу, які обладнані СТП й удосконалено метод визначення вказаних показників транспортних засобів з двигунами, адаптованими для роботи на бензині і газовому паливі, з СТП на основі ТА в процесах передпускової і післяпуско-

вої теплової підготовки, а також удосконалено програму для розрахунку на математичній моделі показників їх роботи. В основу їх були покладені відповідні залежності математичної моделі системи «Двигун-нейтралізатор» [1- 6, 10-18].

#### Приклад застосування розробленого методу

Дослідження проводилось на транспортному засобі KIA CEE'D 2,0 5MT2, із двигуном G4GC [1-2]. Для цього автомобіль переобладнали для роботи на газовому паливі, а також обладнали СТП на основі ТАФП.

Завдяки використанню розробленої методики визначено порівняльні паливні та екологічні показники транспортного засобу KIA CEE'D 2,0 5MT2, переобладнаного для роботи на газовому паливі, під час теплової підготовки двигуна транспортного засобу у русі з використанням встановленої СТП та без неї, у режимах їздового циклу залежно від температур оточуючого середовища завдяки використанню методик, розглянутих у [1 - 18].

Для прикладу реалізації удосконаленого методу покажемо на рис. 3 залежність викидів оксидів азоту в залежності від часу теплової підготовки двигуна транспортного засобу. Із рисунка видно, що на початку руху транспортного засобу викиди оксиду азоту до і після каталітичного нейтралізатора однакові. Склад паливо повітряної суміші без СТП збагачений, порівнюючи зі складом суміші при застосуванні СТП завдяки низькій температурі охолоджувальної рідини в системі охолодження. Тому в цей період викиди оксидів азоту під час використання СТП перевищують такі викиди за її відсутності. На початку зростання нейтралізації оксидів азоту та при збідненні суміші під час руху транспортного засобу без СТП викиди оксидів азоту при застосуванні СТП поступово знижуються, наближаючись до кількості викидів без неї, та стають меншими завдяки більш інтенсивній ефективності нейтралізації. При досягненні ефективності нейтралізації та після вирівнювання складу суміші в обох випадках викиди оксидів азоту із застосуванням СТП стають нижчими у міру прогрівання двигуна транспортного засобу до робочої температури. Особливості часткового збільшення викидів оксидів азоту ( $NO_x$ ) під час використання СТП на основі ТА фазового переходу на двигуні ТЗ, що працює на рідкому паливі нафтового походження (бензин), були розглянуті раніше у роботах [1-6, 10-16].



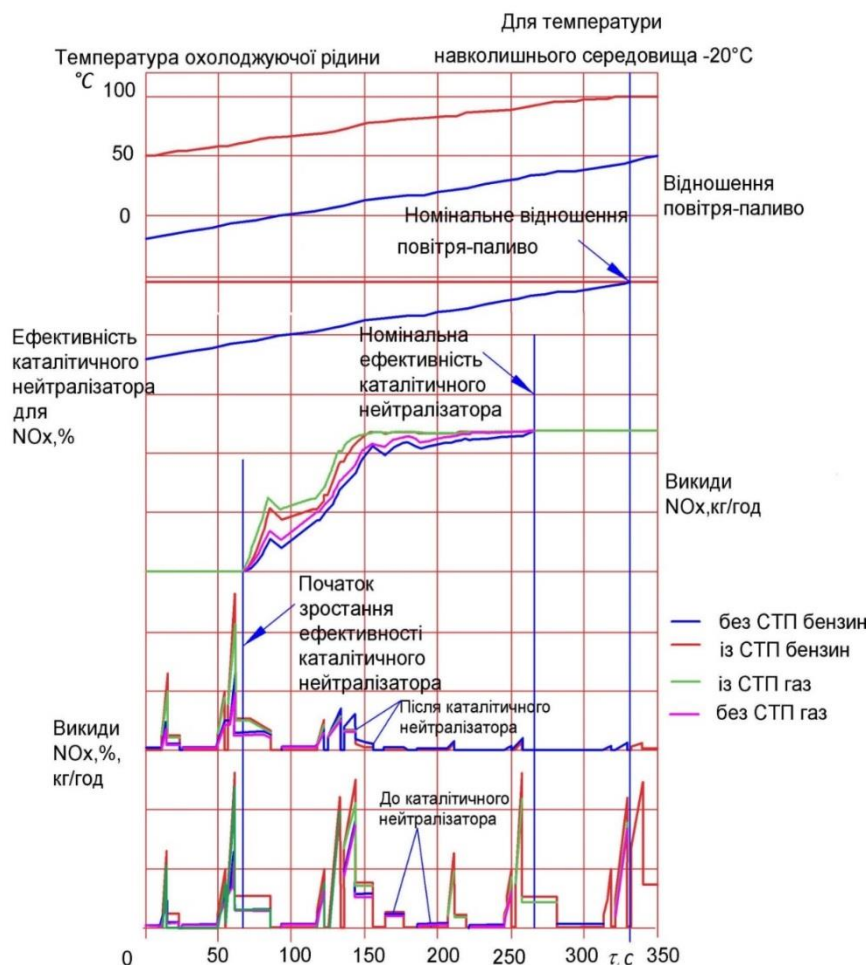


Рис. 3. Залежності викидів оксидів азоту у початковому періоді прогріву двигуна при русі транспортного засобу у їздовому циклі

Описаний метод дозволив проводити комплексний аналіз роботи системи теплової підготовки двигуна автомобіля з системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу з одночасним оцінюванням впливу на витрату палива та викиди шкідливих речовин транспортного засобу під час його руху в умовах експлуатації і у їздовому циклі. Дозволяє проводити оцінку як кількісно, так і якісно із визначенням економічних показників впровадження відповідних технічних і технологічних рішень.

### Висновки

Виконаний аналіз методів для визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин транспортного засобу в експлуатації. Це показало можливість застосування існуючих методів для дослідження і забезпечення визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин транспортних засобів з двигунами, оснащеними системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу і системою

теплової підготовки на основі ТА фазового переходу.

Розроблено метод дослідження паливної економічності та екологічних показників ТЗ із двигунами з системами подачі бензину і зрідженого нафтового газу, які оснащені СТП на основі ТА фазового переходу. В основу методу покладена система взаємодія всіх взаємопов'язаних її складових.

Розроблено алгоритм визначення та оцінювання окремих критеріїв формування теплової підготовки двигуна транспортного засобу для роботи на рідкому і газовому паливі. Удосконалено метод розрахунку витрати палива і викидів шкідливих речовин транспортних засобів з двигунами, що були оснащені ТА фазового переходу при передпусковому та післяпусковому прогріві в умовах експлуатації.

Для перевірки ефективності методу визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів з системами подачі бензину і газу з урахуванням забезпечення теплової підготовки в умовах експлуатації виконані по-

рівняльні оцінки впливу СТП з ТА фазового переходу транспортних двигунів з системами подачі бензину і газу на показники витрати палива та викидів шкідливих речовин при передпусковому та післяпусковому прогріві в умовах експлуатації.

### Список літератури:

1. Gritsuk I. Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator / I. Gritsuk, Y. Gutarevych, V. Mateichyk, V. Volkov // SAE Technical Paper. – 2016. – 2016-01-0204, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>. 2. Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Адров Д.С., Білай А.В., Особливості визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів, що працюють на газовому паливі / Двигуни внутрішнього згоряння // Науково-технічний журнал. Харків: НТУ “ХПІ”. – 2021. – №1. – 102 с., с. 25-35 (11с.). 3. Volkov V. P. ICE heating systems: the basics of functioning / V. P. Volkov, I. V. Gritsuk, Yu. F. Gutarevych, V. D. Aleksandrov, V. Yo. Poddubnyak, Yu. V. Prilepskiy, P. B. Komov, D. S. Adrov, V. S. Verbovskiy, Z. I. Krasnokutskaya, T. V. Volkova. – Donetsk: Landon-XXI, 2015. – 314 p. 4. Gritsuk I. Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators/ I. Gritsuk, V. Mateichyk, V. Aleksandrov, Y. Prilepskiy, et al. // SAE Technical Paper. – 2019. – 2019-01-0906, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>. 5. Gritsuk, I., Pohorletskiy, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., “Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems),” SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, doi:10.4271/2020-01-2031. 6. Aleksandrov V. Phase Transition Heat Accumulators for Vehicles: The Parameters of Working Processes: monograph / V. Aleksandrov, I. Gritsuk et al., – Donetsk: Publishing House «Knowledge», 2014. – 230 p. 7. Shulgin V. V. Vehicular thermal accumulators / V. V. Shulgin. – SPb.: Publishing Polytechnic University Press, 2005. – 268 p. 8. Vashurkin I. O. Thermal development and start of ICE of mobile vehicles and construction machinery in winter / I. O. Vashurkin. – Sant-Peterburg: Nauka Publ., 2002. – 145 p. 9. Beckman G. Thermal accumulation of energy / G. Beckman, P. Gilly. – Moscow: World Publ., 1987. – 256 p. 10. Gritsuk I. V. The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles / I. V. Gritsuk. – Kharkiv: Herald of Kharkiv National Automobile and Highway University, 2015. – 32 p. 11. Gritsuk I. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions / I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk, Y. Grytsuk, et al. // SAE Technical Paper. – 2018. – 2018-01-0024, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>. 12. Gritsuk I. The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle / I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk, Y. Gutarevych, et al. // SAE Int. J. Fuels Lubr. – 2017. – 10(1):236-248, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>. 13. Погорлецький Д. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS / Д. Погорлецький // Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики: монографія / Blatický Miroslav, Dižo Ján, Gerlici

Juraj та ін. – Херсон: ХДМА, 2019. – С. 383–394. 14. Погорлецький Д. С. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації / Д. С. Погорлецький, В. П. Матейчик, А. П. Полівінчук, М. В. Володарець, М. П. Цюман // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. – Вип. 19. – Т. 4. – С. 286. 15. Грицук І. В. Особливості формування системи теплової підготовки двофазових транспортних засобів, працюючих на рідкому нафтовому паливі і зрідженому нафтовому газі / І. В. Грицук, Д. С. Погорлецький, Р. В. Симоненко // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту [Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції]: збірник наукових праць. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – С. 112. 16. Адров Д. С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д. С. Адров, І. В. Грицук, Ю. В. Прілепський, В. І. Дорошко // 36. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – № 27. – С. 117–126. 17. Vychuzhanin, V. et al., “Cognitive Model of the Internal Combustion Engine,” SAE Technical Paper 2018-01-1738, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1738>. 18. Rabinovich, E. et al., “Evaluation of the Powertrain Condition Based on the Car Acceleration and Coasting Data,” SAE Technical Paper 2018-01-1771, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1771>.

### Bibliography (transliterated):

1. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., Volkov, V. (2016), “Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator” SAE Technical Paper. 2016-01-0204, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>. 2. Gritsuk, I.V., Pohorletskiy D.S., Adrov D.S., Bilay A.V., Peculiarities of determining fuel consumption and emissions of harmful substances from vehicles running on gaseous fuel / Internal combustion engines // Science and Technology magazine. Kharkiv: NTU “KhPI”. – 2021. – No. 1. - 102 p., p. 25-35 (11 p.). 3. Volkov, V. P., Gritsuk, I. V., Gutarevych, Yu. F., Aleksandrov, V. D., Poddubnyak, V. Yo., Prilepskiy, Yu. V., Komov, P. B., Adrov, D. S., Verbovskiy, V. S., Krasnokutskaya, Z. I., Volkova, T. V. (2015). ICE heating systems: the basics of functioning, Landon-XXI, Donetsk, 314 p. 4. Gritsuk, I., Mateichyk, V., Aleksandrov, V., Prilepskiy, Y. et al. (2019), “Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators” SAE Technical Paper, 2019-01-0906, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>. 5. Gritsuk, I., Pohorletskiy, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., “Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems),” SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, doi:10.4271/2020-01-2031. 6. Aleksandrov, V., Gritsuk, I. et al. (2014), Phase Transition Heat Accumulators for Vehicles: The Parameters of Working Processes: monograph, Publishing House «Knowledge», Donetsk, 230 p. 7. Shulgin, V. V. (2005), Vehicular thermal accumulators, Publishing Polytechnic University Press, Sant-Peterburg, 268 p. 8. Vashurkin, I. O. (2002), Thermal development and start of ICE of mobile vehicles and construction machinery in winter, Nauka Publ., Sant-Peterburg, 145 p. 9. Beckman, G. Gilly, P. (1987). Thermal accumulation of energy. World Publ., Moscow, 256 p. 10. Gritsuk, I. V. (2015), The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles, Herald of Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 32 p. 11. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Grytsuk, Y., et al. (2018), “Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions”, SAE Technical Paper, 2018-01-0024, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>. 12. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Gutarevych, Y., et al. (2017), “The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating



System in a Driving Cycle”, *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 10(1):236-248, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>. 13. Pohorletskyi, D. (2019), “Structure of the measuring complex for research of work of the vehicle with the engine equipped with system of injection of gas fuel, in the conditions of operation by means of ITS” *Systems and means of transport. Problems of operation and diagnostics* [“Struktura vymiriuvalnogo kompleksu dlia doslidzhennia roboty transportnoho zasobu z dvyhunom, obladnanyim systemoiu vporokuvannia hazovoho palyva, v umovakh ekspluatatsii zasobamy ITS” *Systemy i zasoby transportu. Problemy ekspluatatsii i diahnostryky*]. *KhDMA, Kherson* P. 383–394. 14. Pohorletskyi, D. S., Mateichyk, V. P., Polivinchuk, A. P., Volodarets, M. V., Tsiuman, M. P., (2019), “Features of thermal preparation of the transport engine in the conditions of operation”, *Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University*, [“Osoblyvosti teplovoi pidhotovky transportnoho dvyhuna v umovakh ekspluatatsii” *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu*], *TSATU named after Dmitry Motorny, Melitopol*, Vol. 19, T. 4, P. 286. 15. Grytsuk, I. V., Pohorletskyi, D. S., Symonenko, R. V. (2020), “Features of formation of system of thermal preparation of the two-fuel vehicles working on liquid oil fuel

and the liquefied oil gas” *Problems and prospects of development of motor transport : Materials of the VIII international scientific and practical Internet conference* [“Osoblyvosti formuvannia systemy teplovoi pidhotovky dvokhpalyvnykh transportnykh zasobiv, pratsiuichykh na rikdomu naftovomu palyvi i zridzhenomu naftovomu hazi” *Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu : Materialy VIII-oi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii*], *VNTU, Vinnytsia*, P. 112. 16. Adrov, D. S., Grytsuk, I.V., Prilepsky, Yu. V., Doroshko, V. I. (2011), “Heat accumulator as a means of increasing the efficiency of starting a stationary engine at low temperatures” *Coll. Science. works DonIzt UkrDAZT*. [“Teplovyi akumuliator yak zasib pidvyshchennia efektyvnosti pusku statsionarnoho dvyhuna v umovakh nyzkykh temperature” *Zb. nauk. prats DonIzt UkrDAZT*] *Donetsk: DonIzt*, P. 117–126. 17. Vychuzhanin, V. et al., “Cognitive Model of the Internal Combustion Engine,” *SAE Technical Paper 2018-01-1738*, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1738>. 18. Rabinovich, E. et al., “Evaluation of the Powertrain Condition Based on the Car Acceleration and Coasting Data,” *SAE Technical Paper 2018-01-1771*, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1771>.

Надійшла до редакції 19.08.2023 р.

**Грицук Ігор Валерійович** - доктор техн. наук, проф., професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, Херсон, Україна, e-mail: [grytsuk\\_iv@ukr.net](mailto:grytsuk_iv@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0001-7065-6820>.

**Погорлецький Дмитро Сергійович** - канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, Херсон, Україна, e-mail: [dimon150582@gmail.com](mailto:dimon150582@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1256-8053>.

**Полив'янчук Андрій Павлович** - доктор техн. наук, проф., професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна, e-mail: [polyvianchuk\\_a@vntu.edu.ua](mailto:polyvianchuk_a@vntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9966-1938>

**Худяков Ігор Валентинович** – канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, Херсон, Україна, e-mail: [igor.khudiakov563@gmail.com](mailto:igor.khudiakov563@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8900-7879>.

**Черненко Валентина Володимирівна** - старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, Херсон, Україна, e-mail: [v.chernenko18@gmail.com](mailto:v.chernenko18@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2013-7058>.

**Поліщук Олександр Володимирович** - аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, Херсон, Україна, e-mail: [E-mail: polishukalex591@gmail.com](mailto:polishukalex591@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7369-0485>

#### FEATURES OF THE METHOD FOR DETERMINING FUEL CONSUMPTION AND EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES OF VEHICLE ENGINES WITH GASOLINE AND GAS SUPPLY SYSTEMS (ENGINES WITH GASOLINE AND LIQUEFIED PETROLEUM GAS SUPPLY SYSTEMS)

*I.V. Grytsuk, D.S. Pohorletskyi, A.P. Poliviyanchuk, I.V. Khudyakov, V.V. Chernenko, O.V. Polishchuk*

The use of a system of thermal preparation of a transport engine based on a thermal battery of a phase transition allows to significantly reduce fuel consumption and emissions of harmful substances. At the same time, the use of thermal training systems for vehicles running on gasoline and liquefied petroleum gas, and the evaluation of fuel consumption and emissions of harmful substances in operating conditions were not carried out. The article examines the peculiarities of the method of determining fuel consumption and emissions of harmful substances of engines of vehicles with gasoline and gas supply systems, which are equipped with a thermal preparation system with a phase transition thermal accumulator. The analysis of methods for estimating fuel consumption and emissions of harmful substances of engines, taking into account the formation in the operating conditions of thermal preparation, was performed. An algorithm for determining and evaluating individual criteria for ensuring the thermal preparation of a transport engine in operating conditions has been developed. The method of calculating fuel consumption and emissions of harmful substances in the exhaust gases of vehicles with engines converted to work on gas fuel, equipped with a phase transition heat accumulator, specifically in the processes of pre-startup and post-startup thermal preparation, has been improved. As a result of the implementation of the developed method for determining the fuel consumption and emissions of harmful substances of vehicle engines with gasoline and gas supply systems, the possibility of determining a significant reduction in the operating conditions of the time parameters of the thermal preparation (warm-up) of the vehicle engine and reducing the fuel consumption (gasoline / gas) for warm-up was confirmed.

**Key words:** automobile engine; fuel supply system; gasoline; liquefied petroleum gas; method; fuel consumption; emissions of harmful substances.