

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. Івана Пулюя**

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МІЦНОСТІ
ім. Г.С. Писаренка**

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. Г.В. Карпенка**

**ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ ІМЕНІ Я. ДОМБРОВСЬКОГО
(Польща)**

МАРІБОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (Словенія)

КОШИЦЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (Словаччина)

БІЛОСТОЦЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (Польща)

УНІВЕРСИТЕТ КЛЕРМОН ОВЕРНЬ (Франція)

УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО З МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

*присвячена 70 - річчю від дня народження
член-кореспондента НАН України,
проф. Яснія Петра Володимировича*

«МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ»

Праці конференції

**10-11 листопада 2022 р.
Тернопіль, Україна**

УДК 001+539.4
M70

Голова програмного комітету

Микола МИТНИК (Україна)

Співголова програмного комітету

Павло МАРУЩАК (Україна)

Голова організаційного комітету

Ігор ОКІПНИЙ (Україна)

Науковий секретар

Іван ПІДГУРСЬКИЙ (Україна)

Члени програмного комітету

Зіновій НАЗАРЧУК (Україна)

Жанетта БРЕЗІНОВА (Словаччина)

Томаш ВУХЕРЕП (Словенія)

Володимир ГУЦАЙЛЮК (Польща)

Анатолій ЗІНЬКОВСЬКИЙ (Україна)

Роман КУШНІР (Україна)

Юрій ЛАПУСТА (Франція)

Григорій НИКИФОРЧИН (Україна)

Олегас ПРЕНТКОВСКИС (Литва)

Ольга ЗВІРКО (Україна)

Георгій СУЛИМ (Польща)

Володимир ЯСНІЙ (Україна)

Олег ЯСНІЙ (Україна)

Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій.
M70 Праці Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 10-11 листопада 2022 р.) – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 265 с.

УДК 001+539.4

ISBN 978-617-7875-43-6

У збірнику висвітлені доповіді Міжнародної науково-технічної конференції "Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій" (Тернопіль, 10-11 листопада 2022 р.). Розглянуто наступні питання: міцність сучасних матеріалів і конструкцій; довговічність сучасних матеріалів і конструкцій; нові та сучасні матеріали та технології; діагностика пошкоджуваності матеріалів і конструкцій.

Відповідальний редактор П.О. Марущак

Всі права захищені. Жодна з доповідей цього видання не може бути повністю чи частково відтворена або розмножена електронним, механічним, фото- чи будь-яким іншим способом без попереднього письмового погодження з програмним комітетом конференції. Всі доповіді відтворено з дозволу їх авторів.

Видавець не несе відповідальності за будь-який збиток, заподіяний особам чи власності внаслідок некоректності наданої в збірнику інформації або при використанні будь-яких методів, виробів чи ідей, які описано в поданих авторами доповідях.

ISBN 978-617-7875-43-6

©Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, 2022

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
TERNOPIL IVAN PULUJ NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
G.S. PISARENKO INSTITUTE FOR PROBLEMS OF STRENGTH
NAS OF UKRAINE
KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE
NAS OF UKRAINE
MILITARY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (POLAND)
UNIVERSITY OF MARIBOR (SLOVENIA)
TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE (SLOVAKIA)
BIALYSTOK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (POLAND)
UNIVERSITY OF CLERMONT AUVERGNE (FRANCE)
UKRAINIAN SOCIETY OF MATERIAL FRACTURE MECHANICS

INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
dedicated to the 70th anniversary from the day of birth of
Corresponding member of the National Academy of Sciences of Ukraine,
professor Yasniy Petro

STRENGTH AND DURABILITY OF MODERN MATERIALS AND CONSTRUCTIONS

Proceedings of the Conference

November 10-11, 2022

**Ternopil
2022**

**UDC 001+539.4
M70**

Chairman of the Program Committee

Mykola MYTNYK (Ukraine)

Co-Chairmen of the Program Committee

Pavlo MARUSCHAK (Ukraine)

Chairman of the Organizing Committee

Ihor OKIPNYI (Ukraine)

Scientific secretary

Ivan PIDGURSKYI (Ukraine)

Members of the Program Committee

Zinoviy NAZARCHUK (Ukraine)

Janette BREZINOVÁ (Slovakia)

Tomaž VUHERER (Slovenia)

Volodymyr HUTSAYLYUK (Poland)

Anatoliy ZINKOVSKYI (Ukraine)

Roman KUSHNIR (Ukraine)

Yuri LAPUSTA (France)

Hryhorii NYKYFORCHYN (Ukraine)

Olegas PRENTKOVSKIS (Lithuania)

Olha ZVIRKO (Ukraine)

Heorhiy SULYM (Poland)

Volodymyr IASNII (Ukraine)

Oleh Yasniy (Ukraine)

M70 Strength and durability of modern materials and construction. Proceeding of the International Conference “Strength and durability of modern materials and construction” (Ternopil, November 10-11, 2022).– Ternopil: PE Palianytsia V. A., 2022 – 265 p.

UDC 001+539.4

ISBN 978-617-7875-43-6

The book comprises the papers presented at the International Conference “Strength and durability of modern materials and construction” (Ternopil, November 10-11, 2022). Which consider the following problems: strength of modern materials and structures; durability of modern materials and structures; new and modern materials and technologies; diagnosis of damage for materials and structures.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in retrieval system, or transmitted in any means, electronic, mechanical, photo-copying or otherwise, without the prior written permission of the Conference Program Committee. The papers are reproduced by permission of individual authors.

No responsibility is assumed by the publisher for any injury and/or damage to persons or property as a matter of products liability, negligence or otherwise, or from any use or operation of any methods, products, instructions or ideas contained in the material herein.

Edited by P. Maruschak

ISBN 978-617-7875-43-6

©Ternopil Ivan Puluj National
Technical University, 2022

Г. Ватуля, д.т.н., проф., А. Ловська, д.т.н., доц., А. Рибін, к.т.н., М. Павлюченко, к.т.н., доц., Д. Петренко, к.т.н.

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ХРЕБТОВОЇ БАЛКИ НАПІВВАГОНА З НАПОВНЮВАЧЕМ

G. Vatulia, Dr., Prof., A. Lovska, Dr., Assoc. Prof., A. Rybin, PhD., M. Pavliuchenkov, PhD, Assoc. Prof., D. Petrenko, PhD.

Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

EXPERIMENTAL RESEARCH INTO THE STRESS-STRAIN STATE OF THE CENTER SILL OF A BOX WAGON WITH FILLER

Abstract. The loading on the bearing structures of wagons in operation can be reduced by applying closed profiles filled with energy-absorbing material in wagon frame components. The results of the research demonstrated that with filler in the rod the stresses were reduced by 5% in comparison with stresses in the rod without filler. The difference between the experimental and theoretical strength calculations for the rods was about 3%. The results obtained can be used by those concerned about the development of innovative structures of wagons with better operational characteristics.

Забезпечення рентабельності залізничної галузі на сучасному етапі її розвитку зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію принципово нових конструкцій рухомого складу. При створенні такого рухомого складу повинні враховуватися особливі вимоги, пов'язані з забезпеченням його міцності та надійності при експлуатаційних режимах навантаження [1 – 3]. Досягти цього можливо шляхом врахування принципів мультифункціональності при його створенні або модернізаціях. Це сприятиме зменшенню навантаженості складових несучих конструкцій рухомого складу, підвищенню ресурсу експлуатації, а як наслідок, зменшенню витрат на утримання.

Відомо, що одним з найбільш затребуваних типів вагонів в експлуатації є напіввагон. Основним несучим елементом вагону є рама. Під дією експлуатаційних навантажень вона випробовує знакозмінні напруження, які викликають появу тріщин в складових конструкції та необхідність здійснення позапланових видів ремонту або, взагалі, виключення вагона з інвентарного парку. Тому з метою забезпечення міцності несучих конструкцій напіввагонів важливим є проведення досліджень щодо можливості зменшення їх навантаженості в експлуатації шляхом урахування принципів мультифункціональності при проектуванні.

Для зменшення навантаженості несучих конструкцій напіввагонів в експлуатації запропоновано створення складових рами з замкнених профілів, заповнених наповнювачем, який має енергопоглинальні властивості [4]. Дослідження проведені на прикладі хребтової балки, як найбільш навантаженого елемента несучої конструкції. Дане удосконалення можливе і стосовно інших типів вагонів. Розміщення наповнювача передбачається за довжиною хребтової балки між задніми упорами автозчепів.

Результати проведених теоретичних досліджень підтвердили доцільність запропонованих рішень. Максимальні еквівалентні напруження на 9% нижче за напруження, які виникають в конструкції рами без наповнювача.

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень проведено експериментальне визначення напружено-деформованого стану хребтової балки напіввагона з наповнювачем. У зв'язку зі складністю проведення експерименту на

повномасштабній конструкції рами, випробуванню підлягала її консольна частина, як найбільш навантажена при дії повздовжніх експлуатаційних сил. Консольна частина рами імітувалася дослідними зразками, які представляють собою сталеві квадратні стрижні з геометричними розмірами $a=100$ мм (ширина та висота), $t=3$ мм (товщина стінки), $l=1000$ мм (довжина). Зразки були виготовлені з електрозварної труби із гнутих швелерів, сталь 09Г2С (лист холоднокатаний), з фактичною границею текучості $f_y = 345$ МПа. Зразки мали масштаб зменшення 1:3. Кількість дослідних зразків-близнюків дорівнювала трьом. Навантаження на дослідні зразки відповідало умовам роботи конструкції при стиску із випадковим ексцентриситетом. Таке навантаження характерне для одного з найбільш поширених та неблагоприємних режимів навантажень хребтової балки вагона в експлуатації.

Дослідження проводилися в дослідній лабораторії “Центру діагностики споруд транспортного призначення” при Українському державному університеті залізничного транспорту. При цьому застосовано метод електричного тензометрування. Стискання стрижнів проводилося в діапазоні 40 – 200 кН. Для навантаження стрижнів використано гідравлічний прес ПММ-125. Для дослідження характеру деформування експериментальних зразків використано тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом, які попередньо пройшли тарирування. Монтаж тензорезисторів здійснено за мостовою схемою. Місця наклеювання тензорезисторів визначено за результатами скінченно-елементного моделювання зразків у ПК “Ліра-САПР” і SolidWorks Simulation. На підставі проведених досліджень встановлено, що максимальні напруження в пустотілому стрижні при стисканні становлять близько 206 МПа. Також проведено експериментальне визначення міцності стрижнів замкненого перерізу, заповнених наповнювачем. Проведені дослідження показали, що максимальні напруження в стрижнях складають близько 195 МПа. Результати досліджень встановили, що з урахуванням застосування наповнювача в стрижні зменшуються напруження, які виникають в ньому на 5% у порівнянні з конструкцією без наповнювача. Розбіжність між експериментальними та теоретичними розрахунками стрижнів на міцність склала близько 3%.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій вантажних вагонів та підвищенню ефективності їх функціонування.

Література.

1. Marek Płaczek, Andrzej Wróbel, Maciej Olesiejuk. Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 112. 06022. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20171120602>
2. Andrzej Wróbel, Marek Płaczek, Andrzej Buchacz. An Endurance Test of Composite Panels. Solid State Phenomena. 2017. Vol. 260. P. 241 – 248. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.260.241>
3. Панченко С. В., Фомін О. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Павлюченков М. В., Рибін А. В. Обґрунтування впровадження SIN-балок в несучу конструкцію напіввагона. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки. – 2021. – Вип. 42. – С. 174 – 183.
4. S. Panchenko, O. Fomin, G. Vatulia, A. Lovska, O. Ustenko, A. Rybin, L. Voloshina. Determination of loading of a hopper car with an improved design of the spine beam. Procedia Structural Integrity. – 2022. – Vol. 36. – P. 231 – 238.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. МІЦНІСТЬ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ	
<i>О. Повстяной, Р. Полінкевич, Н. Редько,</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ПОРИСТИХ ПРОНИКНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	7
<i>Й. Лучко, О. Кузін, В. Копилов, М. Кузін</i> РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІЦНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРУЖЕНЬ МЕТОДАМИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ	10
<i>В. Ковальчук, Й. Лучко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ, ЩО ДІЮТЬ НА МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ МОСТІВ	13
<i>М. Шульженко, А. Ольховський</i> ОЦІНКА ЗМІНИ ВІБРОМІЦНОСТІ ЛОПАТОК ПОТУЖНОЇ ПАРОВОЇ ТУРБИНИ ПІСЛЯ ЇХНЬОГО РЕМОНТУ	16
<i>В. Ковбашин, І. Бочар</i> СКЛАД СУМІШІ ДЛЯ СИЛІЦЮВАННЯ ТА БОРУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ КАРБІДУ КРЕМНІЮ ТА ДИСИЛІЦИДУ МОЛІБДЕНУ	18
<i>І. Ярема, Р. Лещук, А. Гупка, В. Буховець</i> СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД В КЕРУВАННІ ПОВЕРХНЕВОЮ МІЦНІСТЮ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ТЕРТІ	21
<i>С. Панченко, Г. Ватуля, А. Ловська, Є. Краснокутський</i> ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА ТИПУ ХОПЕР ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ МОРЕМ	24
<i>Г. Ватуля, А. Ловська, А. Рибін, М. Павлюченков, Д. Петренко</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ХРЕБТОВОЇ БАЛКИ НАПІВВАГОНА З НАПОВНЮВАЧЕМ	26
<i>В. Дегтярев</i> ВПЛИВ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ НА ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ЦИКЛУ	28
<i>М. Слободян, І. Кузь, І. Звізло</i> НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗА ЗГИНУ КРУГЛОЇ ПЛАСТИНИ З ТРИЩИНАМИ З УРАХУВАННЯМ СМУГОВОГО КОНТАКТУ ЇХНІХ БЕРЕГІВ	30
<i>С. Прищепко</i> МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРОСТОРОВОГО КАРКАСУ ВИСОТНОЇ БУДІВЛІ	32

Наукове видання
Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка
НАН України
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка
НАН України
Військово-технічна академія імені Я. Домбровського (Польща)
Маріборський університет (Словенія)
Кошицький технічний університет (Словаччина)
Білостоцький технологічний університет (Польща)
Університет Клермон Овернь (Франція)
Українське товариство з механіки руйнування матеріалів

МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ

Праці конференції

Відповідальний редактор *Павло Марущак*

Комп'ютерне макетування *Іван Підгурський*

Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій.
M70 Праці Міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль, 10-11 листопада 2022 р.) – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 265 с.

ISBN 978-617-7875-43-6

Підписано до друку 08.11.2022. Формат 60×90, 1/16.
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура TimesNewRoman.
Умовно-друк. арк. 15,8. Наклад – 300 прим.
Замовлення № 08112022

Друк ФОП Паляниця В. А.
Свідоцтво ДК №4870 від 20.03.2015 р.
м. Тернопіль, вул. Б. Хмельницького, 9а, оф.38.
тел. (0352) 528–777.