

**І. В. Грицук<sup>1</sup>**  
**В. П. Волков<sup>1</sup>**  
**Д. С. Погорлецький<sup>2</sup>**  
**В. П. Кужель<sup>3</sup>**  
**Т. В. Волкова<sup>1</sup>**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ, ПРАЦЮЮЧОГО НА АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ПАЛИВІ**

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Херсонька державна морська академія

<sup>3</sup>Вінницький національний технічний університет

*Метою проведеного дослідження є удосконалення методу розрахунку та визначення як витрат палива, так і викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів, переобладнаних для роботи на альтернативному паливі. У статті розглянуто особливості визначення витрати палива і викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів, переобладнаних для роботи на альтернативному паливі. Розкрито розроблений метод розрахунку витрати палива та екологічних показників транспортних засобів, які працюють на альтернативному паливі, що базується на системному поєднанні методів та засобів отримання інформації про процеси та умови експлуатації транспортних засобів, які отримуються в результаті дистанційного моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів. Особливістю методу є те, що він передбачає спільне використання наявних як методів, так і засобів отримання інформації щодо процесів експлуатації транспортного засобу, теплових параметрів двигуна, витрати палива і викидів шкідливих речовин. Цей метод розрахунку як витрати палива, так і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах транспортного засобу з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, дає змогу провести оцінювання ефективності експлуатації двигуна транспортного засобу завдяки проведенню аналізу поточних і сумарних значень показників витрати палива та викидів шкідливих речовин у процесах передпускової та післяпускової теплової підготовки та при його русі в їздовому циклі і в процесі руху на маршруті.*

*У роботі авторами запропоновано для визначення витрати палива в умовах експлуатації використовувати саме коефіцієнти паливовикористання як для рідкого, так і для газового палива, які дають змогу абстрагуватися від розмірностей. Пропонується для системи охолодження двигуна транспортного засобу проводити вимірювання паливної економічності та інших екологічних показників за наявними методиками у кількох режимах прогріву охолоджувальної рідини до температури 50 °С.*

**Ключові слова:** транспортний засіб, альтернативне паливо, витрата палива, викиди шкідливих речовин, тепла підготовка, моніторинг технічного стану, теплові параметри двигуна, умови експлуатації.

### **Вступ**

Витрата палива транспортних засобів (ТЗ), тобто питома витрата палива, зазвичай зводиться до пройденої відстані, а для спеціальних ТЗ також може визначатися годинна витрата палива. На фактичну витрату впливають якість палива, умови експлуатації, тому для порівняння ці параметри нормуються. Загалом можна впевнено сказати, що майже всі елементи конструкції ТЗ впливають на витрату палива, починаючи від двигуна, трансмісії, коефіцієнта аеродинамічного опору, маси, енергоспоживання, шини тощо.

Раніше розрахунок витрати палива визначався під час проведення заводських і дорожніх випробувань на спеціальних треках, зараз цей метод частково збережений, але застосовується для вибіркового контролю витрат палива ТЗ, а перевірка визначається внутрішньозаводськими технічними умовами. Із зростанням вимог ринку була розроблена методика промислових стандартизованих випробувань, що проводяться на стендах. Ця методика дозволила уникнути будь-якого суб'єктивного впливу і відрізняється високою відтворюваністю результатів. Методика визначення витрати палива і викидів CO<sub>2</sub> документально визначається Директивами ЄС 715/2007 і ЄС 692/2008. Ця методика використовується для звичайних двигунів, які працюють на одному виді палива, а для двопаливних двигунів (які працюють на альтернативному паливі (наприклад, зріджене газове паливо)) ТЗ немає розробленої стандартизованої методики визначення витрати палива і викидів шкідливих речовин. Для проведення оцінки екологічних та експлуатаційних показників двигунів ТЗ, переобладнаних для роботи на зрідженому газовому паливі [1], широко застосовують експериментальні методи розрахунку

робочих циклів і характеристик двигунів ТЗ [1, 2, 3]. Залежно від поставлених задач під час виконання теоретичного дослідження особливостей визначення витрати палива і викидів шкідливих речовин двигунів ТЗ, які працюють на газовому паливі, виявилось необхідним удосконалення методу розрахунку паливної економічності і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах і вихідних показників двигуна ТЗ, під час здійснення його передпускового та післяпускового прогріву за допомогою використання одного зі способів теплової підготовки, а саме теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП) відповідно до прийнятих конструктивних рішень і температур навколишнього середовища.

Аналіз способів і методів моніторингу, дистанційного контролю параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації підтвердив невикористані резерви у вирішенні задачі визначення як паливної економічності, так і екологічних показників ТЗ саме у процесах прогріву. Методи отримання інформації про характеристики ТЗ, які розглянуті в роботі, базуються на використанні засобів електронної автоматичної його ідентифікації і моніторингу. Для визначення витрат палива і вмісту викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах ТЗ із двигуном, який працює на газовому паливі, із встановленою системою теплової підготовки в умовах експлуатації при відтворенні процесів теплової підготовки, можливо застосувати модель системи «Двигун-нейтралізатор», яка була запропонована для штатної системи охолодження двигуна ТЗ [1, 2]. Вимірювання економічних та екологічних показників проводилось у кількох режимах прогріву охолоджувальної рідини до температури 50 °С за наявними методиками [1, 3, 4, 5]. Для оцінки витрати палива, екологічних та експлуатаційних показників двигунів ТЗ, які працюють саме на зрідженому паливі (газовому) [1, 4–7], застосовують експериментальні методи розрахунку робочих циклів та характеристик двигунів ТЗ [1, 5, 8–10]. Залежно від задач під час виконання дослідження особливостей визначення витрати палива і шкідливих викидів двигуна ТЗ необхідне формування методу розрахунку робочих процесів і вихідних показників двигуна ТЗ, який працює на газовому паливі, під час здійснення його передпускового та післяпускового прогріву за допомогою ТАФП відповідно до температур навколишнього середовища. Для розрахунку робочого процесу можна застосовувати розрахунковий метод, що був запропонований проф. М. Ф. Разлейцевим та доопрацьований О. С. Кулешовим. У цьому методі використовується різноманітний набір розрахункових методів для моделювання фізичних процесів у двигуні ТЗ. Емісія викидів оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) в цій моделі розраховується на основі схеми Я. Б. Зельдовича. Для прогнозування витрати палива та екологічних показників двигунів ТЗ з різними варіантами систем живлення розроблено та використано багато різних методик. Аналіз публікацій за цим напрямом показав, що найбільш детально розроблена методика в [1, 5, 8–9]. Суть методу в тому, що під час розрахунку процесів утворення шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ) під час протікання робочого циклу у циліндрі двигуна моделюється робочий цикл за багатозонною моделлю. Для проведення оцінки шкідливих викидів, а також для визначення послідовності дій та режимів вимірювання вмісту шкідливих викидів під час проведення випробувань у ВГ двигуна ТЗ із відповідністю чинним нормам використовувався діючий стандарт в Україні «Двигуни внутрішнього згоряння поршневі». Звертаючи увагу на вищевикладений матеріал і методи оцінки витрати палива і викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна ТЗ, який працює на газовому паливі, можна зробити висновок, що об'єктивно оцінити його екологічні та економічні показники роботи неможливо через те, що відповідно до наявних методик двигун повинен працювати з певним навантаженням та у відповідному режимі і на одному із видів застосовуваного палива. Саме тому виконати вимоги наявних методик та стандартів випробувань неможливо.

У дослідженні пропонується для оцінювання витрати палива в умовах експлуатації використовувати коефіцієнти паливовикористання для рідкого і газового палива, які дають змогу абстрагуватися від розмірностей, зосереджуючи увагу на характерних особливостях протікання процесів прогрівання двигуна ТЗ. Для системи охолодження двигуна ТЗ вимірювання паливної економічності та екологічних показників проводити у режимах прогріву охолоджувальної рідини до температури 50 °С за наявними методиками [7–10]. У цей час фіксується витрата палива, викиди шкідливих речовин, час теплової підготовки залежно від режиму прогріву (враховуючи період, коли двигун не працює і прогрівається від ТАФП), виду використаного палива (бензин чи зріджене газове паливо). Потім проводиться порівняння отриманої сумарної витрати палива на прогрів двигуна ТЗ і сумарних викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами зі штатною системою охолодження та обладнаною ТАФП системою теплової підготовки (СПП).

Метою проведеного дослідження є удосконалення методу як визначення, так і розрахунку витрати палива та складу викидів шкідливих речовин двигунів ТЗ, які працюють на альтернативному паливі.

## Удосконалення методу і результат дослідження паливної економічності ТЗ із двигунами, які працюють на газовому паливі

Для визначення витрати палива, викидів шкідливих речовин та додаткового обґрунтування впливу системи теплової підготовки на роботу двигуна ТЗ, який працює на газовому паливі, був удосконалений метод визначення як витрати палива, так й екологічних показників ТЗ, які переобладнані для роботи саме на газовому паливі. Особливість запропонованого авторами методу полягає в тому, що цей метод дозволяє спільно застосовувати всі наявні методи і засоби отримання інформації стосовно процесів експлуатації ТЗ, теплових параметрів двигуна, витрати палива та обсягу викидів шкідливих речовин. Зазначимо, що внаслідок дистанційного моніторингу параметрів технічного стану ТЗ, результатів проведених експериментальних досліджень системи теплової підготовки автомобіля, результатів дослідження (розрахунково-аналітичне) на основі даних перших двох джерел відбувається процес як одержання інформації, так і визначення екологічних, економічних показників експлуатації ТЗ. На наступному етапі розрахунків здійснюється оцінювання, співставлення та аналіз даних з метою визначення таких показників: характеристика і діапазон часу теплової підготовки, температура охолоджуючої рідини в системі охолодження, значення витрати палива і вміст шкідливих викидів у вихлопних газах при роботі двигуна ТЗ.

Цей етап використовує ті параметри і показники, які визначені саме внаслідок розрахунково-експериментального дослідження за методиками та моделями, що адаптовані до показників ТЗ, оскільки іншим шляхом (експериментально чи засобами дистанційного моніторингу), на жаль, неможливо визначити ці параметри і показники. Для реалізації і функціонування методу розрахунку витрати палива та екологічних показників ТЗ із двигунами, що працюють на газовому паливі, виникає потреба у створенні єдиних підходів для реалізації теплової підготовки за описаними способами в умовах експлуатації. Виключно на основі рекомендованого авторами підходу забезпечення способу реалізації і виконання теплової підготовки (у процесі її формування) і приймається рішення про використання того чи іншого способу теплової підготовки в реальних умовах експлуатації. Відмітимо, що у кожному конкретному випадку визначається варіант чи підхід, за допомогою якого і буде одержано найкращий результат, тому остаточне рішення часто залежить від багатьох факторів. Вибір режимів теплової підготовки двигуна ТЗ залежить від виду палива і способу теплової підготовки, а також забезпечення передпускової та післяпускової теплової підготовки на за допомогою керування СТП на основі ТАФП [1, 5, 10]. Існують чотири основні режими теплової підготовки ТЗ із двигуном, який працює на газовому паливі, а саме: прогрів зупиненого ТЗ у режимі холостого ходу; прогрів зупиненого ТЗ у режимі холостого ходу з підключенням навантаження; прогрів зупиненого ТЗ у режимі холостого ходу і в русі; прогрів ТЗ у русі. Тривалість прогріву визначалася кількістю енергії, що виділялася у двигуні в процесі згоряння палива і відводилася через систему охолодження у зовнішнє середовище (втрачалася).

На першому етапі (рис. 1) проводимо визначення й оцінювання показників забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ [9, 10] у процесі формування СТП, що здійснюється з урахуванням особливостей ТАФП і складу самої СТП, і базується на описі їх даних у частині складових СТП для ТЗ в умовах експлуатації. Формування характеристик складових СТП ТЗ базується на виборі згідно з умовами експлуатації місця встановлення та об'єму ТАФП. Спочатку перевіряється достовірність одержаних результатів, тобто залежності прогріву ТАФП і СТП за характеристиками двигуна ТЗ, вже потім визначаються показники теплової підготовки з урахуванням особливостей ТАФП, складу СТП.

На другому етапі визначення та оцінка показників забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ в усталених режимах базується на описі їх характеристик [8, 9, 10], за допомогою яких досліджуються окремі критерії визначення й оцінювання у відповідному циклі усталених режимів. Одним із недоліків цього методу є неврахування особливостей роботи двигунів ТЗ у неусталених режимах, а також різні умови порівняння характеристик прогріву двигунів різних типів. На цьому етапі рекомендується використовувати саме характеристики теплової підготовки двигуна ТЗ, отримані експериментально і за допомогою саме математичних моделей, одержаних внаслідок дослідження процесу прогріву двигуна ТЗ. На цьому етапі існує можливість формування системи теплової підготовки двигуна ТЗ і вибір режимів прогріву двигуна ТЗ. Після перевірки правильності залежностей забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ в усталених режимах можна проводити відповідне визначення їх показників.

На третьому етапі описуються режими руху ТЗ в їздовому циклі, здійснюється визначення й оцінка показників забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ, враховуючи як особливості роботи саме в неусталених режимах у процесі руху, так і процес прогріву двигуна ТЗ [10]. Після перевірки достовірності результатів за експериментальними даними можна проводити визначення показників теплової підготовки двигуна ТЗ в умовах їздових циклів.

На четвертому етапі визначаються й оцінюються показники забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ у русі на маршруті, де поряд із моделюванням окремих режимів руху моделюються маршрутні умови, які дають змогу враховувати дорожні, транспортні й умови керування ТЗ. Після виконання перевірки достовірності результатів за експериментальними даними можна проводити визначення показників теплової підготовки двигуна ТЗ у русі на маршруті [10].

На кожному етапі визначення й оцінювання показників забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ виконується перевірка правильності результатів шляхом їх порівняння як з експериментальними, так і зі статистичними даними. Наприкінці алгоритму виконується оцінювання способу теплової підготовки двигуна ТЗ і загальна економічна оцінка реалізації теплової підготовки досліджуваних варіантів і формується висновок щодо забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ, що працює на газовому паливі, у відповідних умовах експлуатації. Сформований підхід дає змогу системно проводити організацію дослідження для вирішення задач теплової підготовки двигуна ТЗ в умовах експлуатації. Саме для цього були встановлені й обґрунтовані методи визначення та оцінювання показників теплової підготовки двигуна ТЗ в умовах експлуатації.

Зупинимося на особливостях обраних режимів теплової підготовки двигуна ТЗ, що працює на зрідженому газовому паливі. Зазначимо, що в умовах експлуатації існують показники, які є окремими критеріями теплової підготовки двигуна ТЗ. На основі цих показників відбувається вибір і оцінювання забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ саме з огляду на умови експлуатації.

Враховуючи змінний характер процесів теплової підготовки двигуна ТЗ в процесах роботи як на рідкому, так і газовому видах палив, саме при різних режимах прогріву в умовах експлуатації для оцінки витрати палива, було запропоновано відповідні коефіцієнти паливовикористання для рідкого (бензин)  $K_{G_r.P.П}$ , газового палива (зріджений нафтовий газ)  $K_{G_r.Г.П}$  без СТП і для рідкого палива після використання СТП у складі ТА  $K_{G_r.P.П}ТА$  відповідно.

Запропонований підхід є ефективною основою при проектуванні й експлуатації систем СТП із ТАФП, а також для коригування їх параметрів у процесі проведення досліджень і оптимізації елементів конструкції. Завдяки розробленому підходу досягається системність у дослідженні процесів забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ в умовах експлуатації.

Використання безрозмірних факторів дає змогу абстрагуватися від розмірностей, зосереджуючи увагу на характерних особливостях протікання характеристик впливу СТП з ТАФП на витрату палива ТЗ, оснащеного газовою апаратурою, в процесах прогрівання. Завдяки введенню коефіцієнтів раціонального паливовикористання:

$K_{G_r.P.П}$  – коефіцієнт паливовикористання рідкого палива (бензин);

$K_{G_r.Г.П}$  – коефіцієнт паливовикористання газового палива (пропан/бутан);

$K_{G_r.P.П}ТА$  – коефіцієнт паливовикористання рідкого палива після використання системи теплової підготовки з тепловим акумулятором.

Вплив обраної системи теплової підготовки на паливну економічність ТЗ, який переобладнаний на роботу на зрідженому газовому паливі (у різних режимах прогріву), ТЗ можна оцінити виключно на основі теплового акумулятора фазового переходу.

$$K_{G_r.P.П} = \frac{G_{T.PП}(t_{OC} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}; \quad (1)$$

$$K_{G_r.Г.П} = \frac{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C}) - G_{PП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}; \quad (2)$$

$$K_{G_r.P.П}ТА = \frac{G_{PП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})}{G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})}, \quad (3)$$

де  $G_{T.PП}(t_{OC} - t_{П^{\circ}C})$  – витрата рідкого палива у заданих межах температури навколишнього середовища до переходу системи живлення ТЗ на газове паливо;  $G_{ТП}(t_{OC} - t_{85^{\circ}C})$  – сумарна витрата палива у заданих межах температури навколишнього середовища;  $G_{PП}(t_{50^{\circ}C} - t_{П^{\circ}C})$  – витрата рідкого палива від значення температури охолоджувальної рідини 50 °С до моменту перемикання системи живлення ТЗ на газове паливо.

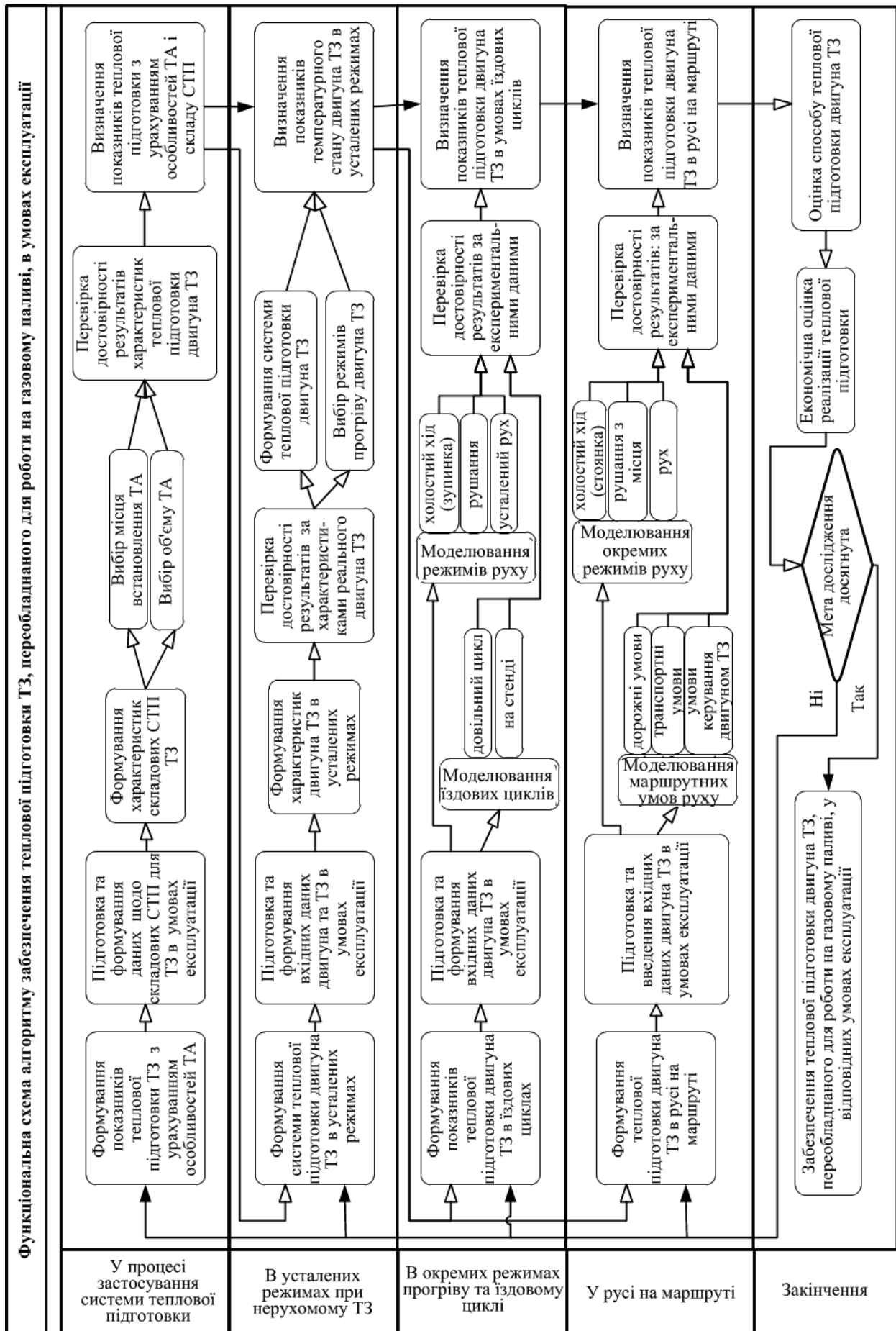


Рис. 1. Схема підходу визначення та оцінювання окремих критеріїв забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ в умовах експлуатації

Завдяки уведенню коефіцієнтів раціонального паливовикористання стало можливим проаналізувати вплив СТП на основі ТАФП на паливну економічність ТЗ, який було переобладнано для можливості роботи на зрідженому газовому паливі у різних режимах прогріву ТЗ, а саме: тепла підготовка нерухомого ТЗ в режимі холостого ходу; тепла підготовка нерухомого ТЗ в режимі холостого ходу з підключенням електричних споживачів; тепла підготовка нерухомого ТЗ в режимі холостого ходу і в русі; тепла підготовка ТЗ в русі (прогрів у русі). Можемо дійти висновку, що завдяки використанню системи теплової підготовки, враховуючи навіть різні режими прогріву ТЗ та змінні температури навколишнього середовища у межах від  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , можна досягнути економії навіть бензину, враховуючи те, що в період теплової підготовки, при прогріві до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , двигун ТЗ не працює, а прогрівається від СТП. Ця економія може бути різною залежно від обраного режиму прогріву та температури навколишнього середовища.

На рисунку 2 показано зміну аналогічних основних технічних параметрів двигуна ТЗ, що отримано експериментальним шляхом [8–10], які характеризують процеси його пуску і теплової підготовки з використанням СТП із ТАФП за аналогічних варіантів проведення теплової підготовки. З аналізу результатів теплової підготовки (фрагмент передпускової теплової підготовки) бачимо, що частота обертання колінчатого валу двигуна ( $\text{хв}^{-1}$ ) і витрата палива ( $\text{кг/год}$ ) у період передпускової теплової підготовки двигуна ТЗ за допомогою ТАФП СТП дорівнюють нулю (оскільки двигун не працює), завдяки чому відбувається економія палива і збереження ресурсу двигуна ТЗ протягом періоду теплової підготовки. Зміна параметрів температури каталізатора при використанні ТАФП для передпускової теплової підготовки аналогічна за характером їх змін без ТАФП, за винятком періоду часу передпускової теплової підготовки двигуна ТЗ від СТП.

Температура повітря на впуску,  $t_{en}\text{ }^{\circ}\text{C}$ , змінюється аналогічно, що пояснюється конструкцією двигуна ТЗ моделі G4GC, компонованням підкапотного простору і незмінними параметрами умов навколишнього середовища в процесах експериментальних досліджень [10]. Зміни основних параметрів технічного стану двигуна ТЗ пояснюються зміною подачі палива, частоти обертання колінчастого валу під час здійснення теплової підготовки у режимі прогріву в русі ТЗ.

Унаслідок проведеного дослідження температурних параметрів системи охолодження двигуна ТЗ за допомогою СДМ було встановлено, що фактичний час прогріву двигуна ТЗ до температури  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  за температури оточуючого середовища тільки за  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  при одному з режимів теплової підготовки (прогрів нерухомого ТЗ в режимі х. х.) становив 1 370 секунд, або 22,50 хвилини. Також у результаті експериментального дослідження були визначені температури переходу на подачу газового палива у системі живлення двигуна ТЗ, обладнаного ГБО 4-го покоління із СТП та без неї. Значення температури становлять  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $69\text{ }^{\circ}\text{C}$ , залежно від режимів теплової підготовки ТЗ у різних умовах експлуатації. Аналіз отриманих для температури ОС  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  результатів теплової підготовки показав, що стосовно роботи СТП: передпускова тепла підготовка охолоджувальної рідини у системі охолодження двигуна ТЗ від ТАФП триває 3,41–4,42 хв (залежно від варіантів режимів прогріву), потім, при досягненні температури у системі охолодження  $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відбувається пуск двигуна ТЗ і продовжується прогрів двигуна від ТАФП до температури охолоджувальної рідини  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після досягнення значення температури ОР  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  тепла підготовка від ТАФП припиняється та відбувається подальша зарядка ТАФП. Водночас тепла підготовка охолоджувальної рідини двигуна ТЗ стандартним методом (без використання СТП із ТАФП) буде тривати відповідно до даних температури системи охолодження [9, 10]. При оцінюванні отриманих результатів часу теплової підготовки і температури переходу двигуна ТЗ на газове паливо слід ураховувати, що запрограмована температура переходу в блоці керування системою ГБО 4-го покоління становить  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Аналогічні результати були отримані при багаторазових експериментальних дослідженнях і при усіх інших варіантах прогріву ТЗ за різними режимами в умовах експлуатації [10].

Отримані результати підтверджують факт інерційності зміни температур у системі охолодження двигуна ТЗ. Отже, підтверджується положення про те, що для отримання якісного і своєчасного переходу на зріджене газове паливо в системі охолодження двигуна ТЗ доцільно мати СТП на основі ТАФП для підігріву рідини системи охолодження. Завдяки проведеному дослідженню були отримані технічні параметри і зміни температурного стану двигуна ТЗ, які використовувалися у розрахунку витрати палива та часу теплової підготовки залежно від вибору режиму теплової підготовки двигуна ТЗ як на нафтовому паливі (бензин), так і на зрідженому газовому паливі.

Коефіцієнти паливовикористання дослідної СТП за результатами експерименту змінювалися в межах:  $K_{G_r.P.II} = 0,32\dots 0,628$ ;  $K_{G_r.II} = 0,371\dots 0,679$ ;  $K_{G_r.P.II}TA = 0,031\dots 0,275$ , що підтверджує заплановану ефективність застосування СТП із ТАФП у ТЗ в різних умовах експлуатації, за різних значень температур навколишнього середовища.

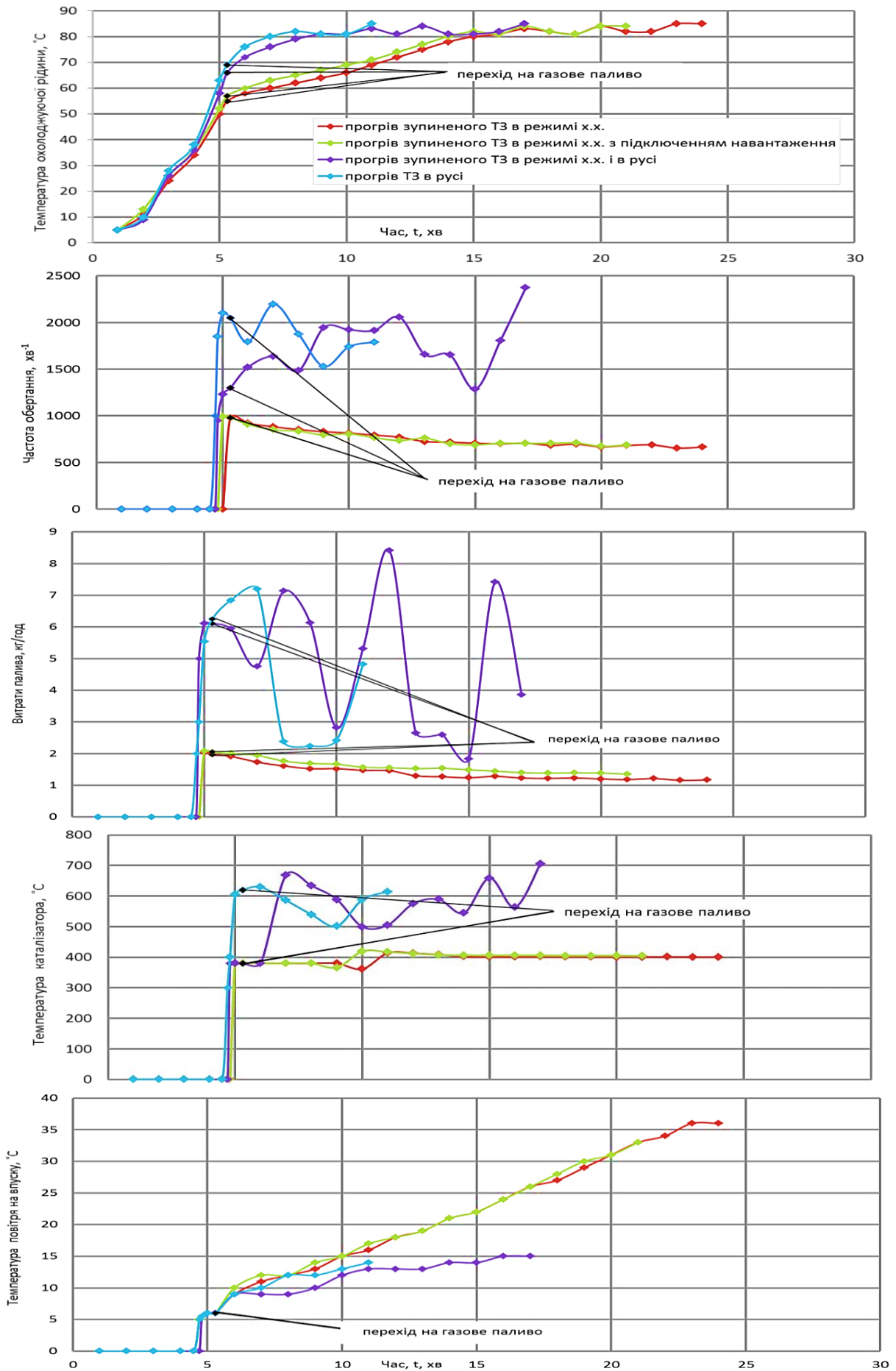


Рис. 2. Зміна основних параметрів двигуна ТЗ, обладнаного СТП на основі ТАФП, які характеризують процеси його теплової підготовки за  $t_{oc} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Найвигідніше використання СТП за мінусових температур, хоча і за невисоких плюсових температур ефект економії палива, безперечно, зберігається.

### Висновки

Для досягнення поставленої мети було удосконалено метод дослідження паливної економічності ТЗ із двигунами, які працюють на газовому паливі, оснащених системою теплової підготовки, і запропоновано підхід до розрахунку витрати палива ТЗ із двигунами, що були додатково обладнані саме акумулятором фазового переходу (тепловим) як під час передпускової, так і післяпускової теплової підготовки в умовах експлуатації. Встановлено вплив СТП із ТА фазового переходу ТЗ із двигуном, що працює на газовому паливі, на показники паливної економічності в процесах як передпускового прогріву, так і післяпускового прогріву двигуна.

Унаслідок реалізації розробленого методу дослідження паливної економічності ТЗ отримали такі результати: за температур НС  $-20^{\circ}\text{C} \dots +20^{\circ}\text{C}$  спостерігається зниження загального часу теплової підготовки (прогріву) двигуна ТЗ на 10,2–54,3 %; зменшення витрати палива (загальної) на 32–62,8 %; зниження викидів окремих компонентів шкідливих речовин у вихлопних газах при роботі на рідкому та газовому паливах відповідно 11,9–43,4 % і 12–52,47 % за незначного зростання викидів оксидів азоту. Були одержані коефіцієнти паливовикористання експериментальної СТП, які змінюються в діапазоні:  $K_{G_r.P.II} = 0,32 \dots 0,628$ ;  $K_{G_r.P.II} = 0,371 \dots 0,679$ ;  $K_{G_r.P.II} TA = 0,031 \dots 0,275$ , що підтверджує високу ефективність застосування СТП із ТА в ТЗ при змінних умовах експлуатації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator / I. Gritsuk et al. *SAE Technical Paper*. 2016. 2016-01-0204. URL: <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>
- [2] Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д. С. Адров та ін. *Зб. наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ*. Донецьк: ДонІЗТ, 2011. № 27. С. 117–126.
- [3] ICE heating systems: the basics of functioning / V. P. Volkov et al. Donetsk: Landon-XXI, 2015. 314 p.
- [4] Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators / I. Gritsuk et al. *SAE Technical Paper*. 2019. 2019-01-0906. URL: <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>
- [5] Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems) / I. Gritsuk et al. *SAE Technical Paper*. 2020. 2020-01-2031. doi:10.4271/2020-01-2031.
- [6] The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles / I. Gritsuk et al. Kharkiv: Herald of Kharkiv National Automobile and Highway University, 2015. 32 p.
- [7] Gritsuk I. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions / I. Gritsuk et al. *SAE Technical Paper*. 2018. 2018-01-0024. URL: <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>
- [8] Погорлецький Д. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS. *Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики: монографія* / за наук. ред. проф. Ігоря Грищука. Херсон: ХДМА, 2019. С. 383–394.
- [9] Особливості теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації / Д. С. Погорлецький та ін. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 286.
- [10] Поліпшення паливної економічності і екологічних показників транспортних засобів з системою теплової підготовки: монографія / І. В. Гришук та ін. Харків–Херсон–Вінниця: Едельвейс і К, 2022. 178 с.

**Гришук Ігор Валерійович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: [gritsuk\\_iv@ukr.net](mailto:gritsuk_iv@ukr.net)

**Волков Володимир Петрович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: [volf-949@ukr.net](mailto:volf-949@ukr.net)

**Волкова Тетяна Вікторівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій, e-mail: [wolf949@ukr.net](mailto:wolf949@ukr.net)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

**Погорлецький Дмитро Сергійович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, e-mail: [dimon150582@gmail.com](mailto:dimon150582@gmail.com)

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

**Кужель Володимир Петрович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [kuzhel2017@gmail.com](mailto:kuzhel2017@gmail.com), [kuzhel\\_v@vntu.edu.ua](mailto:kuzhel_v@vntu.edu.ua)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця



I. Gritsuk<sup>1</sup>  
V. Volkov<sup>1</sup>  
D. Pohorletskyi<sup>2</sup>  
V. Kuzhel<sup>3</sup>  
T. Volkova<sup>1</sup>

## Improvement of the method for determining the fuel consumption of a vehicle operating on alternative fuel

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University

<sup>2</sup>Kherson State Maritime Academy

<sup>3</sup>Vinnitsia National Technical University

*The purpose of the conducted research is to improve the method of calculation and determination of both fuel consumption and emissions of harmful substances from the engines of vehicles converted to run on alternative fuel. The article examines the peculiarities of determining fuel consumption and emissions of harmful substances from the engines of vehicles converted to run on alternative fuel. The method of calculating fuel consumption and environmental indicators of vehicles running on alternative fuel has been developed, which is based on a systematic combination of methods and means of obtaining information about the processes and operating conditions of vehicles, which are obtained as a result of remote monitoring of parameters of the technical condition of vehicles. The peculiarity of the method is that it involves the joint use of both existing methods and means of obtaining information on vehicle operation processes, engine thermal parameters, fuel consumption and emissions of harmful substances. This method of calculating both fuel consumption and emissions of harmful substances in the exhaust gases of a vehicle with engines converted to run on gas fuel allows to evaluate the efficiency of the operation of the vehicle engine thanks to the analysis of current and total values of indicators of fuel consumption and emissions of harmful substances in processes pre-launch and post-launch thermal preparation and during its movement in the driving cycle and during movement on the route.*

*In the work, the authors proposed to use the fuel consumption coefficients for both liquid and gaseous fuels to determine the fuel consumption in operating conditions, which make it possible to abstract from the dimensions. For the vehicle engine cooling system, it is proposed to measure fuel efficiency and other environmental indicators according to existing methods in several modes of heating the coolant up to a temperature of 50°C.*

**Key words:** vehicle, alternative fuel, fuel consumption, emissions of harmful substances, thermal preparation, monitoring of technical condition, thermal parameters of the engine, operating conditions.

**Gritsuk Igor** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor at the Department of Technical Operation and Service of Automobiles, e-mail: [gritsuk\\_iv@ukr.net](mailto:gritsuk_iv@ukr.net)

**Volkov Volodymyr** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technical Operation and Service of Automobiles, e-mail: [volf-949@ukr.net](mailto:volf-949@ukr.net)

**Pohorletskyi Dmytro** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants Operation, e-mail: [dimon150582@gmail.com](mailto:dimon150582@gmail.com)

**Volkova Tetiana** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transport Technologies, e-mail: [wolf949@ukr.net](mailto:wolf949@ukr.net)

**Kuzhel Volodymyr** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: [kuzhel2017@gmail.com](mailto:kuzhel2017@gmail.com), [kuzhel\\_v@vntu.edu.ua](mailto:kuzhel_v@vntu.edu.ua)