

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний

(факультет)

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Бундюка Олексія Ігоровича

(ПІБ)

академічної групи 132-22ск-2 ММФ

(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(за наявності)

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_

(офіційна назва)

«Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Розробка багатошарових композиційних матеріалів напольного покриття залізничних вагонів

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Сазанішвілі З. В.			
<b>розділів:</b>				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Сазанішвілі З. В.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Сазанішвілі З. В.			
Інженерно-технологічний	Ротт Н. О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С. О.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Гаркавенко Д. В.			

Дніпро  
2025

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
конструювання, технічної  
естетики і дизайну  
(повна назва)

Федоряченко С.О.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню бакалавра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Бундюку Олексію Ігоровичу академічної групи 132-22ск-2 ММФ  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство  
спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Розробка багатошарових композиційних матеріалів напольного покриття залізничних вагонів затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 14.05.2025р. №369-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз стану питання та постановка задач роботи	20.05.2025
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Проведення функціонально-вартісного аналізу елементів важеля. Інженерний розрахунок. Моделювання та аналіз властивостей за допомогою МСЕ.	05.06.2025
Інженерно-технологічний	Обґрунтування технології термічної обробки та дослідження мікроструктури	15.06.2025
Експлуатаційний	Визначення видів та методів контролю якості тримача ковша навантажувача	20.06.2025

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

**Сазанішвілі З. В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

**Дата видачі** 14.05.2025

**Дата подання до екзаменаційної комісії** 25.06.2025

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_

**Бундюк О. І.**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 60 с., 8 рис., 7 табл., 25 джерел.

ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ВІБРАЦІЇ, ДЕМПФУЮЧІ КОНСТРУКЦІЇ, КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ. УЛЬТРАЗВУКОВА ДЕФЕКТОСКОПІЯ, РЕЦИКЛІНГ,

Мета роботи – розробка конструкції багатошарової композиційної панелі для підлоги залізничного вагона з обґрунтуванням вибору матеріалів кожного шару з урахуванням механічних, демпфуючих та експлуатаційних характеристик.

Об'єкт розроблення – проектування багатошарового композиційного матеріалу для підлоги залізничного вагона.

Проаналізовано джерела вібрацій у залізничному транспорті: динамічні навантаження, нерівності колії, змінні режими руху. Класифіковано демпфувальні композити (метал/полімер/метал) та технології їх виготовлення: пресування, ламінування, лазерне зварювання. Обґрунтовано вибір матеріалів: алюмінієвий сплав 2024, поліуретан, склопластик на Е-склі.

Розроблено тришарову панель товщиною 7,5 мм (2 мм алюмінію, 4 мм поліуретану, 1,5 мм склопластику), масою 13,06 кг/м<sup>2</sup>. У Autodesk Inventor створено 3D-модель, проведено розрахунки, що показали прогин 0,026 мм (допустимо 2,5 мм) та зниження вібрацій у діапазоні 1–100 Гц. Виготовлення базується на холодному склеюванні поліуретановим клеєм.

Досліджено рециклінг: алюміній переплавляється при 400–500°C, поліуретан і склопластик переробляються дробленням або піролізом. Контроль якості включає візуальний огляд, ультразвукову дефектоскопію, механічні випробування, що підтвердили міцність (310 МПа при розтягу, 85 МПа при згині, 12,5 МПа при зсуві).

Конструкція поєднує жорсткість, демпфування та технологічність, що робить її перспективною для вагонобудування.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1 РОЗДІЛ. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ</b> .....	7
1.1 Динамічні навантаження на підлогу залізничного вагона та підходи до їх демпфування.....	7
1.2 Світова практика застосування композиційних матеріалів з демпфуючими властивостями .....	10
1.3 Класифікація демпфувальних композиційних матеріалів.....	13
1.4 Технології виготовлення багатошарових демпфуючих конструкцій.....	17
1.5 Постановка задач роботи.....	19
<b>2 РОЗДІЛ. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТА РОЗРОБКИ</b> .....	21
2.1 Функціонально-вартісний аналіз деталі .....	21
2.2 Обґрунтування вибору матеріалу для складових композитної конструкції .....	23
2.3 Розрахунок міцносних і демпфуючих характеристик матеріалів.....	26
2.4 Розробка та побудова моделі багатошарового композиту .....	30
2.5 Висновки за розділом 2 .....	32
<b>3 РОЗДІЛ. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	33
3.1 Вибір методу виготовлення багатошарової конструкції.....	33
3.2 Вибір матеріалів і напівфабрикатів для виготовлення тришарової конструкції підлоги.....	37
3.3 Обробка та захист поверхні тришарової конструкції .....	39

3.4 Оцінка можливостей рециклінгу та утилізації використаних матеріалів .....	42
3.4 Висновки за розділом 3 .....	45
<b>4 РОЗДІЛ. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>46</b>
4.1 Аналіз дефектів під час виробництва .....	46
4.2 Методи контролю якості готового виробу .....	47
4.2.1 Візуальний контроль.....	47
4.2.2 Ультразвукова дефектоскопія.....	49
4.2.3 Випробування механічних властивостей .....	52
4.3 Висновки за розділом 4 .....	55
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>56</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>58</b>

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lombaert, G., Degrande, G., Kogut, J., & François, S. (2015). The influence of soil stratification on free field vibrations due to surface and underground railway traffic. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 209–226. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.06.029>
2. Han, S., Li, M., Zeng, X., & Liu, Y. (2022). Influence of floor structures on vibration and noise in railway vehicles. *Applied Acoustics*, 184, 108400. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108400>
3. Gong, D., Li, Z., Liu, Y., & Zhao, Y. (2020). Vibration characteristics of vehicle–track coupled system with discrete support. *Journal of Vibration and Control*, 26(3–4), 277–292. <https://doi.org/10.1177/1077546319865835>
4. Goto, Y., & Yamamoto, M. (2016). A new approach to reduce floor vibration in railway vehicles by floating floor structure. *Quarterly Report of RTRI*, 57(1), 24–30. [https://doi.org/10.2219/rtriqr.57.1\\_24](https://doi.org/10.2219/rtriqr.57.1_24)
5. Kaewunruen, S., & Qin, D. (2020). Smart railway track and vehicle design using metamaterials: A review. *Transportation Safety and Environment*, 2(3), 179–194. <https://doi.org/10.1093/tse/tdaa017>
6. Material Sciences Corporation | Metal Technologies & Solutions. *Material Sciences Corporation*. URL: <https://www.materialsciencescorp.com/> (date of access: 21.02.2025).
7. Noiseless Steel, Noiseless Metal, Noise damping, Damping Structure-born Sound - Paragon Manufacturing. *Noiseless Steel, Noiseless Metal, Noise damping, Damping Structure-born Sound - Paragon Manufacturing*. URL: <https://www.noisedamp.com/> (date of access: 21.02.2025).
8. Damping | SOUNDCOAT. *SOUNDCOAT*. URL: <https://soundcoat.com/acoustic-products/damping> (date of access: 21.02.2025).

9. Produktfinder - 3A Composites GmbH Website. *Startseite - 3A Composites GmbH Website*. URL: <https://www.display.3acomposites.com/de/produkte/produktfinder/> (date of access: 21.02.2025).
10. Ferrari F. *Lightweight Metal/Polymer/Metal Sandwich Composites for Automotive Applications*. Windsor, Ontario, Canada : University of Windsor, 2017. 126 p.
11. Parsa M. H., Nasher al ahkami S., Ettehad M. Experimental and finite element study on the spring back of double curved aluminum/polypropylene/aluminum sandwich sheet. *Materials & Design*. 2010. Vol. 31, no. 9. P. 4174–4183. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.04.024>
12. Kim J.-K., Yu T.-X. Forming and failure behaviour of coated, laminated and sandwiched sheet metals: a review. *Journal of Materials Processing Technology*. 1997. Vol. 63, no. 1-3. P. 33–42. URL: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(96\)02596-4](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(96)02596-4).
13. Kumar J., Kumar R. Estimation of Loss Factor of Viscoelastic Material by Using Cantilever Sandwich Plate. *International journal of engineering research and technology*. 2018. Vol. 1
14. Kumar M., Shenoi R. A., Cox S. J. Experimental validation of modal strain energies based damage identification method for a composite sandwich beam. *Composites Science and Technology*. 2009. Vol. 69, no. 10. P. 1635–1643. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.03.019>
15. Adaptive Composite Marine Propulsors and Turbines: Progress and Challenges / Y. L. Young et al. *Applied Mechanics Reviews*. 2016. Vol. 68, no. 6. URL: <https://doi.org/10.1115/1.4034659>.
16. Zhou, X., Wang, L., Yu, D., & Zhang, C. (2019). Experimental investigation of the dissipation characteristic of sandwich structures with periodically perforated viscoelastic damping material core. *Journal of Vibration and Control*, 25, 2008 - 2024. <https://doi.org/10.1177/1077546319844545>.

17. Konar T., Ghosh A. D. Flow Damping Devices in Tuned Liquid Damper for Structural Vibration Control: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09450-0>.
18. Research and applications of viscoelastic vibration damping materials: A review / X. Q. Zhou et al. *Composite Structures*. 2016. Vol. 136. P. 460–480. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.10.014>.
19. Tang X. Progress on the Sound Absorption of Viscoelastic Damping Porous Polymer Composites. *Macromolecular Rapid Communications*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1002/marc.202400646>.
20. Ahmadian M., Jeric K. M., Inman D. J. An Experimental Evaluation of Smart Damping Materials for Reducing Structural Noise and Vibrations. *Journal of Vibration and Acoustics*. 2001. Vol. 123, no. 4. P. 533–535. URL: <https://doi.org/10.1115/1.1389459>
21. Wang, H., Lee, H., & Du, C. (2021). Analysis and Optimization of Damping Properties of Constrained Layer Damping Structures with Multilayers. *Shock and Vibration*. <https://doi.org/10.1155/2021/6740696>.
22. Тіщенко, І. Г., Герасименко, Л. М., & Герасименко, А. О. (2022). *Інноваційні хімічні технології переробки вторинних матеріалів: навчальний посібник*. Київ: НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського".
23. European Parliament and Council of the European Union. (2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*. Official Journal of the European Union, L 312, 3–30. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>
24. Зіборов К.А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 132 Матеріалознавство ОПП «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» / К.А. Зіборов, Н.О. Ротт, Т.О. Письменкова, С.О. Федоряченко; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ«ДП». 2022. 40 с.