

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ  
ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

Пояснювальна записка і розрахунки  
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ 520.10.01 ПЗ

Розробив студент групи 211-ЛЛГ-Д23  
спеціальності 273 Залізничний транспорт  
Освітня програма: «Локомотиви та  
локомотивне господарство»  
(роботу виконано самостійно, відповідно  
до принципів академічної доброчесності)

Нікіта НЕЧАЄВ

(підпис)

Керівник:

д.т.н. проф. кафедри ЕРРС,

Юрій ДАЦУН

Рецензент:

доцент кафедри ІВ та ЯП, к. т. н

Андрій РИБІН

# Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 273. Залізничний транспорт

Освітня програма Локомотиви та локомотивне господарство

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

професор, д-р техн. наук

В.Г. Пузир

(підпис)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Нечаєву Нікіті Андрійовичу

1. Тема «Розроблення пропозицій з підвищення ефективності роботи тепловозних дизелів магістральних локомотивів»  
керівник Дацун Юрій Миколайович, д.т.н. професор  
затверджено розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від «30» вересня 2024 року № 38.
2. Строк подання студентом закінченої роботи «25» грудня 2024 року.
3. Вихідні дані Методичні вказівки по збору статистичної інформації в локомотивних депо(№471)
4. 1 Аналіз ефективності використання природного газу в тепловозних дизелях.  
1.1 Обґрунтування необхідності та перспективи використання природного газу в тепловозних дизелях. 1.2 Способи організації робочого циклу в дизелях тепловозів для роботи на суміші дизельного палива і природного газу. 2 Математичне моделювання робочого циклу і токсичності дизелів тепловозів, що працюють на суміші дизельного палива та природного газу. 2.1 Модель розрахунку робочого циклу дизелів тепловозів на сумішевому паливі. 2.2 Методика розрахунку теплоти, що виділилася при згоранні сумішевого палива в залежності від компонентного складу природного газу. 2.3 Методика розрахунку кількості продуктів згорання сумішевого палива. 2.4 Розрахунок індикаторних та ефективних показників дизеля. 3 Розробка заходів для конвертації дизелів тепловозів при роботі на суміші дизельного палива та природного газу. 3.1 Особливості конвертації дизелів тепловозів при роботі на сумішевих паливі та пропозиції щодо перемішуючого пристрою. 4 Визначення економічного ефекту від застосування обладнання для використання сумішевого палива в тепловозних дизелях
5. Перелік графічного матеріалу 1 Загальна характеристика магістерської роботи. 2 Задачі та склад магістерської роботи. 3 Аналіз співвідношення

споживання світових ресурсів. 4 Аналіз способів подачі природного газу в дизель тепловоза. 5 Модернізація системи подачі палива дизеля тепловоза для роботи на сумішевому паливі. 6 Конструкція перемішуючого пристрою. 7 Розподіл потоків дизельного палива і природного газу в перемішуючому пристрої. 8 Складові частини системи подачі і змішування палива. 9 Аналіз контрольованих залежностей при роботі на сумішевому паливі. 10 Параметри подачі сумішевого палива на номінальному режимі роботи дизеля тепловоза. 11 Аналіз варіантів модернізації тепловоза 2TE116 електронним регулятором частоти обертання колінчастого вала.

#### 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування			

7 Дата видачі завдання «10» жовтня 2024 року.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу. Формування змісту та етапів роботи.	2.10–15.10	
2	Збирання та обробка статистичної інформації	16.10–25.10	
3	Виконання роботи по розділам дипломного проекту. Аналіз одержаних даних, їх розрахунок та обробка	26.10–3.11	
4	Перевірка виконаних завдань у керівника дипломного проекту, виправлення помилок, виконання робіт по розділам консультантів	4.11–26.11	
5	Робота над оформленням графічної частини, проведення розрахунків та створення на їх підставі графічних матеріалів	27.11–6.12	
6	Перевірка виконаних робіт у керівника проекту, виправлення помилок, чистове виконання розділів дипломного проекту	7.12–19.12	
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту	20.12–25.12	

Студент \_\_\_\_\_ Нечаєв Н.А.  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Дацун Ю.М.  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Дана магістерська кваліфікаційна робота включає в себе 12 слайдів презентації, 106 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 21 рисуноків, 12 таблиць, 28 літературних джерел.

Ключові слова: РУХОМИЙ СКЛАД, ТЕПЛОВИЗНИЙ ДИЗЕЛЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ, ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ, РОБОЧИЙ ЦИКЛ ДИЗЕЛЯ.

Об'єкт дослідження – робочий цикл дизеля магістрального тепловоза, що працює на суміші дизельного палива і природного газу.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності роботи дизелів тепловозів шляхом застосування суміші дизельного палива і природного газу. Це дозволяє знизити витрати дизельного палива, підвищити екологічність експлуатації тепловозів та зменшити викиди шкідливих речовин.

В магістерській роботі проведено аналіз ефективності використання природного газу в тепловозних дизелях. Виконаний аналіз глобального споживання енергетичних ресурсів. Проведений аналіз способів організації робочого циклу в дизелях тепловозів для роботи на суміші дизельного палива і природного газу. Розроблені пропозиції для конвертації дизелів тепловозів при роботі на суміші дизельного палива та природного газу. Виконаний аналіз підвищення ступеня економічної ефективності за рахунок модернізації регулятора частоти обертання колінчастого вала дизеля.

## ANNOTATION

This master's qualification work consists of 12 presentation slides and 106 pages of explanatory notes in A4 format, including 21 figures, 12 tables, and 28 references.

Keywords: ROLLING STOCK, LOCOMOTIVE DIESEL ENGINE, OPERATIONAL EFFICIENCY, ENERGY AND ECONOMIC INDICATORS, DIESEL CYCLE.

The object of the study is the working cycle of a mainline locomotive diesel engine operating on a mixture of diesel fuel and natural gas.

The aim of the work is to improve the efficiency of locomotive diesel engines by using a mixture of diesel fuel and natural gas. This approach reduces diesel fuel consumption, enhances the environmental sustainability of locomotive operations, and decreases harmful emissions.

The master's thesis includes an analysis of the efficiency of using natural gas in locomotive diesel engines. It examines global energy resource consumption and evaluates methods of organizing the working cycle in locomotive diesel engines to operate on a mixture of diesel fuel and natural gas. Proposals are developed for converting locomotive diesel engines to operate on such a fuel mixture. Additionally, the work analyzes the increase in economic efficiency achieved by modernizing the diesel engine's crankshaft speed governor.

## Зміст

Вступ	6
1 Аналіз ефективності використання природного газу в тепловозних дизелях	10
1.1 Обґрунтування необхідності та перспективи використання природного газу в тепловозних дизелях	10
1.2 Способи організації робочого циклу в дизелях тепловозів для роботи на суміші дизельного палива і природного газу	17
1.3 Світовий досвід щодо застосування природного газу в тепловозних дизелях	21
2 Математичне моделювання робочого циклу і токсичності дизелів тепловозів, що працюють на суміші дизельного палива та природного газу	25
2.1 Модель розрахунку робочого циклу дизелів тепловозів на сумішковому паливі	26
2.2 Методика розрахунку теплоти, що виділилася при згоранні сумішкового палива в залежності від компонентного складу природного газу	44
2.3 Методика розрахунку кількості продуктів згорання сумішкового палива	49
2.4 Розрахунок індикаторних та ефективних показників дизеля	56
3 Розробка заходів для конвертації дизелів тепловозів при роботі на суміші дизельного палива та природного газу	58
3.1 Особливості конвертації дизелів тепловозів при роботі на сумішкових паливі та пропозиції щодо перемішуючого пристрою	58

					<i>МКРМЕ 520.10.04 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Нечаєв</i>			Розроблення пропозицій з підвищення ефективності роботи тепловозних дизелів магістральних тепловозів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Дацун</i>				4	106	
<i>Реценз.</i>		<i>Рибін</i>				УкрДУЗТ		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Анацький</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пузир</i>						

3.2 Проект модернізації паливної системи дизеля тепловоза для роботи на сумішевому паливі	60
3.3 Оцінка впливу дизельного палива і суміші природного газу на тепловозні внутрішньоциліндрові параметри	67
3.4 Визначення витрати природного газу і дизельного палива	76
3.5 Аналіз підвищення ступеня економічної ефективності дизельних локомотивів за рахунок модернізації регулятора частоти обертання колінчастого вала дизеля	79
4 Визначення економічного ефекту від застосування обладнання для використання сумішевого палива в тепловозних дизелях	93
4.1 Коротка характеристика технічного рішення	93
4.2 Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту від застосування сумішевого палива в тепловозних дизелях	94
4.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження обладнання для використання сумішевого дизельного палива в тепловозних дизелях	96
Висновки	101
Список використаних джерел	103

					<i>МКРМЕ 520.10.05 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## Вступ

Україна володіє значними запасами природного газу, що відкриває широкі можливості для впровадження цього ресурсу в різні сфери економіки, зокрема в транспортну енергетику. У контексті поступового переходу на використання альтернативних джерел енергії на фоні світових змін, пов'язаних із зменшенням запасів нафти та підвищенням цін на нафтові продукти, питання використання природного газу для забезпечення енергетичних потреб транспорту набуває особливої важливості. Упровадження газових технологій здатне не лише суттєво покращити техніко-економічні показники, але й сприяти зменшенню екологічного навантаження на навколишнє середовище, що є одним із пріоритетів сталого розвитку України.

Зважаючи на сучасні глобальні тенденції у сфері енергетики, Україна розробляє власну стратегію переходу до використання природного газу як основного джерела енергії для транспорту. Згідно з цією стратегією, передбачається впровадження альтернативних видів палива, зокрема природного газу, для забезпечення енергетичних потреб транспортного сектору. Українська транспортна інфраструктура має великі перспективи для модернізації за рахунок впровадження локомотивів, що працюють на газопоршневих і газодизельних двигунах. Планується, що вже з 2025 року розпочнеться поступова закупівля таких локомотивів, і до 2030 року 25% локомотивного парку будуть переведені на використання природного газу.

Це рішення є стратегічним кроком на шляху до енергетичної незалежності та підвищення ефективності транспортних перевезень в Україні. У рамках національної енергетичної стратегії передбачається до 2030 року замінити до 25% дизельного палива, що споживається локомотивами, на природний газ. Така ініціатива дозволить знизити загальні витрати на транспортні перевезення на 8-10%, а також суттєво зменшити негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок скорочення викидів шкідливих речовин.

Перехід на природний газ у транспортному секторі має суттєві економічні та екологічні переваги. Однією з ключових вигод є значне зниження витрат на транспортні перевезення. За рахунок нижчої вартості природного газу у порівнянні з дизельним паливом, очікується зниження собівартості перевезень на 15-25% [1,2]. Це дозволить не лише зробити транспортні послуги більш доступними, але й сприятиме економічному розвитку сектору в цілому.

Крім того, використання природного газу сприятиме значному зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу. Зокрема, викиди чадного газу можуть знизитися в 2,5 рази, оксиди азоту — вдвічі, вуглеводні — втричі, а рівень димності — у 9 разів. Така екологічна ефективність є особливо важливою для України, яка стикається з проблемами забруднення повітря та необхідністю зниження впливу транспорту на довкілля [3,4].

Окрім екологічних переваг, використання природного газу сприятиме підвищенню надійності та довговічності дизельних двигунів локомотивів. Зокрема, газоподібне паливо забезпечує кращі умови для роботи двигунів, що дозволить збільшити їх термін служби та знизити витрати на технічне обслуговування. Це, своєю чергою, призведе до продовження життєвого циклу локомотивів та зменшення витрат на їх експлуатацію.

Сучасна транспортна система України значною мірою залежить від нафтових ресурсів, які займають вагомую частку у паливно-енергетичному балансі країни. В умовах постійного зростання цін на нафтові продукти та зменшення світових запасів нафти, питання пошуку альтернативних джерел енергії стає надзвичайно актуальним. Використання природного газу є одним із перспективних рішень для зниження залежності від нафтових ресурсів та забезпечення енергетичної безпеки країни.

Україна має значний потенціал для розвитку видобутку природного газу та його використання в транспортних системах. Зокрема, значні запаси газу в країні відкривають можливості для зниження імпортової залежності від нафтопродуктів та створення стабільної енергетичної бази для транспорту. Використання природного газу у якості моторного палива дозволить значно



знизити витрати на закупівлю нафти та нафтопродуктів, що є важливим елементом стратегії енергетичної незалежності України.

Впровадження газових технологій у транспортному секторі України відкриває широкі можливості для подальшого розвитку енергетичної інфраструктури. Зокрема, планується розробка та впровадження нових поколінь газопоршневих і газодизельних локомотивів, що дозволить не лише знизити витрати на паливо, але й забезпечити стабільну та надійну роботу транспорту в умовах зміни паливно-енергетичного балансу.

До 2030 року очікується, що частка використання природного газу в транспортному секторі значно зросте, що дозволить знизити загальне навантаження на нафтові ресурси та забезпечити більш ефективне використання енергетичних ресурсів країни. Така модернізація транспортної системи сприятиме не лише економічному розвитку, але й покращенню екологічної ситуації в країні, що є важливим чинником сталого розвитку.

Для України впровадження природного газу в транспортну енергетику є стратегічним кроком на шляху до енергетичної незалежності та зниження екологічного навантаження на довкілля. Відповідно до національної стратегії, перехід на альтернативні види палива дозволить значно знизити витрати на транспортні перевезення, збільшити тривалість експлуатації локомотивів та зменшити шкідливі викиди в атмосферу. Успішне впровадження газових технологій у транспортній системі стане важливим етапом у розвитку енергетичної інфраструктури країни та забезпечить стабільний і сталий розвиток транспортної галузі в майбутньому.

Завданням дослідження є підвищення ефективності роботи дизелів тепловозів.

Предмет дослідження – енергоекономічні і екологічні показники дизеля тепловоза.

Об'єкт дослідження – робочий цикл дизеля магістрального тепловоза, що працює на суміші дизельного палива і природного газу.

Елементом наукової новизни є методика застосування компримованого природного газу в якості добавки до дизельного палива для поліпшення якості розпилу, згоряння і як наслідок підвищення ефективності роботи тепловозів, у поєднанні з модернізацією дизеля електронним регулятором частоти оберту колінчастого валу.

Практичне значення отриманих результатів викладені у доповіді на студентській конференції, тези доповіді Дроздова Д.С. «Аналіз ефективності роботи тепловозів при використанні газомоторного палива на залізницях України», яка опублікована у збірнику тез доповідей студентської науково-технічної конференції 12-14 грудня. Харків ,2023. № 83.

## Список використаних джерел

1. Dietrich, W.R. Die Gemischbildung bei Gas- und Dieselmotoren sowie ihr Einfluss auf die Schadstoffemissionen Rückblick und Ausblick / W. R. Dietrich // MTZ. – 1999. – Teil 1. – S. 28-38 ; teil 2 – S. 126-134.
2. Gebert, K. Strategies to Improve Combustion and Emission Characteristics of Dual Fuel Pilot Ignited Natural Gas Engines / K. Gebert, N. J. Beck, R. L. Barkhimer, H. Wong // SAE Paper 971712.
3. Марков В.А., Дев'янін С.М., Семенов С.Г., Шахов А.В., Багров В.В. Використання рослинних олій та палив на їх основі в дизельних двигунах: Монографія. - К.: ТОВ НДЦ "Інженер" (Союз НДВ), ТОВ "Онiко-М", 2011. - 536с.
4. Назаров О.М. Природний газ - моторне паливо майбутнього // Техніка залізниць. - № 1 (25). - 2014. - С.17
5. Марков В.А. Паливоподача багатопаливних та газодизельних двигунів / Марков В.А., Козлов С.І. - К.: Вид-во МДТУ ім. Н. Е. Баумана, 2000. - 296 с.
6. Пронін Е.Н. Природний газ моторне паливо ХХІ ст. - К., ТОВ «ІРЦГазпром», 2006. - С. 28-31.
7. Phillips, J. N. Hydrogen-enriched natural gas offers economic NO<sub>x</sub> reduction alternative [Text] / Power Eng (Barrington, Illinois) 2000; 104(5):3.
8. Носирев Д.Я., Курманова Л.С., Петухов С.А., Муратов А.В. Особливості конвертації дизелів автономних локомотивів на газомоторне паливо // Вісник КазАТК. 2017. №4 (103). С. 70-77
9. Разлейцев Н.Ф. Моделювання та оптимізація процесу згоряння у дизелях. Харків: Вищ. школа, 1980. 169с.
10. Камалтдінов В.Г. Абеліович Є.В. Вплив складу двокомпонентного палива на процес згоряння двигуна з об'ємним самозайманням від стиснення // Вісник ЮУрГУ. Серія: Машинобудування. - 2008. - № 23 (123). - С. 46-53

11. Andreassi L., Cordiner S., Rocco V. Analysis of combustion instability phenomena in a CNG-fueled heavy-duty turbocharged engine // SAE Paper. Orlando. - 2001. - №2001-01-1907. - W.P.

12. Гайворонський О.І. Удосконалення технологій використання природного газу як моторного палива [Текст]: навчальний посібник для вузів / А. І. Гайворонський, Д. А. Савченко, В. А. Федоров. - Луганск: ІРЦ Газпром, 2006. - 111 с.

13. Курманова Л.С., Способи організації робочого циклу в теплових двигунах для роботи на суміші дизельного палива та природного газу // Вісник транспорту. - 2018. - № 6 (72). - С. 113-120.

14. Хачіян А.С. Використання природного газу як паливо для автомобільного транспорту // Двигунобудування. 2002. №1. с. 34-36

15. Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надійність локомотивів. К: Маршрут, 2003. - 415с.

16. Патрахальцев Н.Н., Гусаков С.В., Медведєв Є.В. Можливості організації газодизельного процесу з внутрішнім сумішоутворенням на базі дизеля 8Ч 13/14 // Двигунобудування, 2004. - №3. - З 10-13

17. Фофанов Г.А. Природний газ – моторне паливо для тепловозів// ЖДМ – 2006. – №7. - С. 43-48.

18. Kleinschmidt W. Einfl ussparameter auf den Wirkungsgrad und auf die NO-Emission von aufgeladenen Dieselmotoren // 4.Aufl adetechnische Konferenz.: VDI Bericht. – Dusseldorf, 1991. – № 910. – 28 s.

19. Poläsek M., Macek J., Takäts M. Application of advanced simulation methods and their combination with experiments to modelling of hydrogen-fueled engine emission potentials // SAE Paper. Detroit. -2002. - №2002-01-0373. - W.P

20. Bauer, C. G. "Effect of Hydrogen Addition on the Performance of Methane-Fueled Vehicles. Part I: Effect on S.I. Engine[Text] / Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 26, pp. 55-70(2001).

21. Nanthagopal, K. Hydrogen enriched compressed natural gas - a futuristic fuel for internal combustion engines / K. Nanthagopal, R. Subbarao, T. Elango, P. K. Baskar // Thermal science. – 2011. – Vol. 4. – S. 45-54.

22. Сковородніков Є.І., Анісімов А.С., Гришина Ю.Б. Методика визначення фізико-хімічних характеристик паливних сумішей різного елементарного складу // ВІДОМОСТІ Транссибу. №4 (8). 2011. - С. 31-41

23. Дев'янін С. Н., Марков В. А., Микитенко А. В. Метод удосконалення процесу сумішоутворення швидкохідного дизеля. // Вісті вузів. Машинобудування. - 2006, № 8. - С. 25-36.

24. Кавтарадзе Р.З. Теплофізичні процеси у дизелях, конвертованих на природний газ та водень. - К.: Вид-во МДТУ, 2011. - 238с.

25. Фофанов Г.А., Григорович Д.М., Нестрахов А.С. Альтернативні види палива на рухомому складі залізничного транспорту // Праці ВАТ «ВНДЖТ». К: Інтек, 2008. 144 с.

26. Носирєв Д.Я. Курманова Л.С., Муратов А.В., Петухов С.А. Патент № 180762 на корисну модель МПК7 F02B43/00. Система паливоподачі газодизеля з внутрішнім сумішоутворенням. - 2017118141; заявл. 25.05.2017; опубл. 22.06.2018. - Бюл. №18.

27. Вагнер В.А. Улучшение экономических и экологических характеристик методом насыщения жидкого топлива водородом. Дисс. канд. техн.наук. Барнаул, 1984г. - 218с.

28. Сімсон А.Е., Хоміч А.З., Куріц А.А. Тепловозні двигуни внутрішнього згоряння. - 2-ге вид., Перероб. та дод. К.: Транспорт, 1987. 536с.