

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Інститут механічної інженерії та транспорту

(назва інституту)

Залізничний транспорт

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Дослідження шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів тепловозних енергетичних установок»

за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство

зі спеціальності: 273 “Залізничний транспорт”

(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ЛГ-31спз

(підпис студента)

/Олег ГОЇНЕЦЬ/

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

(підпис)

/Ярослав ЯКУБОВСЬКИЙ/

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завідувач кафедри ЗТ

к.т.н., доц. Олена БАЛЬ

(підпис)

Львів – 2025 рік

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
«Залізничний транспорт»
Олена БАЛЬ
« _____ » березня 2025р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу студента групи ЛГ-31спз ОР бакалавр
Гоїнця Олега Івановича**

1. Тема роботи: «Дослідження шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів тепловозних енергетичних установок»

затверджена наказом по університету від «11» квітня 2025р. № 1324-4-08.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 16 червня 2025р.

3. Вихідні дані для роботи: Вимоги нормативних документів щодо зниження токсичності відпрацьованих газів. Параметри робочого процесу тепловозного дизеля. Технічні параметри газоаналізаторів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Розділ 1. Аналіз вимог вітчизняних та європейських нормативних документів, що регламентують рівень токсичності відпрацьованих газів енергетичних установок тепловозів.

Розділ 2. Аналіз викидів забруднюючих речовин та засоби контролю.

Розділ 3. Розробка пропозицій щодо зниження токсичності відпрацьованих газів енергетичних установок тепловозів

Розділ 4. Охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу: -

6. Перелік програмних продуктів, які належать використати в процесі розроблення роботи: Word, Excel

7. Консультування роботи, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Завдання видав		Завдання прийняв	
		Підпис	Дата	Підпис	Дата
Охорона праці	Васійчук Віктор Олексійович				

8. Дата, коли видано завдання

Керівник

Завдання прийняв до виконання

Ярослав ЯКУБОВСЬКИЙ

Олег ГОЇНЕЦЬ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір літератури, її опрацювання.	01 квітня – 07 квітня 2025р.	
2.	Аналіз вимог вітчизняних та європейських нормативних документів, що регламентують рівень токсичності відпрацьованих газів енергетичних установок тепловозів. Підготовка I розділу роботи.	08 квітня – 14 квітня 2025 р	
3.	Аналіз викидів забруднюючих речовин та засоби контролю. Підготовка II розділу роботи.	15 квітня – 28 квітня 2025 р	
4.	Розробка пропозицій щодо зниження токсичності відпрацьованих газів енергетичних установок тепловозів. Підготовка III розділу.	29 квітня – 12 травня 2025 р	
5.	Розробка пропозицій з охорони праці. Підготовка IV розділу роботи.	13 травня- 26 травня 2025р.	
6.	Оформлення висновку та списку використаних літературних джерел.	27 травня- 29 травня 2025р.	
7.	Підготовка презентаційного матеріалу та доповіді.	29 травня- 02 червня 2025р.	
8.	Проходження нормоконтролю, перевірки на академічний плагіат та рецензування роботи.	03 червня – 07 червня 2025р.	
9.	Подання роботи	до 07 червня 2025р.	

Керівник _____ Ярослав ЯКУБОВСЬКИЙ
Студент _____ Олег ГОЇНЕЦЬ

Гоїнець О.І., Якубовський Я.В. (керівник). **Дослідження шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів тепловозних енергетичних установок.** Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

Розширена анотація

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є покращення екологічної ситуації в Україні шляхом зменшення рівня викидів забруднюючих речовин тепловозними дизелями.

Об'єктом дослідження є забруднюючі речовини, які містяться у відпрацьованих газах тепловозних дизелів.

Предметом дослідження є методи та засоби вимірювання рівня забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та шляхи його зниження.

Для досягнення цієї мети у роботі виконано наступне:

- проаналізовані вимоги вітчизняних та нормативних документів, які регламентують допустимий рівень забруднюючих речовин у відпрацьованих газах тепловозних дизелів;

- проаналізовані технічні засоби контролю рівня забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та методика роботи з ними;

- проаналізовано вміст забруднюючих (токсичних) речовин у відпрацьованих газах та джерела їх появи;

- наведено результати безпосередніх вимірювань рівня забруднюючих речовин у відпрацьованих газах тепловозного дизеля;

- запропоновано заходи зі зниження кількості токсичних речовин. Основним з таких заходів є впровадження каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів;

- розглянуто питання охорони праці при проведенні реостатних випробувань тепловозів, під час яких вимірюється рівень токсичних речовин у відпрацьованих газах.

Ключові слова: забруднюючі речовини, токсичні речовини, відпрацьовані гази, тепловозний дизель, вимірювання, норма

Перелік використаних літературних джерел

1. Ritz, B., Lee, P.-C., Hansen, J., Lassen, C. F., Ketznel, M., Sørensen, M., Raaschou-Nielsen, O. (2014). Ambient air pollution and Parkinson's disease in Denmark: a case-control study. *Environmental Health Perspectives*, 124(3), 351–356. DOI: 10.1289/ehp.1408447
2. California Air Resources Board. Health Effects of Diesel Exhaust. – Sacramento: CARB, 1998 [updated 2023]. – Access mode: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/overview-health-effects-diesel-exhaust>
3. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». Офіційне видання [Електронний документ] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 29 листопада 2001 р. №1598 «Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню» Офіційне видання. [Електронний документ] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1598-2001-%D0%BF#Text>
5. Порядок розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря. Затверджено Постановою КМУ від 13 березня 2002 року №303.
6. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від залізничного транспорту. Затверджена Наказом державного комітету статистики від 13.11.2008 № 452. [Електронний документ] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0452202-08#Text>
7. ГСТУ 32.001-94. Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення.
8. AMIŃSKA, M., KOŁODZIEJEK, D., SZYMLET, N. et al. Measurement of rail vehicles exhaust emissions. *Combustion Engines*. 2022, 189(2), 10-17. <https://doi.org/10.19206/CE-142526>

9. Andrzejewski M., Daszkiewicz P., Rymaniak Ł. Impact of modernization of locomotives operated in Poland on the emission of toxic compounds in exhaust gases // *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe.* – 2018. – Vol. 19, No. 12. – P. 54–57. – DOI: 10.24136/atest.2018.353.

10. Andrzejewski M., Fuc P., Gallas D. et al. Impact of driving style on the exhaust emission of a diesel multiple unit // *17th Int. Conf. on Railway Engineering Design & Operation (COMPRAIL 2020).* – 2020. – P. 365–376. – DOI: 10.2495/CR200341.

11. Andrzejewski M., Pelecha I., Merkisz J. et al. Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines // *Journal of KONES.* – 2018. – Vol. 25, No. 1. – P. 257–264. – DOI: 10.5604/01.3001.0012.2475.

12. Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 amending Directive 97/68/EC. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32004L0026>.

13. Dokumentacja techniczno-rozruchowa zmodernizowanego lokomotywu spalinowego Typu T448.P. – TOM II. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.katalogkolejowy.pl/produkty_detal/389.

14. Dyrektywa Komisji 2010/26/UE z dnia 31 marca 2010 r. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu>.

15. ICCT. Technical considerations for choosing a metric for vehicle remote-sensing regulations. – November 2019. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://theicct.org/publications/china-vehicle-remote-sensing-regulations>.

16. ISO/DIS 8178-1:2, 1995. Reciprocating internal combustion engines – exhaust emission measurement – Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/15268.html>.

17. Lewandowski M. Silniki spalinowe pojazdów szynowych. – Warszawa: WKŁ, 2018.
18. Lijewski P., Merkisz J., Pelecha J. PEMS-based investigations into exhaust emissions from non-road and rail vehicles // Combustion Engines. – 2016. – Vol. 166, No. 3. – P. 46–53. – DOI: 10.19206/CE-2016-339.
19. Merkisz J., Lijewski P., Fuc P. et al. Exhaust emission tests from non-road vehicles conducted with the use of PEMS analyzers // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. – 2013. – Vol. 15, No. 4. – P. 364–368.
20. Merkisz J., Pelecha I., Andrzejewski M. et al. Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines // Journal of KONES. – 2018. – Vol. 25, No. 1. – P. 257–264. – DOI: 10.5604/01.3001.0012.2475.
21. Merkisz J., Rymaniak Ł., Lijewski P. et al. Tests of ecological indicators of two-way vehicles meeting Stage IIIB and Stage IV standards in real operating conditions // Rail Vehicles / Pojazdy Szynowe. – 2020. – No. 1. – P. 1–9. – DOI: 10.53502/RAIL-13849.
22. Закон України "Про охорону праці". – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
23. ДСТУ EN 458:2017 Засоби індивідуального захисту органів слуху. Рекомендації щодо вибору, використання, догляду та обслуговування.
24. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час роботи з обладнанням підвищеного шуму.
25. ЦТ-0042 – Правила технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів. – К.: Укрзалізниця, 2004.
26. Ткаченко І. В. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2021. – 220 с.
27. ISO 4869-2:2018 Acoustics — Hearing protectors — Estimation of effective A-weighted sound pressure levels.

Hoinets O.I., Yakubovski Ya.V. (head) **Research into ways to reduce the toxicity of exhaust gases from diesel power plants.** Degree project. - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025.

Extended abstract

The objective of this bachelor's qualification work is to improve the environmental situation in Ukraine by reducing the emission levels of pollutants generated by diesel locomotives.

The object of the study is the pollutants contained in the exhaust gases of diesel locomotive engines.

The subject of the study is the methods and means of measuring pollutant concentrations in exhaust gases, as well as the ways of reducing these concentrations.

To achieve this objective, the following tasks were performed:

- the requirements of national and international regulatory documents governing the permissible levels of pollutants in the exhaust gases of diesel locomotive engines were analyzed;

- the technical tools used for monitoring pollutant concentrations in exhaust gases and the methodology for operating such equipment were examined;

- the content of polluting (toxic) substances in exhaust gases and their sources of formation were analyzed;

- the results of direct measurements of pollutant levels in the exhaust gases of a diesel locomotive were presented;

- measures aimed at reducing the amount of toxic substances were proposed, with the primary measure being the implementation of an exhaust gas catalytic converter;

- occupational health and safety aspects during resistance testing of diesel locomotives, during which toxic gas levels are measured, were also considered.

Keywords: pollutants, toxic substances, exhaust gases, diesel locomotive engine, measurement, standard.

References

1. Ritz, B., Lee, P.-C., Hansen, J., Lassen, C. F., Ketznel, M., Sørensen, M., Raaschou-Nielsen, O. (2014). Ambient air pollution and Parkinson's disease in Denmark: a case-control study. *Environmental Health Perspectives*, 124(3), 351–356. DOI: 10.1289/ehp.1408447
2. California Air Resources Board. Health Effects of Diesel Exhaust. – Sacramento: CARB, 1998 \[updated 2023]. – Access mode: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/overview-health-effects-diesel-exhaust>
3. Zakon Ukrainy «Pro okhoronu atmosferneho povitria». Ofitsiine vydannia \[Elektronnyi dokument]. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
4. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 29 lystopada 2001 r. №1598 «Pro zatverdzhennia pereliku naibilsh poshyrenykh i nebezpechnykh zabrudniuiuchykh rehovyn, vykydy yakykh v atmosferne povitria pidliahaiut rehuliuvaniu». Ofitsiine vydannia \[Elektronnyi dokument]. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1598-2001-%D0%BF#Text>
5. Poriadok rozroblennia ta zatverdzhennia normatyviv vmistu zabrudniuiuchykh rehovyn u vidpratsovanykh hazakh ta vplyvu fizychnykh faktoriv peresuvnykh dzherel zabrudnennia atmosferneho povitria. Zatverdzheno Postanovoiu KМУ vid 13 bereznia 2002 roku №303.
6. Metodyka rozrakhunku vykidiv zabrudniuiuchykh rehovyn vid zaliznychnoho transportu. Zatverdzheno Nakazom Derzhavnoho komitetu statystyky vid 13.11.2008 №452. \[Elektronnyi dokument]. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0452202-08#Text>

7. HSTU 32.001-94. Wykydy zabrudniuiuchykh rehovyn z vidpratsovanymy hazamy teplovoznykh dyzeliv. Normy ta metody vyznachennia.

8. AMIŃSKA, M., KOŁODZIEJEK, D., SZYMLET, N. et al. Measurement of rail vehicles exhaust emissions. **Combustion Engines**. 2022, 189(2), 10–17. <https://doi.org/10.19206/CE-142526>

9. Andrzejewski M., Daszkiewicz P., Rymaniak Ł. Impact of modernization of locomotives operated in Poland on the emission of toxic compounds in exhaust gases. **Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe**. – 2018. – Vol. 19, No. 12. – P. 54–57. – DOI: 10.24136/atest.2018.353

10. Andrzejewski M., Fuc P., Gallas D. et al. Impact of driving style on the exhaust emission of a diesel multiple unit. **17th Int. Conf. on Railway Engineering Design & Operation (COMPRAIL 2020)**. – 2020. – P. 365–376. – DOI: 10.2495/CR200341

11. Andrzejewski M., Pelecha I., Merkisz J. et al. Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines. **Journal of KONES**. – 2018. – Vol. 25, No. 1. – P. 257–264. – DOI: 10.5604/01.3001.0012.2475

12. Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 amending Directive 97/68/EC. – \[Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32004L0026>

13. Dokumentacja techniczno-rozruchowa zmodernizowanego lokomotywu spalinowego Typu T448.P. – TOM II. – \[Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: [http://www.katalogkolejowy.pl/produkty_detal/389](http://www.katalogkolejowy.pl/produkty_detal/389)

14. Dyrektywa Komisji 2010/26/UE z dnia 31 marca 2010 r. – \[Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://eur-lex.europa.eu>

15. ICCT. Technical considerations for choosing a metric for vehicle remote-sensing regulations. – November 2019. – \[Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://theicct.org/publications/china-vehicle-remote-sensing-regulations

16. ISO/DIS 8178-1:2, 1995. Reciprocating internal combustion engines – exhaust emission measurement – Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions. – \[Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://www.iso.org/standard/15268.html

17. Lewandowski M. *Silniki spalinowe pojazdów szynowych*. – Warszawa: WKL, 2018

18. Lijewski P., Merkisz J., Pelecha J. PEMS-based investigations into exhaust emissions from non-road and rail vehicles. *Combustion Engines*. – 2016. – Vol. 166, No. 3. – P. 46–53. – DOI: 10.19206/CE-2016-339

19. Merkisz J., Lijewski P., Fuc P. et al. Exhaust emission tests from non-road vehicles conducted with the use of PEMS analyzers. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. – 2013. – Vol. 15, No. 4. – P. 364–368

20. Merkisz J., Pelecha I., Andrzejewski M. et al. Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines. *Journal of KONES*. – 2018. – Vol. 25, No. 1. – P. 257–264. – DOI: 10.5604/01.3001.0012.2475

21. Merkisz J., Rymaniak Ł., Lijewski P. et al. Tests of ecological indicators of two-way vehicles meeting Stage IIIB and Stage IV standards in real operating conditions. *Rail Vehicles / Pojazdy Szynowe*. – 2020. – No. 1. – P. 1–9. – DOI: 10.53502/RAIL-13849

22. Zakon Ukrainy «Pro okhoronu pratsi». – \[Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12

23. DSTU EN 458:2017. Zasoby individualnoho zakhystu orhaniv slukhu. Rekomendatsii shchodo vyboru, vykorystannia, dohliadu ta obsluhovuvannia
24. NPAOP 0.00-1.28-10. Pravila okhorony pratsi pid chas roboty z obladnanniam pidvyshchenoho shumu
25. TsT-0042 – Pravila tekhnichnoho obsluhovuvannia i potochnykh remontiv teplovoziv. – K.: Ukrzaliznytsia, 2004
26. Tkachenko I. V. *Bezpeka zhyttiediialnosti: navch. posib.* – K.: Tsentri uchbovoi literatury, 2021. – 220 s.
27. ISO 4869-2:2018 Acoustics — Hearing protectors — Estimation of effective A-weighted sound pressure levels

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

68 с., 17 рис., 11 табл., 27 джерел.

Об'єкт дослідження – забруднюючі речовини, які містяться у відпрацьованих газах тепловозних дизелів.

Мета роботи – покращення екологічної ситуації в Україні шляхом зменшення рівня викидів забруднюючих речовин тепловозними дизелями.

Метод дослідження – загальнонаукові методи аналізу та синтезу, методи розрахунку кількості викидів забруднюючих речовин тепловозними дизелями, методи вимірювання вмісту компонентів у відпрацьованих газах.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто вимоги вітчизняних та європейських нормативних документів, що регламентують рівень викидів забруднюючих речовин в атмосферу, запропонована методика проведення вимірів та технічні засоби вимірювання, наведено приклад реальних вимірювань викидів забруднюючих речовин тепловозними дизелями і запропоновані заходи щодо зменшення цих викидів.

Також розглянуто пов'язані питання охорони праці при проведенні реостатних випробувань тепловозів, при яких вимірюється рівень токсичних речовин і надано пропозиції з захисту працюючих на станціях реостатних випробувань.

Ключові слова: ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ, ТОКСИЧНІ РЕЧОВИНИ, ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ, ТЕПЛОВОЗНИЙ ДИЗЕЛЬ, ВИМІРЮВАННЯ, НОРМА

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ.....	3
ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ВИМОГ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМАТИВНИХ	
ДОКУМЕНТІВ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЮТЬ РІВЕНЬ ТОКСИЧНОСТІ	
ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ	7
1.1 Аналіз вимог вітчизняних нормативних документів.....	7
1.2 Аналіз вимог європейських нормативних документів	18
2 АНАЛІЗ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ	24
2.1 Аналіз складу забруднюючих речовин у відпрацювавших газах.....	24
2.2 Засоби контролю, які передбачені вітчизняними нормативними документами	25
2.3 Засоби контролю забруднюючих речовин, які використовуються у країнах ЄС.	28
2.4 Результати вимірювань забруднюючих речовин.	29
3 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ	
ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ ..	37
3.1 Загальні напрямки зниження токсичності віпрацюваних газів енергетичних установок тепловозів	37
3.2 Пропозиція з впровадження каталітичного нейтралізатора на тепловозах.....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1 Аналіз захворюваності машиністів, що пов'язана з викидами токсичних речовин.	44
4.2 Вимоги охорони праці при проведенні вимірювань кількості токсичних речовин у відпрацювавших газах дизелів.	45
4.3 Пропозиції щодо застосування засобів захисту при визначенні рівня токсичних речовин у відпрацюваних газах при реостатних випробуваннях	48
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АТ	Акціонерне товариство
ДСТУ	Державний стандарт України
ЗР	Забруднюючі речовини
ВГ	Відпрацювавши газ
КР	Капітальний ремонт
ПНВТ	Паливний насос високого тиску
ПР	Поточний ремонт
ПТЕ	Правила технічної експлуатації залізниць України
ПТОЛ	Пункт технічного обслуговування локомотивів
ТО	Технічне обслуговування
УЗ	Акціонерне товариство «Укрзалізниця»
CAN	мережева система керування (Controller Area Network)
CF	коефіцієнт відповідності (Conformity Factor)
CI	запалювання стисненням (Compression Ignition)
CO	чадний газ (Carbon Monoxide)
CO ₂	вуглекислий газ (Carbon Dioxide)
DPF	фільтр твердих частинок дизеля (Diesel Particulate Filter)
FID	детектор полум'яної іонізації (Flame Ionization Detector)
GPS	глобальна навігаційна система (Global Positioning System)
HC	вуглеводні (Hydrocarbons)
ISO	Міжнародна організація зі стандартизації
LAN	локальна мережа (Local Area Network)
NDIR	недисперсійний інфрачервоний (Non-Dispersive Infrared)
NDUV	недисперсійний ультрафіолет (Non-Dispersive Ultra Violet)
NO _x	оксиди азоту (Nitrogen Oxides)
NTA	сертифікація нового типу (New Type Approval)

OBD	бортова діагностика (On-Board Diagnostics)
ORE	Центр розвитку освіти (Centre for Education Development)
PEMS	портативні системи вимірювання викидів (Portable Emissions Measurement Systems)
PM	тверді частинки (Particulate Matter)
RDE	викиди в реальних умовах експлуатації (Real Driving Emissions)
SCR	селективне каталітичне відновлення (Selective Catalytic Reduction)
SI	запалювання від іскри (Spark Ignition)
WLTP	всесвітня гармонізована процедура випробувань легкових автомобілів (World Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure)

ВСТУП

Дизельні викиди містять канцерогенні частинки (DPM), окиси азоту (NO_x), поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ), ультрадисперсні частинки, які здатні проникати глибоко в легені та кровоносну систему, викликаючи серйозні хвороби: рак легенів, серцево-легеневі патології, загострення астми

IARC (ВООЗ) класифікує дизельний вихлоп як канцероген для людини (Group 1) — на основі численних епідеміологічних та експериментальних досліджень [1, 2].

Специфікою тепловозів у цьому питанні є локальний вплив. Згідно досліджень [2], працівники та пасажери дизельних поїздів зазнавали впливу значно підвищеного рівня чорного вуглецю (на $8,5 \text{ мкг/м}^3$), ультрадисперсних частинок ($1,2\text{--}1,8 \cdot 10^5 \text{ шт/см}^3$) та NO_x (до 317 мкг/м^3) у порівнянні з електричними поїздами. При цьому фіксували гострі реакції — зниження функції легень, зміни серцевого ритму та пошкодження ДНК в кров'яних клітинах particleandfibretoxicology.biomedcentral.com+1pmc.ncbi.nlm.nih.gov+1.

В Україні, де багато тепловозів застаріли, ризики перевищення норм токсичних складників можуть бути ще вищими — завдяки менш жорсткому екологічному контролю рухомого складу.

Моніторинг рівня викидів забруднюючих речовин є важливим з наступних причин.

Забруднення атмосферного повітря: тепловози є джерелом локальних викидів токсичних речовин — особливо в містах та поблизу залізничних вузлів.

Охорона здоров'я персоналу: локомотивні бригади та технічний персонал регулярно піддаються впливу токсичних агентів, що викликає професійні хвороби.

Відповідність міжнародним нормам: Україна прагне до інтеграції в ЄС, отже потребує стандартного моніторингу за вимогами Євро-стандартів та рекомендацій ВООЗ.

Таким чином, визначення рівня токсичних речовин у дизельних двигунах

тепловозів є критично важливим:

Глобально — для попередження захворювань і зменшення екологічного впливу дизельного транспорту.

В Україні — через великий застарілий парк локомотивів, недостатньо чіткий контроль викидів, високу кількість персоналу, що піддається ризику.

Для забезпечення чистоти повітря та здоров'я працівників необхідно впроваджувати обов'язковий моніторинг токсичних компонентів вихлопів, оновлювати парк тепловозів та адаптувати вимірювання до сучасних стандартів якості повітря.

Вищенаведене і визначає актуальність даної роботи для локомотивних депо у сучасних умовах.

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є покращення екологічної ситуації в Україні шляхом зменшення рівня викидів забруднюючих речовин тепловозними дизелями.

Об'єктом дослідження є забруднюючі речовини, які містяться у відпрацьованих газах тепловозних дизелів.

Предметом дослідження є методи та засоби вимірювання рівня забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та шляхи його зниження.

1 АНАЛІЗ ВИМОГ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЮТЬ РІВЕНЬ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ

1.1 Аналіз вимог вітчизняних нормативних документів

Базовим вітчизняним законодавчим актом, який регулює рівень викидів забруднюючих речовин в атмосферу є Закон України «Про охорону атмосферного повітря» [3]. У ньому надано визначення терміну: «норматив вмісту забруднюючої речовини у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувного джерела - гранично допустима кількість забруднюючої речовини у відпрацьованих газах пересувного джерела, що відводиться в атмосферне повітря» [3].

Закон [3] також визначає, що нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів цих джерел встановлюються для кожного типу такого джерела. При цьому мають бути враховані сучасні технічні рішення щодо мінімізації утворення таких речовин, впливу візичних факторів а також очищення віпрацювавших газів. Також при цьому враховується економічна доцільність запропонованих заходів.

Стаття 17 Закону [3] регламентує заходи, які сприяють зменшенню забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами, які утворюються внаслідок експлуатації транспортних засобів. Стосовно тепловозних енергетичних установко слід відзначити наступні заходи [3]:

“- розроблення та виконання комплексу заходів щодо зниження викидів, знешкодження шкідливих речовин і зменшення фізичного впливу під час проектування, виробництва, експлуатації та ремонту транспортних та інших пересувних засобів і установок;

- переведення транспортних та інших пересувних засобів і установок на менш токсичні види палива;

- впровадження та вдосконалення діяльності контрольно-регулювальних і діагностичних пунктів та комплексних систем перевірки нормативів екологічної безпеки транспортних та інших пересувних засобів і установок.”

Закон [3] накладає заборону на проектування, виробництво та експлуатацію транспортних засобів, які продукують відпрацьовані гази з вмістом забруднюючих речовин, що перевищує норму.

На виконання ст. 11 Закону [3] Кабінет Міністрів України затвердив Постанову [4], у якій наведено перелік найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню. Найбільш поширеними речовинами, згідно цього переліку є:

оксиди азоту;

- бенз(а)пірен

- діоксид та інші сполуки сірки

- оксид вуглецю

- озон

- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна);

- свинець та його сполуки;

- формальдегід.

Небезпечними речовинами, які включені до цього переліку, є наступні:

- метали та їх сполуки;

- органічні аміни;

- леткі органічні сполуки;

- стійкі органічні сполуки;

- хлор, бром та їх сполуки;

- фтор та його сполуки;

- ціаніди;

- фреони;

- арсен та його сполуки.

Нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах пересувних джерел забруднення атмосферного повітря, до яких відносяться тепловозні дизелі, розробляються та затверджуються відповідно до Порядку [5]. Цей документ встановлює чіткі вимоги до розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднювальних речовин у відпрацьованих газах і впливу фізичних факторів (наприклад шуму, вібрації) пересувних джерел забруднення — кожного типу транспортних засобів, що працюють в Україні.

Нормативи розробляються з урахуванням як міжнародних стандартів, так і найкращих доступних технологій (НДТ), особливо для нових пересувних джерел, з метою зменшення викидів і фізичного впливу.

Міністерство довкілля (раніше
Мінекоресурсів/Мінприроди/Мінекоенерго) організовує конкурс серед профільних установ для розроблення нормативів відповідно до затвердженої інструкції.

Готові нормативи узгоджуються з Мінінфраструктури, МОЗ, Мінекономіки (до 2019 – Мінпромполітики) та сертифікаційними органами, після чого затверджуються Міндовкіллям.

Перегляд нормативів здійснюється за аналогічною процедурою протягом календарного року у разі появи нових технологічних рішень або змін законодавства України чи ЄС.

Слід зазначити, що у попередні роки в Україні була розроблена Методика [6], яка на сьогоднішній день втратила чинність, однак залишається важливим довідковим документом, що використовується при розрахунках.

Таким чином, основним нормативним документом, який регламентує норми та методи визначення забруднюючих речовин є Стандарт [7]. Розглянемо основні його положення.

У першу чергу слід відзначити, що Стандарт [7] регламентує викиди лише трьох видів забруднюючих речовин: оксидів нітрогену (у перерахунку на

діоксид нітрогену), оксидів карбону та вміст вуглеводнів. Норми викиду ЗР для дизелів різних років наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Норми середньоексплуатаційних викидів ЗР з ВГ тепловозних дизелів

Назва ЗР	Норма викидів	
	Дизель у експлуатації до 4-х років	Дизель в експлуатації більше 4-х років
Оксиди нітрогену (в розрахунку на діоксид нітрогену)	18	18
Оксид вуглецю	10	12
Вуглеводні	4	4,5

Стандарт передбачає, що вимірювання концентрації ЗР у ВГ тепловозних дизелів здійснюється методом безпосереднього інструментального вимірювання під час реостатних випробувань.

Стандарт визначає також параметри, їх позначення, одиниці виміру та похибки, як показано у табл. 1.2.

Також у Стандарті [7] наведена методика проведення вимірювань, яка полягає у наступному: Нормовані параметри ЗР визначаються за такими режимами випробувань тепловозних дизелів:

- P_{e100} — режим номінальної потужності, кВт;
- $P_{e75} = 0,75 P_e 100 \pm 5 \%$, кВт;
- $P_{e50} = 0,5 P_e 100 \pm 5 \%$, кВт;
- $P_{e25} = 0,25 P_e 100 \pm 5 \%$, кВт;
- $P_{exx} = P_{дон мех.}$ — режим тепловозного холостого ходу, кВт,

де $P_{\text{доп.мех.}}$ — сумарна потужність допоміжного обладнання й механізмів тепловоза, кВт.

Таблиця 1.2

Параметри, що визначаються при вимірюванні ЗР у ВГ тепловозних дизелів

Назва параметра	Позначення параметра	Допустима відносна похибка вимірювання, %
Концентрація оксидів нітрогену у ВГ, % (у перерахунку на NO ₂)	C_{NO_2}	±10
Концентрація оксидів карбону у ВГ, %	C_{CO}	±10
Концентрація вуглеводнів, %	C_{CH}	±10
Концентрація діоксиду карбону у ВГ, %	C_{CO_2}	±10
Концентрація кисню у ВГ, %	C_{O_2}	±10
Питомий викид оксидів нітрогену на режимі навантаженні (відповідно до табл. 1.3), г/(кВт·год)	e_{NO_2}	±12
Питомий викид оксиду карбону на режимі навантаженні (відповідно до табл. 1.3), г/(кВт·год)	e_{CO}	±12
Питомий викид вуглеводнів на режимі навантаженні (відповідно до табл. 1.3), г/(кВт·год)	e_{CH}	±12

Рекомендовані номери позицій контролера машиніста для отримання вищевказаних потужностей для основних типів тепловозів наведено в таблиці 1.3. У цій таблиці наведено частоти обертання колінчастого вала дизеля на цих позиціях. Значення частот можуть змінюватись у межах, зазначених у ТУ на кожний тип дизелів.

Відлік показань газоаналізаторів і приладів слід проводити на режимах, зазначених у табл. 1.3 не менше трьох разів з інтервалом 50...60 с.

Перший відлік показань газоаналізаторів і приладів слід проводити не раніше ніж через 300 с після стабілізації температурного стану дизеля тепловоза на режимі випробувань, що характеризується постійною температурою охолоджувальної води і мастила, їхнім тиском і постійною частотою обертання колінчастого вала.

Результати трьох останніх відліків не повинні відрізнятись один від одного більше ніж на 10 %.

Методика передбачає, що під час відліку показань газоаналізаторів і приладів повинні бути ввімкнені компресор і вентилятор тепловоза.

За результат вимірювань приймається середнє арифметичне значення не менш ніж трьох відліків:

$$C_p = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3}; \quad (1.1)$$

де C_1, C_2, C_3 - результати вимірювання.

Результати вимірювань концентрацій забруднюючих речовин (ЗР), витрати пального і величин потужності дизеля під час випробувань заносяться до протоколу випробувань. Форма протоколу екологічних випробувань тепловозних дизелів наведена в додатку В Стандарту [7].

Режими роботи тепловозних дизелів при випробуваннях

Серія тепловозів (заводська марка дизеля)	Величини, що фіксуються	Нормовані режими випробувань, P_e_d				
		P _{ехх}	P _{е25}	P _{е50}	P _{е75}	P _{е100}
2ТЭ116 (1А-5Д49)	№ позиції контролера, n, хв ⁻¹	0, 350	IV, 490	VIII, 615	XI, 705	XV, 830
2ТЭ10Л (1Д10)	№ позиції контролера, n, хв ⁻¹	0, 400	IV, 475	VIII, 600	XI, 690	XV, 800
ТЭП60 (1Д4Д5)	№ позиції контролера, n, хв ⁻¹	0, 400	IV, 475	VIII, 600	XI, 690	XV, 800
ТЭП70 (2А5Д49)	№ позиції контролера, n, хв ⁻¹	0, 350	IV, 470	VIII, 585	XI, 670	XV, 780
М62 (14Д40)	№ позиції контролера, n, хв ⁻¹	0, 400	IV, 475	VIII, 600	XI, 690	XV, 800
ТЭ3, ТЭ7 (10Д100)	№ позиції контролера, n, хв ⁻¹	0, 400	IV, 470	VIII, 580	XI, 660	XV, 760
ЧМЭ3 (К6 310ДР)	№ позиції контролера, n, хв ⁻¹	0, 350	IV, 425	VIII, 535	XI, 610	XV, 700
ТЭМ-2 (Д50)	№ позиції контролера, n, хв	0 300	III 330	V 480	VI 570	VIII 750
2ТЭ121 (2В-5Д49)	№ позиції контролера, n, хв	0 420	V 580	IX 752	XI 835	XV 1000

Контроль точності вимірювань здійснюється непрямим методом за показаннями метрологічно забезпечених застосованих приладів.

Обробка результатів вимірювань проводиться наступним чином:

Питомі викиди оксиду нітрогену (e_{NO_2}), оксиду карбону (e_{CO}) в г/(кВт·год) у режимах випробувань слід обчислювати за такими формулами:

$$e_{NO_2j} = \frac{5,72 \cdot 10^4 C_{NO_2} (G_{oir} - 0,000974 G_{нал})}{P_{ej}}; \quad (1.2)$$

$$e_{COj} = \frac{3,475 \cdot 10^4 C_{CO} (G_{oir} - 0,000974 G_{нал})}{P_{ej}}; \quad (1.3)$$

У разі застосування газоаналізатора, що вимірює C_{CH} у пропановому еквіваленті, обчислення проводиться за формулою:

$$e_{CHj} = \frac{5,46 \cdot 10^4 C_{CH} (G_{oir} - 0,000974 G_{нал})}{P_{ej}}; \quad (1.4)$$

У разі застосування газоаналізатора, що вимірює C_{CH} у гексановому еквіваленті, обчислення проводиться за формулою:

$$e_{CHj} = \frac{10,69 \cdot 10^4 C_{CH} (G_{oir} - 0,000974 G_{нал})}{P_{ej}}; \quad (1.5)$$

де j - номер режиму випробувань ($j = 25, 50, 75, 100$) — згідно з табл. 1.3;

G_{oir} - витрата повітря, кг/с;

$G_{нал}$ - витрата палива, г/с;

P_{ej} - ефективна потужність дизеля на режимі випробувань відповідно до табл. 1.3;

C_{CO} – концентрація оксиду карбону, %;

C_{NO_2} – концентрація оксиду нітрогену, %;

C_{CH} – концентрація вуглеводню, %.

Витрату повітря через дизель тепловоза в кг/с визначають розрахунково-експериментальним методом за наступною залежністю:

$$G_{oir} = \frac{\alpha_{\Sigma} L_{oir}^0 G_{нал}}{1000}; \quad (1.6)$$

де L_{oir}^0 - кількість повітря, теоретично необхідна для згоряння 1 кг пального.

Для середнього складу дизельного пального $O^P = 0,5\%$, $C^P = 86\%$, $H^P = 13\%$, $S^P = 0,5\%$ і середній масовій частці кисню в атмосферному повітрі $O_2 = 0,232$, $L_{oir}^0 = 14,32$ кг повітря/кг пального;

α_{Σ} - сумарний коефіцієнт надлишку повітря, визначений за результатами аналізу ВГ та складу малосірчистого пального.

При вимірюванні концентрації кисню CO_2 в ОГ у % α_{Σ} слід визначати за формулою:

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{21}{21 - C_{O_2}}; \quad (1.6)$$

де C_{O_2} - концентрація кисню, %.

В інших випадках α_{Σ} для середнього складу дизельного пального) та за умови вмісту азоту $C_{N_2} = 1 \%$ і кисню $C_{O_2} = 21 \%$ в атмосферному повітрі обчислюють за формулою:

$$\alpha_{\Sigma} = 1 + \frac{21 - 1,353C_{CO_2} - 0,958C_{CO} - 0,5C_{NO_2} - 0,63C_{NO}}{C_{CO_2} + 0,5C_{CO} + 0,4468(C_{CO_2} + C_{CO}) + 0,5C_{NO}} \quad (1.8)$$

де C_{CO_2} - концентрація діоксиду карбону у ВГ, %;

C_{NO} - концентрація оксиду карбону, %.

Витрату дизельного пального під час випробувань (табл. 1.3) визначають за допомогою витратоміра.

Ефективну потужність у кВт на режимі випробувань P_e (табл. 1.3) визначають за формулою:

$$P_e = P_{eg} + P_{доп.мех.}; \quad (1.9)$$

де P_{eg} - потужність, виміряна на клеммах генератора, кВт;

$P_{доп.мех.}$ - потужність допоміжного обладнання і механізмів тепловоза (з урахуванням їхньої циклічності роботи), зокрема вентиляторів систем охолодження, вентилятора тягових двигунів тощо.

Для дизелів різних типів величина $P_{доп.мех.}$ встановлюється згідно з показами контролера машиніста, вказаними в табл. 1.3, і наведена в табл. 1.4.

Потужність у кВт, виміряна на клеммах генератора, обчислюється за формулою:

$$P_{ez} = U \frac{J}{\eta_r}, \quad (1.10)$$

де U - напруга на клеммах генератора, В;

J – струм генератора, А;

η_r — ККД генератора.

Таблиця 1.4

Потужності допоміжних механізмів, $P_{доп.мех.}$, кВт

Серія тепловоза	Режими випробувань				
	$P_{вм\ xx}$	$P_{вм25}$	$P_{вм50}$	$P_{вм75}$	$P_{вм100}$
2ТЕ116	32,5	51	68	108	171
2ТЕ10Л	24	48,5	74,3	122,1	192
ТЕП60	45	83	102	132	269
ТЕП70	24	68	125	177,5	243,4
М62	36,8	53	82,3	125	176
ТЕ3, ТЕ7	22	46	70	94	110
ЧМЕ3	12	19,8	28,6	37,6	73,2
ТЕМ-2	9,4	10,9	21,9	34,4	69
2ТЕ121	45	114	192	244	380

Середньоексплуатаційний питомий викид ЗР у г/(кВт·год) у залежності від режиму навантаження і часу роботи дизеля тепловоза на цьому режимі обчислюється за формулою:

$$E_L = \frac{e_{i100} P_{e100} \tau_{100} + e_{i75} P_{e75} \tau_{75} + e_{i50} P_{e50} \tau_{50} + e_{i25} P_{e25} \tau_{25} + e_{i\text{ex}} P_{\text{ex}} \tau_{\text{ex}}}{P_{e100} \tau_{100} + P_{e75} \tau_{75} + P_{e50} \tau_{50} + P_{e25} \tau_{25} + P_{\text{ex}} \tau_{\text{ex}}}, \quad (1.11)$$

де L – вид ЗР (NO, CO, CH);

$e_{i100}, e_{i75}, e_{i50}, e_{i25}, e_{ixx}$ - питомі викиди ЗР з ВГ на режимах випробувань дизелів, (г/кВт·год);

$\tau_{100}, \tau_{75}, \tau_{50}, \tau_{25}, \tau_{xx}$ - відносний час роботи дизеля в експлуатації на нормованих режимах випробувань, %.

Середні значення відносного часу завантаження дизеля у залежності від виду роботи, що виконується тепловозом, наведені у табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Середні значення відносного часу завантаження дизеля у залежності від виду роботи, що виконується тепловозом

Вид роботи, що виконується	Відносний час завантаження				
	τ_{xx}	τ_{25}	τ_{50}	τ_{75}	τ_{100}
Магістральна	60	10	11	13	6
Вивізна	67	2	3	3	25
Маневрова	45	40	12	1,5	0,5

Вважається, що дизель тепловоза відповідає вимогам Стандарту [7], якщо обчислені за результатами вимірювань параметри викидів ЗР у ВГ (E_{NO_2} , E_{CO} , E_{CH}) не перевищують значень, що вказані у табл. 1.1

1.2 Аналіз вимог європейських нормативних документів

Розвиток технологій вимірювання та дослідження шкідливого впливу речовин, які виділяються з вихлопними газами, призвели до того, що кілька десятиліть тому зросла обізнаність щодо ризиків, пов'язаних із викидами від двигунів внутрішнього згорання. Як наслідок, у Європі були розроблені й запроваджені стандарти викидів вихлопних газів для двигунів залізничного транспорту. Розглянемо вимоги європейських нормативних документів на прикладі Польщі [8]

Найдавнішою формою офіційної реєстрації граничних значень викидів для транспортних засобів, які використовуються в Польщі є звіт ORE B13. На основі цього документа було проведено 29-фазний тест (рис. 1.1), з якого для розрахунків було відібрано чотири рівномірно розподілені робочі точки.

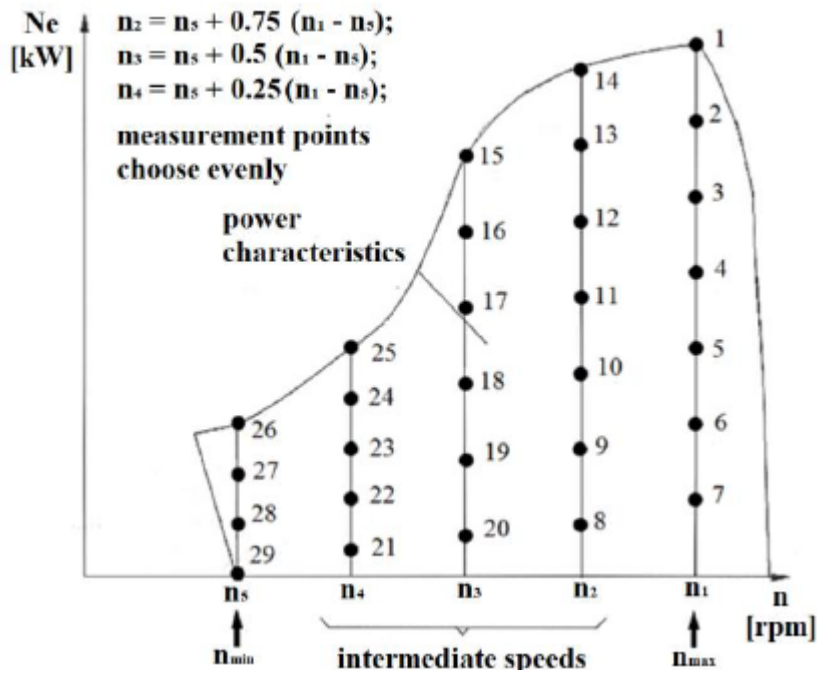


Рисунок 1.1 - Вимірювальні точки тесту ORE B13

Разом із вищезгаданим тестом було запроваджено граничні значення викидів для таких сполук, як: CO (чадний газ), HC (вуглеводні) та NO_x (оксиди нітрогену) (табл. 1.6). Стандарти для недорожніх транспортних засобів, до яких відносяться локомотиви, встановлюють максимальні значення питомих викидів для кожного компонента вихлопу, тобто виражених як маса речовини, що викидається в процесі вироблення одиниці роботи. Найновіша версія, запроваджена у 1997 році, передбачала чотириразове зниження викидів чадного газу, п'ятикратне зниження викидів вуглеводнів і дворазове зменшення викидів оксидів нітрогену порівняно з першою стадією. Водночас непрозорість (димність) вихлопних газів мала залишатися на незмінному рівні.

Вступ Польщі до Європейського Союзу призвів до набуття чинності стандартів ЄС для категорії транспортних засобів NRMM (недорожні мобільні

машини). На основі послідовних регламентів Європейського парламенту були впроваджені нові, дедалі суворіші стандарти щодо викидів вихлопних газів.

Таблиця 1.6

Граничні значення викидів згідно з ORE B13

Застосування	СО г/кВт·год	НС г/кВт·год	NO _x г/кВт·год	Димність к м ⁻¹
До 31.12.1981	12	4.0	24	1.6–2.5
З 01.01.1982	8	2.4	20	1.6–2.5
З 01.02.1991	4	1.6	16	1.6–2.5
З 01.02.1997	3	0.8	12	1.6–2.5

Особливу увагу слід звернути на такі стандарти: Stage IIIA (2006), Stage IIIB (2011) та Stage V (2019). Кожна з цих стадій класифікує двигуни недорожньої техніки залежно від потужності, типу займання і транспортного засобу, на якому встановлено двигун (табл. 1.7). Стандарт встановлює граничні значення для таких токсичних сполук, як СО, НС, NO_x, загальні НС і NO_x, а також маса твердих частинок (PM) (рис. 1.2).

Унаслідок введення у дію цих регламентів, новітні конструкції двигунів залізничного транспорту оснащуються сучасними технологічними рішеннями, відомими з легкових і вантажних автомобілів, зокрема системою впорскування Common Rail або каталізатором SCR (Selective Catalytic Reduction — селективне каталітичне відновлення). У рамках стандарту Stage V передбачено вимогу випробування транспортних засобів категорії NRMM у реальних умовах експлуатації. Однак граничні значення для окремих токсичних компонентів вихлопу наразі ще не встановлені.

Категорії двигунів залізничних транспортних засобів згідно зі Stage IIIA,
Stage IIIB та Stage V

Норма	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage V
Типи транспортних засобів	Рейкові автобуси RC A $P < 130$ кВт	Рейкові автобуси RC B $P < 130$ кВт	Рейкові автобуси RLR, CI/SI; $P > 0$ кВт
	Локомотиви RL A $130 \text{ кВт} < P \leq 560 \text{ кВт}$	Локомотиви R $P > 130$ кВт	Локомотиви RLL, CI/SI; $P > 0$ кВт
	Локомотиви RH A $P > 560$ кВт		

Пояснення категорій:

- RC A — двигуни рейкових автобусів, з 31.12.2005
- RL A — локомотивні двигуни, з 31.12.2006
- RH — локомотивні двигуни, з 31.12.2008
- RC B — двигуни рейкових автобусів, з 31.12.2011
- R B — локомотивні двигуни, з 31.12.2011
- RLR — рейкові автобуси, з 31.12.2020
- RLL — локомотиви, з 31.12.2020

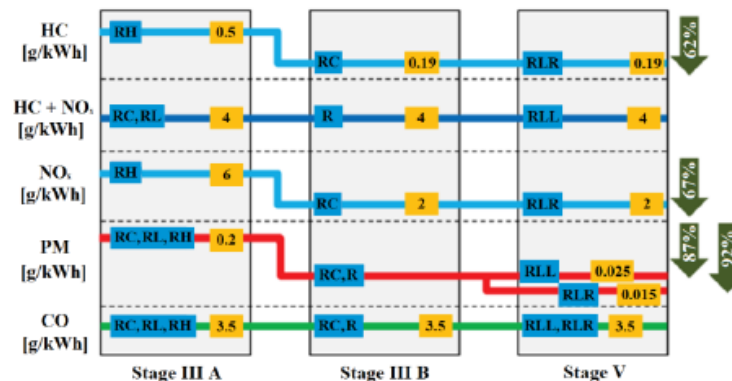


Рисунок 1.2 – Граничні значення викидів для норм Stage IIIA, IIIB і V

Випробування викидів для транспортних засобів категорії NRMM регламентуються стандартом ISO 8178. Вимірвальні цикли проводяться відповідно до стандартів Stage I, II, IIIA, IIIB, IV та V для дизельних двигунів із чистою потужністю від $19 \text{ кВт} \leq P \leq 560 \text{ кВт}$, які можуть працювати при сталій або змінній швидкості. Методика випробування передбачає серію з одинадцяти вимірювань на різних швидкостях і зусиллях на валу, що характеризують типову роботу двигуна транспортного засобу.

Різні режими роботи та їх вагові коефіцієнти наведено в табл. 1.8. Ваговий коефіцієнт — це вага робочої точки, яка використовується для обчислення підсумкових викидів. Тест виконується в умовах усталеної роботи, тобто не враховує перехідні процеси, наприклад, момент прискорення двигуна або його адаптацію до змінного навантаження.

Дослідження складу вихлопних газів є важливим у контексті діагностики двигуна та його функціональних систем, таких як: каталізатори, сажеві фільтри (DPF — Diesel Particulate Filter) та реактори SCR. Діагностика зношування цих елементів у конкретних транспортних засобах або цілих серіях двигунів може бути важливим етапом у розробці подальших технічних рішень, що спрямовані на зменшення викидів токсичних речовин.

Існують випробування, які проводяться на етапі:

- **гомологації** (NTA — затвердження нового типу),
- **відповідності виробництва** (випробування транспортних засобів, випадково відібраних зі серійного виробництва, для підтвердження відповідності гомологації),
- **періодичні випробування** на станціях технічного обслуговування транспортних засобів.

Сертифікаційні випробування відповідно до ISO 8178 є тривалим і складним процесом. Вони виконуються в стаціонарних умовах, часто з використанням генераторних гальм. Контрольні випробування, які проводяться після встановлення двигуна на транспортний засіб, виконуються після

відповідного періоду експлуатації на діагностичній станції, обладнаній, зокрема, водяним реостатом.

Таблиця 1.8

Вагові коефіцієнти тестів згідно з ISO 8178

Номер фази	Крутний момент [%]	Частота обертів двигуна [об/хв]	Недорожні ТЗ		З постійною частотою обертання двигуна		Локомотиви
			C1	C2	D1	D2	
1	100	Номінальна	0.15	–	0.30	0.05	0.25
2	75		0.15	–	0.50	0.25	–
3	50		0.15	–	0.20	0.30	–
4	25	Середній діапазон	–	0.06	–	0.30	–
5	10		0.10	–	–	0.10	–
6	100		0.10	0.02	–	–	–
7	75		0.10	0.05	–	–	–
8	50	Холостий хід	0.10	0.32	–	–	0.15
9	25		–	0.30	–	–	–
10	10		–	–	–	–	–
11	0		0.15	0.15	–	–	0.60

Позначення:

C1 — цикл тестування для дизельних двигунів із перервним режимом роботи

C2 — цикл тестування для бензинових двигунів потужністю понад 20 кВт

D1 — цикл тестування для допоміжних двигунів із постійною швидкістю

D2 — цикл тестування для дизельних двигунів із постійною швидкістю

F — цикл тестування для локомотивних двигунів

2 АНАЛІЗ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ

2.1 Аналіз складу забруднюючих речовин у відпрацюючих газах

Утворення речовин - продуктів неповного згорання в циліндрі двигуна відбувається, в основному, двома шляхами.

Одна група забруднюючих речовин утворюється в результаті хімічних реакцій окислення палива, що протікають в процесі згорання - розширення.

Друга група забруднюючих речовин утворюється при з'єднанні азоту і надмірного кисню в продуктах згорання.

При використанні дизельного палива середнього елементарного складу *основними забруднюючими речовинами* є: сажа, окиси карбону, вуглеводнів, альдегідів.

У загальному випадку передбачається, що виділення **сажі** в процесі згорання може бути розділене на три основні фази: утворення зародка; зростання зародків в частинки сажі; коагуляція первинних частинок сажі. Швидкість утворення сажі визначається швидкістю хімічних процесів, що приводять до виникнення зародка.

Встановлено, що утворення сажі залежить від властивостей палива. Чим вище молекулярна вага граничних і неграничних вуглеводнів, тим вище швидкість утворення частинок сажів. Виявлено також, що концентрація сажі тим більше, чим вище відношення С/Н в паливі.

У двигунах внутрішнього згорання утворення **оксиду карбону** може відбуватися в ході холодновогневих реакцій при згоранні паливоповітряних сумішей з деяким недостатком кисню, а також унаслідок дисоціації двооксиду карбону, що відбувається при високих температурах. В процесі подальшого згорання і розширення за наявності кисню можливе горіння оксиду карбону по ланцюговому механізму.

В процесі згорання палива **оксиди нітрогену** утворюються в результаті реакцій окислення азоту киснем повітря. Загальноприйнятою теорією

утворення оксиду нітрогену з атмосферного повітря і кисню в процесі згорання є термічна теорія за якою:

- Окислення азоту відбувається за фронтом полум'я в зоні продуктів згорання.

- Вихід оксиду нітрогену визначається максимальною температурою горіння, концентрацією азоту і кисню в продуктах згорання і не залежить від хімічної природи палива, що бере участь в реакції.

- Окислення азоту відбувається по ланцюговому механізму:

- Вихід оксидів нітрогену залежить від швидкості охолодження продуктів згорання.

Передбачається, що у відпрацьованих газах двигунів міститься понад двісті різних вуглеводнів, в той же час ряд теоретичних розрахунків показує, що вуглеводні в продуктах згорання повинні бути повністю відсутні.

Результати досліджень показують, що поблизу порівняно холодних стінок камери згорання відбувається гасіння полум'я і уповільнення реакції горіння, що сприяє утворенню вуглеводнів в продуктах згорання.

Усереднений за даними різних досліджень кількісний склад відпрацьованих газів дизелів приведений в табл. 2.1.

2.2 Засоби контролю, які передбачені вітчизняними нормативними документами

Стандарт [7] визначає, що для вимірювання концентрації ЗР у ВГ реостатний пункт локомотивного депо і стенд випробування дизелів тепловозоремонтного заводу повинні бути обладнані газоаналізаторами, газовідбірним зондом і магістраллю, яка подає ВГ до газоаналізаторів. Вказані пристрої повинні відповідати наступним вимогам:

1. Газоаналізатори повинні мати індикаторні або самописні пристрої, шкала яких має бути проградуєвана у відсотках об'ємної частки вимірюваного компонента, або в ppm, або мг/м³.

Кількісний склад відпрацьованих газів транспортних дизелів

Назва компоненту чи групи	Шкідливість	Гранична концентрація, %
Азот	нетоксичний	78
Кисень	нетоксичний	18
Пари води	нетоксичні	4
Оксид карбону	токсичний	0,5
Оксид нітрогену у перерахунку на двооксид	токсичний	0,5
Вуглеводні у перерахунку на гексан	токсичні	0,5
Альдегіди у перерахунку на формальдегід	токсичні	0,01
Двоокис сірки	токсичні	0,003
Сажа		
3,4 - бензопірен	канцероген	0,00001

2. Вимірюваним компонентом газоаналізатора оксидів нітрогену повинна бути сума всіх оксидів нітрогену, крім оксиду нітрогену(I) (N_2O), яка виражається через еквівалентну об'ємну частку оксидів типу NO_2 .

3. Газоаналізатор оксидів нітрогену повинен забезпечувати надійне вимірювання концентрацій у діапазоні від 0,01 до 50% у перерахунку на еквівалент NO_2 — незалежно від складу індивідуальних оксидів.

4. Газоаналізатор оксиду карбону повинен працювати у діапазоні від 0,01 до 10%.

5. Газоаналізатор для визначення вуглеводнів (СН) повинен забезпечувати надійне вимірювання концентрації вуглеводнів у діапазоні від 0 до 5000 ppm.

6. Попередні вимірювання газоаналізаторами необхідно здійснювати, виходячи з гранично допустимих разових і середньодобових концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі місцевості, пов'язаної з експлуатацією на залізничному транспорті.

7. Умови експлуатації газоаналізаторів повинні суворо відповідати складу аналізованої газової суміші, зазначеному в паспорті на прилад.

8. Газоаналізатори повинні бути забезпечені комплектом технічної документації та набором зразкових газових сумішей.

9. До складу технічної документації кожного газоаналізатора входить:

- * паспорт газоаналізатора;
- * інструкція з експлуатації газоаналізатора;
- * чинне свідоцтво про метрологічну атестацію газоаналізатора;
- * методика перевірки газоаналізатора;
- * паспорт зразкових газових сумішей.

10. Газозабірні зонди слід розміщувати у випускній трубі тепловоза на глибині не менше ніж 300 мм від верхнього краю зрізу випускної труби.

11. Прохідні перерізи газозабірної труби і газопровідної магістралі повинні бути достатніми для забезпечення нормальної роботи газоаналізатора за будь-якого режиму випробувань тепловоза.

12. Конструкція, матеріали газозабірної труби та газопровідної магістралі повинні забезпечувати проходження вихлопних газів дизеля тепловоза, що містять крапельну або конденсаційну вологу, а також запобігати проникненню атмосферного повітря до системи.

13. Температура газів у місці відбору проб газоаналізатором повинна забезпечувати нормальну безперебійну роботу протягом усього періоду випробувань тепловозних дизелів.

2.3 Засоби контролю забруднюючих речовин, які використовуються у країнах ЄС.

Концентрації окремих компонентів вихлопних газів вимірюються за допомогою спеціалізованих газоаналізаторів. Вихлопні гази подаються до них через зонд, встановлений у вихлопній системі. Параметри роботи двигуна, зокрема потужність, регулюються з пульта машиніста. Випробування, що проводяться лише в умовах усталеної роботи, призводять до значних розбіжностей між результатами сертифікаційних випробувань та рівнем викидів у реальних умовах експлуатації.

Звідси виникає ідея проведення випробувань у реальних умовах (RDE) для залізничних транспортних засобів. Такі випробування вже застосовуються до легкових автомобілів у межах тестових процедур WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicles Test Procedure). Існує можливість розробити методику таких випробувань для залізничних транспортних засобів і додавати їх результати до випробувань за ISO 8178 завдяки використанню пристроїв PEMS.

Використання обладнання PEMS дає змогу проводити випробування викидів транспортних засобів у реальних умовах експлуатації двигуна (рис. 5). Такі пристрої вимірюють концентрації CO, CO₂, HC, NO_x, а також масу, кількість і розміри твердих частинок.

Робочі параметри двигуна зчитуються з шини CAN (Controller Area Network). Щоб спростити порівняння результатів випробувань RDE із сертифікаційними випробуваннями, було введено коефіцієнт відповідності CF (Conformity Factor) [10]:

$$CF_i = \frac{E_{RDi}}{E_{WHTCi}}$$

де: i — речовини, для яких визначається коефіцієнт відповідності;

- E_{RDi} — викиди у реальних умовах експлуатації;
- E_{WHTCi} — викиди у випробуванні WHTC.

Визначення максимально допустимого значення коефіцієнта CF дозволяє враховувати відмінності між експлуатаційними умовами в тестах RDE і стандартних випробуваннях типу.

Використання обладнання PEMS може бути особливо корисним при порівнянні викидів до та після модернізації рухомого складу. Оцінка змін у рівні викидів і визначення екологічної вигоди можуть стати основою для прийняття рішення щодо подальших робіт із модернізації. Крім того, випробування, проведені в різних умовах, можуть слугувати основою для оцінювання тестів на викиди та їх відповідності фактичній експлуатації транспортних засобів.

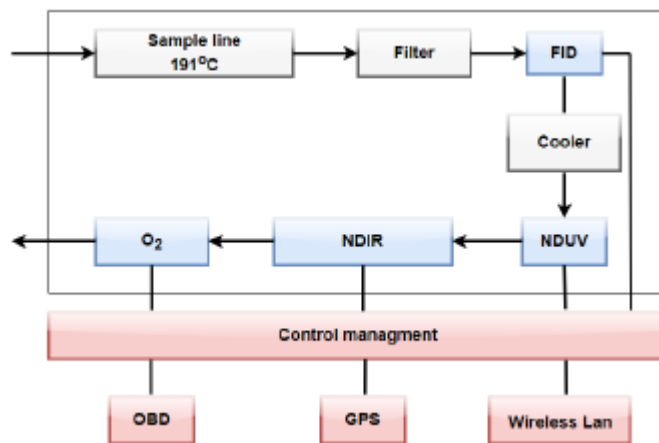


Рисунок 2.1 - Схема аналізатора PEMS на базі Semtech DS:

FID (детектор полум'яної іонізації); NDUV (недисперсійний ультрафіолет); NDIR (недисперсійний інфрачервоний); OBD (бортова діагностика); GPS (глобальна навігаційна система); LAN (локальна обчислювальна мережа)

2.4 Результати вимірювань забруднюючих речовин.

Випробування в реальних умовах експлуатації були проведені на дизельному локомотиві Т448.Р, параметри якого наведені у табл. 2.2.

Метою вимірювань було оцінити викиди токсичних сполук з урахуванням гістограм навантаження локомотивів у типових умовах експлуатації відповідно до вимог чинних стандартів, директив і нормативних документів.

Локомотив був оснащений 12-циліндровим двигуном внутрішнього згоряння з робочим об'ємом 47,5 дм³. Його максимальна потужність становила 680 кВт за частоти обертання 1300 об/хв. Схему проведених вимірювань подано на рис. 2.2.

Таблиця 2.2

Основні технічні дані досліджуваного об'єкта (згідно з експлуатаційною та ремонтною документацією)

Параметр	Значення
Тактність	чотиритактний
Уприскування	пряме
Наддув	турбонаддув
Розташування циліндрів	V-подібне, 90°
Діаметр циліндра [мм]	165
Хід поршня [мм]	185
Кількість циліндрів	12
Робочий об'єм [дм ³]	47,5
Ступінь стиснення	13,6:1
Максимальна потужність [кВт]	680
при частоті обертання [об/хв]	1300
Крутний момент при температурі охолоджуючої рідини 40 °С [Н·м]	560

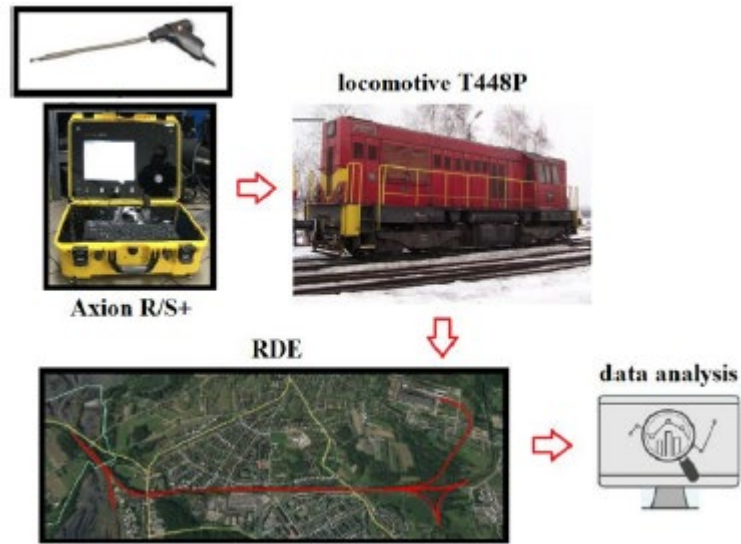


Рисунок 2.2 - Схема проведених випробувань

Випробування проводились за допомогою мобільного аналізатора Micro PEMS Axion R/S+, виготовленого компанією Global MRV. Пристрій вимірює концентрацію газоподібних токсичних сполук за допомогою недисперсійного інфрачервоного аналізатора — NDIR (CO_2 , CO , HC) та електрохімічного аналізатора (NO). Обладнання також дозволяє вимірювати концентрацію твердих частинок (PM) за допомогою методу Laser Scatter, в якому враховується швидкість переміщення частинок (з урахуванням значень для PM_{10}).

На основі зареєстрованих під час випробувань параметрів були визначені характеристики щільності часу як функції швидкості — прискорення ($V-a$) (рис. 2.3). Область, визначена діапазонами (0 м/с ; 8 м/с) і ($-0,5 \text{ м/с}^2$; $0,5 \text{ м/с}^2$), мала найбільшу частку робочого часу — 68%. Найвищі значення для однієї робочої точки (17,5%) були отримані за швидкості 4 м/с ; 6 м/с і прискорення 0 м/с^2 , а також на холостому ході (17,4%).

Варто також зазначити, що частка часу на спуску локомотива з прискоренням нижче нуля становила 61%. Випробувальна відстань становила $4,5 \text{ км}$ при середній швидкості $15,4 \text{ км/год}$, а максимальна швидкість локомотива під час цього тесту досягала 54 км/год .

Інтенсивність викидів CO₂ (рис. 2.4) об'єкта дослідження тісно пов'язана зі швидкістю та прискоренням руху, що видно по всьому діапазону режимів експлуатації. Це безпосередньо пов'язано зі споживанням пального. Найвища інтенсивність викидів була зафіксована у трьох діапазонах:

- (14 м/с; 16 м/с) × (0 м/с²; 0,5 м/с²) — 129 г/с,
- (12 м/с; 14 м/с) × (0 м/с²; 0,5 м/с²) — 115 г/с,
- (9 м/с; 11 м/с) × (0 м/с²; 1 м/с²) — 96 г/с.

Під час роботи на холостому ходу локомотив викидав 17,4 г/с CO₂.

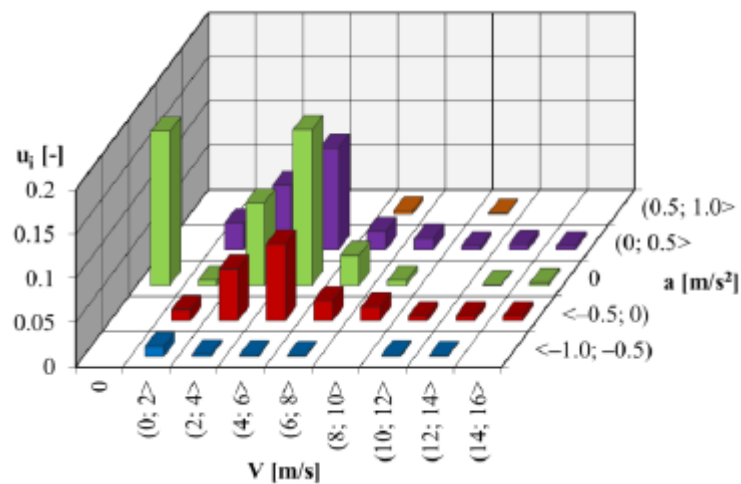


Рисунок 2.3 - Графік щільності часу роботи в реальних умовах експлуатації, виражений у інтервалах швидкості та прискорення

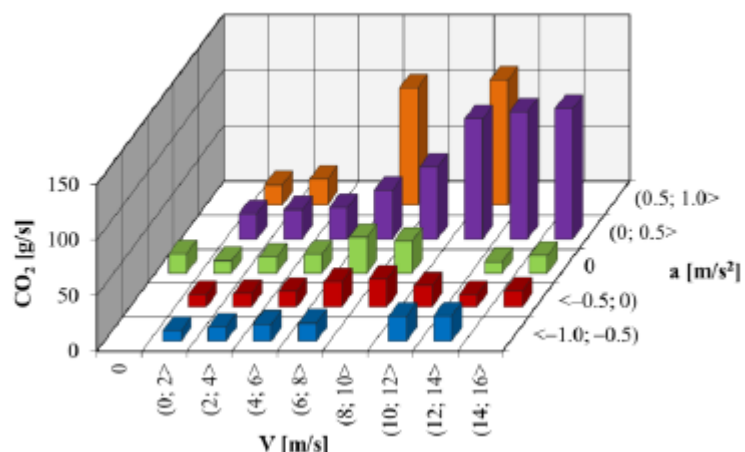


Рисунок 2.4 - Інтенсивність викидів CO₂ досліджуваного транспортного засобу в інтервалах швидкості та прискорення

Як і у випадку з вуглекислим газом, отримані значення CO залежали від швидкості та прискорення транспортного засобу, однак у цьому випадку їх

розподіл був більш рівномірним (рис. 2.5). Найвищі значення були зафіксовані в зоні (6 м/с; 16 м/с) та (0 м/с²; 1 м/с²), при цьому максимальне значення для однієї робочої точки (6 м/с; 8 м/с) та (0,5 м/с²; 1 м/с²) становило 2,44 г/с.

Середнє значення викидів чадного газу за весь тест склало 0,56 г/с. У точці, що характеризувалася відсутністю швидкості та прискорення, транспортний засіб мав значення 0,39 г/с.

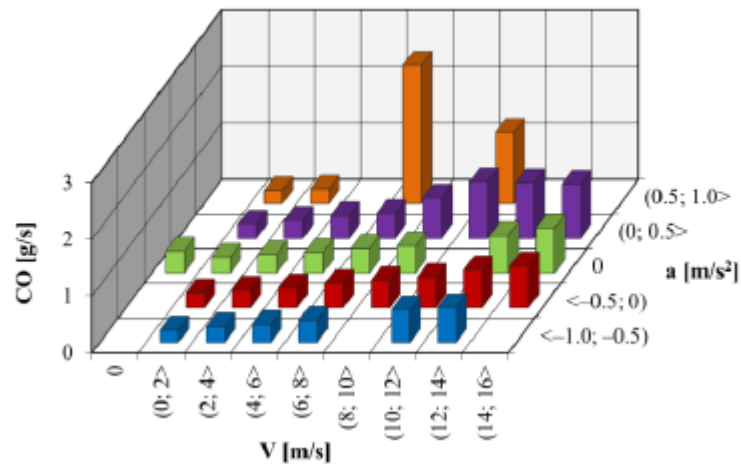


Рисунок 2.5 - Інтенсивність викидів CO досліджуваного транспортного засобу в інтервалах швидкості та прискорення

Значення інтенсивності викидів вуглеводнів (HC) зростали зі збільшенням швидкості транспортного засобу, і його середнє значення становило 0,06 г/с. Найвищі значення були зафіксовані в діапазоні (10 м/с; 16 м/с) — для всього інтервалу прискорення транспортного засобу. Максимальне значення для однієї робочої точки (0,1 г/с) було отримано за швидкості (14 м/с; 16 м/с) та прискорення (0 м/с²; 0,5 м/с²). Під час роботи на холостому ходу отримане значення було близьким до середнього по всьому тесту.

Описані характеристики інтенсивності викидів NO_x (рис. 2.6) показали, що найвищі значення були зафіксовані в таких інтервалах: (6 м/с; 16 м/с) та (0 м/с²; 1 м/с²), де максимальне значення 2,84 г/с було зафіксоване у точці з

параметрами (14 м/с; 16 м/с) та (0 м/с²; 0,5 м/с²). Середнє значення, отримане під час випробувань, становило 0,6 г/с. У точці з параметрами 0 м/с і 0 м/с² рівень викидів був нижчим за 0,2 г/с.

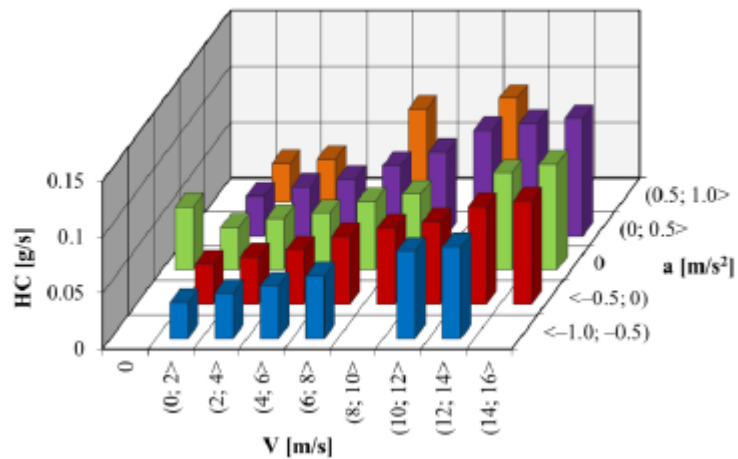


Рисунок 2.6 - Інтенсивність викидів HC досліджуваного транспортного засобу в інтервалах швидкості та прискорення

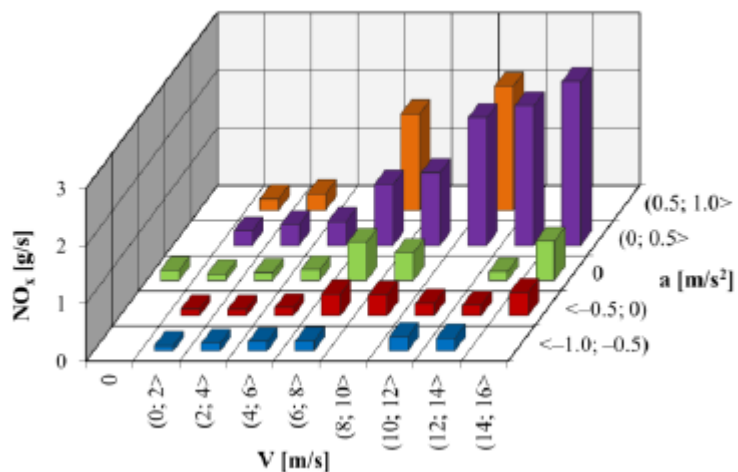


Рисунок 2.7 - Інтенсивність викидів NO_x досліджуваного транспортного засобу в інтервалах швидкості та прискорення

Як і у випадку з NO_x, інтенсивність викидів твердих частинок (PM) (рис. 2.8) показала, що найвищі значення були зафіксовані в діапазонах (6 м/с; 16 м/с) та (0 м/с²; 1 м/с²). Максимальне значення — 0,34 г/с — було зафіксоване в одній робочій точці, що характеризувалася швидкістю (6 м/с; 8 м/с) і прискоренням (0,5 м/с²; 1 м/с²).

Середнє значення викидів РМ становило 0,04 г/с, тоді як на холостому ході значення не перевищувало 0,01 г/с.

Наступним етапом дослідження стали вимірювання питомих викидів досліджуваного об'єкта та їх порівняння зі стандартами допустимих викидів ...в роки його виробництва, відповідно до звіту ORE B13 Rp 22, запровадженого у 1991 році. Під час вимірювань локомотив показав питомі викиди чадного газу на рівні 7,8 г/кВт·год. Це була єдина речовина, викиди якої перевищили граничне значення (4,0 г/кВт·год), встановлене стандартом.

З іншого боку, локомотив відповідав вимогам щодо викидів вуглеводнів і оксидів азоту: їхні значення становили відповідно 1,12 г/кВт·год і 8,4 г/кВт·год. Граничні значення для цих речовин — 1,6 г/кВт·год для вуглеводнів та 16 г/кВт·год для оксидів азоту. Водночас у звіті не зазначалося жодних обмежень для твердих частинок.

Позитивні результати пояснюються тим, що двигун досліджуваного локомотива був модернізований у 1995 році з метою покращення його екологічних показників.

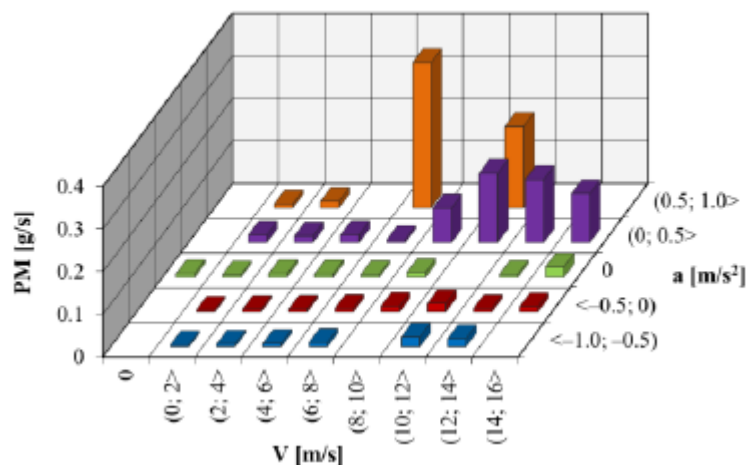


Рисунок 2.8 - Інтенсивність викидів твердих частинок (РМ) досліджуваного транспортного засобу в інтервалах швидкості та прискорення

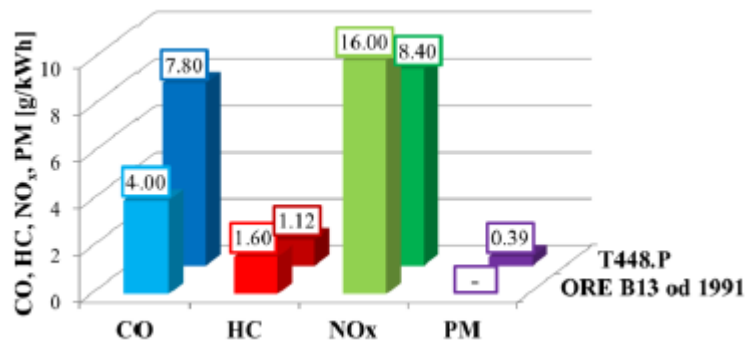


Рисунок 2.9 - Підсумок результатів випробувань із граничними значеннями шкідливих вихлопних сполук згідно з ORE B13 Rp 22, чинного з 1991 року

3 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ

3.1 Загальні напрямки зниження токсичності віпрацьованих газів енергетичних установок тепловозів

Як було показано у попередніх розділах цієї кваліфікаційної роботи бакалавра, відпрацьовані гази дизельних тепловозів містять значну кількість токсичних речовин, які негативно впливають на довкілля та здоров'я людини. Зменшення токсичності відпрацьованих газів є важливим завданням для залізничного транспорту, особливо в умовах інтенсифікації руху та урбанізації. У цьому рефераті розглянуто основні практичні способи зниження токсичних викидів тепловозних дизелів.

Основними компонентами токсичних викидів дизельних двигунів є оксиди азоту (NO_x), оксиди вуглецю (CO), незгорілі вуглеводні (HC), тверді частинки (PM) та сірчані сполуки. Їх утворення залежить від складу палива, режимів роботи двигуна, якості згоряння пального та технічного стану двигуна.

Коротко розглянемо способи зниження токсичності

Поліпшення процесу згоряння

Оптимізація процесу згоряння дозволяє зменшити утворення оксидів азоту та незгорілих вуглеводнів. Досягти цього можна шляхом точного дозування пального, впровадження електронної системи упорскування пального, забезпечення достатнього надлишку повітря та підтримання оптимальної температури в камері згоряння.

Використання каталітичних нейтралізаторів

Каталітичні нейтралізатори дозволяють ефективно зменшити вміст CO, HC та NO_x у вихлопних газах. У тепловозах використовують каталітичні

системи SCR (Selective Catalytic Reduction), які забезпечують селективне відновлення оксидів азоту до азоту і води за допомогою сечовини (AdBlue).

Рециркуляція відпрацьованих газів (EGR)

Система EGR повертає частину відпрацьованих газів у камеру згорання, що знижує температуру горіння і, відповідно, зменшує утворення NOx. Ця технологія широко застосовується в сучасних дизелях.

Покращення якості палива

Використання пального з низьким вмістом сірки дозволяє значно зменшити викиди сірчаних сполук. Перехід на паливо, яке відповідає стандартам Євро V і вище, є важливим кроком у зниженні токсичності.

Використання альтернативного пального

Перспективним напрямком є використання біодизеля, синтетичного дизеля (GTL), а також сумішей з воднем. Такі палива мають меншу токсичність викидів та покращують екологічні характеристики двигунів.

Модернізація або заміна дизельних двигунів

У випадку морального або фізичного зносу дизелів, доцільним є їх модернізація або заміна на сучасніші двигуни, які відповідають екологічним стандартам. Наприклад, на українських залізницях реалізуються програми з модернізації тепловозів серії ЧМЕЗ із встановленням нових екологічних дизелів виробництва General Electric або Caterpillar.

Таким чином зменшення токсичності відпрацьованих газів тепловозних дизелів є важливим завданням як з екологічної, так і з економічної точки зору. Сучасні технології, такі як EGR, SCR, каталітичні нейтралізатори, а також альтернативні палива, дозволяють суттєво знизити рівень шкідливих викидів. Впровадження цих рішень потребує координованої технічної політики та належного фінансування, проте має довгостроковий ефект для сталого розвитку транспорту.

3.2 Пропозиція з впровадження каталітичного нейтралізатора на тепловозах

Для зменшення шкідливих викидів у оточуюче середовище необхідне проведення комплексу технічних заходів. Їх можна розділити на два основні напрямки: удосконалення конструкції двигуна та розробка систем нейтралізації.

До першого з даних напрямків відноситься рециркуляція газів, зміна кута випередження вприску палива, охолодження свіжого заряду, дроселювання на впуску, присадки до робочої суміші та ін. Кожен з цих заходів має свої позитивні та негативні сторони.

Перераховані способи зниження токсичності тепловозного дизеля можуть бути застосовані у поєднанні з заходами іншого напрямку, що пов'язані з впливом на продукти неповного згоряння палива. до таких заходів відносяться системи нейтралізації відпрацювавших газів, які можуть бути мокрими та сухими. Застосування на тепловозах рідинних нейтралізаторів є нереальним по причині їх громіздкості та складності експлуатації.

Перспективнішими у цьому відношенні є каталітичні нейтралізатори з використанням як гранульованих так і блочних каталізаторів. Останні володіють рядом переваг. У них більша геометрична поверхня, ніж у гранульованих, більший об'єм і менша маса, низький гідродинамічний опір, висока стійкість до підвищеної температури, теплових ударів та корозії, більша механічна міцність, мала теплоємність та добра теплопровідність. Крім того, блочні каталізатори можуть мати будь-яку геометричну форму, а при виході з ладу одного блоку інші залишаються працездатними. Мала питома вага блочного каталізатора і його ефективна геометрична поверхня суттєво зменшують час його прогріву при холодному пуску.

Каталізатор на металевому носії діаметром 480 мм і висотою 90 мм пропонується установити на тепловозах ЧМЭЗ, місце установки показано на рисунку 3.2.

Результати випробувань, що проведені ВНДІЗТом, при яких у якості активної маси нейтралізатора використовувався міднохромоксидний каталізатор, промотований паладієм, наведені на рисунках 5.3 – 5.7.

Як видно з рисунків, застосуванням нейтралізатора вдалося скоротити концентрацію окису вуглецю у середньому на 40%, а суми альдегідів – на 35% у відпрацьованих газах дизеля К6S310DR [15],[16].

Застосування на тепловозах ЧМЭЗ каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів дозволить знизити викид продуктів неповного згоряння палива більш ніж на 8 т з одного тепловозу в рік, а з врахуванням відносної токсичності викиди зменшаться на 92,7 умовних тон шкідливих продуктів.

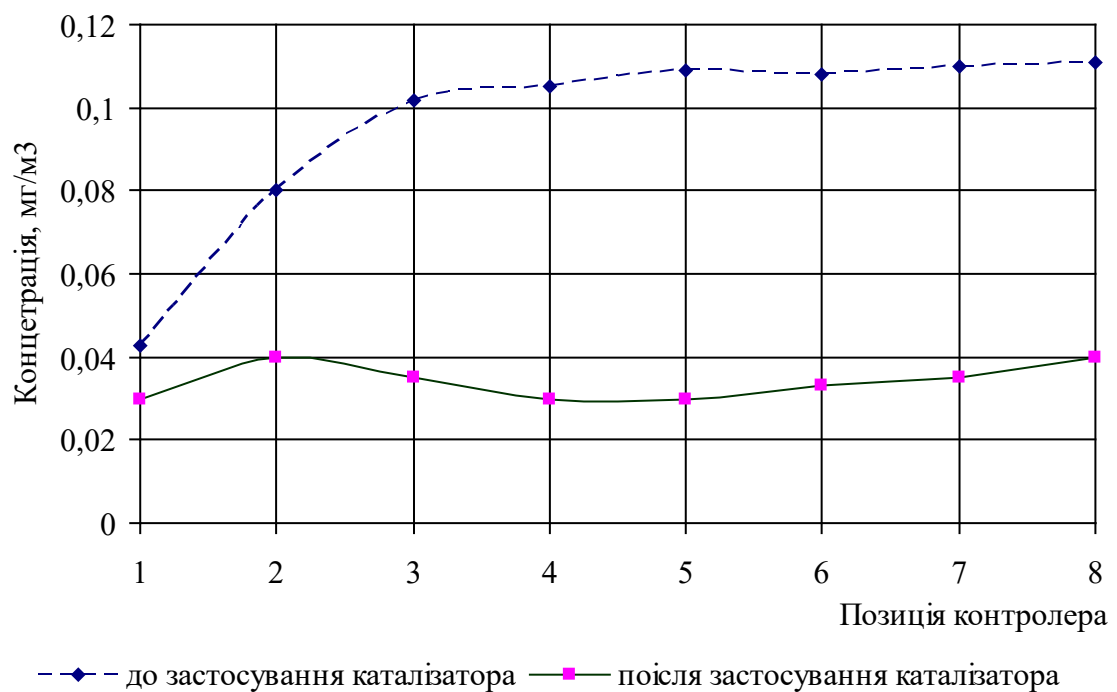
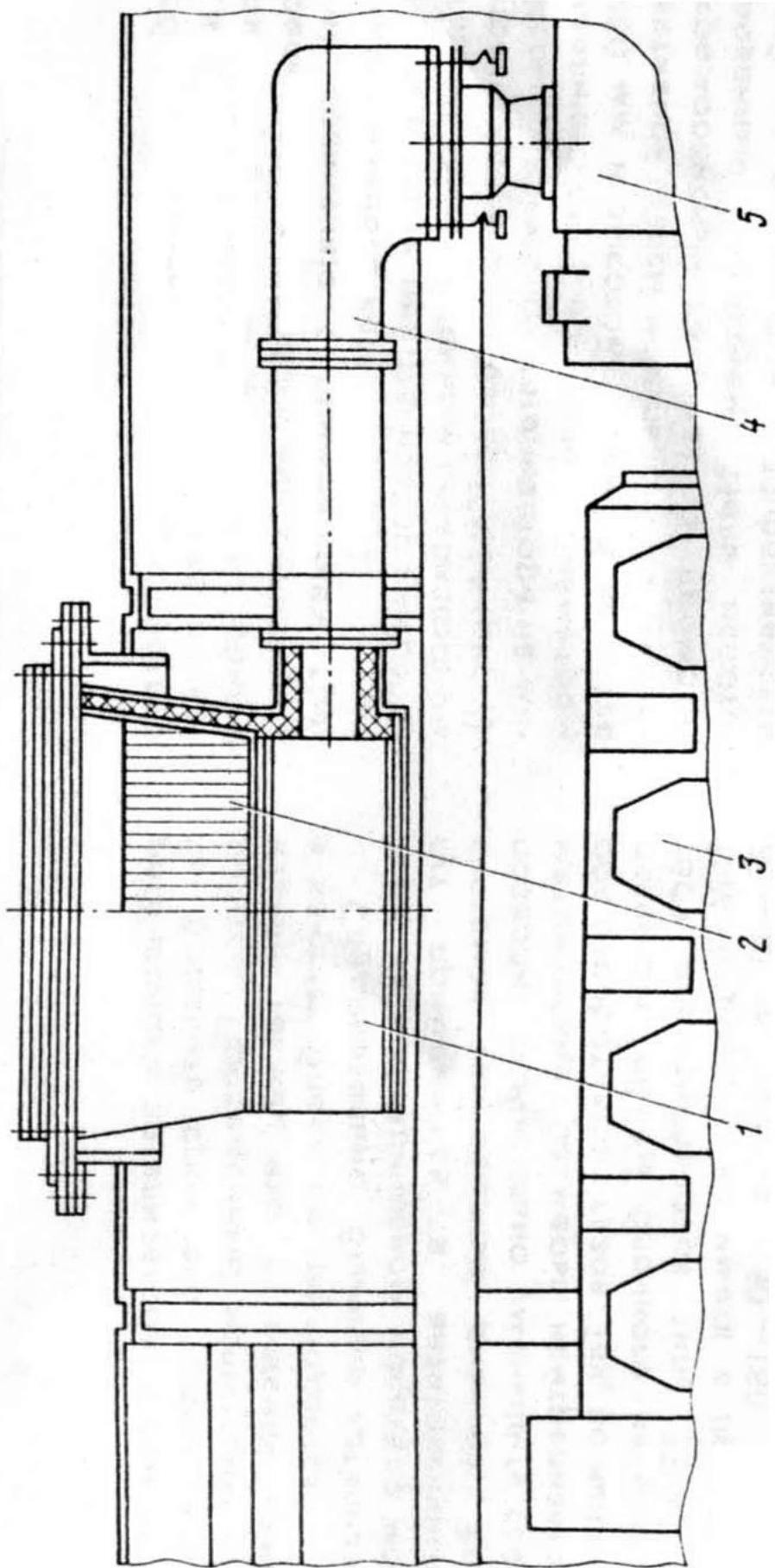


Рисунок 3.2 – Концентрація окису вуглецю у відпрацьованих газах при напрацюванні 4500 годин



1 – нейтралізатор; 2 – блок каталізатора; 3 – дизель; 4 – підводячий пагрубок; 5 - турбокомпресор

Рисунок 3.1 - Схема нейтралізатора з каталізатором на блочному металічному носії

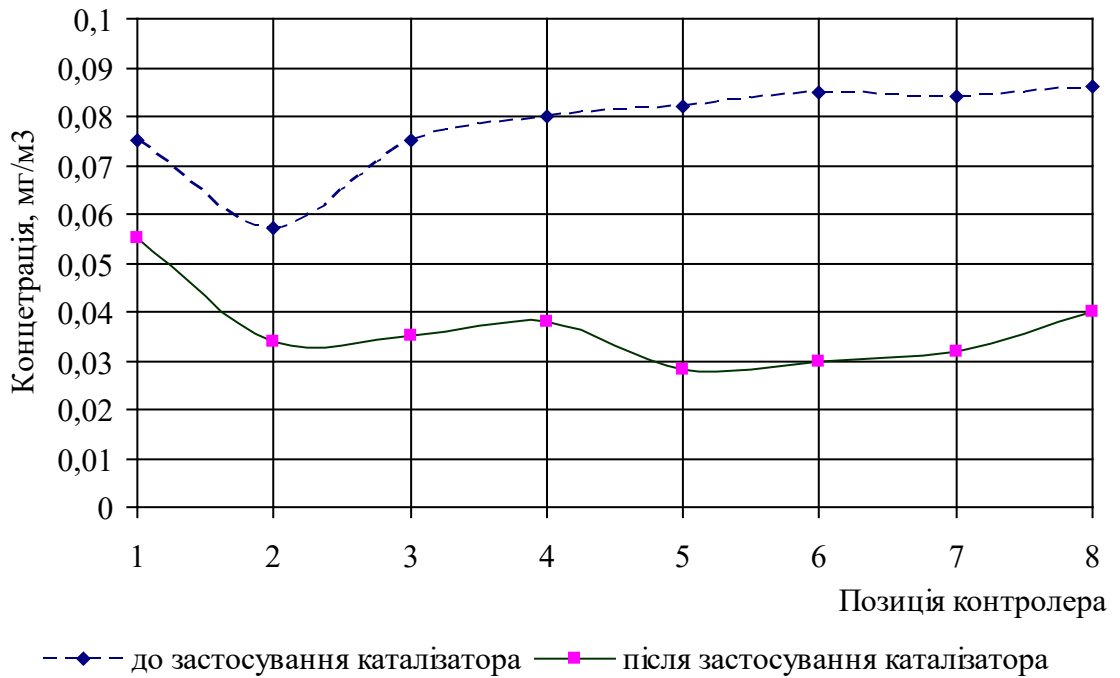


Рисунок 3.3 – Концентрація окису вуглецю у відпрацьованих газах при напрацюванні 6000 годин

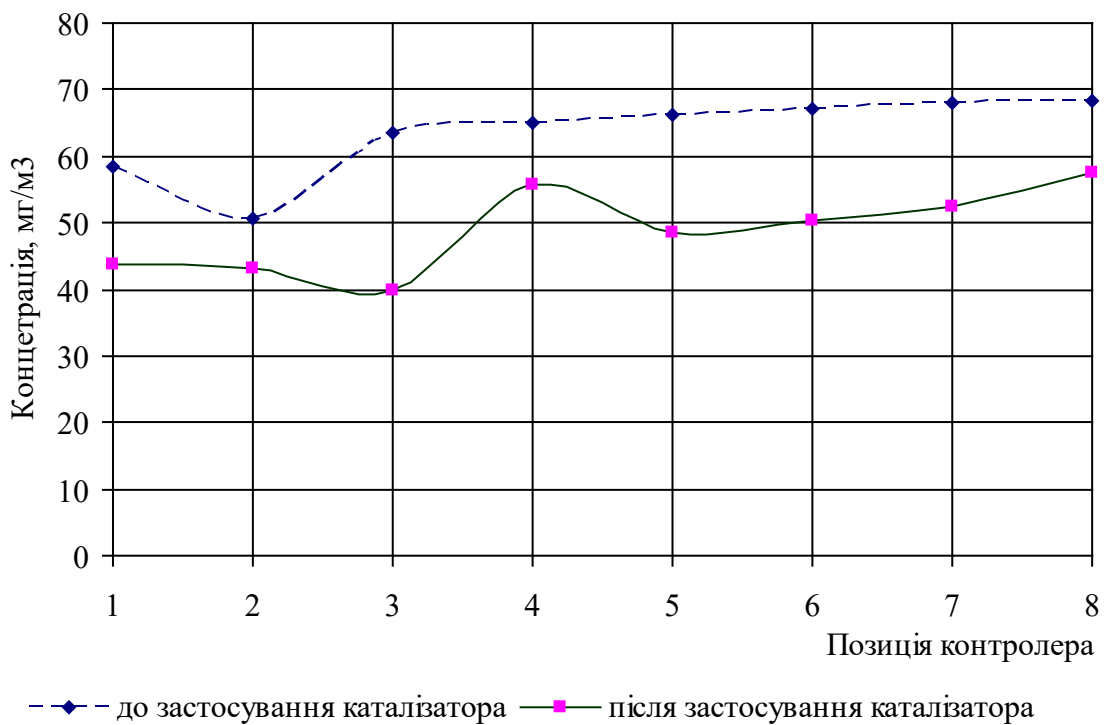


Рисунок 3.4 – Концентрація суми альдегідів у відпрацьованих газах при напрацюванні 3000 год

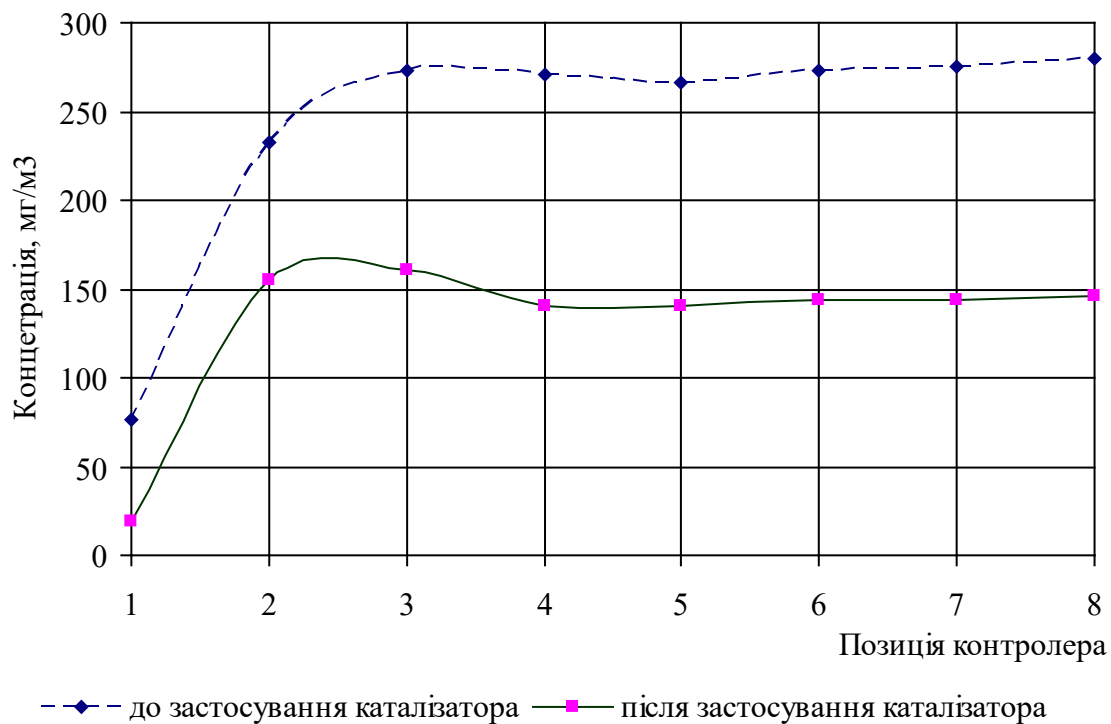


Рисунок 3.5 – Концентрація суми альдегідів у відпрацьованих газах при напрацюванні 6000 год

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз захворюваності машиністів, що пов'язана з викидами токсичних речовин.

Складна екологічна обстановка в країні потребує невідкладних кардинальних заходів по її покращенню. Багато шкідливих викидів надходить в атмосферу внаслідок діяльності транспортних підприємств. На залізничному транспорті основним джерелом викидів шкідливих речовин є тепловози. Практично безконтрольний викид шкідливих речовин від тепловозів наносить відчутний збиток природі і здоров'ю людей і в першу чергу локомотивних бригад, тому кількість випадків захворювань органів дихання і травлення є більшою у порівнянні з іншими захворюваннями тепловозних локомотивних бригад.

Для оцінювання впливу шкідливих викидів тепловозів на захворюваність локомотивних бригад були зібрані та опрацьовані дані у відносному вигляді кількості випадків захворювання органів дихання та травлення локомотивних бригад маневрових та магістральних тепловозів локомотивного депо Львів. Діаграма відносного розподілу випадків захворюваності наведена на рис. 4.1.

Як видно з діаграми, кількість випадків захворювань бригад, що зайняті на маневрах, приблизно на 10% більше ніж у бригад, що зайняті на поїзній роботі, що пояснюється значнішим впливом на маневрові локомотивні бригади шкідливих речовин, що містяться у відпрацююваних газах дизеля.

Відпрацюювані гази являють собою велику небезпеку для людини, оскільки концентрація окису вуглецю у них перевищує гранично допустиму для повітря населених місць у 500 – 3500 разів, окисів азоту – у 5000 – 40000 разів, окисів сірки – у 5000 – 10000 разів. Визначальним фактором шкідливості відпрацююваних газів є окиси азоту, на долю яких приходиться 80% загальної токсичності.

Одним з радикальних методів зниження забруднення атмосфери є

нормування емісії забруднювачів і організація регулярного контролю за дотриманням установлених норм. Нормуванню та скороченню шкідливих викидів двигунів внутрішнього згорання в Україні та за кордоном підлягають лише основні складові, до яких відносяться окис вуглецю (CO), окиси азоту (суміш окисів NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅, що умовно позначається NOX) та додаткові вуглеводні (CH) – окремо, а також в сумі NOX + CH, що розглянуто у попередніх розділах роботи.

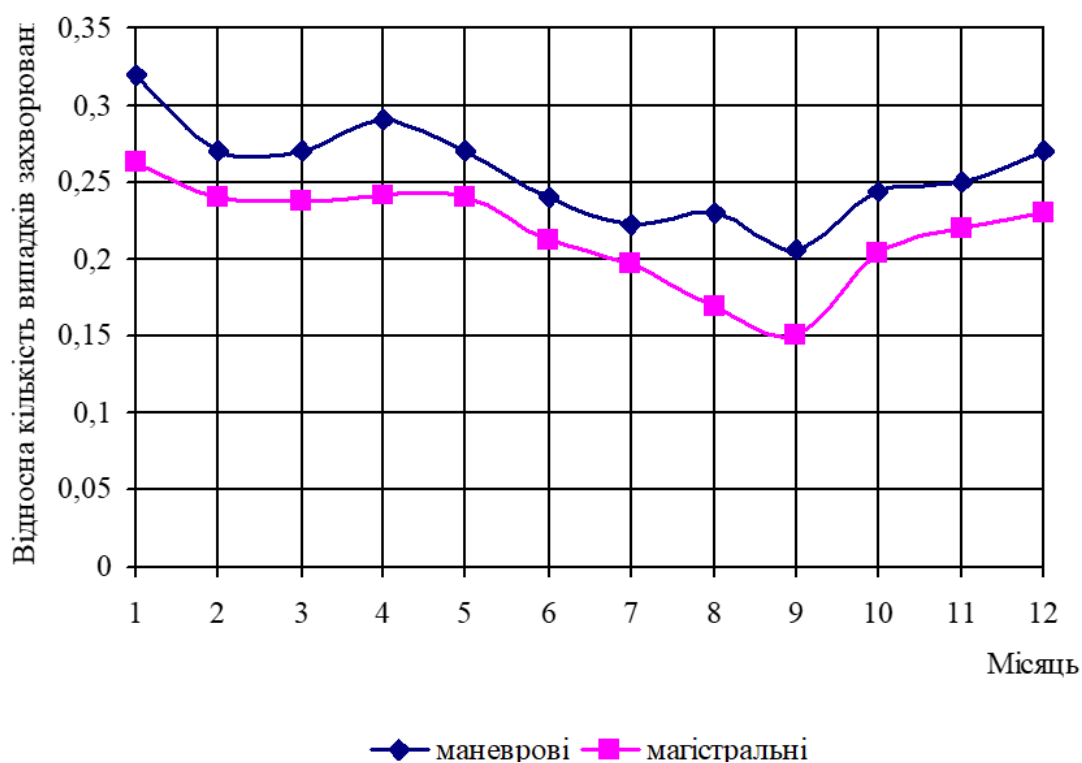


Рисунок 4.1 – Діаграма розподілу відносної кількості випадків захворювання органів дихання та травлення локомотивних бригад депо Львів

4.2 Вимоги охорони праці при проведенні вимірювань кількості токсичних речовин у відпрацювавших газах дизелів.

Вимоги охорони праці при проведенні вимірювань кількості токсичних речовин викладені у розділі 9 Стандарту [7].

Згідно вимог вказаного розділу, обладнання реостатного пункту депо і станції випробувань дизелів, організація робочого місця при випробуваннях повинні відповідати вимогам безпеки по ГОСТ 12.2.003 та ГОСТ 12.3.002.

Повітря робочої зони реостатного пункту і стендового приміщення повинні відповідати ГОСТ 12.1.005.

При цьому категорично забороняється скидання проб ВГ після проходження їх через газоаналізатори у приміщення реостатного пункту чи стенду.

До випробувань повинні допускатися особи, які пройшли навчання методам екологічного контролю і відповідний інструктаж з охорони праці.

Рівні шуму і вібрації на робочих місцях реостатного пункту і стендового приміщення повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005 і ГОСТ12.1.012.

Персонал, що обслуговує випробувальний стенд, повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту органів слуху по ГОСТ 12.4.004.

ГОСТ 12.2.003-91 і ГОСТ 12.3.002-75 є стандартами системи стандартів безпеки праці (ССБП) і мають важливе значення для забезпечення безпеки праці під час експлуатації та випробувань техніки, зокрема — тепловозів. Наводжу короткий зміст кожного стандарту з акцентом на їхній зв'язок із випробуваннями тепловозів:

Стандарт ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартів безпеки праці. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки» встановлює загальні вимоги безпеки до конструкції промислового обладнання, включаючи залізничний рухомий склад, та визначає принципи безпечного проектування, виготовлення, експлуатації й технічного обслуговування.

Випробування тепловозів повинні враховувати безпечність конструкції: відсутність гострих кромки, наявність огорожень рухомих частин, захист від ураження електричним струмом, перегріву, вибуху тощо.

Має бути забезпечено захист обслуговуючого персоналу під час випробувань — наприклад, при перевірці дизеля, гальмівної системи або тягових характеристик.

Стандарт передбачає застосування засобів сигналізації, систем аварійного зупинення та вентиляції у кабінах.

ГОСТ 12.3.002-75 «Система стандартів безпеки праці. Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки» встановлює вимоги до організації безпечного виконання виробничих процесів, включаючи монтаж, випробування, налагодження й інші роботи з технікою.

Стандарт регламентує порядок організації та проведення випробувань, щоб мінімізувати ризики для персоналу. Вказано, що має бути передбачено:

- безпечне розміщення тепловоза на випробувальному полігоні або в депо;
- підготовка персоналу до проведення випробувань (інструктаж, наявність ЗІЗ);
- контроль за роботою вузлів під час випробувань (двигун, трансмісія, гальма, електрообладнання).

Стандарт також описує дії у випадку аварійних ситуацій під час тестування — наприклад, витік палива або задимлення.

Однак слід зазначити, що у 2019 році дія вказаних стандартів була припинена. Замість них введені в дію інші стандарти.

Першим є ДСТУ 3273-95 «Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги» він встановлює комплексні вимоги до безпечності виробничого обладнання в контексті підприємства загалом, зокрема щодо організації аварійного планування, безпечного розташування обладнання і контролю технологічних параметрів

Крім того, для окремих типів обладнання вживають галузеві ДСТУ (наприклад, силова установка, кріплення обладнання тощо), які частково

перекривають загальні вимоги до конструкції, електробезпеки, шуму й вібрацій.

Також ДСТУ 3273-95, який охоплює не лише обладнання, а й організацію технологічних процесів — включно з етапами випробувань, безпекою персоналу й аварійними процедурами

Поряд із цим застосовуються також галузеві стандарти і СОУ (технічні умови), які деталізують порядок і вимоги до випробувань, налагодження, техобслуговування (наприклад, СОУ НАЕК, ДНАОП, ДСТУ з безпеки електроустановок тощо) .

4.3 Пропозиції щодо застосування засобів захисту при визначенні рівня токсичних речовин у відпрацьованих газах при реостатних випробуваннях

Реостатні випробування тепловозів є важливим етапом технічного обслуговування та контролю працездатності тягового рухомого складу. Під час проведення цих випробувань на локомотиви діють підвищені навантаження, у тому числі акустичні, що створюють значний рівень шуму. Тривалий вплив шуму понад гранично допустимі норми призводить до порушень слуху працівників, зниження уваги, втоми та підвищення ризику помилок. Саме тому важливо застосовувати ефективні засоби захисту органів слуху.

Особливості шумового впливу при реостатних випробуваннях

Реостатні випробування передбачають створення навантаження на дизель-генератор тепловоза шляхом підключення до реостатних установок. Це супроводжується:

- роботою дизельного двигуна на максимальних обертах;
- посиленням виділенням відпрацьованих газів;
- шумом електровентиляторів та реостатів;
- вібраціями елементів локомотива.

Загальний рівень шуму в зоні випробувань часто перевищує 90–100 дБА, що перевищує граничнодопустимі рівні згідно з НПАОП 0.00-1.28-10.

Вимоги до засобів захисту слуху

Згідно з чинним законодавством у сфері охорони праці (зокрема, Закон України "Про охорону праці" та ДСТУ EN 458:2017), роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) при роботі в умовах надмірного шуму.

Основні вимоги до ЗІЗ органів слуху:

- забезпечення ослаблення шуму до рівня ≤ 80 дБА;
- зручність та сумісність з іншими ЗІЗ;
- відповідність класу шумозаглушення (SNR);
- сертифікація згідно з європейськими стандартами (EN 352).

Види ЗІЗ для органів слуху наведені у табл. 4.1

Таблиця 4.1

Види засобів захисту органів слуху

Засіб	Опис	Ефективність
Беруші (вкладиші)	Вставляються у вушний канал, виготовляються з піноматеріалу або силікону	Ослаблення до 25–30 дБ
Протишумні навушники	Покривають усе вухо, підходять для тривалого використання	Ослаблення до 35 дБ
Електронні навушники	Автоматично приглушують шум і пропускають мовлення	Змінна ефективність
Комбіновані засоби	Поєднання вкладишів і навушників для максимального захисту	Ослаблення до 40 дБ

Для реостатних випробувань найбільш ефективними є протишумні навушники з високим рівнем ослаблення (SNR 30+), особливо в поєднанні з шоломом або каскою.

Організація захисту працівників

На підприємстві повинні бути впроваджені такі заходи:

- визначення рівнів шуму в зоні випробувань (інструментально);
- встановлення санітарних зон або зон з обов'язковим застосуванням ЗІЗ;
- проведення інструктажів з охорони праці;
- облік і видача ЗІЗ згідно з нормами;
- медичне обстеження слуху персоналу.

Правила користування ЗІЗ

Неправильне використання засобів захисту знижує їхню ефективність.

Основні правила користування ЗІЗ полягають у наступному:

- регулярна перевірка на пошкодження та зношення;
- забезпечення щільного прилягання до вуха;
- особиста гігієна при використанні берушів;
- навчання працівників правильному користуванню.

Таким чином реостатні випробування є джерелом інтенсивного шуму, що створює серйозну небезпеку для слуху працівників. Застосування сучасних засобів індивідуального захисту органів слуху, таких як протишумні навушники та вкладиші, є обов'язковою умовою безпечного виконання цих робіт. Для забезпечення ефективності захисту слід дотримуватися нормативних вимог, проводити інструктажі й періодичний контроль.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Тепловозні дизелі є джерелом токсичних речовин, серед яких особливу небезпеку становлять оксиди нітрогену, оксиди карбону, різні вуглеводні а також тверді частинки, такі як сажа.

У ЄС вимоги до вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах постійно стають жорсткішими. У теперішній час уже введено в дію вимоги Stage V.

Дослідження викидів токсичних речовин від двигунів залізничних транспортних засобів повинні поступово переходити до поєднання стаціонарних випробувань із вимірюваннями в реальних умовах експлуатації.

Наведений у роботі приклад випробування залізничного транспортного засобу в реальних умовах доводить, що таким чином можна отримати глибше розуміння умов експлуатації локомотивів і їхнього впливу на екологічні показники. Досліджуваний об'єкт мав двигун у доброму технічному стані (після модернізації), завдяки чому отримані питомі викиди підтверджують відповідність установленим нормам, за якими він був сертифікований — за винятком CO. Крім того, викиди твердих частинок (PM) не могли бути порівняні, оскільки ...стандарт ORE B13 не встановлював граничного значення для цієї токсичної речовини.

Використання обладнання PEMS дає змогу вимірювати викиди під час звичайної експлуатації рухомого складу — з урахуванням обмежень, пов'язаних з габаритом і вимогами безпеки. Водночас запровадження коефіцієнта відповідності (CF) може забезпечити ефективне використання випробувань у реальних умовах роботи двигуна та порівняння їхніх результатів з граничними значеннями, визначеними стандартами ЄС.

Також слід очікувати, що рішення на основі технології дистанційного зондування для вимірювання викидів залізничного транспорту дозволять ідентифікувати найбільш екологічно шкідливі транспортні засоби для подальших досліджень.

Таким чином у кваліфікаційній роботі бакалавра виконана поставлена мета - покращення екологічної ситуації в Україні шляхом зменшення рівня викидів забруднюючих речовин тепловозними дизелями.

Для виконання цієї мети у роботі

- проаналізовані вимоги вітчизняних та нормативних документів, які регламентують допустимий рівень забруднюючих речовин у відпрацьованих газах тепловозних дизелів;

- проаналізовані технічні засоби контролю рівня забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та методика роботи з ними;

- проаналізовано вміст забруднюючих (токсичних) речовин у відпрацьованих газах та джерела їх появи;

- наведено результати безпосередніх вимірювань рівня забруднюючих речовин у відпрацьованих газах тепловозного дизеля;

- запропоновано заходи зі зниження кількості токсичних речовин. Основним з таких заходів є впровадження каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів;

- розглянуто питання охорони праці при проведенні реостатних випробувань тепловозів, під час яких вимірюється рівень токсичних речовин у відпрацьованих газах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ritz, B., Lee, P.-C., Hansen, J., Lassen, C. F., Ketznel, M., Sørensen, M., Raaschou-Nielsen, O. (2014). Ambient air pollution and Parkinson's disease in Denmark: a case-control study. *Environmental Health Perspectives*, 124(3), 351–356. DOI: 10.1289/ehp.1408447
2. California Air Resources Board. Health Effects of Diesel Exhaust. – Sacramento: CARB, 1998 [updated 2023]. – Access mode: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/overview-health-effects-diesel-exhaust>
3. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». Офіційне видання [Електронний документ] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 29 листопада 2001 р. №1598 «Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню» Офіційне видання. [Електронний документ] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1598-2001-%D0%BF#Text>
5. Порядок розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря. Затверджено Постановою КМУ від 13 березня 2002 року №303.
6. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від залізничного транспорту. Затверджена Наказом державного комітету статистики від 13.11.2008 № 452. [Електронний документ] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0452202-08#Text>
7. ГСТУ 32.001-94. Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення.
8. AMIŃSKA, M., KOŁODZIEJEK, D., SZYMLET, N. et al. Measurement of rail vehicles exhaust emissions. *Combustion Engines*. 2022, 189(2), 10-17. <https://doi.org/10.19206/CE-142526>

9. Andrzejewski M., Daszkiewicz P., Rymaniak Ł. Impact of modernization of locomotives operated in Poland on the emission of toxic compounds in exhaust gases // *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe*. – 2018. – Vol. 19, No. 12. – P. 54–57. – DOI: 10.24136/atest.2018.353.

10. Andrzejewski M., Fuc P., Gallas D. et al. Impact of driving style on the exhaust emission of a diesel multiple unit // *17th Int. Conf. on Railway Engineering Design & Operation (COMPRAIL 2020)*. – 2020. – P. 365–376. – DOI: 10.2495/CR200341.

11. Andrzejewski M., Pelecha I., Merkisz J. et al. Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines // *Journal of KONES*. – 2018. – Vol. 25, No. 1. – P. 257–264. – DOI: 10.5604/01.3001.0012.2475.

12. Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 amending Directive 97/68/EC. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32004L0026>.

13. Dokumentacja techniczno-rozruchowa zmodernizowanego lokomotywu spalinowego Typu T448.P. – TOM II. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.katalogkolejowy.pl/produkty_detal/389.

14. Dyrektywa Komisji 2010/26/UE z dnia 31 marca 2010 r. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu>.

15. ICCT. Technical considerations for choosing a metric for vehicle remote-sensing regulations. – November 2019. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://theicct.org/publications/china-vehicle-remote-sensing-regulations>.

16. ISO/DIS 8178-1:2, 1995. Reciprocating internal combustion engines – exhaust emission measurement – Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/15268.html>.

17. Lewandowski M. Silniki spalinowe pojazdów szynowych. – Warszawa: WKŁ, 2018.
18. Lijewski P., Merkisz J., Pelecha J. PEMS-based investigations into exhaust emissions from non-road and rail vehicles // Combustion Engines. – 2016. – Vol. 166, No. 3. – P. 46–53. – DOI: 10.19206/CE-2016-339.
19. Merkisz J., Lijewski P., Fuc P. et al. Exhaust emission tests from non-road vehicles conducted with the use of PEMS analyzers // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. – 2013. – Vol. 15, No. 4. – P. 364–368.
20. Merkisz J., Pelecha I., Andrzejewski M. et al. Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines // Journal of KONES. – 2018. – Vol. 25, No. 1. – P. 257–264. – DOI: 10.5604/01.3001.0012.2475.
21. Merkisz J., Rymaniak Ł., Lijewski P. et al. Tests of ecological indicators of two-way vehicles meeting Stage IIIB and Stage IV standards in real operating conditions // Rail Vehicles / Pojazdy Szynowe. – 2020. – No. 1. – P. 1–9. – DOI: 10.53502/RAIL-13849.
22. Закон України "Про охорону праці". – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
23. ДСТУ EN 458:2017 Засоби індивідуального захисту органів слуху. Рекомендації щодо вибору, використання, догляду та обслуговування.
24. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час роботи з обладнанням підвищеного шуму.
25. ЦТ-0042 – Правила технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів. – К.: Укрзалізниця, 2004.
26. Ткаченко І. В. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2021. – 220 с.
27. ISO 4869-2:2018 Acoustics — Hearing protectors — Estimation of effective A-weighted sound pressure levels.