

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ ТА ПРОФЕСІЙ
СНАМ, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідуючий кафедрою:

д.т.н., проф. Тютькін О. Л.
(вч. звання, ступінь) (підпис) (ПІБ)
« 15 » _____ 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

на отримання ОКР «магістр»

Напрямок 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема Оцінка відповідності пасивної безпеки локомотивів вимогам
інтероперабельності

Зробив:

Кіцанюк
(підпис) Кіцанюк Назарій Васильович
(ПІБ)

Керівник:

к.т.н., доцент Болжеларський Я.В.
(вч. звання, ступінь) (підпис) (Прізвище ініціали)

Дніпро
2022

ЗАЯВА

Я, Кіцанюк Назарії Василеович

(ПІБ повністю)

Студені групи 8-інтер

(шифр групи)

Спеціальності 273, залізничний транспорт

(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інтероперабельність і безпека на залізничній лінії

(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки Магістр

(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Оцінка відповідності пасивної безпеки локомотивів високої
інтероперабельності

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 10.12.22р

Підпис (Київ)

Керівник

Підпис (СВ)

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

АТ	Акціонерне товариство
ЗТП	Залізнично-транспортна пригода
ЄЗА	Європейське залізничне агенство
НАН	Національна Академія Наук
НДС	Напружено-деформований стан
ОСЗ	Організація співробітництва залізниць
ППЕ	Пристрій поглинання енергії
СПБ	Система пасивної безпеки
ТСІ	Технічні специфікації інтероперабельності
ТЕН	Трансевропейська мережа залізниць

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		2

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ	7
1.1 АНАЛІЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ РУХУ НА АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»	7
1.2 ВИДИ ТА НАСЛІДКИ ЗІТКНЕНЬ РУХОМОГО СКЛАДУ	12
1.2 АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ, ПРИСВЯЧЕНИХ ПАСИВНІЙ БЕЗПЕЦІ ЛОКОМОТИВІВ	18
2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ ВИМОГ ТА ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ДО ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ	24
2.1 ВИМОГИ ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ ДО СИСТЕМ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ	24
2.2 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ДО СИСТЕМ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ	25
2.3 АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЮТЬ ПАСИВНУ БЕЗПЕКУ ЛОКОМОТИВІВ	27
3. АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ	41
3.1 ЗАГАЛЬНІ ПІДСТАВИ РОЗРОБКИ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	41
3.2 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ У ЛОКОМОТИВАХ СІМЕЙСТВА TRAXX	42
3.3 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ІНСТИТУТУ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ НАН УКРАЇНИ	45
3.4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ІНСТИТУТУ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ НАН УКРАЇНИ	47

					0032.185461.МДР.2022.001			
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб		Кіцанюк Н.В.			Оцінка відповідності пасивної безпеки локомотивів вимогам інтероперабельності	Літ	Лист	Листов
Перевірів		Болжеларський Я.В.						
Н. контр.						8-Інтер		
Затв.								

4 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ЛОКОМОТИВІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ.....	56
4.1 СЦЕНАРІЇ ЗІТКНЕННЯ	56
4.2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОЗДОВЖНИХ СИЛ ПРИ ЗІТНЕННЯХ РУХОМОГО СКЛАДУ	60
4.3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ (АЛГОРИТМ МЕТОДИКИ).....	68
ВИСНОВКИ	76
БІБЛІОГРАФІЯ.....	78
СПИСОК РИСУНКІВ	82
СПИСОК ТАБЛИЦЬ.....	84
АНОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА.....	85

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		4

ВСТУП

На залізницях України відбувається значна кількість залізнично-транспортних пригод (ЗТП), серед яких особливе місце займають зіткнення рухомого складу з іншими рухомим складом залізниць, автотранспортом на залізничних переїздах, а також наїзди на нерухомі перешкоди. Особливостями цих ЗТП є те, що ймовірність травмування чи загибелі локомотивних бригад у таких випадках є найвищою.

Основним способом запобігання аварійним зіткненням, звичайно ж, є використання засобів активного захисту, у першу чергу – ефективної гальмівної системи. На жаль, не усі причини можна усунути і не кожній аварії можна запобігти. Тому необхідно враховувати можливість її виникнення і наперед потурбуватися про захист рухомого складу від понаднормативних ударних впливів у аварійних ситуаціях.

Особливу актуальність питання пасивної безпеки отримали у зв'язку з імплементацією в Україні принципів та вимог інтеоперабельності, серед яких забезпечення пасивної безпеки займає одне з чільних місць.

Оскільки локомотиви першими сприймають наднормативні удари, їх пасивному захисту повинна бути приділена особлива увага. Тому у теперішній час важливою та актуальною проблемою є приведення рівня пасивної безпеки вітчизняних локомотивів до європейських вимог.

Метою дослідження є підвищення рівня безпеки вітчизняного рухомого складу шляхом впровадження систем пасивної безпеки.

Об'єктом дослідження є локомотиви, що експлуатуються на залізницях України та засоби пасивної безпеки

Предметом дослідження є методика оцінки пасивної безпеки локомотивів, що прийнята у країнах ЄС.

Для досягнення зазначеної мети необхідно:

- проаналізувати стан безпеки руху на АТ «Укрзалізниця», види та

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		5

наслідки зіткнень рухомого складу;

- проаналізувати доробок вітчизняних та закордонних учених у вирішенні даного питання, визначити найбільш перспективні шляхи його вирішення;

- порівняти вітчизняні та закордонні вимоги до різних компонентів пасивної безпеки локомотивів, особливу увагу звернувши на вимоги європейських норма;

- визначити технічні рішення щодо забезпечення пасивної безпеки локомотивів та можливості їх застосування на вітчизняних локомотивах;

- удосконалити методику випробувань локомотивів за критеріями пасивної безпеки відповідно до вимог Європейських норм і запропонувати удосконалену методику до використання.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		6

1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ

1.1 Аналіз стану безпеки руху на АТ «Укрзалізниця».

Аналіз стану безпеки руху на АТ «Укрзалізниця» проведено на основі даних, що наведені у щорічних звітах стану аварійності на транспорті, які опубліковані на сайті Міністерства транспорту України [1].

З вказаних документів за 2016-2021 р.р. визначена кількість транспортних подій, що мають відношення до теми дослідження, тобто кількість зіткнень рухомого складу між собою та кількість зіткнень з автотранспортом на залізничних переїздах. У табличній формі динаміка вказаних транспортних подій наведена у табл. I, у графічній формі – на рис. 1 та на рис. 2.

Таблиця I – Динаміка зіткнень рухомого складу у АТ «Укрзалізниця»

Вид транспортної події	Значення по роках					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Зіткнення з автотранспортом, всього	80	86	70	79	59	76
у т.ч. на переїздах	73	80	60	66	50	69
у т.ч. поза переїздами	7	6	10	13	9	7
Зіткнення рухомого складу між собою	7	6	7	6	5	10

При аналізі динаміки зіткнень були використані основні положення кореляційного аналізу, що викладені у [2, 3], побудовані лінії трендів та визначені коефіцієнти кореляції.

Методика побудови ліній тренду та визначення коефіцієнту кореляції порягає у наступному.

Лінія тренда - це графічне вираження напрямку зміни ряду даних. Побулова лінії тренда, або, іншими словами, знаходження аналітичного виразу

						Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001	7

відомого роду, яке б максимально наблизило знайдену функцію до фактичних даних називається *апроксимацією*.

Знаходження виразу для функції, яка задається в табличній формі таким чином, щоб значення, отримані з формули в точках, де задана початкова функція, збігалися зі значеннями самої функції в тих же точках називається *інтерполяцією*.

Зв'язки між змінними можуть бути лінійними або нелінійними. Лінійні зв'язки виникають, коли при збільшенні значення x значення y збільшується більш-менш рівномірно, утворюючи на графіку пряму лінію. У найпростішому випадку ряд динаміки можна апроксимувати як лінійну залежність виду:

$$y = a + b \cdot t, \quad (1.1)$$

де a і b - коефіцієнти регресії; t - рік.

Якщо при рівномірному збільшенні t значення y швидко зростають, то в цьому випадку залежність y від t найчастіше може виражатися у вигляді параболи:

$$y = a + b \cdot t + c \cdot t^2. \quad (1.2)$$

Можуть також використовуватись інші залежності: експоненційні, параболи третього та вищих ступенів, гіперболи, степеневі, логарифмічні та експоненціальні функції.

За характером розташування точок, які нанесені на координатну площину можна приблизно визначити характер функції. Після цього встановлюються числові значення параметрів a , b , c . З цією метою необхідно вибрати певний критерій «кращого наближення», який був би об'єктивним, відповідав інтуїтивному поняттю прийнятності і мав би відносно просте математичне подання. Найчастіше для цієї мети використовується метод найменших квадратів, при якому отримується мінімальне значення суми квадратів відхилень від теоретичного (на лінії тренду) та фактичного значення параметру:

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		8

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - f(i)]^2 \rightarrow \min. \quad (1.3)$$

Критерій мінімальної суми квадратів застосовується з трьох причин. По-перше, він дозволяє знайти аналітичне вирішення більшості питань, що пов'язані з аналізом. По-друге, при квадратичній залежності похибка при малих значеннях відхилень незначна, а при їх збільшенні різко зростає; Цей факт правильно відображає практичну ситуацію, оскільки незначні помилки менш небезпечні, ніж істотні помилки. І по-третє, цей критерій задовольняє вимогу максимальної правдоподібності для випадку, коли відхилення підкоряються нормальному закону розподілу. По суті, метод найменших квадратів просто формалізує процедуру вибору апроксимаційної кривої «на око», коли дослідник намагається звести до мінімуму відхилення експериментальних точок від кривої, яку він прийматиме у подальшому.

Для визначення параметрів a та b за методом найменших квадратів наприклад, для випадку лінійної регресії необхідно підставити рівняння лінійної регресії (1.1) у вираз (1.3):

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + b \cdot t)]^2. \quad (1.4)$$

Мінімізація суми S здійснюється шляхом взяття часткових похідних y_i та b_i та прирівнювання їх до нуля. Після спрощення отримаємо систему так званих нормальних рівнянь.

$$\begin{cases} a \cdot n + b \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i; \\ a \sum_{i=1}^n t_i + b \sum_{i=1}^n (t_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i t_i), \end{cases} \quad (1.5)$$

						Арк.
					0040.185461.МДР.2022.001	9
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Рішення системи рівнянь (1.5) дає можливість визначити коефіцієнти a і b , що задовольняють умові (1.4).

Пошук коефіцієнтів регресії в рівняннях (1.1) - (1.2), а особливо, у рівняннях інших типів - це трудомісткий обчислювальний процес, тому бажаним є використання спеціалізованого програмного забезпечення. У даній дипломній магістерській роботі використано табличний редактор Microsoft Excel.

При прогнозуванні шляхом екстраполяції завжди необхідно враховувати логіку розвитку і фізику явища. В іншому випадку можна отримати абсурдні результати.

Оцінка близькості значень ліній тренду до фактичних значень може бути проведена шляхом розрахунку показника змішаної кореляції R^2 , значення якого визначається за формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}}, \quad (1.6)$$

де y_i - фактичне значення показника; \bar{y}_i - теоретичне значення показника (на лінії тренда); n - кількість значень.

Цей показник може приймати значення від 0 до 1. Приймається, що лінія тренда тим більше відображає реальну ситуацію чим ближче R^2 до 1, тобто з моделей найбільш правдоподібною буде модель, для якої значення показника змішаної кореляції R^2 буде найбільшою.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		10

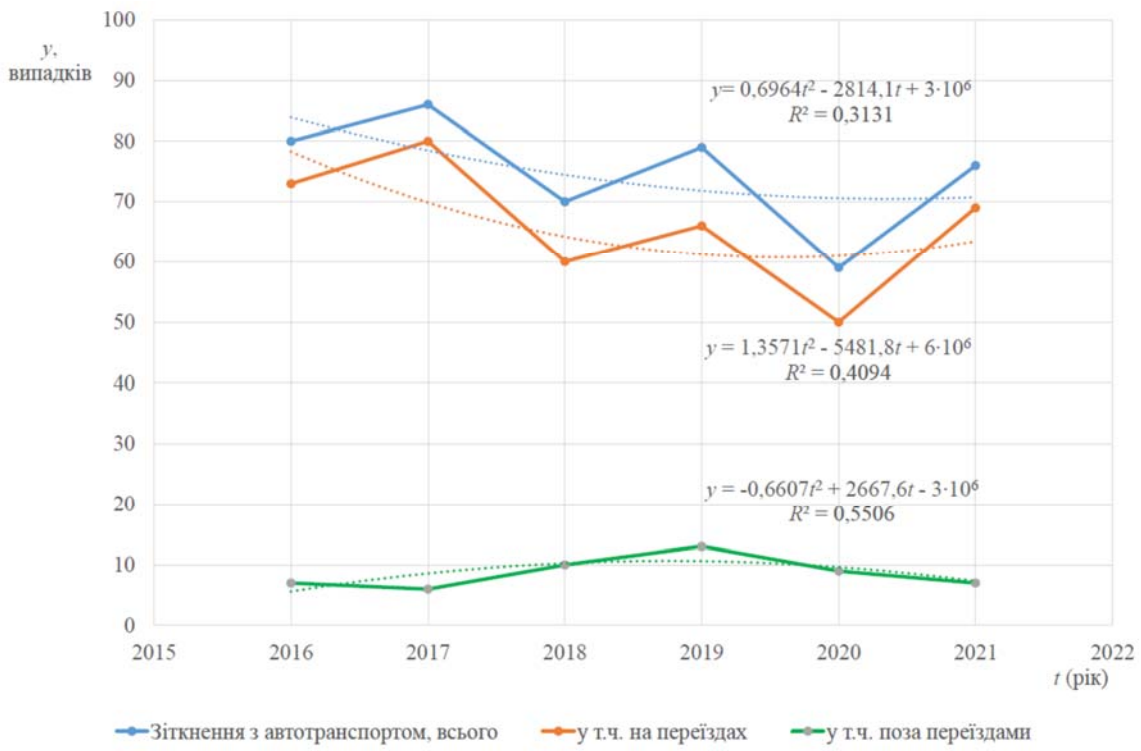


Рисунок 1 – Динаміка зіткнень з автотранспортом

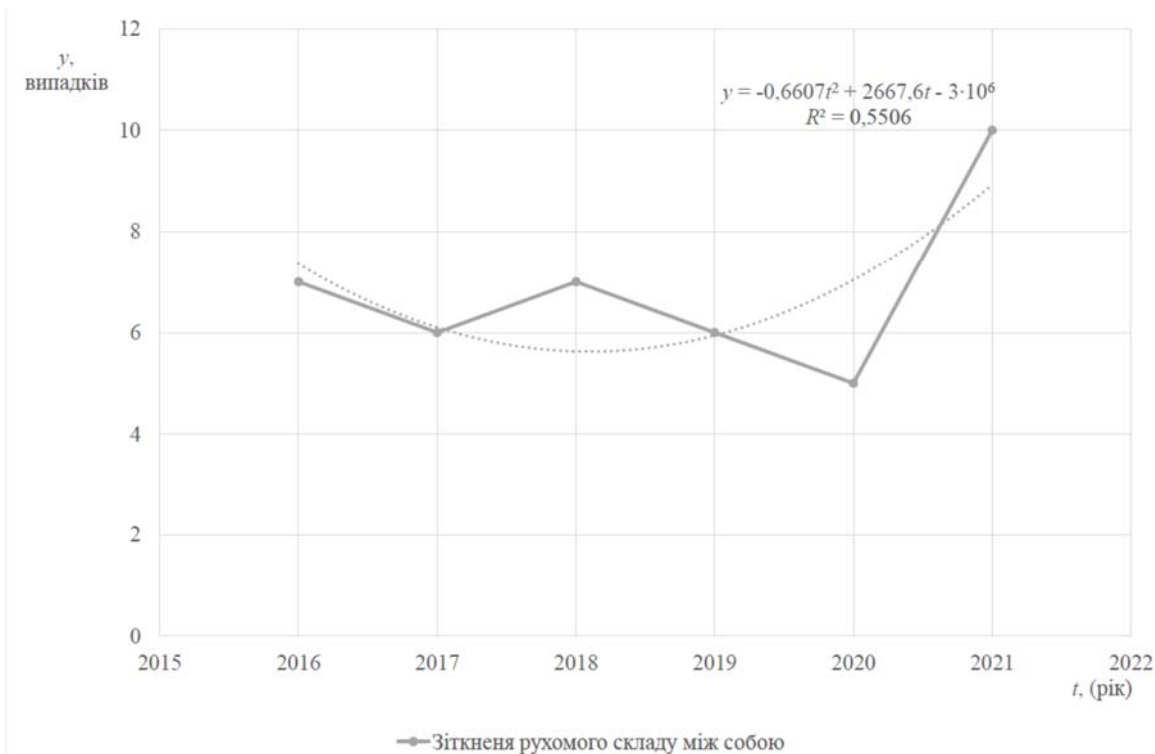


Рисунок 2 – Динаміка зіткнень рухомого складу між собою

Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата

0040.185461.МДР.2022.001

Арк.

11

Як видно з результатів розрахунку, коефіцієнти кореляції для усіх видів зіткнень знаходяться на низькому рівні, що свідчить про випадковість настання вказаних ЗТП.

У загальному можна стверджувати, що кількість зіткнень характеризується стабільністю, без чітко вираженої динаміки зростання чи спадання і є випадковою величиною.

Важливим для мети дипломної магістерської роботи є визначення перерозподілу між видами зіткнень. Вказаний перерозподіл наглядно демонструє колова діаграма, що наведена на рис. 3. Для побудови діаграми взято середні значення показників, що наведені у табл. 1.

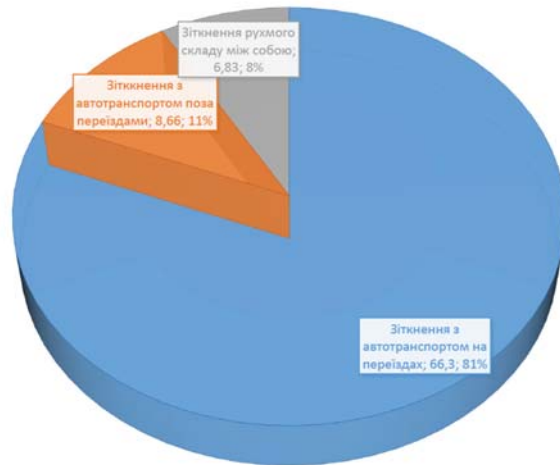


Рисунок 3 – Перерозподіл випадків зіткнень між видами

Як видно з рис. 3 найбільшу частку у зіткненнях складають зіткнення з автотранспортом на залізничних переїздах. Цей факт необхідно враховувати при плануванні та пріоритезації заходів з пасивної безпеки.

1.2 Види та наслідки зіткнень рухомого складу

При виконанні дипломної магістерської роботи був виконаний аналіз випадків залізнично-транспортних пригод (ЗТП), по яких виконувались судові залізнично-транспортні дослідження у Львівському науково-дослідному інституті судових експертиз протягом 2000 – 2019 років. Протягом цього періоду науковим керівником роботи було виконано 154 судові залізнично-транспортні експертизи серед яких 14 становили зіткнення рухомого складу з іншим рухомим складом

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		12

залізниць, автотранспортними засобами та тупиковими призмами.

Характерними для теми дослідження випадками стали наступні:

- зіткнення маневрового локомотива ЧМЭЗ №4523 з пасажирським автобусом ЛАЗ-695 № 3151 СИА, що відбулося 29 грудня 2002 року у м. Конотоп;
- зіткнення дизель-поїзда № 6303 сполученням Ковель-Сокаль (Д1 448-3) з автомобілем КамАЗ-5320 р.н. 3441 ВНМ, що відбулося 16 вересня 2004 року на залізничному переїзді на перегоні Люблинець-Турійськ;
- зіткнення пасажирського поїзда №68 сполученням Москва-Сімферополь з вантажним автомобілем «Volvo-F-12» № 07-05 ХАХ, що відбулося 28 грудня 2001 року на залізничному переїзді станції Комаровка;
- зіткнення приміського електропоїзда №802 „Січеслав” сполученням „Дніпропетровськ-Донецьк” з автомобілем МАЗ 543240-2120, що відбулося 11 жовтня 2005 року на залізничному переїзді на перегоні Письмена-Ульянівка;
- зіткнення пасажирського поїзда №606 сполученням Львів-Рахів з легковим автомобілем марки ВАЗ-2105, що відбулося 15 червня 2006 року на залізничному переїзді у селі Вибранівка;
- зіткнення тепловоза 2М62 з групою вагонів господарчого поїзда, що відбулося 09 червня 2008 року на перегоні Тернопіль-Великий Глибочок;
- зіткнення дрезини ДГКу №2593 з трактором Т-40, що відбулося 30 серпня 2007 року на залізничному переїзді у селі Шляхтичі;
- зіткнення дрезини АГМу-10 з господарчим поїздом, що відбулося 10.09.2008 року на ТОВ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»;
- зіткнення некерованого піввагону з маневровим локомотивом ТГК-2 №6889, що відбулося 03 серпня 2006 року на станції Ржевуська;
- зіткнення пасажирського поїзда №293 , сполученням Київ-Євпаторія, з комбайном марки «СА5Е 5088», що відбулося 07 серпня 2012 на залізничному переїзді станції Галине;
- зіткнення дизель-поїзда сполученням Харків-Суми-Ворожба з рейсовим автобусом марки Газель, що відбулося 04.02.2014 р. на залізничному переїзді на перегоні Амбари-Віри;

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				13

- зіткнення тепловоза ТГМ-3 з рейсовим автобусом марки БАЗ, що відбулося 13 грудня 2013 року на залізничному переїзді у с. В'язове;
- зіткнення тепловозу ЧМЕЗ №3752 з тупиковою призмою, що відбулося 26 листопада 2011 року на станції Берегова;
- зіткнення тепловоза ТГК-2 з тупиковою призмою, що відбулося 06 грудня 2019 року у м. Новий Розділ.

Якщо причиною зіткнення стало явне невиконання вимог правил дорожнього руху водіями і зауважень щодо облаштування залізничного переїзду, технічного стану засобів забезпечення безпеки руху на ньому та фактичних дій працівників переїзду і локомотивної бригади немає, то судові залізнично-транспортні експертизи не призначаються, ознак у звітах [1] вони відображаються. Розглянемо найбільш характерні, які дозволяють оцінити масштаби руйнувань передньої частини локомотива.

Так, 27 січня на переїзді без чергового 110 км перегону Буштина – Тячів водій автомобіля ЗІЛ-130 виїхав на переїзд перед поїздом №14 «Київ – Солотвино», незважаючи на заборонні показники переїздної сигналізації. Унаслідок зіткнення з поїздом у автомобілі загинули водій і пасажир, другий пасажир травмований. Локомотив залишено на місці події для проведення слідчих дій. Склад поїзда повернуто на ст. Буштина, пасажирів було пересаджено в автобуси. Характер руйнувань передньої частини локомотива показано на рис. 4.



Рисунок 4 – Наслідки зіткнення тепловоза серії М62 з вантажним автомобілем ЗІЛ.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		14

27 грудня на переїзді без чергового 93 км ПК4 перегону Холонівська – Уладівка, при справно працюючій переїзній сигналізації, поїздом №3605 збито легковим автомобіль ВАЗ. Унаслідок зіткнення водія госпіталізовано до лікарні. Наслідки зіткнення наведено на рис. 5.



Рисунок 5 – Наслідки зіткнення тепловоза серії 2М62 з легковим автомобілем

28 вересня на переїзді без чергового 46 км ПК6 перегону Карлівка – Колійний пост 43 км, при справно працюючій переїзній сигналізації, швидкісним поїздом №711 «Костянтинівка – Київ» збито легковий автомобіль Ford Focus. Поїзд зупинився із застосуванням екстреного гальмування. Водій автомобіля смертельно травмований. Наслідки зіткнення наведені на рис. 6



Рисунок 6 – Наслідки зіткнення швидкісного електропоїзда Hyundai Rothem з легковим автомобілем.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		15

28.05.2018 на переїзді без чергового 1278 км пк 1 перегону Абамеликове - Кодима при справно діючій переїзній сигналізації водій мікроавтобуса Nissan Vanette Cargo виїхав на переїзд, де був збитий поїздом "Інтерсіті" №764 «Одеса-Київ» на швидкості 115 км/год. Наслідки зіткнення наведено на рис. 7.



Рисунок 7 – Наслідки зіткнення пасажирського електровоза з мікроавтобусом на швидкості 115 км/год.

01.10.2018 на переїзді з черговим 180 км пк 4 перегону Бережесть - Словечно поїздом № 4402 збито вантажний автомобіль МАЗ, «Гомельавтотранс», водій якого виїхав на переїзд при заборонних показниках переїзної сигналізації. Внаслідок зіткнення водій автомобіля загинув, автомобіль розбито. Пошкоджено локомотив, що зійшов з рейок парної колії передніми колісними парами.

Наслідки зіткнення наведено на рис. 8.



Рисунок 8 – Наслідки зіткнення вантажного електровоза з вантажним автомобілем

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		16

1 березня 2017 року на переїзді без чергового 155 км, обладнаного сигналізацією, перегону Канцерівка – Пост 150 км поїздом № 6489 «Запоріжжя-2 – Нікополь» збито автомобіль ВАЗ-2101, водій якого виїхав на переїзд при заборонних показниках переїзної сигналізації. Внаслідок зіткнення водій автомобіля загинув, автомобіль пошкоджено.

Наслідки зіткнення наведені на рис. 9.



Рисунок 9 – Наслідки зіткнення електропоїзда з легковим автомобілем

5 липня 2017 року на переїзді без чергового 1236 км перегону Якимівка – Тащанак поїздом №232 "Генічеськ – Івано-Франківськ" збито приватний легковий автомобіль CHERY QQ. Водій автомобіля проігнорував заборонні показники переїзної сигналізації і виїхав на переїзд перед поїздом. Наслідки зіткнення наведені на рис. 10.



Рисунок 10 – Наслідки зіткнення пасажирського електровоза з легковим автомобілем

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		17

На основі аналізу пошкоджень локомотивів, що наведені на рис. 4 – рис. 10 можна зробити висновок, що локомотиви та головні вагони моторвагонних поїздів не отримали значних ушкоджень внаслідок зіткнень з автотранспортом (окрім випадку зіткнення з вантажним автомобілем – див. рис. 8. З іншої сторони, насторожує велика кількість загиблих водіїв автомобілів та пасажирів. На нашу думку основною причиною такого явища є наявність автозчепу, який значно випирає вперед, сприймає основне навантаження і, у той же час, руйнує перешкоду – автомобілі, що призводить до людських жертв.

1.2 Аналіз наукових робіт, присвячених пасивній безпеці локомотивів

Підвищення безпеки руху на залізничницях, у тому числі, питання пасивної безпеки було і є предметом розгляду багатьох колективів науковців з України та зарубіжних країн.

Серед вітчизняних науковців слід виділити праці, які виконані у Інституті технічної механіки НАН України. Питаннями пасивної безпеки займались М.Б. Соболевська, С.А. Сирота, Н.Е. Науменко, І.Б. Теличко, І.Ю. Хижа,

Так у праці [4] відзначається, що при зіткненні локомотива зі швидкістю 20 км/год (як одиночного, і у складі еталонного поїзда), у якому передбачена система пасивної безпеки, з транспортним засобом масою 10 т у елементах конструкції локомотива виникають пластичні деформації. При зіткненні з транспортним засобом, маса якого порівняльна з масою завантаженого вантажного вагона, пластичні деформації в елементах конструкції локомотива спостерігаються вже при швидкості зіткнення 10 км/год.

Автори відзначають, що мінімізацію наслідків аварійних зіткнень можна здійснити шляхом включення до несучих конструкцій кузовів екіпажів захисних пристроїв пасивної безпеки, призначених для поглинання кінетичної енергії зіткнення. Для оцінки максимальних прискорень поїзда, а також поздовжніх стискаючих сил, які виникають у міжвагонних з'єднаннях під час зіткнення, використовувалася дискретно-масова модель поїзда. Взаємодія вагонів поїзда моделювалася за допомогою міжвагонних зв'язків.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		18

Авторами доведено, що для зниження максимального рівня поздовжнього зусилля, що виникає між локомотивом і перешкодою у вигляді вантажного вагона масою 80 т, до нормативного значення необхідно кінцеві частини локомотива обладнати захисними пристроями, деформація яких становить близько 1,5 м. Для збереження цілісності конструкцій екіпажів та забезпечення безпеки пасажирів, обслуговуючого персоналу та локомотивної бригади під час аварійних зіткнень з перешкодою необхідно пасажирські локомотиви нового покоління обладнати пристроями системи пасивної безпеки. Виходячи з цього, необхідно проводити подальші дослідження в галузі систем пасивної безпеки екіпажів.

У праці [5] наведено результати аналізу світових тенденцій та підходів до вирішення проблеми пасивної безпеки залізничних екіпажів, які склалися на рік написання роботи. Зокрема розглядається впадок локомотивів, а також нормативна база, що діє нині в європейських країнах, яка регламентує пасивну безпеку швидкісних та високошвидкісних пасажирських поїздів. Авторами визначено основні засади створення пасивного захисту локомотива швидкісного пасажирського поїзда та запропоновано концепцію пасивного захисту локомотива нового покоління, призначеного для швидкісного залізничного руху по колії 1520 мм.

Автори праці [6] розробили основні принципи концепції пасивного захисту швидкісних пасажирських поїздів при аварійному зіткненні на залізницях колії 1520 мм. Ними розроблено наукову методику та математичні моделі для аналізу пластичного деформування елементів рами кабіни та пристроїв поглинання енергії (ППЕ) при ударі. Також розроблено каркас кабіни та ППЕ локомотива нового покоління. Було проведено краш-тест прототипу ППЕ.

Праця [7] присвячена питанням математичного моделювання зіткнень. Автори відзначають, що при проектуванні локомотива нового покоління необхідно передбачити наявність інтегрованої в його конструкцію системи пасивної безпеки (СПБ), яка повинна забезпечити захист пасажирів і персоналу поїзда при найбільш ймовірних аварійних зіткненнях. У статті розглянуто сценарій зіткнення еталонного поїзда і вантажного вагона масою 80 т

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		19

зі швидкістю 36 км/год. Еталонний поїзд складається з локомотива, обладнаного СПБ з пристроями поглинання енергії (ППЕ), і вантажного вагона масою 80 т. Такий сценарій передбачений європейським стандартом EN 15227.

Дослідження динамічної навантаженості локомотива для визначення інтегральних параметрів ППЕ, зокрема його енергоємності, проведено в рамках дискретно-масової математичної моделі. Новизною цієї моделі є удосконалення силової характеристики взаємодії екіпажів з урахуванням роботи поглинаючих апаратів зсувних автозчепних пристроїв і ППЕ, а також можливості виникнення в конструкціях ППЕ та екіпажів пластичних деформацій. Автори також розробили нову скінченно-елементну модель пластичного деформування ППЕ при ударі, за допомогою якої розроблено конструкцію ППЕ заданої енергоємності та обрано її параметри. Показано, що установка двох таких ППЕ в кінцевих частинах локомотива забезпечує виконання сценарію зіткнення еталонного поїзда з вантажним вагоном у відповідності з європейським стандартом EN 15227 і розробленою концепцією пасивної безпеки пасажирського рухомого складу залізниць колії 1520 мм.

Плідна робота вказаного колективу завершилась успішним захистом дисертаційної роботи [8], яка підсумувала багаторічні дослідження у питанні пасивної безпеки локомотивів.

Метою роботи стало підвищення пасивної безпеки локомотива при аварійних зіткненнях шляхом створення кабіни машиніста з жертвовною зоною, зоною безпеки та пристроями поглинання енергії.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу в галузі залізничного транспорту: підвищення пасивної безпеки локомотива при аварійних зіткненнях шляхом створення кабіни машиніста з жертвовною зоною, зоною безпеки і пристроями поглинання енергії.

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації дисертації, які дотичні до теми даної дипломної магістерської роботи.

На основі результатів аналізу світового досвіду з пасивного захисту локомотива при аварійних зіткненнях з перешкодою обґрунтовано необхідність і

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		20

актуальність розробки з використанням сучасних технологій математичного моделювання принципово нової кабіни машиніста з жертвовою зоною, зоною безпеки і пристроями поглинання енергії.

Розроблено основні вимоги до пасивної безпеки швидкісного пасажирського локомотива, побудовано концептуальні діаграми деформування елементів СПБ при наднормативних ударах, що характеризують аварійні зіткнення локомотива з перешкодою на переїзді (сценарій 1) і з вантажним вагоном (сценарій 2).

Розроблено конструктивно-компонувальну схему кабіни машиніста з елементами СПБ. Визначено вимоги до ППЕ в кінцевих частинах рами кузова локомотива. Розроблено і запатентовано конструкцію ППЕ коробчастого типу, що містить стільникові пакети. Визначено параметри ППЕ енергоємністю 1,1 МДж. Виконано креш тест ППЕ на випробувальному полігоні у м Г ерліц (Німеччина) і отримано задовільне узгодження результатів креш тесту з розрахунковими даними.

Розроблено науково-методичне забезпечення і скінченно-елементні моделі для дослідження НДС елементів конструкцій каркасів кабін при наднормативних ударах з урахуванням геометричної та фізичної нелінійностей, залежності межі плинності сталі від швидкості деформації, змінної контактної взаємодії елементів конструкцій з перешкодою і між собою. Прийнятність використання розробленого науково-методичного забезпечення підтверджено задовільним узгодженням результатів розрахунків пластичного деформування жертвових елементів у вигляді перфорованих трубчастих конструкцій при поздовжніх ударах з малою швидкістю і даних дослідних випробувань експериментальних зразків цих конструкцій при стисканні.

Розроблено скінченно-елементні моделі для аналізу деформування елементів конструкцій каркаса кабіни машиніста локомотива нового покоління з СПБ при поздовжньому статичному навантаженні на елементи лобової стінки.

З використанням розробленого науково-методичного забезпечення і скінченно-елементних моделей проведено комплекс досліджень та визначено

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		21

параметри базової конструкції каркаса кабіни. Виконано аналіз НДС її елементів, в тому числі з урахуванням ППЕ, при ударах за тестовим сценарієм 1 (зіткнення з МТЗ у вигляді недеформованого циліндра) і сценарієм 2. Результати дослідження за сценарієм 1 послужили підставою для введення змін у російські “Технічні вимоги до системи пасивної безпеки ...” 2010 р. з метою заміни моделі МТЗ на недеформовану стінку. Встановлено, що при ударах за сценарієм 2 базова конструкція каркаса кабіни відповідає розробленим вимогам до пасивної безпеки локомотива.

Проведено доопрацювання базової конструкції каркаса кабіни з метою зниження її ваги та забезпечення потрібної міцності. Відповідність доопрацьованої конструкції каркаса кабіни нормативним вимогам щодо міцності підтверджено шляхом оцінки НДС її елементів при статичному навантаженні на елементи лобової стінки.

Виконано дослідження НДС елементів доопрацьованої конструкції каркаса кабіни з пультом управління і ППЕ при ударах за тестовими сценаріями зіткнень. Показано, що енергія, яка поглинається в результаті спільної деформації жертвовної зони каркаса кабіни і двох ППЕ, дорівнює 2 МДж. При цьому в зоні безпеки зберігається простір більше 750 мм для виживання локомотивної бригади, рівень поздовжнього прискорення в цій зоні і сила, що діє на раму кузова локомотива, не перевищують значень, допустимих вимогами до пасивної безпеки локомотива.

На основі результатів виконаних досліджень розроблено, виготовлено і впроваджено у виробництво модульну кабіну машиніста електровоза ЕП20 з СПБ. У 2012 р електровоз ЕП20 з розробленою кабіною введено в експлуатацію. На даний час в експлуатації перебувають 42 електровоза серії ЕП20 з елементами СПБ.

Необхідно звернути увагу, що приведені вище дослідження в основному були орієнтовані на досвід і потреби залізниць російської федерації, що у теперішніх умовах є неприпустимим.

Серед праць європейських науковців слід відзначити ряд праць, у яких

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		22

відображено досвід проведення випробувань локомотивів а також удосконалення їх конструкції відповідно до європейських вимог. Так у праці [9] представлено розвиток залізничної техніки і, як наслідок, розвиток науково-дослідних можливостей науково-дослідної лабораторії рухомого складу Інституту залізничного транспорту в галузі механічних властивостей рейкових транспортних засобів. Обговорено дослідження міцнісних властивостей, що забезпечують пасивну безпеку персоналу та пасажирів, технології гальмування та динамічної взаємодії транспортних засобів із залізничною колією. Подано історичну канву дослідження та сучасний стан. Описано станцію та базу даних вимірювань, які використовувалися під час дослідження, та їх потенційний обсяг.

У статті [10] розглядається пасивний захист локомотивів сімейства Traxx виробництва фірми Bombardier. Розглянуто конструкцію локомотивів різних типів цього сімейства, досвід експлуатації цих локомотивів у Польщі, наведені їх технічні дані.

Таким чином, на основі аналізу наукових праць, що присвячені вирішенню питань пасивної безпеки локомотивів слід відзначити, що головною проблемою до недавнього часу була відсутність чітких вітчизняних нормативних вимог щодо пасивної безпеки локомотивів, а наукові колективи орієнтувалися на нормативні документи, потреби та досвід російської федерації і інших країн пострадянського простору (окрім прибалтійських країн), які не узгоджені з вимогами ЄС. У зв'язку з асоціацією України у ЄС та вибраним загальним напрямком розвитку вітчизняної залізничної мережі відповідно до нормативів ЄС необхідно виправляти дану ситуацію, чому у деякій мірі і присвячена дана робота.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		23

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ ВИМОГ ТА ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ДО ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ

2.1 Вимоги законодавства України до систем пасивної безпеки локомотивів.

Аналіз бази нормативних документів, що діють на залізничному транспорті України показав, що конкретних вітчизняних вимог щодо пасивної безпеки локомотивів не існує. Про це відзначено і у спільному документі Контактної групи ОСЗ – ЄЗА. У відповідному розділі відзначено, що на сьогоднішній день вимоги до пасивної безпеки у системі колії 1520 мм не встановлені. Стосовно України відзначено, що конструкція рухомого складу повинна відповідати вимогам безпеки на увесь період експлуатації при умові виконання вимог стандартів, технічних умов, інструкцій та правил технічної експлуатації, що діють на території України. Причому серед таких документів згадуються наступні: Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм»; Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм; ГОСТ 12.2.056-81 Электровозы и тепловозы колеи 1520 мм. Требования безопасности; п. 4.1.13 ДСТУ 4493:2005 «Вагоны магистральные пассажирские дизель- и электропоездов. Требования безопасности».

Як бачимо, серед вказаного переліку наявні документи російської федерації, що ще раз підтверджує загальні тенденції розвитку залізничного транспорту України, які існували у довоєнний період.

Однак необхідно відзначити, що до елементів пасивної безпеки відносяться також коєєочишувачі і відбійники. Якщо розглядати також ці елементи, як засоби пасивної безпеки, то у [11] відзначено наступне: «На сьогоднішній день вимоги до цього параметра у всіх країнах є різними.

Можна виділити загальну складову яка відображає різницю у вимогах.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		24

Вагони з кабіною керування та локомотиви повинні мати пристрій, розташований перед першою колісною парою по ходу руху, який запобігає пошкодженню коліс та підкузовного обладнання предметами, що знаходяться на рейках. Колієочишувачі обладнуються щітками для очищення рейок.

Висота нижнього краю колеочишувача над головкою рейки повинна бути від 80 до 150 мм за усіх умов. Повинен враховуватись знос коліс та динамічна зміна висоти підвішування кузова.

Відстань від головок рейок до торця тросів щіток має бути не більше 65-75 мм.

Колієочишувач повинен витримувати без деформації силу від 140 до 170 кН, що прикладається до нього в поздовжньому до осі колії напрямку в точці, зміщеній на 850-915 мм від осі на один бік. Підтвердження відповідності здійснюється розрахунками заводу-виробника.

На лобових частинах електровоза повинні бути встановлені очисники, розраховані на рівномірно розподілене зусилля 250-300 кН (25-30 тс), з отворами для проходження повітря. Повинне передбачатись регулювання козирка колієочисника по висоті щодо рейок залежно від зношування коліс.

2.2 Загальні вимоги інтероперабельності до систем пасивної безпеки локомотивів

Вимоги інтероперабельності до систем пасивної безпеки локомотивів викладені у Директиві [12] та технічних специфікаціях інтероперабельності [13].

Директива [12] містить Додаток III, у якому наведені основні (критичні) вимоги до систем та підсистем залізничного транспорту. Стосовно пасивної безпеки, вимоги вказаного додатку є наступними: „конструкція рухомого складу і з'єднання між транспортними засобами, повинні бути сконструйовані таким чином, щоб захистити пасажирські і водійські відсіки в разі зіткнення або сходу з рейок”.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		25

Відповідно до ТСІ [13], механічна конструкція транспортних засобів повинна забезпечувати захист осіб, які знаходяться всередині шляхом:

- обмеження величини сповільнення,
- збереження життєвого простору та структурної цілісності приміщень, у яких знаходяться особи,
- зменшення ризику насування одного рухомого складу на інший зверху при зіткненні,
- зменшення ризику сходу з рейок,
- обмеження наслідків наїзду на перешкоду на колії.

Щоб відповідати цим функціональним вимогам, рухомий склад повинен відповідати детальним вимогам, зазначеним у стандарті EN15227:2008, що стосуються ударостійкості конструкції категорії С-І (згідно з таблицею 1 розділу 4 EN15227:2008), якщо інше не зазначено нижче.

Необхідно розглянути наступні чотири базові сценарії зіткнення:

- Сценарій 1: фронтальний удар між двома ідентичними одиницями рухомого складу,
- Сценарій 2: фронтальне зіткнення з вантажним вагоном,
- Сценарій 3: зіткнення локомотива з великим транспортним засобом на залізничному переїзді,
- Сценарій 4: зіткнення локомотива з низькою перешкодою (наприклад, автомобіль на залізничному переїзді, тварина, камінь тощо).

Ці сценарії описано в таблиці 2 розділу 5 EN15227:2008.

У рамках цих ТСІ правила застосування таблиці 2 доповнюються наступним:

- Застосування вимог, пов'язаних зі сценаріями 1 і 2, до важких локомотивів, які використовуються лише для вантажних перевезень і оснащені центральним зчепленням, що відповідають принципу Вільсона (наприклад, СА3) або Джені (стандарт ААР), які призначені для роботи на лініях CR TEN наразі є невизначеними (відкритою точкою).

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		26

— Оцінка відповідності локомотивів із центральними кабінами вимогам сценарію 3 є відкритим питанням.

Ці ТСТ визначають вимоги до ударостійкості, що застосовуються в межах їх сфери застосування; тому Додаток А EN 15227:2008 не застосовується. Вимоги розділу 6 стандарту EN15227:2008 повинні застосовуватися щодо наведених вище базових сценаріїв зіткнення.

Для обмеження наслідків наїзду на колійну перешкоду передні кінці локомотивів повинні бути обладнані відбійником перешкод. Вимоги, яким повинні відповідати відбійники перешкод, визначені в EN15227:2008 §5, таблиця 3 і розділ 6.5.

2.3 Аналіз європейських норм, що регламентують пасивну безпеку локомотивів

Як уже було відзначено вище, пасивна безпека локомотивів повинна відповідати вимогам EN15227 [14]. Розглянемо основні вимоги даного стандарту щодо пасивної безпеки локомотивів.

Цей документ (EN 15227:2008+A1:2010) підготовлений Технічним комітетом CEN/TC256 "Залізничні заявки", секретаріат якого належить DIN.

Слід зазначити, що даному європейському стандарту повинно бути надано статус національного стандарту шляхом публікації ідентичного тексту або шляхом схвалення, не пізніше травня 2011 року, а суперечливі національні стандарти повинні бути відкликані не пізніше травня 2011 року. В Україні дана вимога виконана у 2016 році. Стандарт прийнятий як національний стандарт методом підтвердження за позначенням.

Звертається увага на можливість того, що деякі з елементів цього документа можуть бути об'єктом патентних прав. CEN [та/або CENELEC] не несе відповідальності за ідентифікацію будь-яких або всіх таких патентних прав.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		27

Цей документ був підготовлений відповідно до мандата, наданого CEN/CENELEC/ETSI Європейською комісією та Європейською асоціацією вільної торгівлі, і підтримує основні вимоги Директиви [12].

Відповідно до Правил CEN/CENELEC, національні організації зі стандартизації наступних країн зобов'язані впроваджувати цей європейський стандарт: Австрія, Бельгія, Болгарія, Хорватія, Кіпр, Чехія, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Флунгарія, Ісландія, Ірландія, Італія, Латвія, Літуанія, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Іспанія, Швеція, Швейцарія та Великобританія.

Метою вимог пасивної безпеки, описаних у EN [14], є зменшення наслідків зіткнень. Заходи, розглянуті в цьому Європейському стандарті, забезпечують останній засіб захисту, коли всі можливості запобігання аварії уже вичерпались. Він забезпечує основу для визначення умов, які повинні бути розроблені для того, щоб кузова залізничних транспортних засобів могли витримати наслідки зіткнення від найбільш поширених аварій та пов'язаних з ними ризиків.

Вимоги стандарту сумісні з вимогами EN 12663. Вимоги до статичного стискаючого навантаження на торці транспортного засобу, що вимагаються EN 12663, призначені для забезпечення базової цілісності конструкції для просторів, у яких знаходяться люди при аварії типу зіткнення. Цей європейський стандарт доповнює основну вимогу до міцності, встановлюючи додаткові вимоги до конструктивної пасивної безпеки з метою підвищення безпеки пасажирів.

Цей європейський стандарт застосовується до нових конструкцій локомотивів та пасажирського рухомого складу, визначених у категоріях С-І - С-ІV пункту 4 з урахуванням рекомендацій, наведених у Додатку Е щодо застосування стандарту (правила перенесення). Він призначений для захисту людей у транспортних засобах, шляхом збереження цілісності конструкції, і не поширюється на інших працівників залізниці та клієнтів, які не перебувають у транспортних засобах, або на третіх осіб. Зазначені вимоги стосуються технічних

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		28

та експлуатаційних умов використання, які переважають у країнах-членах СЕН. Конструкція нових транспортних засобів для використання в пасажирських поїздах базується на вимогах експлуатації з сумісним рухомим складом, який також відповідає цьому стандарту. Признається, що експлуатаційні вимоги вимагатимуть, щоб нові транспортні засоби, які відповідають вимогам пасивної безпеки, та існуючі транспортні засоби, які не відповідають таким вимогам, можуть бути об'єднані в одному поїзді, але такі комбінації транспортних засобів не зобов'язані відповідати цьому європейському стандарту.

Вимоги щодо пасивної безпеки, які далі наведені, висуваються до кузова транспортного засобу та до тих механічних елементів, безпосередньо пов'язаних з ним, що можуть бути використані для поглинання енергії при зіткненні, таких як зчіплювачі, буферні системи тощо. Вони не охоплюють функції безпеки дверей, вікон, системних компонентів або внутрішніх компонентів, за винятком конкретних випадків, пов'язаних зі збереженням простору для виживання.

Вимоги не охоплюють усіх можливих сценаріїв аварій, але забезпечують рівень аварійності, який зменшить наслідки аварії, коли активні заходи безпеки були вичерпаними. Ідея полягає в тому, щоб забезпечити рівень захисту у найпоширеніших видах зіткнень, які викликають травми та смертельні випадки.

Застосовні сценарії конструктивних зіткнень та відповідні параметри для звичайної експлуатації в умовах Європейського Союзу наведені в пункті 5 EN [14]. Додаток А вказаного стандарту надає додаткову інформацію щодо цих сценаріїв та описує ситуації, коли може бути потрібна їх модифікація, та процеси, яких слід дотримуватися.

Цей європейський стандарт визначає загальні методи забезпечення пасивної безпеки, які можуть бути прийняті відповідно до індивідуальних вимог до транспортних засобів. Цей європейський стандарт також визначає характеристики еталонних моделей перешкод для використання в проектних сценаріях зіткнень. Не всі транспортні засоби в залізничному транспортному засобі повинні містити поглиначі енергії за умови, що конфігурації пасажирських поїздів, які сформовані

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		29

повністю з нових конструкцій транспортних засобів, в цілому відповідають цьому європейському стандарту.

Цей європейський стандарт також визначає вимоги до демонстрації того, що цілі пасивної безпеки були досягнуті шляхом порівняння з існуючими перевіреними конструкціями, чисельним моделюванням, компонентними або повнорозмірними випробуваннями або комбінацією всіх цих методів.

Терміни та визначення, які використовуються у EN [14], мають наступне значення:

активна безпека - системи та заходи, які спрямовані на запобігання виникненню зіткнень;

широко прийнятний ризик - рівень ризику, який розглядається як не значний у контексті, в якому він існує;

маса зіткнення - розрахункова масу в робочому стані плюс маса 50 % сидячих пасажирів

удароміцність - здатність контрольовано пом'якшувати наслідки зіткнення та знижувати ризик травмування людей

зона зім'яття - частина кузова транспортного засобу (зазвичай на кінцях транспортного засобу), яка призначена для керованої деформації та поглинання енергії;

здавлювання - надмірна пластична деформація, що значно зменшує внутрішній об'єм транспортного засобу;

проектний сценарій зіткнення (= сценарій/випадок граничного зіткнення) - найбільш серйозне зіткнення / випадок для кожного даного сценарію, від якого вимагається захист, і тому він може бути застосований для цілей проектування на основі аналізу наслідків зіткнення;

причіп - нетяговий транспортний засіб, оснащений ведучою кабіною і який призначений для роботи в загальному русі, а не як частина залізничного агрегату фіксованої конфігурації;

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		30

енергопоглинаючий пристрій - пристрій, який прикріплений, але не є частиною конструкції транспортного засобу, і призначений для деформації контрольованим способом та поглинання енергії (наприклад, поглинач енергії)

фіксоване сидіння - постійне місце в кабіні, яке зайняте під час звичайної роботи (наприклад, не може бути відкинута, коли воно не використовується)

повнорозмірний тест – тест структури, що розглядається, з тестовим зразком, сформованим з відповідних повнорозмірних компонентів;

локомотив - самохідний транспортний засіб з експлуатаційною ведучою кабіною на обох кінцях (або єдиною кабіною для роботи в обох напрямках), функція якого полягає лише в забезпеченні потужності для руху для причеплених транспортних засобів, і яка призначена для роботи в загальному русі, а не в якості постійної частини поїзда фіксованої конфігурації;

контактна сила нетто - різниця між поздовжніми силами, що діють на протилежні кінці транспортного засобу (тобто алгебраїчна сума поздовжніх сил в будь-який момент часу)

нормальні європейські умови експлуатації - умови експлуатації, порівнянні з тими, що описані в документах, перерахованих в бібліографії до EN [14];

оператор - організація, яка несе відповідальність за визначення технічних вимог до залізничного транспортного засобу з метою виконання ним запланованої операції та відповідності прийнятним критеріям;

пасивна безпека - системи, що зменшують наслідки аварії, якщо вона відбувається;

пластична деформація/постійна деформація – деформація, що пов'язана з напруженнями, що перевищують опір матеріалу або граничне напруження і яка не відновлюється відновленню після зняття навантаження;

тягова головка - самохідний транспортний засіб з експлуатаційною ведучою кабіною тільки на одному кінці, функція якого полягає лише в забезпеченні рухової потужності для причіпних транспортних засобів, і який

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		31

призначений для роботи в загальному русі, а не в якості постійної частини поїзда фіксованої конфігурації

еталонний поїзд - конфігурація поїзда, яка використовується для оцінки та валідації транспортних засобів (включаючи локомотиви, тягові головки та привідні причепа), які не є частинами поїзда фіксованої конфігурації;

правила - вимоги, передбачені законодавством, стандартами та іншими документами, передбаченими законодавством;

постачальник - організація, яка несе відповідальність за постачання залізничного транспортного засобу у відповідності з нормативними актами та функціональними вимогами оператора;

життєвий простір - об'єм кузова транспортного засобу, що містить людей, який повинен зберігатися під час обмеженого зіткнення;

TEN - трансевропейська мережа, як визначено в європейських директивах;

поїзд - експлуатаційна конфігурація залізничних транспортних засобів, які розглядаються у даному стандарті;

V_k - максимальна експлуатаційна швидкість поїзда на залізничному переїзді (менше значення між максимальною швидкістю поїзда і допустимою швидкістю на ділянці).

У EN [14] залізничні транспортні засоби класифікуються на категорії конструкції аварійності. Ці категорії залежать від основних характеристик залізничної інфраструктури і від виду експлуатації. Оператор повинен визначити відповідну категорію конструкції транспортного засобу в документах на закупівлю нових зразків.

Залізничні транспортні засоби поділяються на чотири категорії, як зазначено в таблиці II, із зазначенням типу експлуатації та транспортних засобів, що як правило з нею пов'язані.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		32

Таблиця II — Категорії залізничних транспортних засобів для оцінки пасивної безпеки

Категорія	Визначення	Приклад типу транспортного засобу
C-I	Транспортні засоби, що розроблені для експлуатації на мережі TEN, міжнародних, національних та регіональних мережах (які мають залізничні переїзди)	Локомотиви, причепи і поїзда фіксованого формування
C-II	Міські транспортні засоби, що призначені для експлуатації лише на визначеній залізничній інфраструктурі, яка не взаємодіє з дорожнім рухом	Поїзда метрополітену
C-III	Легкі транспортні засоби, які розроблені для експлуатації у містах чи/або на регіональних мережах і які взаємодіють з дорожнім рухом;	Трамвайні поїзди, приміські трамваї
C-IV	Легкі транспортні засоби, які розроблені для експлуатації на визначених міських мережах, що взаємодіють з дорожнім рухом	Трамваї

Вимоги щодо запобігання насунанню рухомого складу один на одного

Потрібно забезпечити опір можливому насунанню рухомого складу один на одного по кінцях транспортного засобу та у місцях з'єднання вагонів. Обмежувачі зміщень повинні містити запобіжники від вертикального переміщення між транспортними засобами, які стискаються.

Критерій прийняття переважного обмеження для сценарію 1 (див. вище) полягає в тому, що процес валідації (моделювання) демонструє, що при початковому вертикальному зміщенні 40 мм в точці удару (з нерухомим поїздом

який знаходиться на більш низькому рівні ніж рухомий поїзд) досягаються критерії уповільнення і збереження життєвого простору.

Крім того

— принаймні одна колісна пара кожного візка повинна знаходитись в ефективному контакті з рейками протягом усього моделювання зітнення. Це можна встановити, показавши, що в будь-який час вертикальне зміщення над рейкою хоча б однієї колісної пари на кожному візку становить не більше 75 % від номінальної висоти гребеня,

або, якщо цього не вдається досягти,

— дозволяється відстань підйому коліс до 100 мм, якщо антизміщувальні пристрої залишаються повністю задіяними у відповідній частині моделювання зіткнення та забезпечують стійку функцію блокування між транспортними засобами, що зіткнулися, і максимальна сила взаємодії переноситься на ці блоки. Також має бути продемонстровано, що установки проти підйому, а також будь-які наступні модулі поглинання енергії при аварії поглинають необхідну кількість енергії.

Демонстрація повинна виконуватися шляхом розрахунку з використанням детальної моделі зон зім'яті на кінцях транспортного засобу. Прийнятно мати спрощене моделювання еквівалентної маси та жорсткості для залишкових частин транспортних засобів за умови, що поведінка життєвого простору представлена правильно.

Обмеження від насування необхідно для обмеження вертикальних переміщень, що виникають на стиках транспортних засобів, і опору тим вертикальним силам, які викликаються, так що навантаження зіткнення спрямовувались на енергопоглинаючу структуру. Вертикальні зміщення і сили, які виникають внаслідок зміщень між точками контакту/реакції взаємодії і силами інерції, пов'язаними з уповільненнями і прискореннями транспортного засобу.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		34

Вертикальні зміщення можуть бути викликані зносом коліс, хитавицею, різницею точкового навантаження тощо. Початкове вертикальне зміщення в 40 мм вважається достатнім для демонстрації виконання цієї вимоги.

Обмеження від наповзання може бути забезпечено:

а) впровадженням протипідйомних пристроїв (з пов'язаними з ними зчіпними пристроями);

б) штанговими зчіплювачами між транспортними засобами для обмеження підйому;

в) конфігурацією складових одиниць поїздів (наприклад, зчленовані транспортні засоби з проміжними взаємодіючими елементами).

Вимоги щодо життєвого простору, доступу та евакуації

Структура, що утворює життєвий простір, повинна залишатися цілою і чинити опір максимальним силам, що впливають на неї під час повної послідовності спрацювання енергопоглинаючих елементів. Локальна пластична деформація і локальне здавлювання прийнятні, якщо буде продемонстровано, що при цьому зміна розмірів життєвого простору не виходить за межі, які зазначені нижче.

Для машиніста (та інших осіб, що можуть перебувати у кабіні, має бути життєвий простір. Це може бути забезпечено:

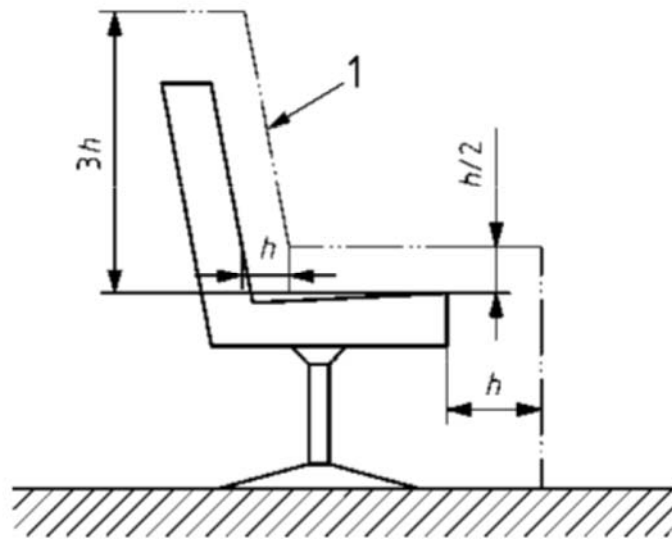
— мінімальним простором попереду сидіння (вимірюється на його центральній лінії), як показано на рисунку 2 (сидіння знаходиться у середньому положенні),

або

— прилеглі до основного сидіння простори зберігають довжину і ширину не менше 0,75 м і не менше 80 % початкової висоти між номінальним рівнем підлоги і стелі.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		35

При цьому достатньою є наявність одного суміжного місця для виживання на кабіну. Життєвий простір може розташовуватися за межами робочої зони кабіни за умови забезпечення негайного доступу до нього.



$h = 300$ мм; 1 відстань зазору

Рисунок 11 — Зона зазорів біля сидіння водія

Бічні грані лобового скла повинні закріплюватися по його краях шляхом перекриття конструкцією кабіни машиніста, щоб обмежити попадання у кабіну в разі зіткнення.

Принаймні один шлях евакуації (через визначені вихідні двері або вікно евакуації) повинен бути забезпечений у життєвому просторі. Деформація конструкції за визначеними сценаріями зіткнення не повинна перешкодити використанню шляхів евакуації.

Деформація конструкції, очевидно, не повинна призводити до того, що будь-яке обладнання або деталі локомотива (наприклад, стіл машиніста, лобове скло) можуть потрапити у життєвий простір під час реалізації сценаріїв зіткнення. Конструкція, що безпосередньо знаходиться попереду життєвого простору машиніста, повинна, наскільки це практично можливо, не повинна виходити з ладу

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				36

таким чином, щоб вона створювала додаткову небезпеку (наприклад, слід уникати відкритих поверхонь, зламів та виступів).

Машиніст повинен розташовуватися за позначеною зоною можливого обвалу конструкції.

Закріплення лобового скла не вимагає, щоб лобове скло повинно залишатися цілим при зіткненні.

Обмеження уповільнення/імпульсу при зіткненні

Середнє поздовжнє уповільнення у життєвих просторах повинно бути обмежене 5 g для сценарію 1 і сценарію 2 і 7,5 g для сценарію 3.

Метод визначення середнього уповільнення для кожного розглянутого транспортного засобу у складі поїзда повинен відповідати часу від моменту, коли сила нетто-контакту на транспортному засобі перевищує нуль, до часу, коли він наступного разу знову впаде до нуля.

Кінцева міцність навісного обладнання повинна відповідати найвищому середньому рівню уповільнення, який відчуває транспортний засіб при реалізації вищезазначених сценаріїв.

Для уповільнень до 5 g різниця між доведеними і граничними міцнісними вимогами багатьох інженерних матеріалів забезпечує досягнення цієї вимоги без детального аналізу. Для прискорень вище 5 g слід проаналізувати навісне обладнання критичних елементів обладнання .

Сповільнення транспортного засобу визначається величиною контактної сили нетто. Рівні сил, значно вищі за середні, допустимі за умови, що вони не тривалі. Якщо проходить надмірний час, перш ніж сила нетто-контакту впаде до нуля, то слід використовувати час, в якому вона падає до 10 % максимальної сили.

Граничні вимоги до міцності, що відповідають наведеним вище рівням прискорення, можуть бути більшими, ніж вимоги до міцності, зазначені в EN 12663.

Вимоги до колієочищувача

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		37

Колієочишувач повинен бути встановлений на тягових транспортних засобах категорії С-І. Для інших категорій колієочишувач повинен бути встановлений, якщо основна конструкція транспортного засобу не є достатньо низькою для виконання тієї ж функції або ризик, пов'язаний з цим сценарієм, є в цілому прийнятним.

Колієочишувач повинен бути достатнього розміру, щоб усувати перешкоди, очищуючи колію перед візком. Він повинен мати суцільну структуру повинна і повинен бути сконструйований так, щоб не направляти перешкоди вгору або вниз. У звичайних умовах експлуатації нижній край колієочишувача повинен знаходитися так близько до колії, наскільки це дозволяє рух транспортного засобу та рівень рейок.

Вимоги до конструктивних характеристик колієочишувача та його кріплення до конструкції транспортного засобу наведені нижче, а саме:

— кожне статичне навантаження повинно розглядатися незалежно в поздовжньому напрямку руху транспортного засобу. Зусилля прикладається на площі 0,5 м завширшки і висотою до 0,5 м від нижнього краю колієочишувача. Слід звернути увагу, що доступна висота може бути обмежена вирізами для зчпного пристрою або іншого обладнання). Лінія дії результуючої сили повинна бути горизонтальною і через центр кожної навантаженої ділянки до максимальної висоти 500 мм над рівнем рейки . Дані вимоги проілюстровані на рис. 12;

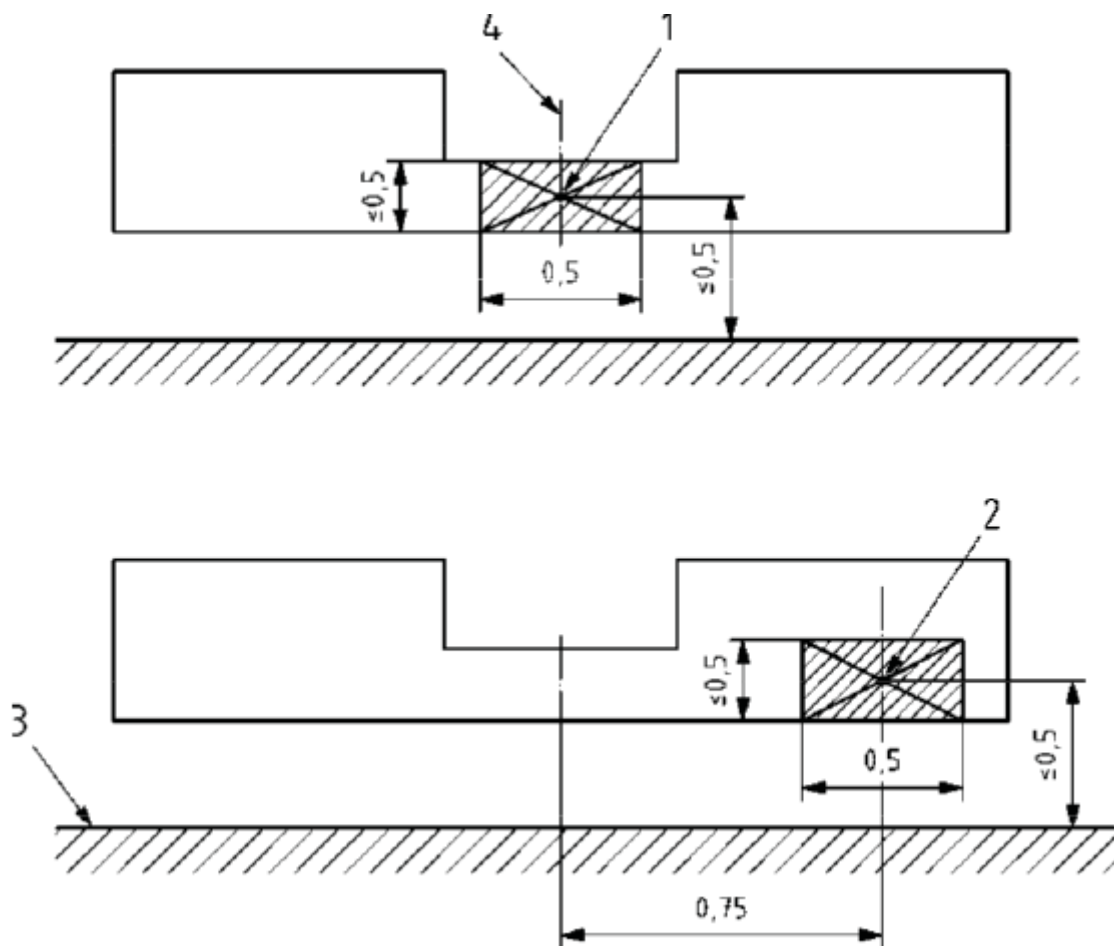
— не повинно бути значної постійної деформації (як визначено в EN 12663) колієочишувача та його прилипання до кузова внаслідок дії будь-якого статичного навантаження, що діє окремо;

— якщо колієочишувач перевантажується, він не повинен пластично деформуватися таким чином, щоб він відірвався або сам став небезпекою. Це можна довести, наприклад, продемонструвавши, що колієочишувач може поглинати енергію, відповідну заданому центральному статичному навантаженню, що діє на деформацію в 120 мм.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
						38
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Колієочишувач повинен залишатися чистим від колії та інших особливостей місцевої інфраструктури при деформації під навантаженням в обсязі, передбаченому цим Європейським стандартом.

Розміри в метрах




 - площа навантаження $\leq 0,25 \text{ m}^2$; 1 - результуюче положення центрального навантаження; 2 - результуюче положення бічного навантаження (обидві сторони); 3 - рівень головки рейки; 4 - відхилення зчіпного пристрою (якщо він є)

Рисунок 12 - Схема навантаження колієочишувача

Колієочишувач повинен бути розміщений якомога ближче до передньої частини ведучого транспортного засобу, так як це дозволяє функціональність конструкції для того, щоб він міг змитати уламки від початкового удару і знижував ризик їх падіння під себе і на колію під колеса.

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				39

У вигляді плану дефлектор повинен наближатися до профілю «V» з кутом не більше 160°. Він може бути розроблений із сумісною геометрією, щоб функціонувати також як снігоочишувач.

У деяких умовах експлуатації існує значний ризик сходу з рейок внаслідок наїзду на значні перешкоди, які можуть пройти під колієочишувачем. Щоб усунути цей ризик, на візках, безпосередньо перед колесами можуть бути встановлені очищувачі рейок. Якщо такі очищувачі потрібні, вони повинні бути розроблені відповідно до національних стандартів, правил оператора інфраструктури або специфікацій оператора, якщо такі існують.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		40

АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ЛОКОМОТИВІВ

3.1 Загальні підстави розробки технічних рішень

Під час вивчення доробку вітчизняних та зарубіжних учених у галузі забезпечення пасивної безпеки локомотивів встановлено, що основні рішення щодо пасивного захисту локомотивів передбачають обладнання лобової та задньої частин локомотива багатоступінчастою системою засобів енергопоглинання, які послідовно руйнуються при ударі. У той же час у конструкції кабіни машиніста передбачаються додаткові елементи, які перешкоджають розповсюдженню пластичних деформацій перед остаточним вичерпанням ресурсів системи енергопоглинання локомотива та забезпечують можливість виходу з кабіни та входу до неї у випадках навіть найважчих зіткнень.

Двохрівнева система пасивного захисту електровозів поїзда TER 2N NG [15] полягає в щільному поєднанні двох рамних конструкцій, одна з яких працює при зіткненні із рухомим складом залізниць, а інша - при зіткненні з вантажним автомобілем, що має високий центр ваги. Аналогічно організовано пасивний захист нового електропоїзда серії 422 для залізниць Німеччини. До лобових частин рам кузовів кінцевих вагонів на висоті буферів прикріплено по два енергопоглинаючі елементи, ще два такі елементи меншої потужності знаходяться під лобовими вікнами. В автозчеплення також інтегровані деформовані поглинаючі елементи. Рами лобових стінок кузовів і енергопоглинаючі елементи виконані зі сталі, а зони цих елементів, що зминаються, - з алюмінієвих пластин збільшеної товщини. Довжина деформованої зони кузова становить близько 1100 мм при поглинанні енергії поздовжнього зіткнення, що дорівнює 2,65 МДж [16].

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		41

3.2 Технічні рішення у локомотивах сімейства TRAXX

Зразком забезпечення задовільних протиударних властивостей рухомого складу багатоцільового призначення стали кузови локомотивів сімейства TRAXX [17, 18, 19], розроблені залізницями Німеччини спільно з компанією Bombardier Transportation. Локомотиви сімейства TRAXX реалізують нову концепцію опірності локомотивів руйнуванню при зіткненнях, відповідно до якої при аварійних ударах змінюються елементи. Іншими словами, структурні частини локомотива, що нормально функціонують, у разі зіткнення повинні деформуватися заданим чином. Новий локомотив має високий ступінь конструкторської та виробничо-технологічної оптимізації, внаслідок якої зміни конструкції локомотива не призвели до збільшення його маси, довжини та загальної вартості виготовлення. Вперше кузов однакового виконання використаний для вантажних та пасажирських електровозів, у тому числі дво- та чотирисистемних. Передбачається використання цієї платформи для всіх майбутніх локомотивів сімейства TRAXX компанії Bombardier Transportation.

При аварійному зіткненні такого локомотива з перешкодою поглинання кінетичної енергії удару здійснюється в результаті прогресуючого контрольованого деформування трьох ступенів захисту, якими є:

– бічні буфери з еластомірними пружними елементами для експлуатаційних режимів навантаження та маневрових зіткнень. При аварійному зіткненні такі буфери дозволяють забезпечити енергопоглинання близько 0,06 МДж по кінцях локомотива;

– елементи, що змінюються EST DUPLEX G1.A1, які кріпляться на болтах зовні перед буферним брусом. Ці елементи складаються з буфера G1 і блоку A1 – буферної консолі, що змінюється. Маючи довжину 1100 мм та масу 280 кг, елементи EST DUPLEX G1.A1 дозволяють забезпечити енергопоглинання близько 1,7 МДж на один кінець локомотива при зіткненні з іншою одиницею рухомого складу;

– зони, що деформуються, розташовані в передній частині кабіни.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		42

Для локомотивів сімейства TRAXX розроблено низку конструкторських рішень (рис. 13), пов'язаних із забезпеченням їх пасивного захисту під час зіткнень: протипідйомні пристрої на торцях локомотива, які витримують вертикальні навантаження до 150 кН 1; масивне фронтальне захисне з'єднання, інтегроване у структуру кабіни машиніста 2;

антипроникна стінка перед пультом керування для захисту від гострих уламків 3; зона безпеки для виживання локомотивної бригади у задній частині кабіни (мінімальна довжина 750 мм) 4; частини рами, що деформуються при аварії 5; частини каркасу, що деформуються при аварії 6; буфер EST DUPLEX G1.AI 7; комбіновані сніго- та рейкоочисники 8, які можуть контролювано деформуватися та додатково поглинати енергію удару.

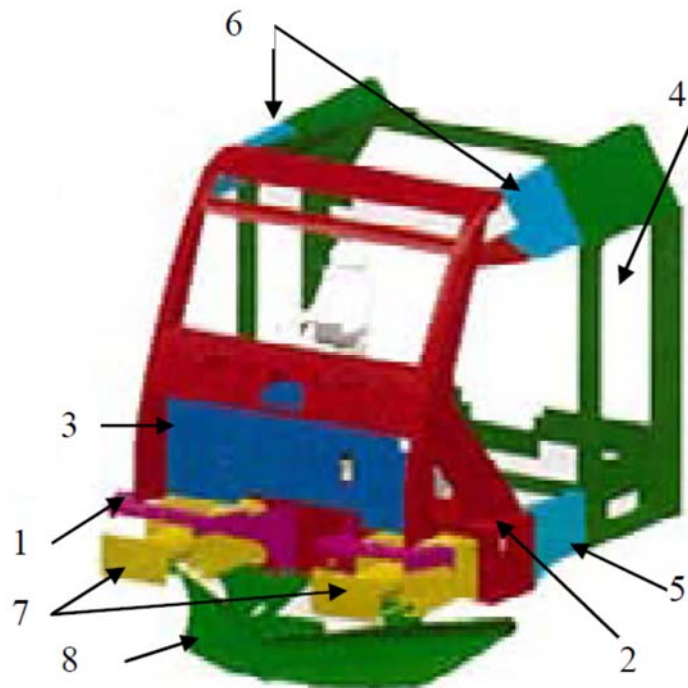


Рисунок 13 – Технічні рішення локомотивів сімейства TRAXX

Вирішення проблеми пасивного захисту локомотивів, призначених для швидкісного руху на залізницях колії 1520 мм, передбачає розробку нових конструкцій екіпажів. Специфіка їх визначається наявністю:

– ударно-тягових приладів, які при аварійному зіткненні не перешкоджають

						Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001	43

деформуванню засобів пасивного захисту;

– протипідйомних пристроїв, які при зіткненнях захищають екіпажі від наповзання один на одного, забезпечуючи їх взаємодія лише у поздовжньому напрямку;

– посиленої зони безпеки для порятунку людей, прискорення в якій не перевищують допустимого рівня 5g;

– жертвних зон кузова та деформованих елементів рами, призначених для поглинання кінетичної енергії удару.

В результаті аналізу існуючих технічних рішень щодо пасивного захисту локомотива визначено основні вимоги до конструкцій жертвних елементів:

– висока здатність поглинання енергії одиницею маси;

– графік деформування відповідає кривій, що має практично постійну ділянку, що характеризує поведінку конструкції при руйнуванні;

– нечутливість до невеликих збурень, до розкиду та до скошеного удару;

– стабільність та прогнозованість поведінки в експлуатації та в аварійній ситуації;

– низька вартість;

– відсутність необхідності в обслуговуванні;

– простота заміни елемента, що відслужив.

В даний час у якості жертвних конструкцій використовуються:

балочні конструкції, що деформуються; стільникові елементи; порожнисті профілі з гофрованих металевих листів; коробчасті конструкції із заповнювачем або без, доповнені ініціаторами деформації;

трубчасті структури, що продавлюються; стрижневі перфоровані конструкції; пристрої, що містять деталі, що зрізаються при ударі;

конструкції, що містять набір стрижнів різної довжини, які розтягуються та послідовно обриваються при аварійному ударі.

Велике значення при розробці локомотивів нового покоління з урахуванням вимог пасивної безпеки має застосування нових матеріалів та сучасних

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		44

технологій, які дозволяють виготовляти більш легкий та водночас дешевий екіпаж. У цьому сенсі перспективу використання мають, наприклад, високоміцні нержавіючі сталі, алюмінієві сплави та полімери, армовані скловолокном. Як нові полегшені енергопоглинаючі матеріали доцільно використовувати металеву (алюмінієву) піну або поєднання алюмінієвих конструкцій зі спіненими матеріалами, а також композитні синтетичні матеріали, полімерні стільникові структури (сотопласти) і посилені волокнами синтетичні матеріали.

3.3 Технічні рішення Інституту технічної механіки НАН України

Розроблено концепцію пасивного захисту локомотива, суть якої полягає в тому, що торцеві частини локомотива виконані з можливістю контрольованого деформування при аварійному зіткненні (рис. 14).

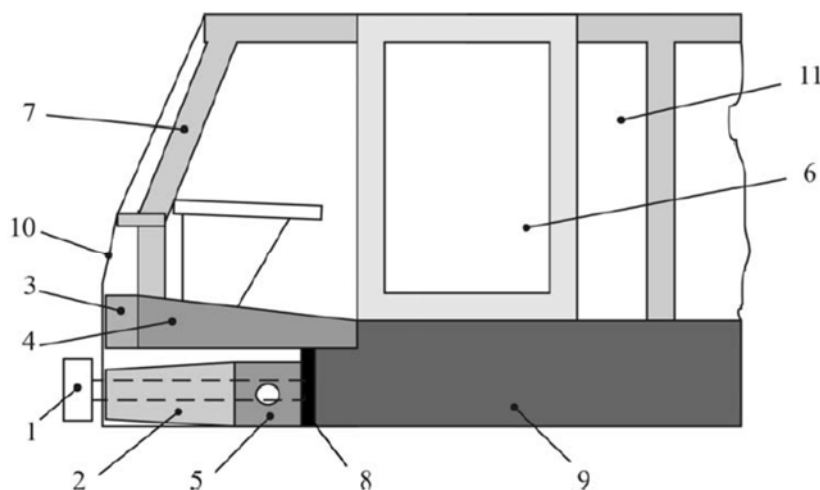


Рисунок 14 – Технічне рішення для забезпечення пасивної безпеки локомотивів колії 1520 мм

У передній частині рами локомотива розташовується автозчіпка 1, що зрізається при наднормативному ударі, спеціальні енергопоглинаючі елементи 2 і 5, розташовані перед буферним брусом 8 і рамою 9.

Конструкція кабіни локомотива включає передню частину, що деформується, і розташовану за нею посилену зону безпеки 6, призначену для

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		45

розміщення локомотивної бригади. За зоною безпеки, в якій пластичні деформації при ударі повинні бути мінімальними, розташований тамбур 11 із вхідними дверима, через які здійснюється евакуація локомотивної бригади при аварії. У передній частині кабіни, що деформується, між обшивкою 10 і каркасом встановлюються енергопоглинаючі елементи 3, які кріпляться на деформованих упорах 4, що спираються на раму 9. Дуги 7, що утворюють передню частину каркаса кабіни, повинні забезпечувати прогнозовану деформацію та енергопоглинання при зіткненні з перешкодою, що має високий центр тяжкості.

При аварійному зіткненні в результаті узгодженої роботи енергопоглинаючих елементів, розташованих на рамі локомотива, так і на кабіні машиніста, можна погасити до 4 МДж кінетичної енергії удару на переміщенні ≈ 1 м без перевищення допустимої межі поздовжніх прискорень у зоні знаходження людини – 5 g.

Наступне технічне рішення розроблено з врахуванням таких міркувань:

– електровоз повинен бути обладнаний тягово-буферними пристроями, які не створюють перешкод для роботи системи пасивної безпеки при аварійних зіткненнях;

– конструкція підрамника електровоза повинна забезпечувати належну роботу елементів системи пасивної безпеки без втрати загальної несучої здатності в базових сценаріях зіткнення;

– більша частина енергії повинна поглинатися за рахунок пластичної деформації енергопоглинаючих пристроїв на торцевих частинах рами локомотива;

– принципово нова конструкція каркасу кабіни повинна включати такі елементи системи пасивної безпеки, як посилена протипробійна передня стінка, зона деформації, зона безпеки для виживання та евакуації локомотивної бригади;

– металевий каркас кабіни повинен мати несучий пояс під переднім вікном і витримувати статичне навантаження 290 кН, рівномірно розподілене по ширині передньої стінки;

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		46

– при аварійних зіткненнях в першу чергу знищуються елементи удару та зона деформації кабіни;

– внаслідок пластичної деформації елементів пасивної системи безпеки при ДТП має бути поглинено близько 2 МДж кінетичної енергії без перевищення допустимого рівня поздовжніх уповільнень 5 g у зоні безпеки кабіни водія (довжиною не менше 750 мм) .

Відповідно до вищезазначених вимог до пасивної безпеки локомотива розроблено конструктивну схему розташування каркаса кабіни машиніста з енергопоглинаючими пристроями (рис. 15).

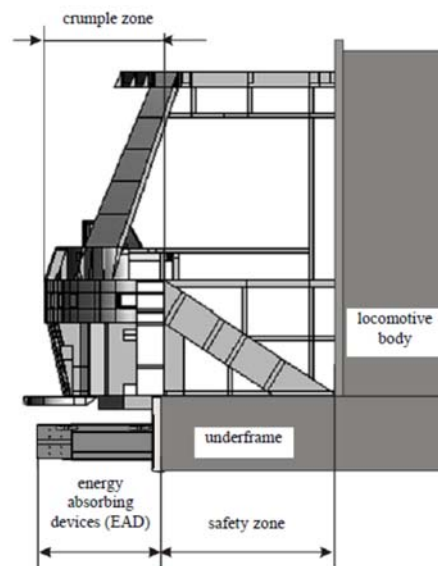


Рисунок 15 – Конструкція кабіни машиніста з пристроями поглинання енергії

3.4 Результати випробувань технічних рішень Інституту технічної механіки НАН України

У [7] наведені результати дослідження динаміки зіткнення еталонного поїзда з вантажним вагоном для локомотивів різної маси, обладнаних ППЕ енергоємністю 0,9 МДж. Встановлено, що значення динамічних зусиль, що діють на локомотиви з масами 123 т, 100 т і 90 т при зіткненні, спостерігається перевищення допустими значень сил, які становлять відповідно 5,31 МН, 4,91 МН

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		47

і 4,68 МН.

Аналогічні дослідження виконано для локомотивів, обладнаних ППЕ енергоємністю 0,95 МДж. Отримані результати наведено в табл. III та на рис. 16 – 18. У табл. III наведено максимальні значення зусилля взаємодії локомотива з вагоном, прискорення локомотива та залишкової деформації, що виникає в його конструкції.

Таблиця III – Результати дослідження динаміки зіткнення локомотивів різної маси.

Маса локомотива, т	Зусилля взаємодії локомотива з вагоном S_d , МН	Прискорення локомотива \ddot{x} , g	Залишкова деформація ϵ_{ps} , м
123	-4,89	4,0	-0,04
100	-4,43	4,4	-0,02
90	-3,70	4,0	0,0

На рис. 16-17 показані відповідно графіки зміни у часі зусилля взаємодії і прискорень. Результати наведені на рис. 16, а і 17,а відповідають випадку, коли маса локомотива становить 123 т. Графіки рис. 16, б і 17, б отримані, коли маса локомотива дорівнює 90 т. На рис. 18 наведено графік зміни у часі пластичної деформації, що виникає у конструкції локомотива масою 123 т.

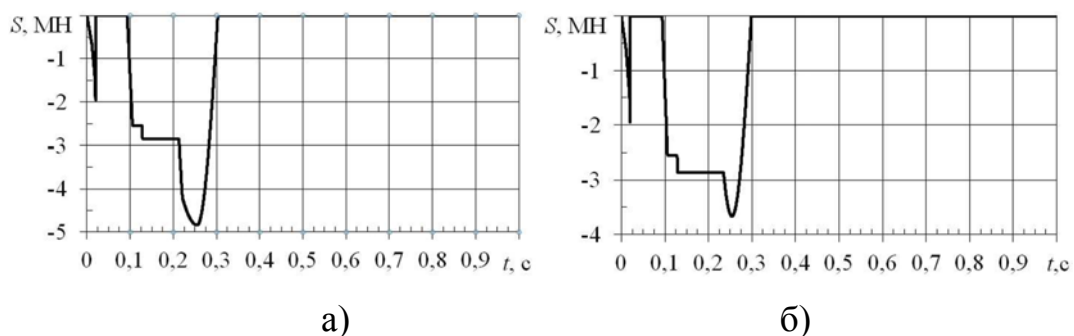
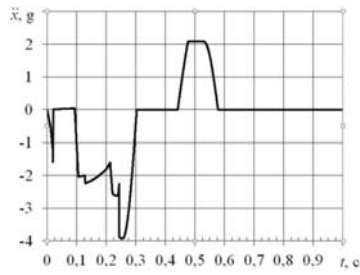
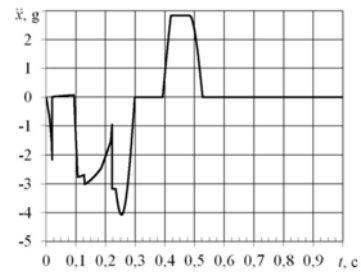


Рисунок 16 – Графік зміни у часі зусилля взаємодії локомотива з вагоном



а)



б)

Рисунок 17 – Графік зміни у часі прискорення локомотива з вагоном

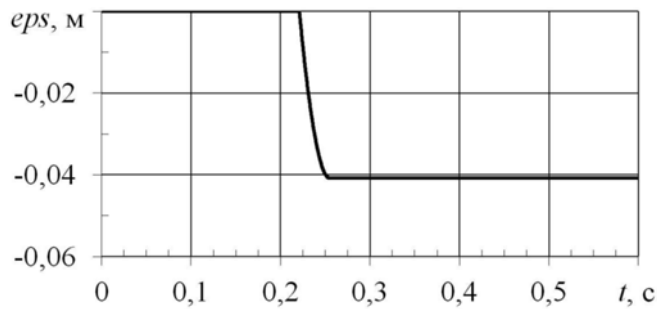


Рисунок 18 – Графік зміни у часі пластичної деформації

Аналіз отриманих результатів показав, що значення максимальних зусиль, що діють на локомотиви масами 123 т і 100 т, більше допускаються, але поздовжні поздовжні деформації їх конструкцій не перевищують 0,05 м [14].

Таким чином, встановлення в кінцевих частинах рами кузова локомотива масою 90 т – 123 т двох ППЕ з енергоємністю 0,95 МДж дозволить забезпечити виконання розглянутого сценарію зіткнення відповідно до вимог європейського стандарту EN 15227 [14] та розробленої концепції пасивної безпеки залізничного руху мм.

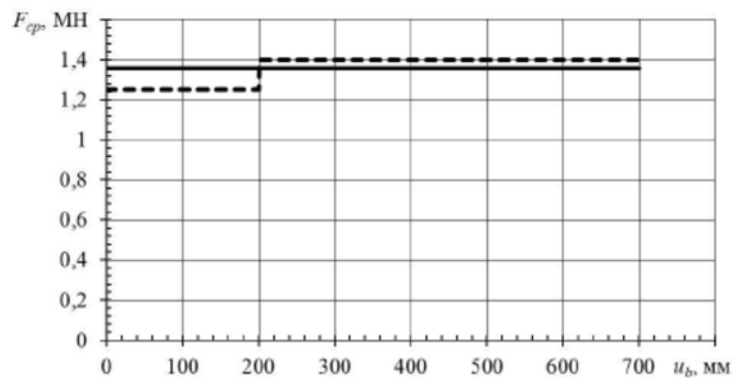
Внаслідок виконаних досліджень динамічної навантаженості локомотива із СПБ при зіткненні еталонного поїзда з вантажним вагоном визначено інтегральні параметри ППЕ, зокрема його енергоємність 0,95 МДж.

Розробка конструкції ППЕ.

В Інституті технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України розроблено науково-методичне забезпечення [20, 21] для вибору параметрів конструкцій ППЕ залежно від необхідної енергоємності для забезпечення виконання аварійних зіткнень.

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				49

Для визначення параметрів конструкції ППЕ розроблено концептуальну діаграму її деформування при ударі вагоном-бойком масою $M_b = 80$ т зі швидкістю $V_b = 36$ км/год (згідно з розрахунковим сценарієм зіткнення поїзда з вантажним вагоном [14]). Ця діаграма, тобто залежність середнього значення контактної сили F_{cp} , що виникає між бойком і конструкцією ППЕ, від поздовжнього переміщення u_b центру мас бойка при ударі, показана на рис. 19.



- - середній рівень контактної сили для кожного з блоків ППЕ;
- - середній рівень контактної сили на ділянці від 0 до 700 мм

Рисунок 19 – Залежність контактної сили від поздовжнього переміщення центру мас бойка

Як видно із діаграми, наведеної на рис. 19, при деформації ППЕ середній рівень контактної сили при $0 \leq u_b \leq 200$ мм дорівнює 1,25 МН, при $200 \leq u_b \leq 700$ мм – 1,4 МН. Середній рівень контактної сили на ділянці робочого ходу при $0 \leq u_b \leq 700$ мм дорівнює 1,36 МН.

Кінцево-елементна модель пластичного деформування ППЕ під час удару. Згідно з науково-методичним забезпеченням [21, 22] розроблено математичну модель пластичного деформування конструкції ППЕ при ударі вагоном-бойком масою $M_b = 80$ т зі швидкістю $V_b = 36$ км/год.

Схема взаємодії ППЕ з бойком при ударі показано на рис. 20. Конструкція ППЕ розташована між нерухомим упором та рухомим бойком.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		50

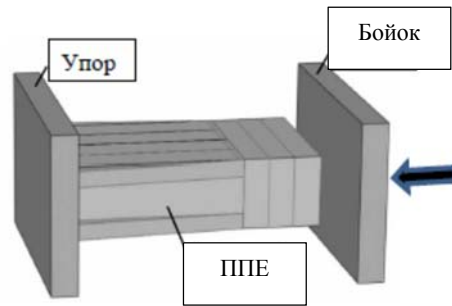


Рисунок 20 – Схема взаємодії ППЕ з бойком

Науково-методичне забезпечення включає створення за допомогою засобів автоматизованого конструювання тривимірної геометричної моделі досліджуваної конструкції, імпортування геометричної моделі в програму для вирішення за допомогою методу кінцевих елементів, створення та тестування кінцево-елементної математичної моделі, що описує процес пластичного деформування конструкції при ударі, проведення розрахунків, побудова діаграм (залежності контактної сили F та енергії E від поздовжнього переміщення центру мас бойка u_b). Кінцево-елементне моделювання виконується з урахуванням геометричної та фізичної нелінійностей, залежності межі текучості сталі від швидкості деформації, змінної контактної взаємодії між елементами аналізованої механічної системи тіл, що стікаються.

Для моделювання деформування конструкції ППЕ при ударі розроблено геометричну модель (рис. 21) та кінцево-елементну схему (рис. 22).

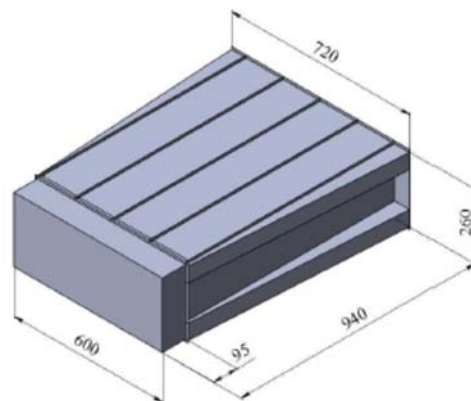


Рисунок 21 – Геометрична модель ППЕ

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		51

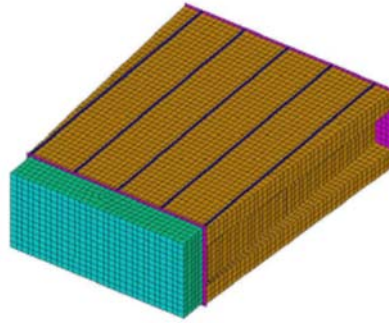


Рисунок 22 – Кінцево елементна схема ППЕ

Конструкція ППЕ складається з двох частин (блок 1 і блок 2). Блок 1 являє собою короб у вигляді паралелепіпеда з одношаровим стільниковим пакетом усередині. Товщина стінок короба – 2 мм, товщина передньої торцевої пластини – 4 мм. Стільниковий пакет складається з комірок змінної висоти з шестигранними осередками. Він містить 53 осередки, з яких 18 мають довжину 80 мм, а 35 – довжину 85 мм. Довжина сторони шестигранного стільникової комірки – 30 мм. Товщина пластин, що формують шестигранні стільникові комірки – 0,6 мм. Між стільниковим пакетом і передньою торцевою пластиною передбачено зазор 10 мм.

Блок 2 виконаний у вигляді усіченої піраміди і складається з сот з тригранними осередками. Половина пластин, що утворюють тригранні осередки, укорочені на 20 мм із боку блоку 1. Товщина торцевих пластин блоку 2 – 8 мм. Товщина пластин, що утворюють тригранні осередки – 2,2 мм. Товщина зовнішніх поздовжніх ребер у конструкції блоку 2 – 6,6 мм.

Матеріал конструкції ППЕ – сталь 08Ю з межею текучості $\sigma_T = 175$ МПа. Фізико-механічні параметри матеріалу конструкції ГПЕ:

Густина матеріалу $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³; модуль Юнга $E_e = 2,03 \cdot 10^5$ МПа; межа текучості $\sigma_T = 175$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$; тангенційний модуль на ділянці пластичного деформування $E_T = 589$ МПа; коефіцієнти зміцнення сталі $C = 205$ та $P = 4,59$; гранична пластична деформація для конструкції блоку 1 $\varepsilon_p = 0,4$, для конструкції блоку 2 $\varepsilon_p = 0,6$.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		52

Бійок і упор є паралеліпіедами, розміри яких відповідно 1500×680×1000 мм і 1000×400×400 мм. Фізикомеханічні параметри матеріалу бойка та упору: щільність матеріалу $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; модуль Юнга $E_e = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$.

Кінцево-елементна схема механічної системи з двох тіл “ППЕ – бойок” складається з 19884 елементів і 18406 вузлів. Схема конструкції ППЕ містить 17365 елементів та 16381 вузлів. Упор моделюється 1280 елементами, загальна кількість вузлів у його схемі – 1701. Розмір кінцевих елементів при моделюванні упору становить 100 – 400 мм, при моделюванні бойка – 50 мм, при моделюванні стільникових пакетів із шестигранними осередками – 15 мм, решти ППЕ – 20 мм.

Граничні умови: нульові переміщення всіх вузлів нерухомого упору.

Початкові умови: швидкість переміщення вузлів бойка масою 80 т у початковий момент часу дорівнює 36 км/год.

Результати кінцево-елементного моделювання. Деформований стан конструкції ППЕ при різних значеннях поздовжнього переміщення u_b показано на рис. 23. Отримана в результаті розрахунку діаграма, що характеризує залежність контактної сили F від поздовжнього переміщення u_b показана на рис. 24 а діаграма, що характеризує залежність енергії E , яка поглинається при деформуванні конструкції ППЕ, від поздовжнього переміщення u_b , показана на рис. 25.

При побудові діаграми деформування використовується фільтр нижніх частот із частотою зрізу 180 Гц [17]. Застосування такого фільтра відповідає вимогам стандарту EN 15227 [14].

Як видно із діаграми, наведеної на рис. 25 при обраних параметрах конструкції ППЕ його енергоємність становить приблизно 0,95 МДж при робочому ході 700 мм. Середній рівень контактної сили при $0 \leq u_b \leq 700 \text{ мм}$ (на ділянці робочого ходу) становить 1,36 МН, що відповідає концептуальній діаграмі деформування конструкції ППЕ при ударі. Максимальний рівень контактної сили ділянці робочого ходу з урахуванням фільтрації вбирається

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		53

у 1,6 МН.

Таким чином, при деформації двох ППЕ, встановлених на кінцевій частині рами локомотива, може бути поглинена енергія 1,9 МДж. Максимальна сила, що передається на раму локомотива, становить 32 МН, тобто не перевищує допустимого значення 42 МН.

Таким чином, проведені дослідження показали, що для виконання розглянутого сценарію зіткнення рекомендується локомотиви масою 90 – 123 т обладнати захисними пристроями ППЕ з енергоємністю 0,95 МДж.

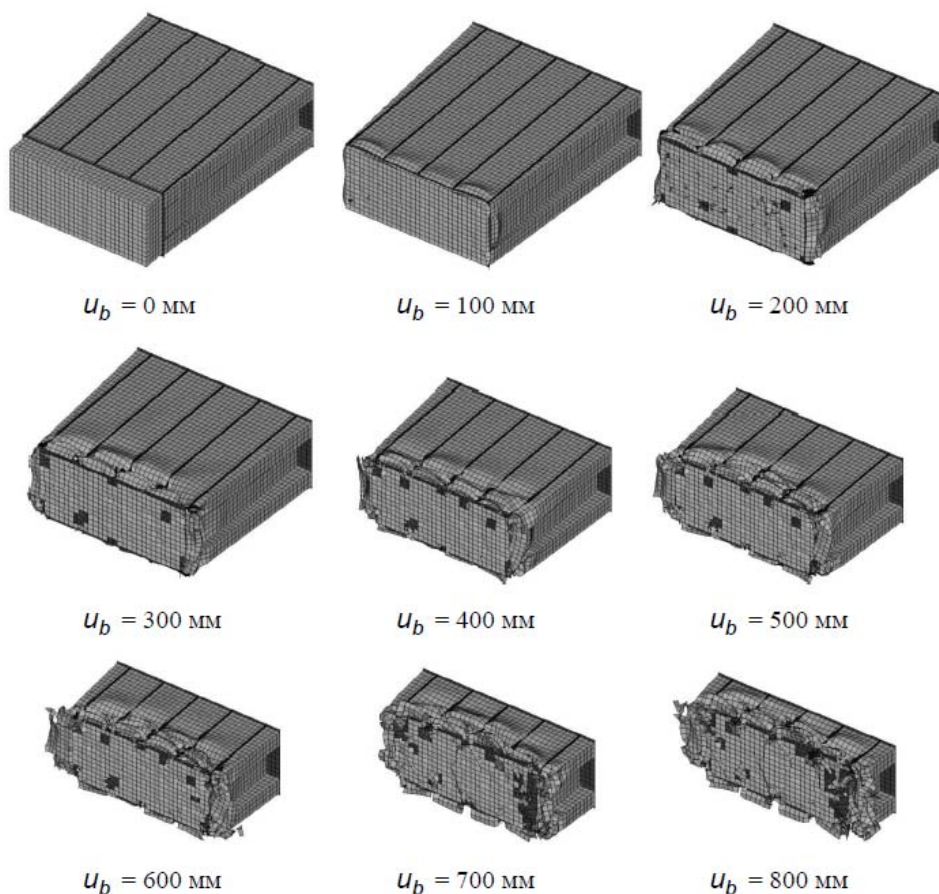
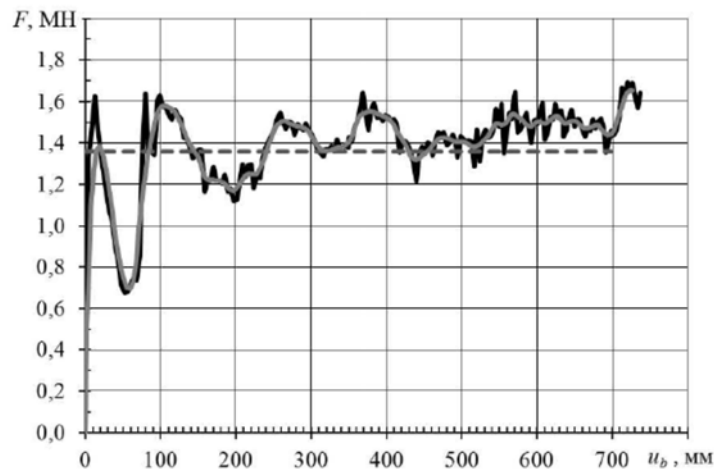


Рисунок 23 – Процес деформації ППЕ

Запропоновано кінцево-елементну модель пластичного деформування захисного пристрою, що містить стільникові блоки, при ударі для визначення параметрів конструкції ППЕ з необхідною енергоємністю.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		54



— - контактне зусилля (без фільтрації); - - - - середній рівень контактної зусилля (з фільтрацією); — - - - - контактне зусилля (з фільтрацією)

Рисунок 24 – Залежність контактної зусилля від поздовжнього переміщення бойка

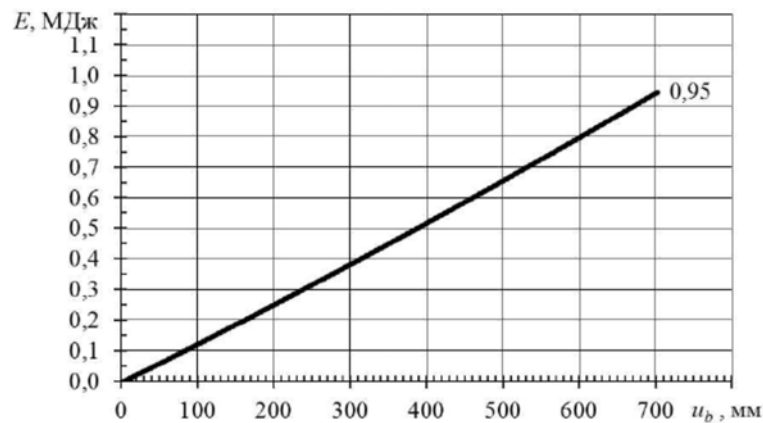


Рисунок 25 – Залежність енергії від поздовжнього переміщення бойка

На основі отриманих результатів кінцево-елементного моделювання запропоновано конструкцію та визначено параметри захисного пристрою ППЕ з енергоємністю 0,95 МДж, призначеного для встановлення в кінцевих частинах швидкісного пасажирського локомотива нового покоління із системою пасивної безпеки. Запропоновані пристрої дозволяють забезпечити виконання розглянутого сценарію зіткнення відповідно до вимог європейського стандарту EN 15227 [14].

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				55

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ЛОКОМОТИВІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ

4.1 Сценарії зіткнення

У EN 15227:2008 [14] зазначається, що недоцільно проектувати конструкцію транспортного засобу для захисту людей у всіх можливих аварійних ситуаціях або розглядати всі можливі комбінації транспортних засобів. Вимога полягає в тому, щоб забезпечити рівень захисту, що відповідає поширеним ризикам зіткнення.

Проектні сценарії зіткнень, зазначені нижче, не є єдиними випадками, що відбуваються на інфраструктурі громадського залізничного транспорту в Європі, але вони являють собою поширені ситуації зіткнень і ті, які призводять до більшості жертв. У додатку А до EN 15227:2008 [14] виведення і застосування сценаріїв зіткнення розглядається більш детально. У загальному розглядаються наступні сценарії зіткнення:

- 1) удар переднім кінцем між двома однаковими транспортними засобами;
- 2) удар переднім кінцем при іншому типі залізничного транспортного засобу;
- 3) удар передньої частини поїзда по великому автомобільному транспортному засобу на рівному переїзді;
- 4) зіткнення поїзда з низькою перешкодою (наприклад, легковий автомобіль на залізничному переїзді, тварина, сміття).

Таблиця 2 узагальнює ці сценарії конструктивних зіткнень з урахуванням різних категорій дизайну аварійності транспортного засобу та різних умов експлуатації, які повинні бути використані для перевірки аварійності. У таблиці 3 наведені вимоги до ефективності колієочисників.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		56

Таблиця IV — Сценарії зіткнень і наїздів на перешкоди (для категорії С-I)

Сценарій зіткнення	Перешкода	Характеристики експлуатації та вимоги	Швидкість зіткнення, км/год
1	Ідентичні транспортні засоби	Усі системи	36
2	Вагон масою 80 т	Змішаний рух з рухомим складом, що обладнаний буферами	36
3	Деформована перешкода масою 15 т	Транс'європейські мережі та інші умови експлуатації з залізничними переїздами	50...110
4	Мала, низька перешкода	Застосовуються вимоги до колієочищувача	Див. табл. 3

Правила застосування табл. 2 є наступними:

- зіткнення відбувається на прямій і рівній колії;
- при оцінці одиниці поїзда з різними транспортними засобами на кожному кінці слід розглядати лише впливи між однаковими транспортними засобами за сценарієм 1, але обидва кінці повинні враховуватися;
- важкі вантажні локомотиви, що використовуються тільки для вантажних операцій і оснащені центральними зчіпними пристроями, що відповідають принципу Willison (наприклад, SA3) або Janney (стандарт AAR), не відповідають вимогам сценаріїв 1 і 2.

Якщо немає вимог щодо аварійності, зазначених у нормативних актах, і нормальні європейські умови експлуатації, передбачені цим європейським стандартом, не застосовуються, оператор несе відповідальність за визначення застосовних сценаріїв та відповідного випадку проектування обмежень для

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				57

кожного з них, які наведені у Додаток А EN [14], де говориться про наступне: «Для оцінки вимог до ударостійкості транспортного засобу, необхідно визначити розрахункові сценарії зіткнення з точки зору швидкості зіткнення та типу та маси потенційних перешкод.

Таблиця V — Параметри для визначення ефективності колієчисника

Експлуатаційна швидкість, км/год	≥160	140	120	100	≤80
Статичне навантаження по центральній лінії, кН	300	240	180	120	60
Статичне навантаження на відстані 750 мм убік від центральної лінії, кН	250	200	150	100	50
Для експлуатаційних швидкостей, відмінних від заданих значень, значення сили можуть бути інтерпольовані.					
Подробиці застосування цих навантажень і експлуатаційні характеристики колієчисника наведені в п. 6.5.1 EN [14].					

Для нормальних європейських умов експлуатації, які можна порівняти з умовами аналізу аварій зіткнення, див. [27-30], застосовуються параметри проектних сценаріїв зіткнення та відповідні вимоги до ударостійкості, перелічені в розділі 5 EN [14]. Параметри представлені для кожної з категорій транспортних засобів, зазначених у розділі 4 EN [14].

Сценарій 1 було обрано, оскільки зіткнення поїздів із поїздами призводять до найбільшої кількості серйозних травм. Розглядається зіткнення між однаковими типами рухомого складу.

Сценарій 2 представляє зіткнення з існуючим класичним буферним рухомим складом під час роботи в середовищі змішаного руху (або з упорами, що обладнані буферами).

Сценарій 3 — це вид ДТП, який важче запобігти заходами активної безпеки. Важливість цього типу зіткнення залежить від поширеності залізничних переїздів,

робочої швидкості та швидкості екстреного гальмування поїзда та відстані видимості.

Сценарій 4 застосовується, коли одиниця поїзда стикається з перешкодою, центр маси якого розташований нижче рівня переднього кронштейна. Існує підвищений ризик сходу з рейок, який можна зменшити, якщо на поїзді встановлено колієочишувач.

Граничний випадок проектування для кожного сценарію залежить від систем управління поїздом і активної безпеки, особливостей інфраструктури, а також від маси та робочої швидкості самих залізничних транспортних засобів.

Жодних спеціальних вимог щодо бічних зіткнень і викиду або удару у бокову конструкцію не встановлено.

Відповідні вимоги до конкретних технічних та експлуатаційних умов колишніх радянських держав (наприклад, використання автоматичних з'єднувальних пристроїв СА-3) повинні бути виведені в угоді для кожного випадку окремо.

У деяких випадках проектні сценарії зіткнень та їх параметри для деяких операцій можуть міститися в нормативних актах. У таких випадках необхідно дотримуватись нормативних документів, які можуть розглядатися як відповідний обмежуючий випадок.

Якщо немає правил, що визначають обмежувальні умови, і якщо параметри проектного сценарію зіткнення, наведені в таблиці 2, не застосовуються, оператор повинен продемонструвати, що вжито відповідних і достатніх заходів для захисту персоналу та пасажирів від ризиків, які розглядаються в цьому європейському стандарті, і слід застосовувати відповідні методи для оцінки:

- ймовірність кожного сценарію зіткнення,
- тяжкість кожного сценарію зіткнення та
- зменшення ризику, яке можна досягти від кожного активного та пасивного елемента запропонованих систем захисту від зіткнення».

Транспортні засоби повинні бути розроблені таким чином, щоб

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		59

задовольнити ті конструктивні сценарії зіткнення, які відповідають умовам експлуатації, які вони, як очікується, відчують. Якщо експлуатаційні умови такі, що сценарій конструктивного зіткнення не може відбутися, або є докази того, що ймовірність його виникнення або пов'язаний з ним ризик настільки малий, щоб бути в цілому прийнятним, немає необхідності розглядати сценарій в конструкції транспортного засобу.

Системи управління поїздами, які розділяють різні типи руху в одній системі, можуть задовольнити цю вимогу. Локомотиви з центральними кабінами можуть мати по умовчужанню широко прийнятний ризик за сценарієм 3.

Якщо система має характеристики, які призводять до того, що значні ризики зіткнень (щодо перерахованих вище) ще не охоплені, вони також повинні розглядатися у вигляді додаткових сценаріїв зіткнення.

Якщо транспортні засоби не можуть працювати зі швидкістю зіткнення, зазначеною в цьому Європейському стандарті (наприклад, маневрові локомотиви), вимоги аварійності не повинні застосовуватися.

У разі оцінки одного локомотива, силової головки, ведучого причепа або вагона, який не є частиною нерухомого поїзного агрегату, еталонний поїзд повинен використовуватися для проектних цілей у кожному з наведених вище сценаріїв. У додатку Д EN [14] наведено набір відповідних поїздів і обсяг погодження, який можливий без подальшої переоцінки.

4.2 Методика визначення поздовжніх сил при зіткненнях рухомого складу

Нехай локомотив B_1 з масою m_1 , та швидкістю руху його центру мас v_1 зіштовхується з вагоном B_2 масою m_2 і швидкістю руху центру мас v_2 (рис. 26, а).

Торці рухомого складу обладнані пружинно-фрикційними апаратами з приведеною жорсткістю c . Жорсткість хребтової балки, що взаємодіє з ударно-

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		60

тяговими приладами, позначимо c_b .

Завдання полягає в тому, щоб визначити максимальну поздовжню силу N_0 , яка відповідає повному стисканню (закриттю) апаратів, і максимальне значення поздовжньої сили, що виникає при "жорсткому" ударі.

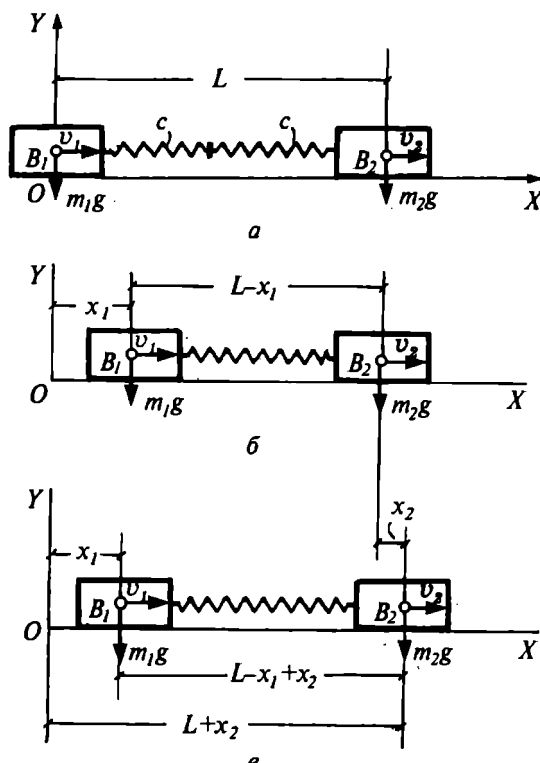


Рисунок 26 – Розрахункова схема зіткнення

Припустимо, що в початковий момент зіткнення відстань між центрами мас вагонів дорівнює L (рис. 26, а). У процесі удару пружні елементи пружинно-фрикційних апаратів деформуються. Припустимо, далі, що у процесі деформації цих елементів центр мас локомотива B_1 , перемістився на відстань x_1 , (рис. 26, б), а центр мас вагона B_2 перемістився на відстань x_2 (рис. 26, в). В результаті деформації пружних елементів відстань між центрами мас вагонів стане рівною $L - x_1 + x_2$ (рис.26, в).

Отже, результуюча деформація буде рівною

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				61

$$L - (L - x_1 + x_2) = x_1 - x_2. \quad (4.1)$$

У якості узагальнених координат центрів мас локомотива та вагона приймемо координати x_1 та $L + x_2$. Тоді кінетична та потенціальна енергія системи приймають вигляд

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2; \quad (4.2)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} c^* (x_1 - x_2)^2. \quad (4.3)$$

де c^* - приведена жорсткість послідовно з'єднаних пружних елементів ($c^* = c / 2$)

Підставляючи вирази (4.2) та (4.3) у рівняння Лагранжа другого роду, отримаємо систему двох взаємопов'язаних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c^* (x_1 - x_2) = 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 - c^* (x_1 - x_2) = 0. \end{cases} \quad (4.4)$$

Вирішення цієї системи рівнянь проводиться з використанням алгоритму Лагранжа [23]. Детальний розв'язок вказаної системи рівнянь наведений у [24]. У кінцевому результаті отримаємо:

$$v_0 = 2x_0 \sqrt{\frac{2\psi c_n}{M}}, \quad (4.5)$$

$$N_0 = v_0 \sqrt{0,5\mu\psi c_n M}, \quad (4.6)$$

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		62

де μ - коефіцієнт, що враховує участь вагона і вантажу в процесі сприйняття енергії удару; ψ - коефіцієнт передачі при стисненні, що показує, у скільки разів сила стиснення апарата перевищує силу стиснення пружин; $c_{\text{п}}$ - жорсткість пружин апарату [25].

Підставляючи вираз (4.5) у (4.6) і врахувавши, що

$$M = \frac{m_1 \cdot m_2}{(m_1 + m_2)}, \quad (4.7)$$

остаточно отримаємо:

$$N_0 = x_0 \psi c_{\text{п}} \mu^{1/2} \quad (4.8)$$

$$v_0 = x_0 \sqrt{\frac{2\psi c_{\text{п}} (m_1 + m_2)}{m_1 m_2}} \quad (4.9)$$

Слід зазначити, що поздовжні сили N_0 , при яких відбувається закриття апарату (апаратів), не залежать від швидкості і маси рухомого складу, що зіштовхується, а залежать від ходу апарату, приведеної жорсткості апарату і коефіцієнта, що враховує участь вагона і вантажу в процесі сприйняття енергії удару.

Швидкість руху v_0 , при якій має місце закриття апаратів (апарата), залежить від маси рухомого складу.

При зіткненні двох одиниць рухомого складу з однаковими масами значення v_0 в 2 рази більше в порівнянні зі швидкістю v_0 , що має місце при ударі одиночного локомотива в жорстко закріплену перешкоду, що не деформується, не обладнану ударно-тяговим приладом.

Графічна залежність $v_0 = v_0(m)$ для $x_{\text{п}} = 0,07$ м, $c_{\text{п}} = 2,5$ МН/м і різних значень ψ у разі, коли перешкода A не обладнана ударно-тяговим приладом (тонкі лінії) і для випадку, коли зіштовхується рухомий склад однакової маси (жирні лінії), представлена на рис. 27.

						Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001	63

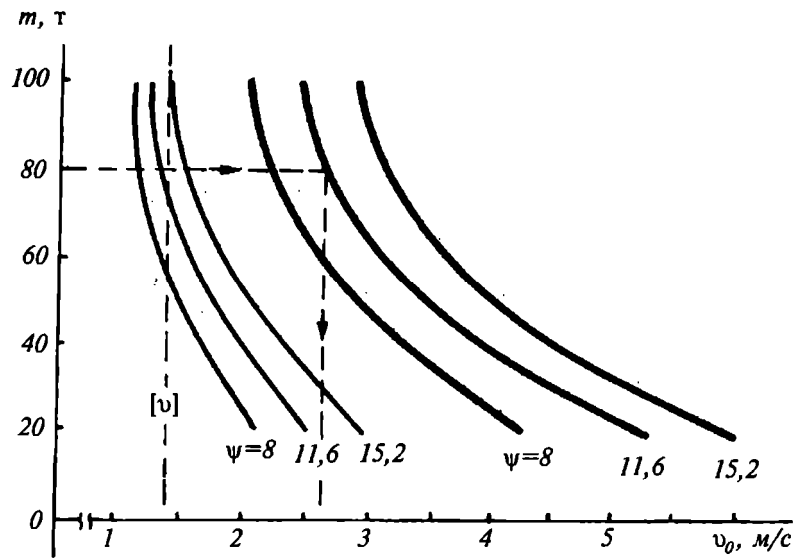


Рисунок 27 – Залежність $v_0 = v_0(m)$ для $x_{п} = 0,07$ м, $c_{п} = 2,5$ МН/м

Для визначення поздовжніх сил N_m , що виникають при "жорсткому" ударі, скористаємося виразом

$$N_m = N_0 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{c_B^*}{N_0^2} \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v^2 - v_0^2)} \right], \quad (4.10)$$

де c_B^* - приведена жорсткість послідовно з'єднаних двох пружних елементів (двох хребтових балок).

Відповідно до [25],

$$c_B^* = \frac{c_B}{2} = \frac{2E_1 F_1 E_2 F_2}{l_1 E_2 F_2 + l_2 E_1 F_1}, \quad (4.11)$$

де E_1, E_2 та F_1, F_2 - відповідно модулі пружності та площі поперечних перерізів хребтових балок; l_1, l_2 - одиниць рухомого складу по осях автозчепів.

У випадку, коли модулі пружності та площі поперечних перерізів хребтових балок і довжини одиниць рухомого складу рівні між собою, матимемо

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				64

$$c_B^* = \frac{c_B}{2} = \frac{EF}{l}. \quad (4.12)$$

Визначити максимальну поздовжню силу, що виникає при зіткненні двох локомотивів ($m = 80 \cdot 10^3$ кг) при $\mu = 1$ (вантажу немає) та обладнаних ударно-тяговими приладами Ш-1-Т ($x_{\Pi} = 0,07$ м, $c_{\Pi} = 2,5$ МН/м) за умови, що $v = v_1 - v_2 = 4$ м/с, а поперечний переріз хребтової балки складається з двох швелерів №30 і прямокутного елемента перетином 510x7 мм (рис. 28).

Порядок розв'язання.

1. З використанням виразу (4.9) для $\psi = 11,6$, $x_{\Pi} = 0,07$ м, $c_{\Pi} = 2,5$ МН/м знаходимо швидкість зіткнення v_0 , необхідну для закриття апарату, порівнюємо її із заданою швидкістю руху вагона та визначаємо вид удару:

$$v_0 = 0,07 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 11,6 \cdot 2,5 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^3}{80 \cdot 10^3 \cdot 80 \cdot 10^3}} = 2,66 \text{ м/с.}$$

Оскільки $v > v_0$, ($4 > 2,66$), то удар буде жорстким.

2. З використанням виразу (4.8) для $\mu = 1$ знаходимо максимальну поздовжню силу, що відповідає моменту закриття апарату при пружному ударі

$$N_0 = 0,07 \cdot 11,6 \cdot 2,5 \cdot 10^6 = 2,03 \text{ МН.}$$

3. Визначаємо площу поперечного перерізу хребтової балки. Відповідно до сортаменту прокатної сталі [26] для швелера №30, маємо $F_1 = F_2 = 40,5$ см²; площа прямокутника $F_3 = 51 \cdot 0,7 = 35,7$ см².

Отже,

$$F = F_1 + F_2 + F_3, \quad (4.13)$$

						Арк.
					0040.185461.МДР.2022.001	65
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

$$F = 40,5 + 40,5 + 35,7 = 116,7 \text{ см}^2.$$

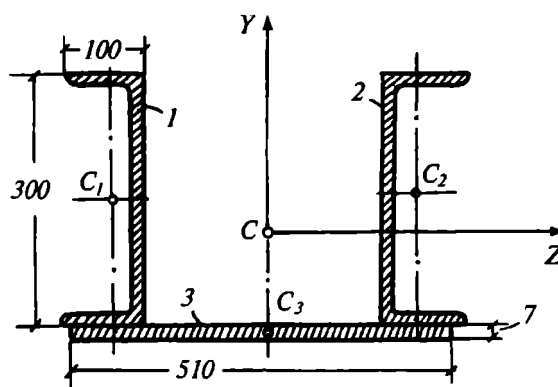


Рисунок 28 – Розрахункова схема хребтової балки

4. Визначаємо довжину рухомого складу, модуль пружності першого роду та значення жорсткості хребтової балки. Прийmemo $l = 13,92 \text{ м} = 1392 \text{ см}$; згідно [26], $E = 2 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2$. Використовуючи формулу (4.11), отримуємо

$$c_b^* = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 167}{1392} = 1,68 \cdot 10^3 \text{ кН/см} = 168 \cdot 10^6 \text{ Н/м}.$$

5. З використанням виразу (4.10) визначаємо максимальне значення поздовжнього зусилля при "жорсткому" ударі

$$N_m = 2,03 \cdot 10^6 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{168 \cdot 10^6}{2 \cdot 2,03^2 \cdot 10^{12}} \cdot 80 \cdot 10^3 \cdot (4^2 - 2,66^2)} \right] = 10,03 \cdot 10^6 \text{ Н} = 10 \text{ МН}.$$

6. З використанням виразів (4.8) та (4.9) будемо залежність $N_x = N_x(v)$ (рис. 29).

						Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001	66

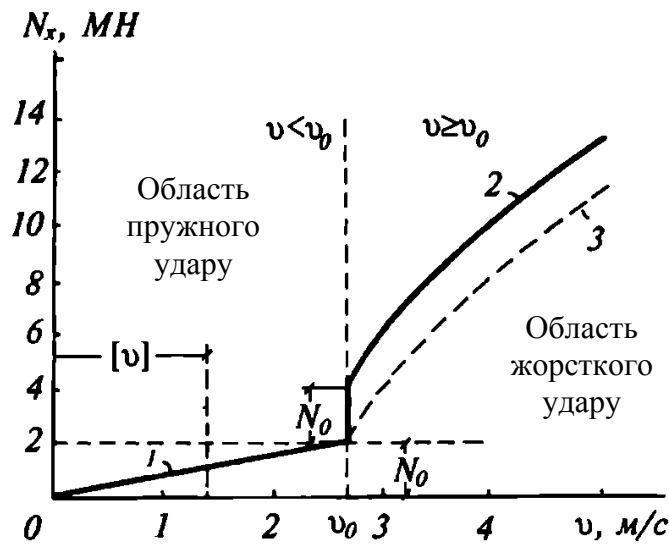


Рисунок 29 – Залежність сил від швидкості зіткнення

Як видно з наведеного прикладу (рис. 29), при швидкостях удару $v < v_0$ має місце пружний удар, а значення поздовжніх навантажень змінюються лінійно (пряма 1). При швидкостях зіткнення $v > v_0$ має місце "жорсткий" удар.

При завершенні фази пружного удару, коли швидкість руху рухомого складу досягає $\Delta v = v - v_0$, має місце біфуркаційне явище (стрибкоподібна зміна поздовжньої сили), а при зміні швидкості в межах від Δv і до нуля зміна значень поздовжньої сили носить нелінійний характер (крива 2). У роботі [25] зміна значень подовжньої сили має вигляд кривої 3.

На рис. 30 представлені графічні залежності $N_x = N_x(v)$ на фазах пружного і "жорсткого" ударів при взаємодії рухомого складу масою $m = 80 \cdot 10^3$ кг, (крива 1) і масою $m = 25 \cdot 10^3$ кг, крива 2) з непереміщуваною недеформованою перешкодою і при взаємодії двох одиниць рухомого складу з однаковою масою $m = 80 \cdot 10^3$ кг, крива 3; та $m = 25 \cdot 10^3$ кг, крива 4).

Використовуючи рис 30 можна за заданою швидкістю на початку зіткнення визначати максимальні значення поздовжніх сил в ударно-тягових приладах на стадіях пружного та «жорсткого» ударів.

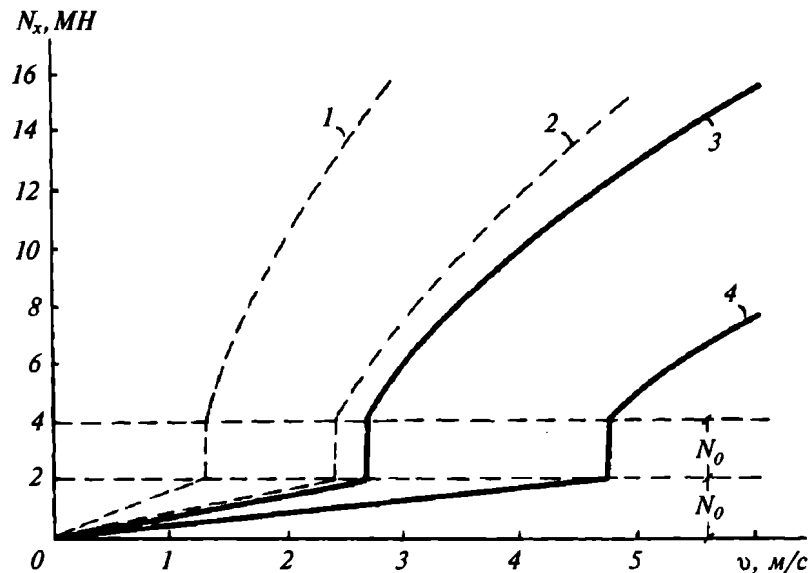


Рисунок 30 - Графічні залежності $N_x = N_x(v)$ на фазах пружного і "жорсткого" ударів при взаємодії рухомого складу різної маси

Слід зазначити, що при швидкості $v = 36$ км/год (10 м/с), як того вимагають сценарії зіткнення 1 та 2 згідно EN [14], ми для усіх випадків попадаємо у зону жорсткого удару.

4.3 Порядок проведення випробувань (алгоритм методики)

Програма випробувань

Метою програми випробувань є перевірка того, що числова модель, яка використовується в кінцевій демонстрації, правильно відтворює поведінку механізмів, що поглинають енергію. Випробування повинні відображати вимоги до поглинання енергії сценарію 1 або сценарію 2, де вони стосуються конструкції, але ця вимога НЕ вимагає, щоб фактичний сценарій був відтворений точно в тестах.

Калібрувальні випробування повинні проводитися на кожному окремому типі кінцевого вузла транспортного засобу, що бере участь у поглинанні енергії. Там, де кінцеві вузли використовують однакові принципи поглинання енергії, не потрібно виконувати окремі випробування.

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				68

Допустимо виконувати окремі випробування на лише на енергопоглинаючих елементах.

Всі інтерактивні механізми поглинання енергії повинні бути випробуванні в одному тесті.

При випробуваннях, як правило, повинно поглинатися не менше 80% максимальної енергії, необхідної для поглинання досліджуваним механізмом. Якщо при випробуваннях використовується більш низьке значення, воно повинно бути виправданим і не повинно бути менше 50 % необхідного.

Повнорозмірні випробування повинні забезпечити:

- участь у випробуванні усіх механізмів, що випробовуються;
- у динамічних випробуваннях швидкість співударяння повинна становити не менше 50 % від швидкості, яка вказана у сценарії;
- всі механізми, які попередньо не були перевірені в повному обсязі, повинні бути перевірені у випробуваннях.

Випробування на компонентах, поведінка яких дуже чутлива до швидкості (наприклад, в'язкі елементи демпфера), повинні проводитися зі швидкістю, яка вказана у сценарії.

Критерії прийнятності для калібрування/підтвердження результатів випробувань

Для того, щоб числова модель транспортного засобу була підтверджена, випробування повинні проводитися з відповідним рівнем точності, повинні бути виміряні порівнянні параметри і повністю задокументовані результати. Прийнятні тести включатимуть:

- вимірювання сил, швидкості зіткнення, уповільнень і деформацій, для порівняння продуктивності (енергій, деформацій тощо) різних пристроїв поглинання енергії та механізмів під час структурних і компонентних випробувань;
- розмірні вимірювання до і після випробувань на ділянках, визначених і узгоджених до проведення випробувань;

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		69

—записи тестової конфігурації, загальні види і детальні креслення з використанням, де це необхідно, високошвидкісного відео, що дозволяє порівнювати кінематику тесту з відповідним моделюванням;

— швидкість удару (з точністю не менше $\pm 0,5$ км/год) і маса досліджуваного транспортного засобу (з точністю не менше $\pm 5\%$);

—похибки фактичних вимірювань під час випробувань, оскільки вони стосуються відповідних параметрів числової моделі, повинні бути кількісно оцінені та представлені у звіті;

Рекомендується, щоб ключові опорні значення істотної швидкості, сили і переміщення, параметрів могли бути підтверджені як мінімум двома незалежними системами запису. Також рекомендується дублювати деякі інші важливі записи (наприклад, час удару, прискорення, швидкість).

— тестові сигнали повинні фільтруватися низькочастотним фільтром 1000 Гц.

Чисельне моделювання. Підтвердження числової моделі

Моделі, що використовуються при моделюванні для демонстрації відповідності сценаріям, повинні базуватися на тих же методах моделювання, що і ті, що використовуються для порівняння з тестами. Моделювання вважається прийнятним, якщо при порівнянні з тестами досягаються наступні критерії:

—однакова послідовність подій відбувається при зіткненні (тобто там, де відбувається кілька фаз поглинання енергії, це зберігається);

—спостерігається однакова картина деформацій;

—рівень енергії, що розсіюється моделлю, знаходиться в межах 10 % від тестового значення;

— при моделюванні створюється крива загальної сили (з піками, спаданнями і рівнями і т.д.), яка демонструє ті ж загальні характеристики, що і в тесті. (При проведенні цього порівняння необхідно видалити наявність високочастотних перехідних процесів шляхом фільтрації за допомогою фільтра низьких частот 180 Гц.)

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		70

Коли енергія зіткнення поглинається рядом різних механізмів або послідовним шляхом, до кожного елемента або в загальному, застосовуються такі критерії порівняння:

—загальне відхилення моделювання знаходиться в межах 10 % від досліджуваного значення;

—середня сила, визначена з графіка зміщення сили, повинна бути в межах 10 % від досліджуваного значення.

Будь-які невизначеності у вимірюваннях, зроблених під час тестування, а також у чисельному моделюванні, повинні бути кількісно визначені та представлені у звіті про підтвердження. Будь-які прогалини, що спостерігаються в калібрувальних параметрах, які були раніше ідентифіковані мають підлягати кількісній оцінці, обґрунтуванню та поясненню (разом із відмінностями між будь-якими початковими моделюваннями та результатами тестів).

Хороша узгодженість між результатами тесту та моделювання залежить в основному від якості числової моделі та точності кінематики тесту. Властивості матеріалу зон зім'яття повинні відображати реальну поведінку використовуваних матеріалів. Стандартні матеріали можуть використовуватися і в інших частинах моделі. В ідеальному випадку при моделюванні слід враховувати лише масу і швидкість, щоб відповідати результатам калібрувального випробування.

Імітаційне моделювання

Моделювання еталонних сценаріїв доводиться виконувати за допомогою числових моделей, які вірно відтворюють геометрію структур і енергію поглинаючих пристроїв. Необхідно представити вплив зчіплювачів і буферів на поведінку зіткнення. Щоб вважати дійсним, моделювання областей поглинання енергії (зон зім'яття транспортних засобів) основних транспортних засобів у еталонних сценаріях випробування повинно ґрунтуватися на тих самих методах моделювання, ступені деталізації та точності представлення, що використовуються при моделюванні тестів.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		71

Для всіх сценарних моделювань повинен бути складений звіт про розрахунок, який містить опис сценаріїв і детальні описи як перешкоди, так і моделювання рухомого складу. Процедура підтвердження моделі повинна бути включена (безпосередньо або з посиланням на іншу документацію).

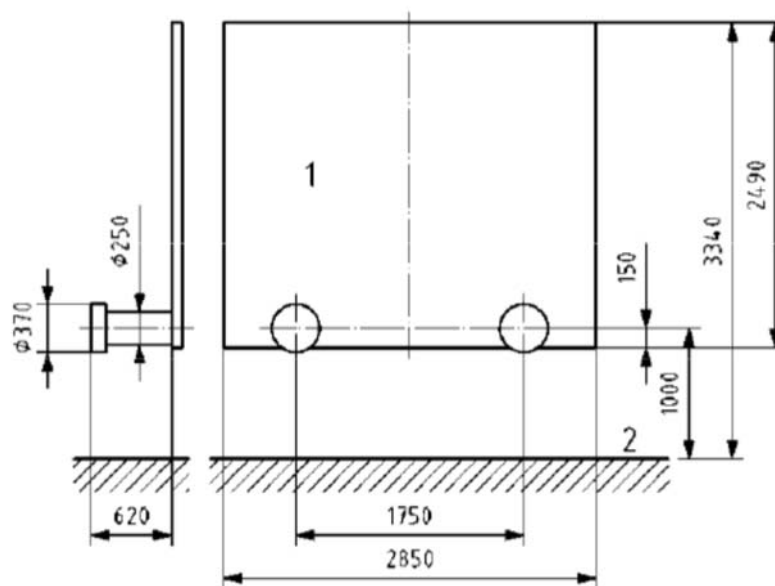
Відповідність кожного сценарію шляхом моделювання повинна бути задокументована у вигляді наочних вимірюваних цілей, а також загальної поведінки рухомого складу відповідно до специфікацій.

Типи перешкод при моделюванні

80 т вагон

При зіткненнях між залізничним агрегатом і буферним вагоном вагон повинен мати масу 80 т, і мати лише один ступінь свободи в поступальному напрямку x і колії, як показано на рис. 31. Торцева стіна повинна вважатися жорсткою. Він повинен бути оснащений кінцевими буферами з початковими розмірами, ходом 105 мм і характеристикою сили стиснення зазначеною на рисунку 32.

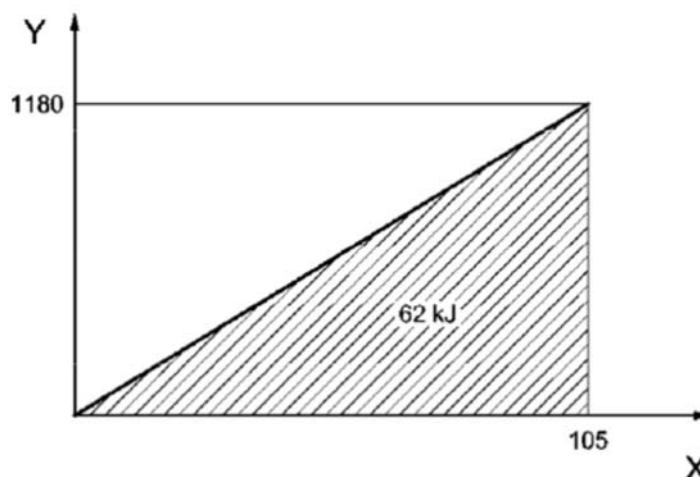
розміри в міліметрах



1 – торець вагона; 2 – рівень головки рейки

Рисунок 31 — Схема торця вагона для проведення випроувань

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		72



Y – зусилля на двох буферах, в кН; X - переміщення, в мм

Рисунок 32 — Характеристика буфера тестового вагона

Велика деформована перешкода

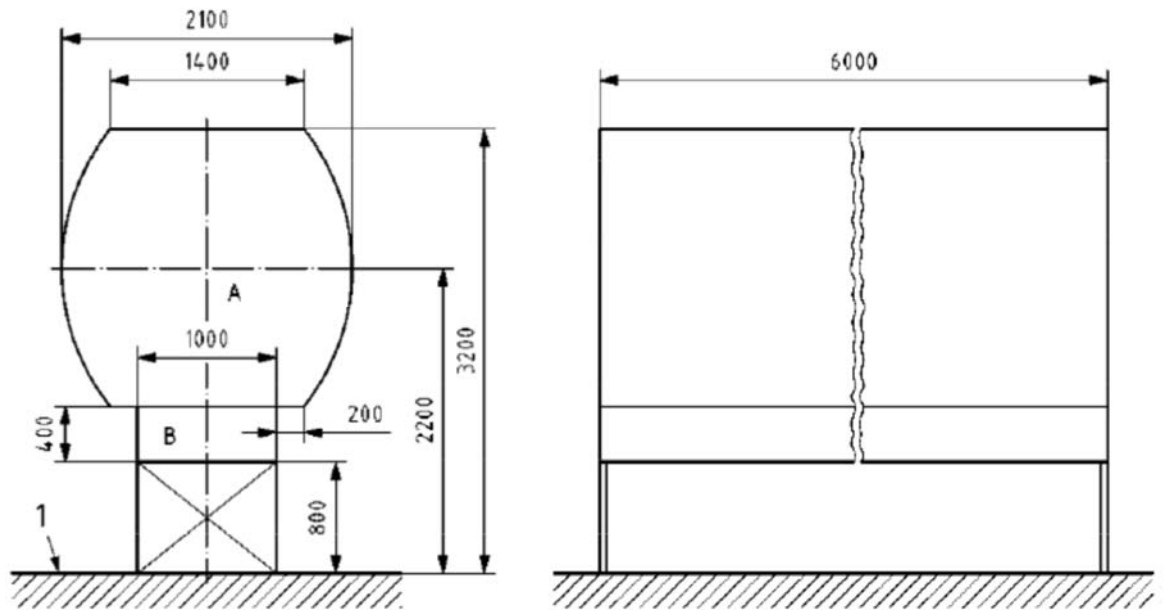
Для моделювання зіткнень між залізничним транспортним засобом і великою важкою перешкодою на залізничному переїзді еквівалентна деформована перешкода повинна мати форму повної числової моделі, представленої в конкретному програмному забезпеченні для моделювання аварії.

Перешкода для використання повинна бути незакріпленою. Її вигляд показано на рис. 33. Параметри перешкоди визначаються виходячи з наступних міркувань:

- а) геометричні характеристики - як зазначено на рис. 33;
- б) маса = 15 000 кг;
- в) центр мас на висоті 1 750 мм над рівнем рейки;
- г) частини А і В можуть бути змодельовані як з обшивкою так і без неї;
- д) безперервна осьова однорідність щільності і жорсткості;
- е) нульове тертя з землею;
- ж) якщо змодельовано тертя на поверхні перешкоди, його слід приймати як 0,2;
- з) наявність і вплив зчеплення не враховується.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		73

розміри в міліметрах



1 – головка рейки; А, Б - частини перешкоди

Рисунок 33 — Розміри деформівної перешкоди

Жорсткість цієї перешкоди повинна відповідати принаймні характеристикам поздовжньої кривої сили-зміщення, наведеної на рисунку С.6, при впливі в її центрі твердою, однорідною сферою, визначеною нижче:

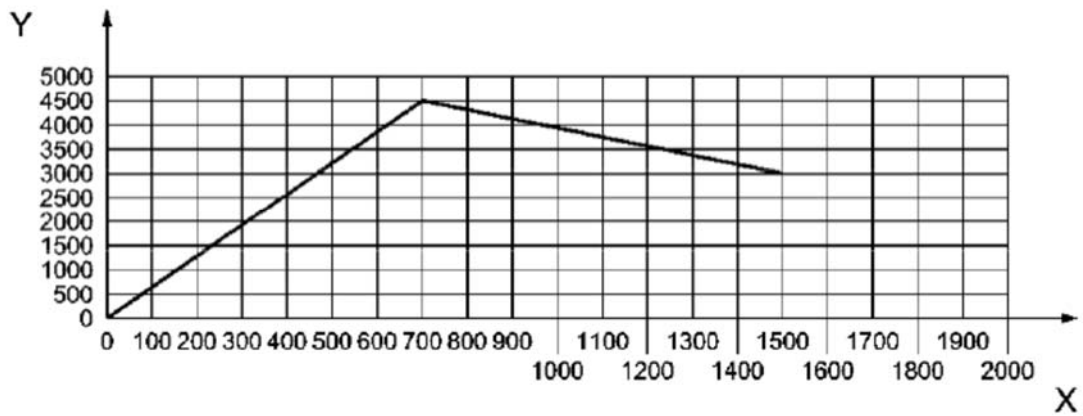
- а) ударна форма - тверда, однорідна сфера діаметром 3 м (тобто центр мас повинен знаходитись на відстані 1,5 м від рівня головки рейкиаб);
- б) ударна маса - 50 000 кг;
- в) швидкість удару - 30 м/с;
- г) ударник, що має лише поздовжню свободу переміщення (напрямок х);
- д) поздовжня характеристика сила-зміщення повинна бути вище мінімальної кривої, наведеної на рис. 34.

Характеристика силового переміщення може бути відфільтрована фільтром низьких частот 60 Гц при виконанні цієї умови. (Немає зазначеної вимоги щодо вертикальної складової контактної сили.)

Вимоги до еталонних поїздів.

Для випробувань локомотивів повинен використовуватися еталонний поїзд

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				74

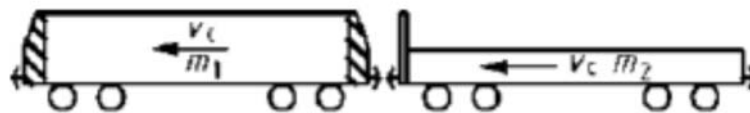


Y - поздовжня сила, в кН; X - зміщення сфери (x напрямом), в мм

Рисунок 34 — Жорсткість деформівної перешкоди

При випробуванні вантажних та пасажирських локомотивів у еталонний поїзд включається один жорсткий вагон (рис. 35).

Оскільки локомотив працює в обох напрямках, кінцева характеристика поглинання енергії, необхідна для виконання сценарію 2, має бути однаковою для обох кінців і забезпечувати остатнє поглинання енергії для задоволення вимог щодо пасажирського поїзда




 - енергопоглинаючі кінці локомотива; m_1 - фактична маса локомотива, який підлягає оцінці; m_2 - маса вагона, $m_2 = 80$ т

Рисунок 35 — Схема еталонного поїзда

Вагон приймається жорстким і має характеристики торця, що наведені на рис 31.

Таким чином, запропонована методика може бути використана для оцінки пасивної безпеки вітчизняних локомотивів.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		75

ВИСНОВКИ

Аналіз транспортних пригод, які сталися на залізницях України показав, що зіткнення є частим явищем, яке призводить до загибелі людей та інших важких наслідків. Серед зіткнень найбільшу частку становлять зіткнення з автомобільним транспортом на залізничних переїздах. Частка інших зіткнень є невеликою.

У випадку, коли засоби активної безпеки (екстрене гальмування, застосування огорожувальних пристроїв і т.і.) не досягають необхідного ефекту і зіткнення відбувається, важливим є пасивна безпека рухомого складу, яка дозволяє зберегти здоров'я та життя людей.

Конкретні вимоги щодо пасивної безпеки локомотивів є новим типом вимог для Українських залізниць. Нормативні документи, які регламентують питання безпеки рухомого складу містять лише загальні вказівки і не містять порядку та методики випробувань а також параметрів, яким повинен задовільняти локомотив у разі зіткнення.

Вступ України до Європейського Союзу вимагатиме абсолютно нових для вітчизняної науки та виробників підходів до забезпечення пасивної безпеки. Аналіз наукових джерел показав, що у нашій державі найбільш вагомий внесок у вирішення даного питання доклав колектив Інституту технічної механіки НАН України. Однак і у цьому випадку більшість технічних рішень були зорієнтовані на вимоги країн СНД, у тому числі російської федерації, що у теперішній час неприпустимо.

Аналіз європейського законодавства, яке регламентує питання пасивної безпеки показав, що базовим документом у цьому питанні є стандарт EN 15227:2008 – вимоги до удароміцності рухомого складу. Вказаний стандарт прийнятий в Україні методом підтвердження і повинен виконуватись.

При аналізі даного стандарту встановлено, що локомотиви віднесені до класу С-І, для якого застосовуються чотири сценарії зіткнення. Стандарт передбачає проведення натурних випробувань а також математичне

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		76

моделювання.

У стандарті окремо відзначається, що застосування сценаріїв зіткнення і оцінка пасивної безпеки локомотивів, які обладнані автозчепами СА-3, є відкритим питанням і вимагають окремих досліджень. У зв'язку з цим у даній дипломній магістерській роботі запропоновано застосувати методику Е.М. Сокола для оцінки зусиль, які виникають при зітненні рухомого складу, що обладнаний автозчепами. Методика дозволяє визначити момент переходу від пружного до жорсткого удару та зусилля, які при цьому виникають і може бути застосована при моделюванні зіткнень.

Проаналізовані також технічні рішення щодо забезпечення пасивної безпеки локомотивів та результати випробувань поглиначів енергії.

Таким чином, у роботі проаналізовано стан безпеки руху на АТ «Укрзалізниця», види та наслідки зіткнень рухомого складу; проаналізовано доробок вітчизняних та закордонних учених у вирішенні питання пасивної безпеки, визначено найбільш перспективні шляхи; - проведено порівняння вітчизняних та закордонних вимог до різних компонентів пасивної безпеки локомотивів; удосконалено методику випробувань локомотивів за критеріями пасивної безпеки шляхом введення розділу по оцінці поздовжніх зусиль, що виникають при ударі рухомого складу, який обладнаний автозчепами СА-3 з поглинальними апаратами.

Таким чином, реалізація запропонованих заходів підвищить рівень безпеки вітчизняного рухомого складу, тобто мета роботи досягнута.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		77

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Стан аварійності на транспорті. Сайт Міністерства інфраструктури України. Офіційний сайт. [Електронний документ] Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/stan-avariynosti-na-transporti.html>
2. Вайну Я. Я.-Ф. Кореляция рядов динамики. -М.: Статистика, 1977. - 119с.
3. Кузнецов Т.Ф., Федорец В.А., Боднарь Б.Е. Методические указания к применению методов регрессионного анализа в задачах исследования многофакторных процессов. Харьков.: ХИИТ, 1986. – 20 с.
4. Науменко, Н.Е. Оценка влияния работы устройств системы пассивной безопасности пассажирского локомотива на его динамическую нагруженность при аварийном столкновении с препятствием на железной дороге / Н.Е. Науменко, И.Ю. Хижа // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2013, вип 1(43), стор. 155 – 162.
5. Соболевская, М.Б. Пассивная защита локомотива скоростного пассажирского поезда при аварийном столкновении с препятствием / М. Б. Соболевская, С. А. Сирота, И. Б. Теличко // Техн. механика. - 2009. - № 3., стр. 31-38.
6. Sobolevska, M Passive safety of high-speed passenger trains at accident collisions on 1520 mm gauge railways / M. Sobolevska // Transport Problems 2017 Volume 12 Issue 1, p. 51-62.
7. Науменко, Н. Е. Разработка элементов пассивной защиты скоростных пассажирских локомотивов нового поколения при аварийных столкновениях на железных дорогах колеи 1520 мм / Н. Е. Науменко, М. Б. Соболевская, Д. В. Горобец, Е. Г. Богомаз // Техн. механика. – 2017. – № 1., стр. 72-82.
8. Теличко, И.Б. Совершенствование конструкции кабины машиниста для повышения пассивной безопасности локомотива при столкновениях / И.Б. Теличко // Дисс. Канд. техн. наук. НАН Украины. Государственное космическое

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		78

агентство. Институт технической механики. Днепропетровск, 2015.

9. Sanecki, H. Rozwój metod badawczych własności mechanicznych taboru w sześćdziesięcioletniej historii instytutu kolejnictwa / H. Sanecki, Zb. Cichocki, S. Walczak, P. Urbańczyk, Zb. Jeleśniański, A. Zbiec, Gr. Wysocki // Problemy Kolejnictwa - Zeszyt 153, Str. 93-131.

10. Graff, M. Lokomotywy Traxx / M. Graff // TTS, No 12/2020. Str 24-52.

11. Analysis of the basic parameters for maintaining the technical and operational compatibility of the 1520 mm and 1435 mm gauge rail systems at the Commonwealth Of Independent States (CIS)-European Union (eu) border subsystem: rolling stock. Locomotives and multiple units// Document prepared by the OSJD-ERA Contact Group (English translation from Russian with aim to use while drafting TSI).

12. Директива (ЄС) 2016/797 Європейського Парламенту та Ради від 11 травня 2016 про інтероперабельність залізничної системи в рамках Європейського Союзу. [Електронний документ] Режим доступу: <http://doszt.gov.ua/content/media/Direktiva-797-UA.pdf>

13. COMMISSION REGULATION (EU) No 1302/2014 of 18 November 2014 concerning a technical specification for interoperability relating to the ‘rolling stock — locomotives and passenger rolling stock’ subsystem of the rail system in the European Union [Електронний документ] Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2014.356.01.0228.01.ENG

14. EN 15227:2008+A1 Railway application – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies [Електронний документ] Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=74051

15. Региональные электропоезда из двухэтажных вагонов // Железные дороги мира. - 2005. - № 2. - С. 24 - 32.

16. Новый электропоезд для железных дорог Германии // Железные дороги мира. - 2008. - № 9. - С. 48 - 55.

17. Совершенствование локомотивов в соответствии с требованиями к безопасности при столкновениях // Железные дороги мира. - 2007. - № 8. - С. 57 -

									Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	0040.185461.МДР.2022.001				79

63.

18. Конструкция кузова локомотивов семейства TRAXX // Железные дороги мира. - 2006. - № 3. - С. 26 - 29.

19. TRAXX F140 AC2 locomotives // Railvolution. – 2005. – V. 5. – № 1/05. – P. 38 – 45.

20. Соболевская М. Б., Сирота С. А., Горобец Д. В., Теличко И. Б. Разработка энергопоглощающих устройств для пассивной безопасности подвижного состава железных дорог (численное моделирование и краш тест). Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта. Тезисы докладов 75 Международной научно-практической конференции (14 – 15.05.2015, Днепропетровск). Днепропетровск, 2015. С. 103 – 104.

21. Sobolevska M., Telychko I. Passive safety system of an electric locomotive for high-speed operation on the railways with 1520 mm gauge. Passive Safety 2013 – Passive Safety of Rail Vehicles and Safe Interiors. Proceedings of the 9th International Symposium (21 – 22 February 2013, Berlin). Berlin, 2013. P. 63 – 80.

22. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. М., 1986. 512 с.

23. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств. – К.: Наук. думка, 1985. – 526 с.

24. Сокол, Э. Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Київ: Транспорт України, 2002.

25. Вершинский, С.В. Динамика вагона / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Хусидов // М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

26. Фесик, С.П. Справочник по сопротивлению материалов / С.П. Фесик // К.: Будівельник, 1982. – 280 с.

27. ERRI B205.1/DT 357 — Report: Analysis of Collision Accidents — Statistical Analysis of Collision Accidents in Europe during 1991 — 1995. Sponsoring body: UIC Passenger Commission. November 1997

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		80

28. SAFETRAIN — Train Crashworthiness for Europe, Sub-task 1.1 Collision Risk Analysis, Final report

29. SAFETRAM — Technical Report of the WP 1: LRV Statistics, December 2000

30. SAFETRAM — Technical Report of the WP 1: Identification of Reference Accident Scenarios for City and Periurban Trams, July 2002

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		81

СПИСОК РИСУНКІВ

Рисунок 1 – Динаміка зіткнень з автотранспортом

Рисунок 2 – Динаміка зіткнень рухомого складу між собою

Рисунок 3 – Перерозподіл випадків зіткнень між видами

Рисунок 4 – Наслідки зіткнення тепловоза серії М62 з вантажним автомобілем ЗІЛ.

Рисунок 5 – Наслідки зіткнення тепловоза серії 2М62 з легковим автомобілем

Рисунок 6 – Наслідки зіткнення швидкісного електропоїзда Hyundai Rothem з легковим автомобілем.

Рисунок 7 – Наслідки зіткнення пасажирського електровоза з мікроавтобусом на швидкості 115 км/год.

Рисунок 8 – Наслідки зіткнення вантажного електровоза з вантажним автомобілем

Рисунок 9 – Наслідки зіткнення електропоїзда з легковим автомобілем

Рисунок 10 – Наслідки зіткнення пасажирського електровоза з легковим автомобілем

Рисунок 11 — Зона зазорів біля сидіння водія

Рисунок 12 - Схема навантаження колієочишувача

Рисунок 13 – Технічні рішення локомотивів сімейства TRAXX

Рисунок 14 – Технічне рішення для забезпечення пасивної безпеки локомотивів колії 1520 мм

Рисунок 15 – Конструкція кабіни машиніста з пристроями поглинання енергії

Рисунок 16 – Графік зміни у часі зусилля взаємодії локомотива з вагоном

Рисунок 17 – Графік зміни у часі прискорення локомотива з вагоном

Рисунок 18 – Графік зміни у часі пластичної деформації

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		82

Рисунок 19 – Залежність контактного зусилля від позовжнього переміщення центру мас бойка

Рисунок 20 – Схема взаємодії ППЕ з бойком

Рисунок 21 – Геометрична модель ППЕ

Рисунок 22 – Кінцево елементна схема ППЕ

Рисунок 23 – Процес деформації ППЕ

Рисунок 24 – Залежність контактного зусилля від позовжнього переміщення бойка

Рисунок 25 – Залежність енергії від позовжнього переміщення бойка

Рисунок 26 – Розрахункова схема зіткнення

Рисунок 27 – Залежність $v_0 = v_0(m)$ для $x_n = 0,07$ м, $c_n = 2,5$ МН/м

Рисунок 28 – Розрахункова схема хребтової балки

Рисунок 29 – Залежність сил від швидкості зіткнення

Рисунок 30 - Графічні залежності $N_x = N_x(v)$ на фазах пружного і "жорсткого" ударів при взаємодії рухомого складу різної маси

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		83

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Таблиця I – Динаміка зіткнень рухомого складу у АТ «Укрзалізниця»

Таблиця II — Категорії залізничних транспортних засобів для оцінки пасивної безпеки

Таблиця III – Результати дослідження динаміки зіткнення локомотивів різної маси.

Таблиця IV — Сценарії зіткнень і наїздів на перешкоди (для категорії С-I)

Таблиця V — Параметри для визначення ефективності колієочисника

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		84

АНОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА

Магістерська робота складається зі вступу, 4-х розділів основної частини та висновків. Загальний обсяг тексту – 86 сторінок: основний текст – 72 сторінки, бібліографія, що включає в себе 30 джерел – 4 сторінки, 30 рисунків, 5 таблиць.

Метою дослідження є підвищення рівня безпеки вітчизняного рухомого складу шляхом впровадження систем пасивної безпеки.

Об'єктом дослідження є локомотиви, що експлуатуються на залізницях України та засоби пасивної безпеки.

Предметом дослідження є методика оцінки пасивної безпеки локомотивів, що прийнята у країнах ЄС.

У *Вступі* обгрунована актуальність теми з точки зору імплементації європейського залізничного законодавства у нормативне поле України. Сформульована мета, об'єкт та предмет дослідження.

У *першому розділі* проаналізований стан безпеки руху на АТ «Укрзалізниця», види та наслідки зіткнень рухомого складу, а також наукові джерела, які присвячені пасивній безпеці локомотивів.

У *другому розділі* здійснено порівняльний аналіз вітчизняних та європейських вимог щодо забезпечення пасивної безпеки локомотивів. Особлива увага зверталася на вимоги європейських норм.

Третій розділ присвячений вибору технічних рішень щодо підвищення пасивної безпеки локомотивів. Встановлено, що найбільш прийнятними можуть бути вітчизняні розробки Інституту технічної механіки НАН України.

У *четвертому розділі* запропонована удосконалена методика випробувань локомотивів за критерієм пасивної безпеки, що являє собою методику, передбачене EN 15227:2008+A1, яка доповнена методикою з визначення поздовжніх зусиль при ударі рухомого складу, що обладнаний автозчепами типу СА-3 з поглинальними апаратами.

Ключові слова: пасивна безпека, локомотив, випробування, зіткнення, методика.

						Арк.
					0040.185461.МДР.2022.001	85
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

ABSTRACT AND KEYWORDS

Master's thesis consists of introduction, 4 sections of the main body and conclusions. The total amount of text consists of 86 pages: the main text consists of 72 pages, bibliography, including the 30 names consists of 4 pages, 30 drawings and 5 tables.

The *aim* of the paper is to increase the domestic rolling stock safety level through the introduction of passive safety systems.

The *object* of research is the locomotives operated on the railways of Ukraine and passive safety devices

The *subject* of the research is the methodology for assessing the passive safety of locomotives, adopted in the EU countries.

The article deals with the topical issue of assessing the passive safety of locomotives operated on Ukrainian railways. An analysis of the cases of railway and transport accidents was carried out and the percentage of collisions in the total number of accidents, which were considered as part of railway forensic examinations, was determined. Constructive solutions to ensure passive safety are analyzed. The requirements and methodology for assessing compliance with passive safety requirements considering EN15227:2008 were analyzed. A comparison between the requirements for passive safety of locomotives that are already in operation and modern requirements was made.

The methodology for assessing the passive safety of locomotives was improved by adding a chapter for calculation of longitudinal force in type SA-3 couplings.

Keywords: passive safety, locomotive, test, collision, methodology.

					0040.185461.МДР.2022.001	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		86