

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І  
НАУКИ УКРАЇНИ**

**Державний вищий  
навчальний заклад  
«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
(ДВНЗ «ПДТУ»)**

**p-ISSN 2225-6733  
e-ISSN 2519-271X**

***ВІСНИК  
ПРИАЗОВСЬКОГО  
ДЕРЖАВНОГО  
ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ***

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Видається 2 рази на рік  
з 1995 року**

**Випуск 43**

**Серія: Технічні науки**

**Маріуполь, 2021**

**MINISTRY OF EDUCATION AND  
SCIENCE OF UKRAINE**

**State higher  
educational institution  
«PRIAZOVSKYI STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY»  
(SHEI «PSTU»)**

**p-ISSN 2225-6733  
e-ISSN 2519-271X**

***REPORTER  
OF THE PRIAZOVSKYI  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY***

**COLLECTION OF SCIENTIFIC  
WORKS**

**Published twice a year,  
since 1995**

**Issue 43**

**Section: Technical sciences**

**Mariupol, 2021**

## УДК 06.055.2

Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Вип. 43. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2021. – 224 с. – (Технічні науки). – Режим доступу: <https://doi.org/10.32782/2225-6733.43.2021>.

У збірнику публікуються результати теоретичних та експериментальних досліджень вчених вищого навчального закладу та провідних спеціалістів у галузі технічних наук, показаний їхній вклад у розвиток науки та сучасних технологій. Публікації видання зберігаються на офіційному сайті Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського.

### Головний редактор

Чигарьов Валерій Васильович *д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»*

### Заст. головного редактора

Матвієнко Володимир Миколайович *д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»*

### Відповідальний секретар

Савенко Ольга Сергіївна *канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»*

### Редакційна колегія

Angeliki G. Lekatou	<i>Dr., PhD, University of Ioannina (UOI), Greece</i>
Hossam Ahmed Mohamed Halfa	<i>Dr., PhD, Central Metallurgical R&amp;D Institute (CMRDI), Cairo, Egypt</i>
Sergey Edward Lyshevski	<i>Dr., PhD, Rochester Institute of Technology, New York, USA</i>
Белоконь Каріна Володимирівна	<i>канд. техн. наук, доцент, Запорізька державна інженерна академія</i>
Білоусов Євген Вікторович	<i>канд. техн. наук, доцент, Херсонська державна морська академія</i>
Бурлака Володимир Володимирович	<i>д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Бялобржеський Олексій Володимирович	<i>канд. техн. наук, доцент, КрНУ ім. Михайла Остроградського</i>
Володарець Микита Віталійович	<i>канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Гришук Ігор Валерійович	<i>д-р техн. наук, професор, Херсонська державна морська академія</i>
Губинський Михайло Володимирович	<i>д-р техн. наук, професор, Національна металургійна академія України</i>
Гулаков Сергій Володимирович	<i>д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Єфременко Василь Георгійович	<i>д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Жежеленко Ігор Володимирович	<i>акад., д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Клецька Ольга Віталіївна	<i>канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Ковалевська Олена Сергіївна	<i>канд. техн. наук, доцент, Донбаська державна машинобудівна академія</i>
Кухар Володимир Валентинович	<i>д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Лук'яненко Анна Олегівна	<i>канд. техн. наук, Інститут електроварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України</i>
Мазур Владислав Олександрович	<i>канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Мамедов Аріф Тапдиг огли	<i>д-р техн. наук, професор, Азербайджанський технічний університет</i>
Парфененко Юлія Вікторівна	<i>канд. техн. наук, доцент, Сумський державний університет</i>
Петренко Тетяна Григорівна	<i>канд. техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту</i>
Плахтій Олександр Андрійович	<i>канд. техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту</i>
Поднебенна Світлана Костянтинівна	<i>д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
П'ятикоп Олена Євгенівна	<i>канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Сагіров Юрій Георгійович	<i>канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Саєнко Юрій Леонідович	<i>д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Сорочан Олена Миколаївна	<i>канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»</i>
Ткачов Віктор Васильович	<i>д-р техн. наук, професор, НТУ «Дніпровська політехніка»</i>
Чеберячко Юрій Іванович	<i>д-р техн. наук, професор, НТУ «Дніпровська політехніка»</i>
Чейлях Олександр Петрович	<i>д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»</i>

### Коректори

Корчагіна Тетяна В'ячеславівна; Міхно Наталя Анатоліївна

Адреса редакції збірника: ДВНЗ «ПДТУ», к. 175, вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Донецька обл., 87555, Україна.

Address: PSTU, vul. Universytetska, 7, Mariupol, Donetsk Oblast, 87555, Ukraine.

Tel.: (0629) 44-62-34, tel/fax (0629) 33-34-16; fax: (0629) 52-99-24.

E-mail: [vestnik.pgtu@gmail.com](mailto:vestnik.pgtu@gmail.com) (для надсилання статей).

Зареєстрований Міністерством Юстиції України 21.06.2011 р., Свідоцтво КВ № 17950 – 6800 ПР. Збірник входить до переліку наукових фахових видань (категорія «Б»), в якому можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт, згідно з Наказами Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020, № 886 від 02.07.2020. Видається два рази на рік.

Рекомендовано до друку Вченою Радою ДВНЗ «ПДТУ», протокол № 6 від 30.12.2021 р.

**ISSN 2225-6733 (Print), ISSN 2519-271X (Online)**

© ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (ДВНЗ «ПДТУ»), 2021

**РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ**

**RIVER AND SEA TRANSPORT**

**Ляшенко Б.А., Агєєв М.С.,  
Волков В.П., Захарчук О.В.,  
Устінцев С.М.**

*Побудова методології оптимального використання багатоопераційних технологій відновлення та зміцнення поверхонь деталей суднових механізмів в процесі ремонту*

**191**

**B.A. Lyashenko, M.S. Ahieiev,  
V.P. Volkov, O.V. Zaharchuk,  
S.M. Ustincev**

*Construction of a methodology for the optimal use of multi-operational technologies for the restoration and hardening of surfaces of parts of ship mechanisms in the process of repair*

**Грицук І.В., Черненко В.В.**

*Особливості інформаційної моделі моніторингу дизельної електростанції у складі системи прогнозування параметрів технічного стану*

**202**

**I.V. Gritsuk, V.V. Chernenko**

*Peculiarities of the information model of diesel power plant monitoring as a part of the technical condition forecasting system*

**АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ**

**ROAD TRANSPORT**

**Погорлецький Д.С., Грицук І.В.,  
Волков В.П., Володарець М.В.,  
Білай А.В., Український Є.О.**

*Системний підхід до аналізу структурних схем систем теплової підготовки транспортних засобів, працюючих на газовому паливі*

**215**

**D.S. Pohorletskyi, I.V. Gritsuk,  
V.P. Volkov, M.V. Volodarets,  
A.V. Bilai, Y.O. Ukrainskyi**

*System approach to the analysis of structural diagrams of thermal preparation systems of the vehicles operating on gas fuel*

**ДО УВАГИ АВТОРІВ**

**224**

**INTO CONSIDERATION OF AUTHORS**

**274 АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ**

УДК 62-6.62-62

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.25

© Погорлецький Д.С.<sup>1</sup>, Грицук І.В.<sup>2</sup>, Волков В.П.<sup>3</sup>, Володарець М.В.<sup>4</sup>,  
Білай А.В.<sup>5</sup>, Український Є.О.<sup>6</sup>**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ СТРУКТУРНИХ СХЕМ СИСТЕМ  
ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ,  
ПРАЦЮЮЧИХ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ**

В статті розглядаються можливість використання та систематизації різних можливих схем та варіантів системи теплової підготовки для транспортного засобу, обладнаного двигуном, який переобладнано для роботи на зрідженому газовому паливі. За рахунок використання методу морфологічного аналізу виділені основні функціональні елементи з їх складовими частинами, які мають місце в реальних умовах експлуатації транспортного засобу. Авторами він застосовується в тому випадку, якщо потрібно визначити максимальну кількість поєднань за заданими ознаками, а потім вибрати найбільш перспективні схеми та варіанти системи теплової підготовки двигуна транспортного засобу, переобладнаного для роботи на газовому паливі. Такий підхід найчастіше застосовується при розробці можливих варіантів поєднання різних схем систем теплової підготовки транспортних засобів, працюючих на газіву паливі, або, наприклад, варіантів взаємодії складових системи, від яких залежить вибір можливого вирішення проблеми теплової підготовки транспортного засобу, чи коли потрібно перевірити можливість одночасного застосування різних систем, механізмів та процесів. Для забезпечення теплової підготовки транспортних засобів, поліпшення їх екологічних та економічних показників у поєднанні зі складними питаннями їх безпечного використання в природному середовищі (під час експлуатації), вимагається застосування універсальних методів аналізу, які повинні надати можливість широкого оцінювання складних технічних об'єктів та їх впливу на навколишнє середовище під час експлуатації. Серед сучасних методів наукових досліджень перерахованим вимогам цілком відповідають методи системного та морфологічного аналізу, вони надають можливість кількісного порівняння варіантів досліджуваної системи з урахуванням її зв'язків, в тому числі, з навколишнім середовищем під час експлуатації транспортного засобу. Загалом, метод морфологічного аналізу варто використовувати, коли стоїть завдання аналізу багатьох варіантів з урахуванням будь-яких параметрів для подальшого вибору найбільш перспективних поєднань.

**Ключові слова:** транспортний засіб, морфологічний аналіз, витрата палива, двигун, експлуатація, температурний вплив.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, ORCID: 0000-0002-1256-8053, [dimon150582@gmail.com](mailto:dimon150582@gmail.com)

<sup>2</sup> д-р техн. наук, професор, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, ORCID: 0000-0001-7065-6820, [griusuk\\_iv@ukr.net](mailto:griusuk_iv@ukr.net)

<sup>3</sup> д-р техн. наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, ORCID: 0000-0003-2202-3441, [volf-949@ukr.net](mailto:volf-949@ukr.net)

<sup>4</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID: 0000-0002-8526-4800, [volodarets.nikita@gmail.com](mailto:volodarets.nikita@gmail.com)

<sup>5</sup> директор, Маріупольський будівельний фаховий коледж, м. Маріуполь

<sup>6</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID: 0000-0002-4552-2174, [e.a.ukrainskyi@gmail.com](mailto:e.a.ukrainskyi@gmail.com)

*D.S. Pohorletskiy, I.V. Gritsuk, V.P. Volkov, M.V. Volodarets, A.V. Bilai, Y.O. Ukrain-skiy. System approach to the analysis of structural diagrams of thermal preparation systems of the vehicles operating on gas fuel. The article considers the possibility of using and systematizing various schemes and options for a thermal preparation system for a vehicle that has been converted to operate on liquefied gas fuel. The applied method of morphological analysis made it possible to identify the main functional elements with their constituent parts that take place in real conditions of operation of the vehicle. This method is applied if it is necessary to determine the maximum number of combinations according to the given characteristics, and then to select the most promising schemes and options for the thermal preparation system of a vehicle engine converted to run on gas fuel. This approach is most often used in the development of options for combining schemes of thermal preparation systems for vehicles operating on gas fuel or the options for the interaction of system components that determine the choice of a possible solution of a vehicle thermal preparation, or when it is necessary to check the possibility of simultaneous use of different systems, mechanisms and processes. Universal methods of analysis providing an opportunity for a broad assessment of complex technical objects and their impact on the environment are required to ensure the thermal preparation of vehicles, to improve their environmental and economic performance, together with the complex issues of their safe use during operation. Among the modern methods of scientific research, the methods of systemic and morphological analysis fit the requirements; these methods providing the possibility of a quantitative comparison of the variants of the system under study, taking into account its relationships, with the environment as well. In general, the method of morphological analysis should be used when it is necessary to analyze options taking into account many parameters in order to further select the most promising combinations.*

**Key words:** vehicle, morphological analysis, fuel consumption, engine, operation, temperature effect.

**Постановка проблеми.** Вирішення задач теплової підготовки транспортних засобів (ТЗ), поліпшення їх показників у поєднанні зі складними питаннями їх безпечного існування в природному середовищі потребує застосування універсальних методів, що повинні давати можливість всебічної оцінки складних технічних об'єктів, їх впливу на навколишнє середовище [1]. Серед відомих сучасних наукових методів вказаним вимогам цілком відповідають методи системного аналізу, що дають можливість кількісного порівняння варіантів досліджуваної системи із урахуванням її зв'язків, в тому числі, з навколишнім середовищем [1, 2].

Застосування методів системного аналізу при формуванні і оцінюванні властивостей транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, пов'язано із необхідністю врахування впливу на її властивості великої кількості зовнішніх факторів і внутрішніх параметрів. Це стосується як ТЗ з властивими йому особливостями в частині газової апаратури, так і особливостей побудови бортових систем теплової підготовки. З використанням методів системного аналізу з'являється можливість поєднання вказаних факторів і особливостей, а також створюється саме на цій основі математичний апарат, що дозволяє аналізувати властивості транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, в залежності від варіювання його параметрами і комплектаціями у змінних умовах експлуатації [1, 3]. Крім цього, аналіз структурних схем систем теплової підготовки транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, дає можливість здійснювати прогнозування його майбутнього розвитку як в частині ТЗ і газової апаратури, так і в частині систем теплової підготовки [4-7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі численні класифікації методів формалізованого представлення складних систем. Серед них виділяють такі групи методів формалізованого представлення: аналітичні, статистичні, теоретико-множинні, логічні, лінгвістичні, семіотичні, графічні [7]. Загальна спрямованість означених класифікацій полягає в формалізації поставлених задач, якщо вони не можуть бути вирішеними в рамках попередньої групи методів [7]. Застосування розглянутих методів системного аналізу в процесах дослідження властивостей транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, дозволяє створити специфічну методику системного аналізу, що може бути використана при поліпшенні показників її властивостей при застосуванні засобів теплової підготовки [7].

При формуванні системного підходу для здійснення аналізу властивостей автотранспортної техніки методами морфологічного аналізу користувались численні автори. Серед них найбільш цікаві роботи [1-16]. Але в попередніх дослідженнях не використовувався вказаний підхід для систем теплової підготовки транспортних засобів, працюючих на газовому паливі. Тому вважаємо, що урахування особливостей застосування газового палива в ТЗ при забезпеченні теплової підготовки потребує урахування інших, раніше не досліджуваних особливостей конструкції, процесів та зв'язків з оточуючим середовищем ТЗ, двигуна і системи теплової підготовки (СТП).

**Метою дослідження** є формування системного підходу для здійснення аналізу структурних схем систем теплової підготовки транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, з урахуванням призначення та умов експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Для здійснення аналізу структурних схем СТП транспортних засобів, працюючих на газовому паливі, відповідно до загальної структури методики наукового дослідження [10-12], виконано систематизацію вірогідних схем варіантів систем теплової підготовки для транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на газовому паливі, з використанням методу морфологічного аналізу.

Було виділено функціональні елементи з їх складовими: транспортний засіб, переобладнаний для роботи на зрідженому газовому паливі, система теплової підготовки ТЗ, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі. Для 9-и основних морфологічних ознак функціональних елементів системи складено перелік варіантів (від 3 до 6) їх технічної реалізації, від них залежить досягнення цілі функціонування системи. Кожна з морфологічних ознак характеризується функцією, конструктивним рішенням чи системою, режимом і станом роботи системи, формою взаємодії складових системи, від чого залежить вибір можливого вирішення проблеми теплової підготовки ТЗ, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі, та можливість функціонування СТП під час експлуатації ТЗ. Основні характеристики (морфологічні ознаки) СТП ТЗ на етапі здійснення теплової підготовки показано у вигляді морфологічної матриці (рис. 1).

Для виконання морфологічного аналізу були сформовані цілі та задачі системи теплової підготовки. Для кожної з 9 морфологічних ознак СТП ТЗ, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі, вибрані можливі варіанти реалізації. Зміна конструктивного вираження окремого варіанту будь-якої з ознак формує нову схему забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ.

Для поєднання морфологічних формул різних варіантів (позначення відповідно  $x_1$  (варіант першої ознаки),  $x_2$  і далі) застосовуються схеми запропонованих ознак відповідно до варіанту (з їх складовими: екологічними, енергетичними, конструктивними та габаритними).

Для ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому зрідженому паливі та обладнаного системою теплової підготовки, застосовано підхід, за допомогою якого забезпечується зміна можливості призначення ТЗ в частині самого транспортного засобу та двигуна ( $x_1$ ), наведена адаптованість до використання різних видів палива ( $x_2$ ), розкрито особливості конструктивних елементів системи живлення газовим паливом ( $x_3$ ), особливості встановлення системи живлення газовим паливом ( $x_4$ ), розглянуто засоби теплової підготовки ТЗ ( $x_5$ ), складові СТП ( $x_6$ ), вплив СТП на переобладнаний ТЗ ( $x_7$ ), можливе призначення та спосіб роботи СТП ТЗ ( $x_8$ ), режими роботи системи теплової підготовки ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі ( $x_9$ ).

Запропонований підхід дозволив розглянути та дослідити різні схеми використання та встановлення СТП на ТЗ, звертаючи увагу на закономірності (морфології) побудови. Даний підхід дозволяє враховувати не тільки відомі варіанти, а й варіанти, які при звичайному використанні можуть бути знехтувані.

Відповідно до матеріалів і положень, розглянутих у джерелах [10-18], метод дослідження, оснований на морфологічній структурі окремих складових СТП ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, у складі самого ТЗ, обладнаного СТП на основі теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП), дозволить проаналізувати різні об'єкти, звертаючи увагу на особливості будови, призначення і функціональні задачі. Для поєднання морфологічних формул розглянутих варіантів додамо окремі схеми ознак відповідно до варіанта з властивими їм показниками.

ТЗ переобладнаний для роботи на газомому паливі в умовах експлуатації	1. Функціональне призначення ТЗ	1.1. Транспортний засіб	1.1.1. Механічний транспортний засіб	1.1.2. Легковий автомобіль	1.1.3. Транспортний засіб для виконання спеціальних робочих функцій		
		1.2. Двигун за призначенням	1.2.1. Транспортний	1.2.2. Промисловий	1.2.3. Комбінований		
	2. Адаптованість до споживання різних видів палива	2.1. Бензин	2.2. Зріджене газове паливо (пропан-бутан)	2.3. Метан	2.4. Одночасна подача рідкого та газового палива	2.5. Природний газ	2.6. Спиртові палива
	3. Конструктивні елементи системи живлення газовим паливом	3.1. Редуктор-випарник звичайний	3.2. Редуктор-випарник з підігрівом	3.3. Форсунки мембранного типу	3.4. Форсунки тарілчастого типу	3.5. Форсунки штокові	3.6. Комбінація варіантів
	4. Встановлення системи живлення газовим паливом	4.1. Під'єднання редуктора послідовно дросельної заслінки	4.2. Під'єднання редуктора паралельно до радіатора обігрівача салону	4.3. Під'єднання редуктора послідовно радіатору обігрівача салону	4.4. Під'єднання редуктора паралельно до радіатора системи охолодження (при нижньому розміщенні термостата)		
5. Засоби теплової підготовки	5.1. Рідинний опалювач «Webasto»	5.2. Система підігріву редуктора AC R01 CS	5.3. Тепловий акумулятор	5.4. Електричні підігрівачі	5.5. Накопичувач тепла (термос)		
Система теплової підготовки ТЗ, переобладнаного для роботи на газомому паливі	6. Складові системи	6.1. Тепловий акумулятор фазового переходу	6.2. Система заряджання теплового акумулятора від відпрацьованих газів	6.3. Накопичувач охолоджувальної рідини з тепловим акумулятором	6.4. Система керування тепловою підготовкою	6.5. Система заряджання теплового акумулятора від електронагрівника	
	7. Вплив системи на переобладнаний ТЗ	7.1. Прогрів системи охолодження двигуна ТЗ (охолоджувальна рідина)					
		7.2. Прогрів система мащення двигуна ТЗ (моторне масло)	7.3. Прогрів редуктора-випарника системи подачі газового палива	7.4. Прогрів теплообмінника салону ТЗ	7.5. Поліпшення економічності та екологічної безпеки ТЗ		
	8. Призначення системи	8.1. Зберігання теплової енергії	8.2. Передпусков а тепла підготовка до 50 °С	8.3. Післяпускова тепла підготовка від 50°С до робочої температури двигуна ТЗ	8.4. Комбінація варіантів 8.1, 8.2	8.5. Комбінація варіантів 8.1, 8.2, 8.3.	8.6. Зарядка теплового акумулятора
	9. Режими теплової підготовки переобладнаного ТЗ	9.1. Теплова підготовка нерухомого транспортного засобу в режимі холостого ходу	9.2. Теплова підготовка нерухомого транспортного засобу в режимі холостого ходу з підключенням електричних споживачів	9.3. Теплова підготовка нерухомого транспортного засобу в режимі холостого ходу і в русі	9.4. Теплова підготовка транспортного засобу в русі (прогрів у русі)		

Рис. 1 – Морфологічна матриця системи теплової підготовки транспортного засобу, переобладнаного для роботи на газомому паливі

Сформовані морфологічні матриці вміщують у собі велику кількість несумісних варіантів, це є недоліком даного методу, його перевагою є багатоваріантність (кількість розглянутих варіантів  $4,86 \cdot 10^6$ ). Слід сказати, що даний метод, заснований на морфології об'єктів та дозволяє аналізувати різні структури об'єкта, виникаючі з закономірностей побудови [1-20].

Схема СТП у складі ТАФП для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газомому паливі, в базовому варіанті складається з таких сполучених ознак:

$$[(x_{1.1} + x_{1.2}; x_{2.1}; x_{3.1}; x_{4.1}; x_{5.3}) + (x_{6.1}; x_{7.1}; x_{8.1}; x_{9.1})].$$

Це механічний транспортний засіб ( $x_{1.1}$ ), який оснащено двигуном згідно призначення ( $x_{1.2}$ ), працюючим на рідкому паливі ( $x_{2.1}$ ), обладнаний газовим редуктором-випарником ( $x_{3.1}$ ), який під'єднано послідовно до дросельної заслінки ( $x_{4.1}$ ), СТП виконана у складі теплового акумулятора ( $x_{5.3}$  і  $x_{6.1}$ ), від нього виконується прогрів системи охолодження двигуна ТЗ (охолоджувальної рідини) ( $x_{7.1}$ ), в період передпускової теплової підготовки двигуна ТЗ до 50°C ( $x_{8.2}$ ), під час теплової підготовки нерухомого ТЗ у режимі холостого ходу ( $x_{9.1}$ ).

З огляду на задачі дослідження запропоновано різні варіанти схем СТП двигунів ТЗ з різним компонуванням, їх морфологічні формули мають вигляд, який мав різні варіювання під час дослідження (рис. 2).

Для виконання поставлених задач було розроблено принципову схему СТП на основі ТАФП для ТЗ з двигуном, переобладнаним для роботи на газовому паливі, яка входить до конструкції систем охолодження та випуску відпрацьованих газів двигуна ТЗ.

Це відбувається під час прогріву охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна ТЗ та забезпечує перемикання системи живлення двигуна ТЗ від рідкого на газове паливо. Система теплової підготовки двигуна ТЗ з утилізацією теплоти відпрацьованих газів і передачею теплової енергії ТАФП складається з ТАФП, з'єднаного з системою охолодження та маючого можливість заряджатися від теплової енергії відпрацьованих газів двигуна [1-16].

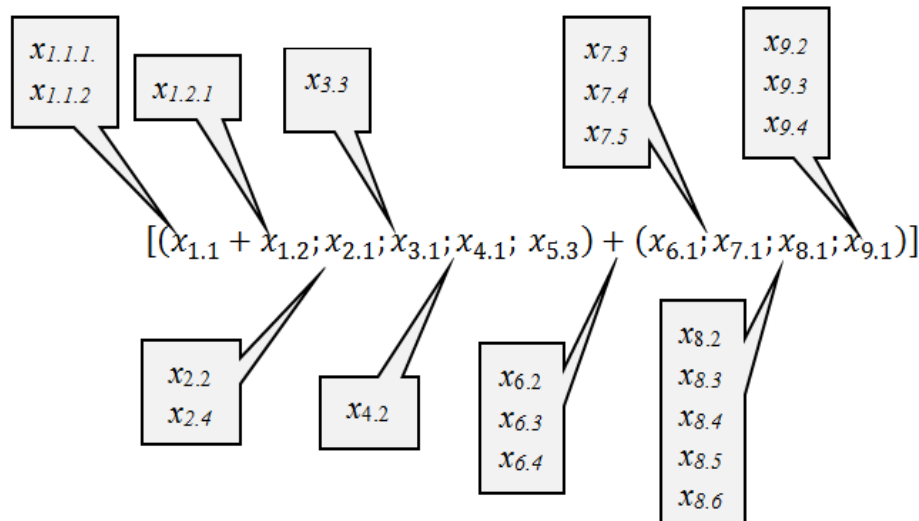


Рис. 2 – Морфологічна формула

Після проведеного морфологічного аналізу та визначення конструктивних і технологічних особливостей, розроблено схему СТП двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, з використанням ТАФП [10-12, 23]. Відповідно до схеми СТП двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на газовому паливі, з СТП на основі ТАФП, який здатен підтримувати температуру охолоджувальної рідини при зупиненому двигуні в межах заводської інструкції газового редуктора для пуску на газовому паливі не нижче + 50°C за низьких температур навколишнього середовища [16-23].

Система працює так: при зменшенні температури теплоносія в ТАФП підтримання температури виконується завдяки теплоті відпрацьованих газів двигуна, шляхом здійснення його роботи у циклічному режимі. Теплова підготовка двигуна ТЗ з використанням СТП виконується за рахунок передпускового та післяпускового прогріву охолоджувальної рідини за наступних варіантів комплектації системи: при прогріві двигуна ТЗ з використанням штатних систем; при використанні СТП з ТАФП; при поєднанні циклічного режиму роботи двигуна ТЗ та СТП з ТАФП.

Тривале зберігання теплової енергії охолоджувальної рідини двигуна ТЗ за рахунок використання СТП виконується у наступних варіантах комплектації системи: зберігання теплової енергії з використанням штатних систем двигуна ТЗ; використання СТП з ТАФП; використання тільки ТАФП.

Під час пуску двигуна ТЗ після тривалої зупинки, включається СТП, яка використовує



ТАФП, який працює за власним алгоритмом. Під час роботи двигуна та температури охолоджувальної рідини в системі охолодження більше  $+ 50^{\circ}\text{C}$  спеціальна заслінка переводиться до положення, коли відпрацьовані гази проходять через теплообмінник та заряджають ТАФП [1-16]. Після зарядки теплового акумулятору заслінка переводиться до положення, коли відпрацьовані гази двигуна ТЗ надходять у вихлопну трубу, для контролю температури відпрацьованих газів встановлено датчик температури [10-23].

Подальша робота СТП проходить на основі даних від додатково встановлених датчиків температури та штатного датчика температури газового редуктора випарника, отримана інформація обробляється в блоці керування і подається сигнал на блок керування газовим редуктором. Відповідно до показників температури, система вираховує оптимальну температуру охолоджувальної рідини, якщо під час роботи двигуна ТЗ температура охолоджувальної рідини опуститься нижче  $+ 50^{\circ}\text{C}$ , тоді після отримання сигналу від датчиків температури, до блока керування системою регулювання температури двигуна, надійде сигнал та ввімкнеться електричний водяний насос, який подає охолоджувальну рідину з системи охолодження двигуна до теплового акумулятору, з якого відбирається накопичена від відпрацьованих газів тепла енергія, до системи охолодження двигуна ТЗ [1-16, 23]. За рахунок чого підтримується обумовлена інструкцією двигуна та газової системи живлення, умова підтримання температури в системі охолодження та газовому редукторі випарника, не нижче  $+ 50^{\circ}\text{C}$  [10-12, 16, 23].

Використання запропонованої СТП під час експлуатації ТЗ, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі, дозволить за рахунок керування двигуном ТЗ та системою керування температур охолоджувальної рідини двигуна ТЗ з ТАФП покращити паливну економічність та екологічні показники, у процесі утилізації теплоти від ТАФП при забезпеченні передпускового прогріву системи охолодження, без пуску двигуна ТЗ, завдяки використанню накопиченої теплової енергії в ТАФП, зменшити втрати теплової енергії з системи передпускового прогріву та часу прогріву двигуна ТЗ після передпускової теплової підготовки [1-23]. Післяпусковий прогрів двигуна ТЗ до заданої робочої температури виконується під час роботи у режимі холостого ходу, що необхідно для зарядки ТАФП, який є складовою частиною СТП.

### Висновки

Виконана систематизація та аналіз можливих структурних схем і варіантів систем теплової підготовки для транспортних засобів з двигунами, переобладнаними для роботи на зрідженому газовому паливі, за допомогою використання методу морфологічного аналізу, яким виділені основні функціональні елементи зі складовими, які мають місце в реальних умовах експлуатації ТЗ. Запропоновано можливість використання системи теплової підготовки ТЗ з двигунами, переобладнаними для роботи на зрідженому газовому паливі, та способи її застосування у процесах прогріву в умовах експлуатації. Для виконання поставлених задач була використана розроблена раніше принципова схема СТП на основі ТАФП для ТЗ, яка конструктивно входить до систем охолодження та випуску відпрацьованих газів двигуна ТЗ.

### Перелік використаних джерел:

1. 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. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>.
2. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / Волков В.П., Грицук І.В., Гутаревич Ю.Ф., Александров В.Д., Поддубняк В.Й., Прилепський Ю.В., Комов П.Б., Адров Д.С., Вербовський В.С., Краснокутська З.І., Волкова Т.В. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2015. – 314 с.
3. Gritsuk I. 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. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>.
4. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems) / D. Pohorletskyi [et al.] // SAE Technical Paper. – 2020. – 2020-01-2031. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2031>.

5. Матейчик В. П. Системний підхід до аналізу структурних схем енергоустановок транспортних засобів / В. П. Матейчик // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2002. – №7, т. 2. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 162-167.
6. Одрин В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. – М. : ВНИИПИ, 1989. – 314 с.
7. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навчальний посібник / М. Ф. Дмитриченко, В. П. Матейчик, О. К. Гришук, М. П. Цюман. – К. : НТУ, 2014. – 168 с.
8. The peculiarities of monitoring road vehicle performance and environmental impact / I. Kuric, V. Mateichyk, M. Smieszek, M. Tsiuman, N. Goridko, I. Gritsuk // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Volume 244. – Pp. 1-7. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201824403003>.
9. Optimization of Vehicle Operating Conditions by Using Simulation Modeling Software / M. Volodarets, I. Gritsuk, N. Chygyryk, E. Belousov, A. Golovan, O. Volska, V. Hlushchenko, D. Pohorletskyi, O. Volodarets // SAE Technical Paper. – 2019. – 2019-01-0099. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2019-01-0099>.
10. Грицук І.В. Концепція забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.20 / Грицук Ігор Валерійович; ХНАДУ. – Харків, 2016. – 552 с.
11. Вербовський В.С. Удосконалення забезпечення теплової підготовки стаціонарних газових двигунів використанням акумульованої енергії : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Вербовський Валерій Степанович; НТУ. – Київ, 2020. – 268 с.
12. Погорлецький Д.С. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20; Погорлецький Дмитро Сергійович; Державний університет «Житомирська політехніка». – Житомир, 2021. – 237 с.
13. Матейчик В.П. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з використанням бортових діагностичних комплексів / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, І.В. Грицук, А.П. Комов, Ю.В. Волков // Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». – К.: НТУ, 2014. – Вип. 13. – С. 126-138.
14. Information Security Risk Management of Vehicles / D. Klets [et al.] // SAE Technical Paper. – 2018. – 2018-01-0015. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2018-01-0015>.
15. Волков В.П. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу / В.П. Волков, І.В. Грицук, А.П. Комов, Ю.В. Волков // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2014. – Випуск 30. – С. 51-62.
16. Погорлецький Д.С. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS: монографія / Д.С. Погорлецький; за наук. ред. проф. І.В. Грицука. – Херсон: ХДМА, 2019. – 442 с.
17. 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.
18. Gritsuk I.V. The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles / I.V. Gritsuk. – Kharkiv : Kharkiv National Automobile and Highway University, 2015. – 32 p.
19. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems) / D. Pohorletskyi [et al.] // SAE Technical Paper. – 2020. – 2020-01-2031. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2031>.
20. The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle / I. Gritsuk [et al.] // SAE International Journal of Fuels and Lubricants. – 2017. – № 10(1). – Pp. 236-248. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>.
21. 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. 286-296. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-286-297>.

22. Грицук І.В. Особливості формування системи теплової підготовки двохпаливних 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 (14-15 квітня 2020 р.; Вінниця). – Вінниця : ВНТУ, 2020. – С. 112-115.
23. Особливості визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів, що працюють на газовому паливі / Д.С. Погорлецький, І.В. Грицук, Д.С. Адров, А.В. Білай // Двигуни внутрішнього згоряння. – Харків: НТУ «ХП», 2021. – № 1. – С. 25-35. – Режим доступу: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2021.1.04>.

#### References:

1. Gritsuk I., Gutarevych Y., Mateichyk V., Volkov V. 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, 2016-01-0204. doi: 10.4271/2016-01-0204.
2. Volkov V.P., Hrytsuk I.V., Hutarevych Yu.F., Aleksandrov V.D. Poddubniak V.I., Prylepsyki Yu.V., Komov P.B., Adrov D.S., Verbovskiy V.S., Krasnokutska Z.I., Volkova T.V. *Systemy prohrivu dvyhuniv vnutrishnoho zhorannia: osnovy funktsionuvannia: monohrafiia* [Heating systems for internal combustion engines: basics of operation: a monograph]. Donetsk, LANDON-KhKhI Publ., 2015. 314 p. (Ukr.)
3. Gritsuk I., Mateichyk V., Aleksandrov V., Prilepsyki Yu., Panchenko S., Kagramanian A., Volkov V., Cherniak Yu., Volodarets M., Belousov E., Kukharonak H., Rodin O. Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators. *SAE Technical Paper*, 2019, 2019-01-0906. doi: 10.4271/2019-01-0906.
4. Gritsuk I., Pohorletskiy D., Mateichyk V., Symonenko R., Tsiuman M., Volodarets M., Bulgakov N., Volkov V., Vychuzhanin V., Grytsuk Yu., Ahieiev M., Sadovnyk I. 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, 2020-01-2031. doi: 10.4271/2020-01-2031.
5. Mateichyk V.P. Systemnyi pidkhid do analizu strukturnykh skhem enerhoustanovok transportnykh zasobiv [A systematic approach to the analysis of structural diagrams of vehicle power plants]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «Kharkivskii politekhnichnii institut» – Bulletin of the National Technical University «KhPI»*, 2002, №7, vol. 2, pp. 162-167. (Ukr.)
6. Odryn V.M. *Metod morfolohycheskoho analiza tekhnicheskyykh system* [Method of morphological analysis of technical systems]. Moscow, VNYYPY Publ., 1989. 314 p. (Rus.)
7. Dmytrychenko M.F., Mateichyk V.P., Hryshchuk O.K., Tsiuman M.P. *Metodi sistemnogo analizu vlastivostei avtomobil'noi tekhniki: navchal'nyi posibnik* [Methods of systematic analysis of the properties of automotive technology: a textbook]. Kyiv, NTU Publ., 2014. 168 p. (Ukr.)
8. Kuric I., Mateichyk V., Smieszek M., Tsiuman M., Goridko N., Gritsuk I. The peculiarities of monitoring road vehicle performance and environmental impact, *MATEC Web of Conferences*, vol. 244, pp. 1-7. doi: 10.1051/mateconf/201824403003.
9. Volodarets M., Gritsuk I., Chygyryk N., Belousov E., Golovan A., Volska O., Hlushchenko V., Pohorletskiy D., Volodarets O. Optimization of Vehicle Operating Conditions by Using Simulation Modeling Software, *SAE Technical Paper*, 2019, 2019-01-0099. doi: 10.4271/2019-01-0099.
10. Hrytsuk I.V. *Kontseptsiiia zabezpechennia optymal'nogo temperaturnoho stanu dvyhuniv i transportnykh zasobiv v umovakh ekspluatatsii*. Diss. dokt. techn. nauk [The concept of ensuring the optimal temperature of engines and vehicles in operating conditions. Doct. tech. sci. diss.]. Kharkiv, 2016. 552 p. (Ukr.)
11. Verbovskiy V.S. *Udoskonalennia zabezpechennia teplovoi pidhotovky statsionarnykh hazovykh dvyhuniv vykorystanniam akumulovanoi enerhii*. Diss. kand. techn. nauk [Improving the provision of thermal treatment of stationary gas engines using accumulated energy. Cand. tech. sci. diss.]. Kyiv, 2020. 268 p. (Ukr.)
12. Pohorletskiy D.S. *Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykh pereobladnanykh dlia roboty na hazovomu palyvi transportnykh zasobiv*. Diss. kand. techn. nauk

- [Improving fuel economy and environmental performance of gas-powered vehicles. Cand. tech. sci. diss.]. Zhytomyr, 2021. 237 p. (Ukr.)
13. Mateichyk V.P., Volkov V.P., Komov P.B., Hrytsuk I.V., Komov A.P., Volkov Yu.V. Osoblyvosti monitorynhu stanu transportnykh zasobiv z vykorystanniam bortovykh diahnostychnykh kompleksiv [Features of monitoring the condition of vehicles using on-board diagnostic systems]. *Naukovii zhurnal «Upravlinnia proektami, sistemnoi analiz i logistika» – The National Transport University journal of Projects Management, System Analysis and Logistics*, 2014, vol. 13, pp. 126-138. (Ukr.)
  14. Klets D., Gritsuk I., Makovetskyi A., Bulgakov N., Podrigalo M., Kyrychenko I., Volska O., Kyzminec N. Information Security Risk Management of Vehicles. *SAE Technical Paper*, 2018, 2018-01-0015. doi: **10.4271/2018-01-0015**.
  15. Volkov V.P., Hrytsuk I.V., Komov A.P., Volkov Yu.V. Osoblyvosti monitorynhu i vyznachennia statusu nespravnosti transportnoho zasobu u skladi bortovoho informatsiino-diahnostychnoho kompleksu. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – The National Transport University Bulletin*, 2014, vol. 30, pp. 51-62. (Ukr.)
  16. Pohorletskyi D.S. *Struktura vymiriuvального комплексу для дослідження роботи тра-нспортного засобу з дvyhunом, обладнаним системою впорскування газопального палива, в умовах експлуатативної засобами ITS: монографія* [Structure of a 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: monograph]. Kherson, KhDMA Publ., 2019. 442 p. (Ukr.)
  17. Vashurkin I.O. Thermal development and start of ICE of mobile vehicles and construction machinery in winter. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2002. 145 p.
  18. Gritsuk I.V. The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles. Kharkiv, Kharkiv National Automobile and Highway University Publ., 2015. 32 p.
  19. Gritsuk I., Pohorletskyi D., Mateichyk V., Symonenko R., Tsiuman M., Volodarets M., Bulgakov N., Volkov V., Vychuzhanin V., Grytsuk Yu., Ahieiev M., Sadovnyk I. 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, 2020-01-2031. doi: **10.4271/2020-01-2031**.
  20. Gritsuk I., Volkov V., Mateichyk V., Gutarevych Yu., Tsiuman M., Goridko N. The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 2017, № 10, vol. 1, pp. 236-248, doi: **10.4271/2017-26-0364**.
  21. Pohorletskyi D.S., Mateichyk V.P., Polivinchuk A.P., Volodarets M.V., Tsiuman M.P. Osoblyvosti teplovoi pidhotovky transportnoho dvyhuna v umovakh ekspluatatsii [Features of thermal preparation of the transport engine in operating conditions]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu – Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University*, 2019, № 19, vol. 4, pp. 286-296. doi: **10.31388/2078-0877-19-4-286-297**. (Ukr.)
  22. Hrytsuk I.V., Pohorletskyi D.S., Symonenko R.V. Osoblyvosti formuvannia systemy teplovoi pidhotovky dvokhpalyvnykh transportnykh zasobiv, pratsiuiuchykh na rikdomu naftovomu palyvi i zridzhenomu naftovomu hazi. *Materialy VIII-oi Mizhn. Nauk.-prakt. internet-konf. «Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu»* [Features of formation of system of thermal preparation of the two-fuel vehicles working on liquid oil fuel and the liquefied oil gas. Proceedings of VIII Int. Sci.-Pract. Internet-Conf. «Problems and prospects of road transport development»]. Vinnytsia, 2020, pp. 112-115. (Ukr.)
  23. Pohorletskyi D.S., Hrytsuk I.V., Adrov D.S., Bilai A.V. Osoblyvosti vyznachennia vitrati paliva ta vikidiv shkidlivykh rehovin dviguniv transportnykh zasobiv, shcho pratsiuiut' na gazovomu palivi [Features of determination of fuel consumption and emissions of harmful substances of engines of vehicles running on gas fuel]. *Dviguni vnutrishn'ogo zgoriannia – Internal Combustion Engines*, 2021, №1, pp. 25-35. doi: **10.20998/0419-8719.2021.1.04**. (Ukr.)

Рецензент: Агеев М.С.,  
д-р техн. наук, доцент, Херсонська державна морська академія

Стаття надійшла 03.09.2021