

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

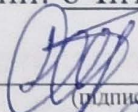
Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету/ІНЦ)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Підвищення ефективності міжнародних зернових перевезень зернових вантажів в сучасних умовах
за освітньою програмою «Порівняння параметрів та характеристик поглинальних апаратів пасажирських вагонів колії 1520 мм вимогам інтероперабельності»
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: 8-Інтер


(підпис студента)

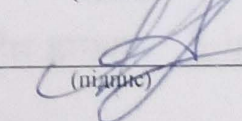
/ Андрій ДУЦЬ/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/ к.т.н, доц. Юрій ТЕРЕЩАК/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

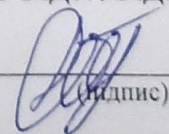
Нормоконтролер:


(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Building, architecture and infrastructure

(faculty/TRC)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis

Master

(higher education degree)

on the topic: Comparison of parameters and characteristics of absorption devices of passenger cars of gauge 1520 mm according to interoperability requirements

according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport

in the Specialization: 273 Rail transport

(Specialization and its code)

Done by the student of the group: 8-Inter

/ Andrii DUTS/

(name, surname)

Scientific

Supervisor:

/ ph.d., as.pr. Yuriy TERESHCHAK /

(position, name, surname)

Normative controller :

/ Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

(position, name, surname)

Dnipro – 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

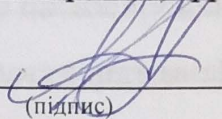
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»



Олексій ТЮТКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 22.04.23

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту

Дуць Андрій Богданович

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Порівняння параметрів та характеристик поглинальних апаратів пасажирських вагонів колії 1520 мм вимогам інтероперабельності»

Керівник роботи: Юрій Терещак, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «28» квітня 2023 р. № 360ст

2. Строк подання студентом роботи: «16» січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Нормативні документи України и країн ЄС. Методика розрахунку та проектування поглинаючих апаратів пасажирських вагонів, технічні умови на виготовлення поглинаючих апаратів, креслення

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Аналіз наукових робіт пов'язаних дослідженням роботи та параметрів поглинаючих апаратів. Розділ 2. Будова та технічні характеристики поглинальних апаратів колії 1520 мм. Розділ 3. Вимоги до поглинальних апаратів. Розділ 4. Розрахунок поглинального апарату Р2П при різних варіантах використання матеріалу. Розділ 5. Шляхи та напрямки підвищення енергоємності поглинальних апаратів. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 12 слайдів).

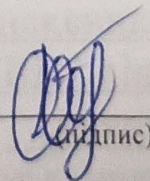
6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис консультанта)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

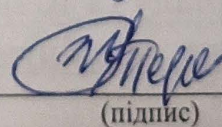
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Розділ 1. Аналіз наукових робіт пов'язаних дослідженням роботи та параметрів поглинаючих апаратів	30.09.2023-15.11.2023	
2	Розділ 2. Будова та технічні характеристики поглинальних апаратів колії 1520 мм	15.11.2023-30.11.2023	
3	Розділ 3. Вимоги до поглинальних апаратів	30.11.2023-13.12.2023	
4	Розділ 4. Розрахунок поглинального апарату Р2П при різних варіантах використання матеріалу	13.12.2023-03.01.2024	
5	Шляхи та напрямки підвищення енергоємності поглинальних апаратів	23.12.2023-03.01.2024	
6	Висновки. Оформлення ВКР.	03.01.2024-08.01.2024	
7	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	08.01.2024-14.01.2024	
8	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	16.01.2024	
9	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	Згідно з планом ЕК	

Студент


(підпис)

Андрій ДУЦЬ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

Юрій ТЕРЕЩО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: Дуць А.Б.
«Порівняння параметрів та характеристик поглинальних апаратів пасажирських вагонів колії 1520 мм вимогам інтеперабельності»

55 стор., 21 рис., 6 табл., 45 літературних джерел.

Метою кваліфікаційної роботи був аналіз та порівняння параметрів та конструктивних рішень поглинальних апаратів пасажирських вагонів колії 1520 мм і напрямки модернізації поглинальних апаратів відповідно до вимог інтеперабельності з врахуванням вимог до вагонів, вантажів та безпеки руху.

Предмет дослідження є узгодження, уніфікація та способи покращення характеристик поглинальних апаратів пасажирських вагонів, а також конструктивні рішення які забезпечать дану уніфікацію.

Об'єкт дослідження – нормативно-технічна документація України, країн бывшего СРСР і країн ЄС, наукові розробки по поглинальним апаратам пасажирських вагонів.

При виконанні кваліфікаційної роботи були розглянуті наступні питання: огляд наукових робіт присвячених питанням та проблемам досліджень пасажирських поглинальних апаратів; зроблено порівняння параметрів та вимог до пасажирських поглинальних апаратів відповідно до трьох основних нормативних документів пам'яток УІС, ДСТУ і пам'яток ОСЗ; проведено загальну характеристику поглинальних апаратів на пасажирських вагонах в Україні та визначено умови їх експлуатації; проведено розрахунки поглинального гумометалевого апарату та запропоновано спосіб його модернізації з встановленням спеціальних поліуретанових пружних елементів.

Ключові слова: ПАСАЖИРСЬКИЙ ВАГОН, ЕЛАСТОМІР, СИЛОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПОЛІМЕР, ТЕХНІЧНІ СПЕЦИФІКАЦІЇ ІНТЕРОПАРАБЕЛЬНОСТІ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ ПОВ'ЯЗАНИХ ДОСЛІДЖЕННЯМ РОБОТИ ТА ПАРАМЕТРІВ ПОГЛИНАЮЧИХ АПАРАТІВ.....	10
2. БУДОВА ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГЛИНАЛЬНИХ АПАРАТІВ КОЛІЇ 1520 ММ.....	16
3. ВИМОГИ ДО ПОГЛИНАЛЬНИХ АПАРАТІВ	29
3.1 ВИМОГИ ВІДПОВІДНО ДО ДСТУ	29
3.2 ВИМОГИ ВІДПОВІДНО ДО ПАМ'ЯТОК ОСЗ.....	31
3.3 ВИМОГИ ВІДПОВІДНО ДО ПАМ'ЯТОК UIC.....	32
3.4 ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3	34
4. РОЗРАХУНОК ПОГЛИНАЛЬНОГО АПАРАТУ Р2П ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛУ	35
4.1 РОЗРАХУНОК ПРИ ТРАДИЦІЙНОМУ ЗАСТОСУВАННІ ГУМИ.....	35
4.2 ПРОЕКТ НОВОГО ПА ПРИ ЗАСТОСУВАННІ НОВОГО ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ.....	42
4.3 ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4	46
5 ШЛЯХИ ТА НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПОГЛИНАЛЬНИХ АПАРАТІВ	47
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	50
БІБЛІОГРАФІЯ.....	51

ВСТУП

Основним завданням транспорту, як і будь-якого промислового підприємства є підтримання його в належному стані, забезпечення поставлених функцій та постійний розвиток.

Залізниця є основним гравцем для забезпечення перевізного процесу вантажів і пасажирів в потрібному напрямку, забезпечення безпеки при перевізному процесі і якості надання послуг. Залізниці повинні прагнути до розширення виробництва, збільшення збуту, зменшення часу доставки за умови поліпшення якості та здешевлення продукту, як на внутрішньому ринку, так і на міжнародному. Якщо на залізниці буде поганий менеджмент, то галузь може нести величезні збитки, тому для успішного керування галуззю потрібні не тільки менеджери, але й фахівці а галузі залізничної техніки.

Прагнучи до збільшення перевезень, залізниці повинні знижувати їх вартість для споживача і собівартість. З іншого боку, чим швидше будуть відбуватися перевезення, тим це буде вигідніше одержувачу вантажу і тим швидше звільниться рухомий склад для нових перевезень. Перевезення повинні бути постійні і регулярні не тільки всередині країни, а й міжнародному сполученні. Вони повинні бути безпечні згідно Директив ЄС 2016/796 і 2016/797 для споживача і для робітників і службовців дороги. Перевезення повинні набувати масового характеру і правильно обслуговувати населення і підприємства, так як на даний час залізниця в світі являється найбільш екологічним видом транспорту.

Однією з важливих проблем залізничного транспорту України є входження та в загальну Європейську транспортну систему. В даний час ще не прийнято новий закон України про залізничний транспорт, який в своєму проекті є спрямований на її здійснення. Така інтеграція буде забезпечуватися прямими залізничним сполученнями між Сходом (С) і Заходом (З) континенту в міжнародних транспортних коридорах (МТК), частина яких пройде територією України, або ще як говорять транєвропеськими коридорами TEN-T і буде обслуговуватися АТ «Укрзалізниця» та відповідними операторами.

Тому весь рухомий склад як вантажні вагони так і пасажирські повинні пройти обов'язкову сертифікацію та отримати сертифікати ЕСМ на відповідність конструкції та сертифікати ЕСМ на відповідність проведення та підтримки рухомого складу в належному стані.

Всі вагони, які курсують, повинні бути адаптовані для таких перевезень, а нові відповідати останнім Директивам ЄС в галузі залізничного транспорту, відповідати галузевим нормативам України та повинні задовольняти вимогам - пам'ятки організації співробітництва залізниць (ОСЗ), TSI PAS LOC та відповідних стандартів країн учасниць перевізного процесу.

Основними із основних документів що регламентує міждержавні перевезення, є: Директива ЄС 2016/796, Директива ЄС 2016/797.

Актуальність запропонованої теми випускної роботи обумовлена необхідністю вирішення проблем відповідності параметрів поглинаючих апаратів, які застосовуються в конструкції ударно – тягових пристроїв пасажирських вагонів, підвищення надійності вагонів, підвищення міжремонтних пробігів, зменшення витрат на утримання і ремонт із забезпеченням безпеки руху в міждержавному сполученні і по дорогах України.

Зазначена ситуація призвела до того, що велика кількість наукових робіт та розробок зроблено в цьому напрямку, але для вантажних вагонів. Маючи базові параметри вагонів колії 1520 мм та різноманіття типів ПА з відповідними параметрами та характеристиками отримуємо велику кількість різних варіантів ПА, які можна становити а вагонах в міжнародному сполученні. Однак не всі типи ПА мають відповідні характеристики, які б задовольнили перевізний процес в міжнародному сполученні. Це вже пов'язано з вимогами Директив ЄС ЄС 2016/796 та 2016/797, TSI PAS&LOC та відповідних нормативних документів УЗ та суміжних країн.

Метою дослідження був аналіз та порівняння параметрів та конструктивних рішень поглинальних апаратів пасажирських вагонів колії 1520 мм і напрямки модернізації поглинальних апаратів відповідно до вимог інтероперабельності з врахуванням вимог до вагонів, вантажів та безпеки руху.

Об'єктом дослідження в даній роботі є нормативно-технічна документація України, країн бувшого СРСР і країн ЄС, наукові розробки по поглинальним апаратам пасажирських вагонів.

Предметом дослідження є узгодження, уніфікація та способи покращення характеристик поглинальних апаратів пасажирських вагонів, а також конструктивні рішення які забезпечать дану уніфікацію.

При виконанні роботи використані наступні методи досліджень : аналітичні методи розрахунку пружних елементів поглинаючого апарату та міцнісні, загально інженерні методи - для розробки шляхів удосконалення конструкції поглинаючого апарату Р-2П.

Таким чином, виконавши цю роботу можна зробити висновки про напрямки, вимоги та роботи, які ставляться до поглинаючих апаратів пасажирських вагонів і способи проведення удосконалень та модернізацій в конструкції поглинальних апаратів були виконані згідно вимог Директив ЄС і вимог TSI PAS&LOC та з урахуванням вимог інтероперабельності.

1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ ПОВ'ЯЗАНИХ З КОНТЕЙНЕРНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

Залізничний транспорт останнім часом все більше набирає популярності з огляду на те що на кордонах постійно є черги, а для нього є підписані міжурядові договори і курсування транспорту практично йде по графіку.

Якщо проаналізувати наукові роботи, що відносяться до поглинальних апаратів для пасажирських вагонів то їх є дуже мало, але набагато більше їх є для вантажних вагонів. Це пояснюється тим, що на пасажирському рухомому складі останнім часом все більше уваги приділяють уваги буферним пристроям та системами пасивного гасіння енергії при співударах.

Зниження навантажень на рухомий склад – є однією з найбільш важливих напрямків збереження та підтримки працездатності рухомого складу залізниць під час його експлуатації, яку потрібно досягати зменшенням рівня подовжніх зусиль, діючих в поїзді. А це в свою чергу буде вимагати розробку нових високоефективних поглинаючих апаратів, яка була та залишається однією із найважливіших та актуальних питань на сьогодні.

В свою чергу створення швидкісного рухомого складу викликало необхідність розробки нових типів поглинаючих апаратів, які мали би наступні властивості: підвищену енергоємність (35...50 кДж), великий коефіцієнт безповоротно поглиненої енергії (0,5...0,7) та стабільну силову характеристику роботи в широкому діапазоні швидкостей.

Також слід пам'ятати, що поглинальні апарати пасажирських вагонів повинні мати силову характеристику, яка би забезпечувала (м'яку) роботу на початку стиснення, що відповідає перехідним режимам руху поїздів, та велику енергоємність на заключній фазі стиснення, що дозволяє згасити енергію зіткнення в екстремальних випадках. Дану функцію тут виконують вже окремі пристрої буферні пристрої. Ті самі буферні пристрої разом з перехідною пружною площадкою забезпечують зусилля початкового розпору між кожною парою зчеплених пасажирських вагонів. Завдяки цьому пасажирський поїзд не має

відкритих зазорів у зчіпних приладах, що у свою чергу забезпечує плавність зрушення з місця та сприяє іншим перехідним процесам. Зусилля початкового міжвагонного розпору у вітчизняних вагонів в середньому досить низькі – 8,7 кН (при повному стиску – 17,8 кН). Тому роль важливу роль тут грають поглинаючі апарати, які використовуються для амортизації поздовжніх сил розтягнення та стискання у поїзді.

Так у праці [21] запропонували вважають доцільним впровадження еластомірних поглинальних апаратів. Це є пов'язано на їх думку з тим, що Україна має відсутність виробництва високоякісних гум, що могли б використовуватись у поглинаючих апаратах. Тому апарати Р-2П та Р-5П доводиться закупати за в Російській Федерації, і на сьогодні це є неможливим. В останнє десятиріччя був створений новий робочий матеріал для поглинаючих апаратів – еластомір. Його основна відмінність від інших колоїдних рідин полягає у здатності пружно стискуватись під навантаженнями, що дає незаперечні переваги для створення амортизаторів з високою енергоємністю та безповоротним поглинанням енергії. Окрім того, еластомір довгий час залишається хімічно стійким і не змінює своїх якостей у широкому діапазоні зміни температур. Тому еластомірні амортизатори для поглинаючих апаратів вважаються перспективними і відповідають світовому рівню.

А беручи сьогоднішній розвиток , що еластомірні поглинаючі апарати можуть (елементи) бути в твердому стані- це взагалі ставить їх на новий ще вищий рівень.

В умовах збільшення швидкостей рухомого складу залізниць пред'являються нові вимоги (підвищення надійності, збільшення швидкості руху, продовження міжремонтного пробігу та ін.), Виконання яких неможливо без підвищення їх енергоємності та вдосконалення конструкції поглинаючих апаратів вагонів, а отже покращення динамічних показників, які виникають при рушанні та гальмуванні поїздом.

Поздовжні навантаження, що діють на вагон, відносяться до числа найбільш несприятливих, які можуть викликати пошкодження несучих елементів конструкції, а також до травмування пасажирів. Також збільшені поздовжні

навантаження можуть призвести до аварій або катастроф, які можуть мати як локальний характер так і міжнародний. Цей вид навантаження сприяє виникненню додаткових прискорень, які небажані для вантажів і пасажирів, що потрібно обмежувати. Обмеження негативних наслідків поздовжніх коливань, можливою завдяки тому, що вагони обладнуються амортизаторами удару – поглинаючими апаратами або буферними пристроями. Існує велика кількість технічних рішень по конструкції поглинаючих апаратів [4], але незмінно в них присутня два компоненти: пружні елементи і елементи, що поглинають енергію, або коли елемент володіє одночасно пружними властивостями і властивостями поглинання – це практично є вирішення проблеми.

У більшості випадків пружність пасажирських поглинальних апаратів забезпечується пружинами або гумометалевими елементами, потім це може бути полімерні елементи або еластомір. Поглинання енергії може бути досягнуте за допомогою роботи сил сухого тертя або дроселювання рідини через канали або ж таки за рахунок поглинання енергії самим матеріалом – еластомірні та гумові поглинальні апарати.

В гумометалевих амортизаторах удару і пружність і поглинання забезпечується лишень внутрішніми властивостями гуми. У еластомірних же поглинальних апаратів - робоче тіло еластомір, володіє, такими властивостями як і гума - пружними та і поглинаючими властивостями - еластомір. Окрім того в них поглинання енергії досягається дроселюванням.

Кількість робіт експериментального і теоретичного характеру, присвячених поглинаючим апаратам є дуже великою, але в більшості всі ці роботи стосуються вантажних поглинальних апаратів. Усі ці публікації перерахувати і проаналізувати в цій області неможливо. Орієнтовно їх розбивають на роботи пов'язані поздовжньою динамікою (співударами вагонів), роботи пов'язані з удосконаленням конструкції та відповідними випробуваннями та розрахунками, роботи пов'язані з математичним моделюванням процесів роботи при різних режимах експлуатації та роботи поглинальних апаратів та ін.

Велика кількість публікацій орієнтована на оцінку впливу параметрів поглинаючих апаратів на дію та вплив поздовжньої динаміки поїзда, тобто на поїзну експлуатацію вагона.

Очевидно, однією з перших та вагомих публікацій по поглинаючим апаратам була монографія д.т.н., професора Нікольського Л.Н. [8,9], яка у більшості ця книга присвячена фрикційним амортизаторам удару, але вона визначила напрямки, якими слід керуватися при дослідженні працездатності поглинаючих апаратів будь-якого конструктивного виконання. Після цього практично всі ідеї, викладені в монографії [8], отримали подальший розвиток у невеликій, але змістовній монографії [9,] Нікольського Л.Н. і Кегліна Б.Г., які вже розширили дослідження і сформувавши наукові засади досліджень в даній області.

Слід відзначити велику роботу професора Кегліна Б.Г., який був продовжувачем школи БГТУ, створеної Нікольським Л.М., і як результатом цієї роботи полягають в створенні різних поглинаючих апаратів, перспективних і оригінальних конструкцій, в розвиток теорії проектування цих пристроїв [9, 10, 11, 12].

Дуже цікавими та інноваційними є наукові праці Болдарєва А.П. [13, 14], що стосуються та лежать в області створення нових конструкцій амортизаторів удару і пов'язаних з ними теоретичних узагальнень виконані в БГТУ, де в подальшому Болдарєв А.П. було захищено докторську дисертацію [15] і створено ним цілу школу.

Також потрібно відзначити важливий внесок та пріоритетні розробки із застосування гідравліки в та пневматики в поглинаючих апаратах, які в більшості належить кафедрі «Вагони та вагонне господарство» МІИТ.

Ще одна група однодумців та вчених цієї кафедри МІИТу на чолі з доцентом, к.т.н. Каракашьяном З.О., Болотін М.М., Першин В.Я., Хусід В.Д. та іншими теоретично обґрунтували та експериментально відпрацювали конструкцію гідрогазових поглинаючих апаратів типу ГА-100 і ГА-500, робочі характеристики яких виключно високі і стабільно забезпечуються в будь-яких умовах експлуатації

[19, 20, 21, 22, 23], а в напрямку розвитку та удосконалення фрикційних поглинаючих апаратів проводили такі вчені як : доценти Чернишєв В.М., Максимов В.М., Філіппов В.М. та інші. Тут ми бачимо, що всі розробки практично стосуються поглинаючих апаратів вантажних вагонів. Але професор Філіппов В.М. досяг великих результатів в розробці експлуатації поглинаючих апаратів еластомірного типу [16, 17], які він пропонує як для вантажних так і для пасажирських вагонів. Дивлячись на сьогоднішній день з великою ймовірністю можна стверджувати, що цей вид амортизаторів удару, в кінцевому швидше за все витіснить всі інші відомі конструкції, з іншими пружними і дисипативними компонентами, самі еластоміри мають дуже хороші характеристики, який на даний момент повністю задовольняють вимоги до вантажних вагонів.

Якщо розглянути дослідників з України то ними теж проведена велика кількість досліджень. Так наприклад дослідженням еластомірних поглинальних апаратів займалися такі вчені як Пуларія А.Л, Соборницька В.В, Шатунов О.В. Ще інша велика кількість вчених, таких як Манашкін Л.А., Блохін Е.П. , Пшінько О. М., Савчук О.М займалась проблемою удосконаленням ПА і покращення поздовжньої динаміки вагонів та поїзда при різноманітних режимах роботи та ситуаціях. Такі роботи виконувались в різних навчальних на найкових організаціях ДНУЗТі, УкрДНУЗТ, ДЕТУті, КВБЗ, «АзовМаш», Харківському політехнічному інституті, Укр НІВі та ін. організаціях.

Здебільшого переважно напрямом досліджень здійснювався в області оцінки роботи амортизаторів удару, а саме впливу цих пристроїв на процеси, що відбуваються в поїзді при будь-яких режимах руху - зрушення з місця, усталеного руху, режимів гальмування, стан рухомого складу на різних профілях і планах шляху, на стрілочних переводах і т.д. Ця область поздовжньої динаміки рухомого складу найбільш глибоко і фундаментально розроблена фахівцями школи, створеної в Дніпропетровську, академіком академії наук України, д.т.н., професором Лазаряном В.А. [20 -22]. Відомими продовжувачами і соратниками академіка Лазаряна В.А., Блохіним Е.П., Монашкіним Л.А. Мямлін С.В. та ін. виконаний величезний об'єм теоретичних і експериментальних робіт з оцінки

впливу поглинаючих апаратів на роботу рухомого складу в поїзних умовах. Ці дослідження знайшли своє відображення в ряді видань, наприклад, монографії [22], працях ДПТ [23,24], дисертації [25].

Результати всіх проведених досліджень та випробувань можна побачити в перерахованих роботах, і ще їхні узагальнення та висновки в керівному документі [28], на який орієнтуються при створення протиударних пристроїв і в даний час. Крім того, є директивні документи у вигляді технічних вимог [29].

Автори монографії [32] велику частину своєї роботи присвятили її моделюванню пристроїв гасіння коливань – амортизаторів і гасителів коливань. В монографії розглянуті різні типи поглинальних апаратів, їх конструктивні особливості й математичні моделі, що описують їх роботу та принципи розрахунку. Тут наведені методики випробувань гасителів коливань і поглинальних апаратів, а також способи обробки результатів вимірювань, які автори отримали виходячи із свого життєвого досвіду та проведеної великої кількості випробувань. Пізніше ці дані з монографії були використані багатьма вченими та науковцями в свої певних дослідженнях.

Автор наступної роботи [49] за допомогою імітаційного комп'ютерного моделювання процесів зіткнення вагонів між собою, сформував та змодельовав і на основі отриманих значень та результатів інформацію методичного забезпечення процесів вибору конкретних типів апаратів для заданого вагона та математичне обґрунтування показників, що характеризують інноваційних конструкцій поглинаючих апаратів автозчепного пристрою.

Досить актуальним на даний момент є питання, яке розглядалось і є невирішеним є питання вибору поглинальних апаратів для міжнародних пасажирських перевезень, які з кожним роком збільшуються і швидкості при цьому теж збільшуються. Хоча дане питання є прописане а «Правилах користування пасажирських вагонів» , але на даний момент слід більш ґрунтовно дослідити та провести моніторинг нових розробок в області поглинальних апаратів як в Європі так і в країнах далекого зарубіжжя (США, Китай), які теж проводять роботи в даному напрямку з метою підвищення надійності рухомого складу для підвищення надійності , зменшення негативного впливу на пасажирів, підвищення комфорту.

2. БУДОВА ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГЛИНАЛЬНИХ АПАРАТІВ КОЛІЇ 1520 ММ

Особливості поглинаючих апаратів пасажирських вагонів в порівнянні з вантажними вагонами є в тому, що у пасажирських вагонів повинні мати менший початковий опір, меншу жорсткість і енергоємність порівняно із поглинаючими апаратами вантажних вагонів.

Якщо дивитись на історію появи пасажирських поглинальних апаратів то вони появились після 1947 року, коли пасажирські вагони почали обладнувати апаратом ЦНДІ-Н6 ($E=18\dots24$ кДж), який характеризувався порівняно складною конструкцією та недостатньою стабільністю роботи фрикційної частини. До 1947 року всі пасажирські вагони були обладнані поглинаючими апаратами вантажних вагонів або вантажного типу.

Поглинаючий апарат типу ЦНІІ-Н6

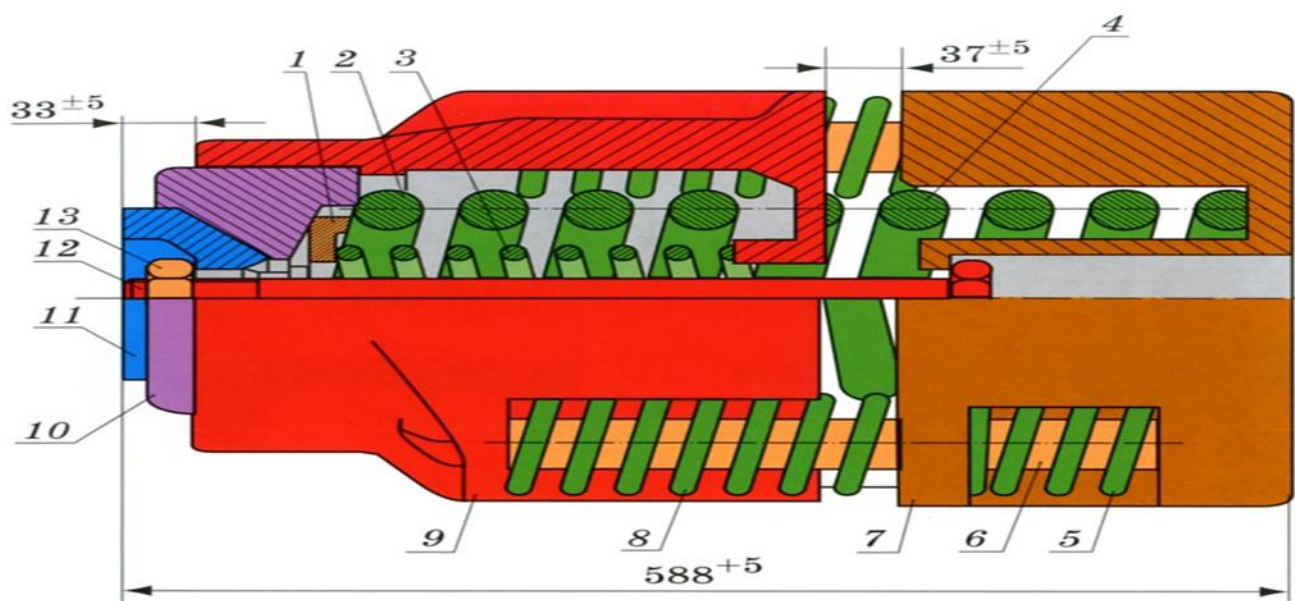


Рисунок 1 – Поглинаючий апарат типу ЦНІІ-Н6

Поглинаючий апарат ЦНІІ-Н6 (рис. 1) складається з двох частин : пружинної й пружинно-фрикційної частин, які з'єднані послідовно. Пружинно-фрикційна частина складається із наступних елементів: шайби -1; шестигранної

горловини – 9; натискного конуса - 11; трьох фрикційних клинів – 10; зовнішньої пружини - 2 і внутрішньої пружин - 3.

Пружинна частина або деколи говорять задня частина складається з основи -7; центральної пружини -4; чотирьох малих кутових пружин – 5; чотирьох упорних стрижнів – 6; та чотирьох великих кутових пружин – 8.

Пружина нижньої основи -8 є однакові з пружиною 3 верхньої фрикційної частини, а пружина - 4 з пружиною 2. Малі кутові пружини відрізняються від більших кутових пружин тільки меншою кількістю витків. Великі кутові пружини розташовані в нішах горловини, а малі у нішах основи апарату.

Стрижні нижньої частини (6) розташовані усередині кутових пружин (5) й (8) і розділяють їх середньою стовщеною частиною. Обидві частини апарату стягуються стяжним болтом (12) і закручується гайкою (13).

Схема проведення збирання поглинаючого апарату ЦНІІ-Н6 приведена на рис. 2.

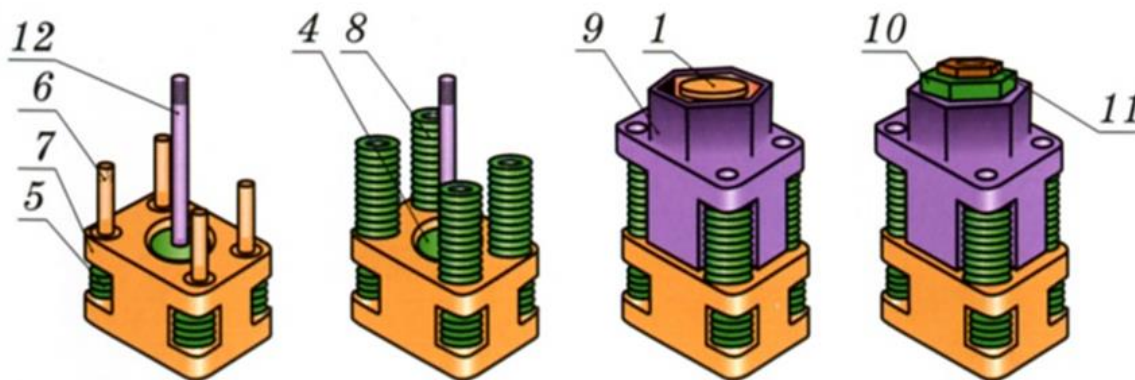


Рисунок 2 – Схема збирання поглинаючого апарату ЦНІІ-Н6

Маючи таку конструкцію поглинальний апарат працює наступним чином: спочатку у результаті дії навантаження до натискного конуса або основи апарату відбувається стиск центральної 4 і чотирьох великих кутових 8 пружин. Після

зменшення зазору (рис. 1) між горловиною 9 і підставою 7 до 37 мм стискаються малі кутові пружини 5. Пружинно-фрикційна частина вступає в роботу після того, як горловина 9 упреться в торець основи 7 нижньої частини, що відбувається практично одночасно з початком стиснення малих кутових пружин 5. Нажимний конус 11, стискаючи пружини й переборюючи опір тертя трьох фрикційних клинів 10, частково входить в них, розсовуючи фрикційні клини в різні сторони й притискає до стінок корпуса, де відбувається процес тертя.

Внаслідок цього між стінками корпуса й клинами створюється велика сила тертя, яка буде чим раз більша, чим більше стиснені пружини 2 та 3 до моменту входження нажимного конусу всередину корпусу. За рахунок тертя, що перешкоджає переміщенню опорної шайби 1, поглинається значна частина кінетичної енергії удару. Після зняття навантаження з пружин, клини й натискний конус повертаються в вихідне положення так як були перед тим попередньо стиснуті. Пружини знову розсовують клини, переборюючи їхнє тертя, що значною мірою запобігає сильним поштовхам в поїзді. Оскільки спочатку працює тільки пружинна частина поглинаючого апарату, його опір невеликий, що сприяє пом'якшенню невеликих поздовжніх сил, які виникають при рушанні й службовому гальмуванні.

Починаючи з 1970 року всі пасажирські вагони, включаючи вагони електропоїздів та дизель-поїздів, пасажирські вагони та локомотиви, обладнуються гумометалевими поглинаючими апаратами. На початках ставили поглинаючі апарати Р-2П, потім з'явилися апарати Р-4П та Р-5П. При цьому слід зауважити, що даний тип апарату Р-4П може використовуватись і в рефрижераторних вагонах.

Апарати типу Р-2П і Р-5П використовуються в автозчепних та зчіпних пристроях пасажирських вагонів., а у зчіпних пристроях моторвагонного рухомого складу можуть застосовують також поглинаючі апарати типу Т-7П.

Принцип дії всіх гумометалевих поглинаючих апаратах у яких робочий елемент використовується гумометалевий елемент (гума) є однаковим. Даний гумометалевий елемент має та володіючи внутрішнім тертям, виконує функції пружного та демпфуючого елементів.

Гумометалевий елемент складається з двох сталевих пластин (товщиною 2 мм), між якими розташовується гумовий елемент (скріплені гарячою вулканізацією). Наявність пластин підвищує термін служби гуми та збільшує жорсткість апарату.

На пластинах присутні фіксуючі виступи та відповідні їм заглиблення – для виключення відносного зміщення елементів при стиску апарату. Гумова частина елемента має параболічну виїмку, що запобігає вичавленню та вириванню гуми за межі сталевих пластин при повному стисканні апарату.

Принцип дії такого ПА – кінетична енергія удару поглинається силами внутрішнього тертя гумометалевих елементів, а відновлення апарату відбувається за рахунок пружного опору стислих попередньо гумових елементів.

Переваги таких ПА з гумометалевими елементами є – простота та надійність конструкції, відносно стабільна силова характеристика, ефективна робота під час руху поїзда. Але поряд дана серія ПА має недоліки:

- відносно мала енергоємність апаратів із ходом 70 мм;
- неможливість збільшення ходу до 100–120 мм без значного збільшення розмірів амортизатора;
- зміна властивостей амортизатора, яка обумовлена особливостями властивостей гуми (вплив на пружні властивості гуми зовнішньої температури і процесів старіння, розсіювання твердості гумометалевих елементів).

Гумометалевий поглинаючий апарат Р-2П класу П1.

Даний ПА Р-2П розшифровується - гумовий, другий варіант, пасажирський складається приведений на рисунку 3. Він складається з корпусу - 4, що має форму хомута, натискної - 1 і проміжної - 3 плит та дев'яти гумометалевих елементів - 2 товщиною 41 мм. Проміжна плита призначена для полегшення складання апарату, а також центрування гумометалевих пластин відносно корпусу.

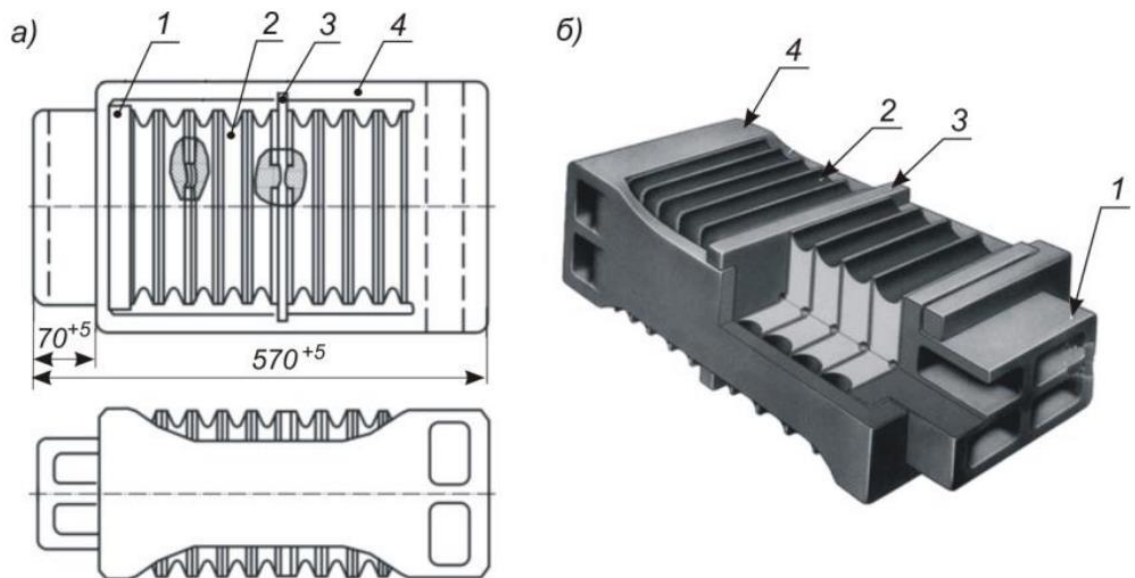


Рисунок 3 – Загальний вигляд ПА типу Р-2П

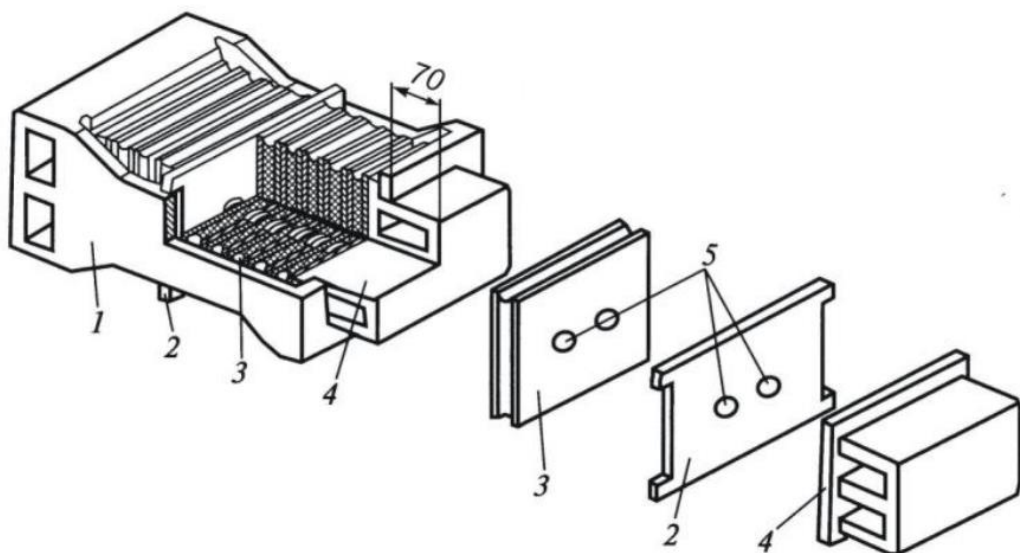


Рисунок 4 – Загальний вигляд порядку складання ПА типу Р-2П

Збирання ПА типу Р-2П проводиться у наступному порядку: у корпус апарату (хомут) збоку заводять спочатку натискну плиту - 4, а потім проміжну -2.

При цьому при заводі проміжної плити бічні заплечики повинні охоплювати поздовжні стінки корпусу. Далше вкладаємо чотири гумометалеві елементи, які розміщують між проміжною плитою та днищем корпусу -1. Фіксуючі виступи на гумометалевих пластинах та елементах повинні збігатися з відповідними поглибленнями кожної з них.

Після цього встановлені гумометалеві елементи стискають на пресі через проміжну плиту, щоб між натискною та проміжною плитами можна було встановити інші п'ять гумометалевих елементів. Коли все встановлено знімають навантаження. Після зняття навантаження стислі елементи звільнюються від навантаження, розправляються за рахунок внутрішньої пружності і замикають введені в корпус п'ять гумометалевих елементів.

Попередня затяжка ПА типу Р-2П забезпечується внаслідок того, що висота гумометалевих елементів у вільному стані разом з проміжною плитою перевищує відстань від натискної плити до днища корпусу на 13 мм і відповідно цим створюється зусилля попереднього затягу.

Технічні характеристики ПА типу Р-2П: хід 70 мм, енергоємність - 20-25 кДж; початковий та кінцевий опір апарату –115 кН та 1,3 МН, коефіцієнт незворотного поглинання енергії: при статичному навантаженні – 0,32, динамічному – 0,38; коефіцієнт повноти силовий характеристики: при статичному навантаженні – 0,32, динамічному – 0,4; габаритні розміри – 246x318x568 мм

Силова характеристика ПА типу Р-2П приведена на рис 5.

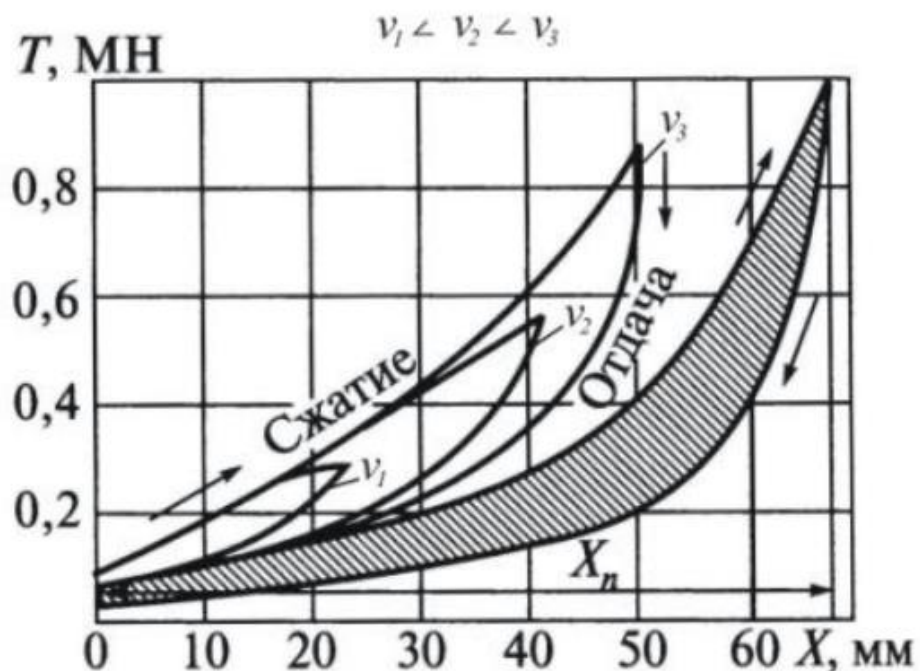


Рисунок 5 – Силова характеристика ПА типу Р-2П

Силова характеристика гумометалевого поглинаючого апарату як видно з рис. 5 є нелінійною, відносно стабільною і залежить від швидкості зіткнення вагонів v (швидкості деформації апарату).

Силова характеристика даного ПА характеризується сімейством кривих, кожна з яких відповідає певній швидкості зіткнення вагонів v .

Проаналізувавши дану силову х-ку можна стверджувати, що зі збільшенням швидкості зіткнення v підвищується жорсткість апарату і крива навантаження стає крутішою V_3 . Заштрихована силова характеристика на графіку отримана при статичному стисненні апарату.

Гумометалевий поглинаючий апарат Р-4П

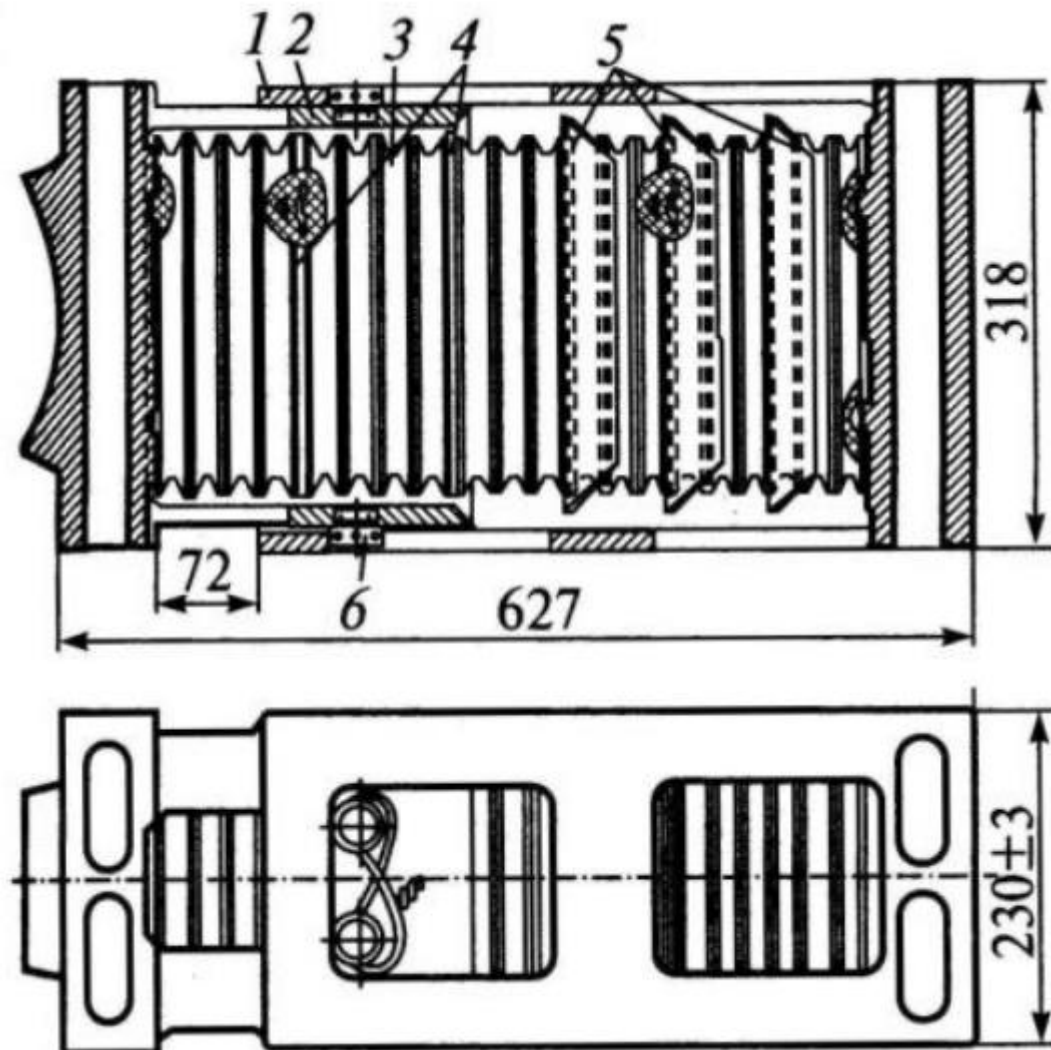
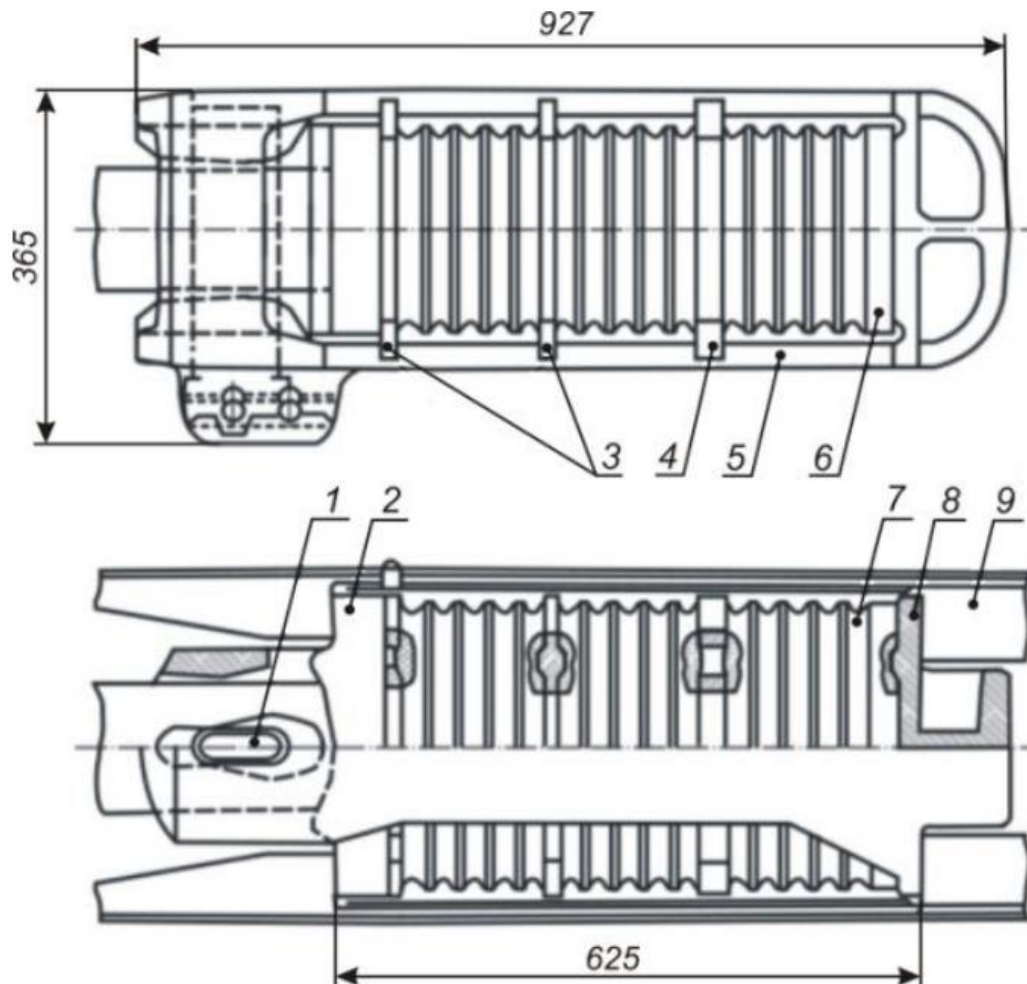


Рисунок 6 – Загальний вид гумометалевого поглинаючого апарату Р-4П

Гумометалевий поглинаючий апарат Р-4П складається з наступних елементів: корпус - 1 (рис.6), кришка-плита 2, двадцять гумометалевих елементів 3, дві проміжні плити 4, три коробоподібних напрямних плити 5 і чотири стопорних гвинта 6. Кришка-плита виконує функцію упорної плити. На відміну від Р-2П гумометалеві елементи мають меншу ширину (24,2 мм). Даний ПА типу Р-4П розшифровується : гумовий, четвертий варіант, пасажирський.

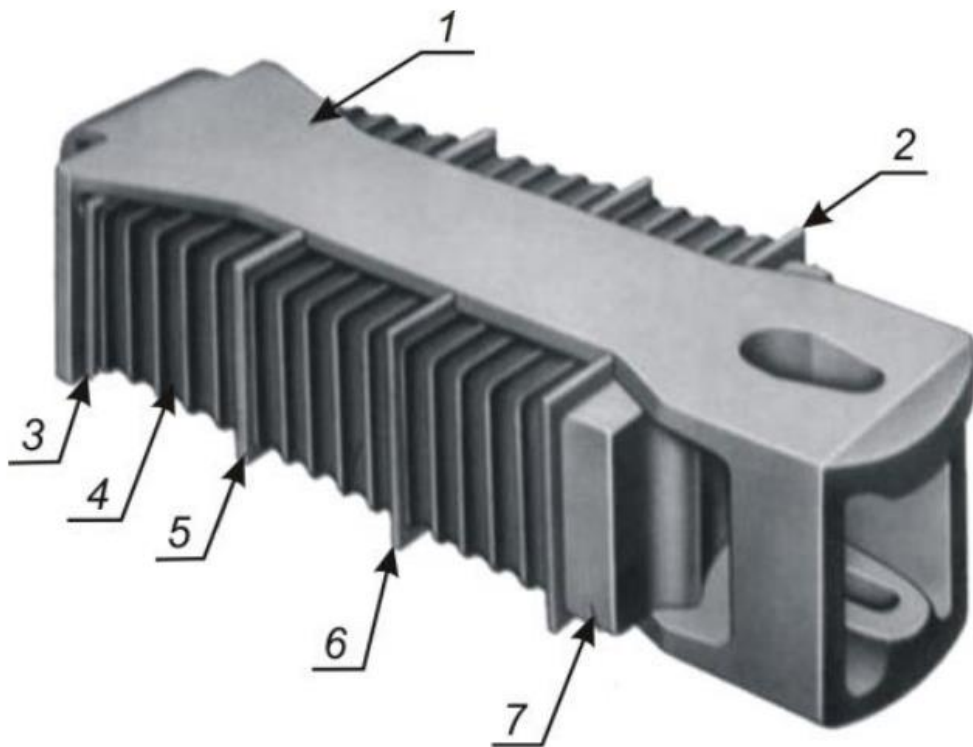
Даний апарат Р-4П рекомендований для використання в автозчепному пристрої і для рефрижераторних вагонів.

Гумометалевий поглинаючий апарат типу Р-5П



1 – клин тягового хомута; 2 – нажимна плита; 3 – проміжні плити; 4 – проміжна плита збільшеної товщини; 5 – корпус апарату; 6 – сталеві плити; 7 – гумометалевий елемент; 8 – опорний майданчик корпусу; 9 – задній упор

Рисунок 7 - Схема гумометалевого поглинаючого апарату Р-5П



1 – корпус-хомут; 2, 5, 6 – проміжні плити; 3 – сталева плита; 4 – гумометалевий елемент; 7 – нажимна плита

Рисунок 8 - Загальний вигляд гумометалевого поглинаючого апарату Р-5П:

Апарат гумометалевий типу Р-5П (гумовий, п'ятий варіант, пасажирський) встановлюється на пасажирські вагони нового покоління для швидкостей до 160 та 200 км/год.

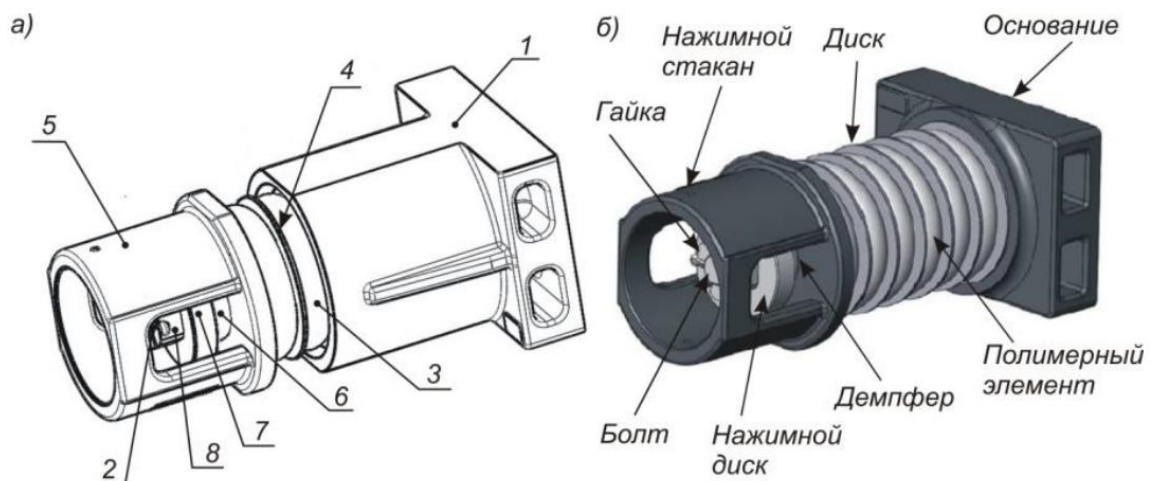
Особливістю конструкції даного ПА типу Р-5П є те, що корпус апарату 5 виконаний вигляді єдиного вилівка з тяговим хомутом. Така конструкція, як і в вантажних вагонах дозволяє збільшити число гумометалевих елементів до 15. Розміри гумометалевих елементів змінені: товщина зменшена до 33 мм, а поперечні розміри збільшені до 310x220 мм.

Корпус-хомут ПА типу Р-5П на відміну від звичайного хомута має майданчики 8 для опору на торці задніх упорів 9 і збільшені розміри отвору для клина 1, що з'єднує корпус апарату з автозчіпкою.

Технічна характеристика ПА типу Р-5П наступна : хід 80 мм; енергоємність: при статичному навантаженні – 40 кДж, динамічному –50 кДж; початковий та кінцевий опір апарату – 115 кН та 1,2 МН; коефіцієнт незворотного поглинання енергії: при статичному навантаженні – 0,31, динамічному – 0,36; коефіцієнт повноти силової характеристики: при статичному навантаженні – 0,35, динамічному – 0,42; установчі розміри – 246x318x568 мм.

Процес складання апарату проходить наступним чином: у корпус-хомут 11 (рис. 8) вводяться вводиться нажимна плита 7 і десять гумометалевих елементів з трьома проміжними плитами 2, 5 і 6. Заплічники самих проміжних плит при цьому повинні охоплювати тягові смуги корпусу-хомута. Всі ці елементи стискаються під пресом через проміжну плиту збільшеної товщини 5 на спеціальному пресі. Після чого встановлюються решта п'яти елементів і навантаження знімається. і апарат є готовий до роботи.

Поглинаючий апарат Т-7П класу П2



а – із силовим корпусом; б – відкритого типу;

1 – основа; 2 – болт; 3 – елемент еластичний; 4 – диск; 5 – стакан нажимний; 6 – демпфер; 7 – диск натискний; 8 – гайка

Рисунок 9 - Апарат поглинаючий Т-7П

Даний поглинальний апарат встановлюється в зчіпний пристрій моторвагонного рухомого складу. Поглинаючий апарат може бути виготовлятися виготовляють у двох виконаннях: Т-7П-01 – із силовим корпусом (рис 9, а); Т-7П – відкритого типу (рис. 9, б).

До складу апарату Т-7П-01 входять наступні частини : плита основи 1, пакет з полімерних еластичних елементів 3 і дисків 4, стакан нажимний 5, еластичний демпфер 6 і диск нажимний 7. Всі деталі апарату пов'язані в єдину конструкцію стяжним болтом 2 з корончастою гайкою 8, яка зашплінтовується.

Розбирання апаратів Т-7П не допускається. Несправні поглинаючі апарати повинні бути направлені на завод-виробник або інше підприємство, що має дозвіл на їх ремонт.

Поглинальний апарат типу ЕПУ-2

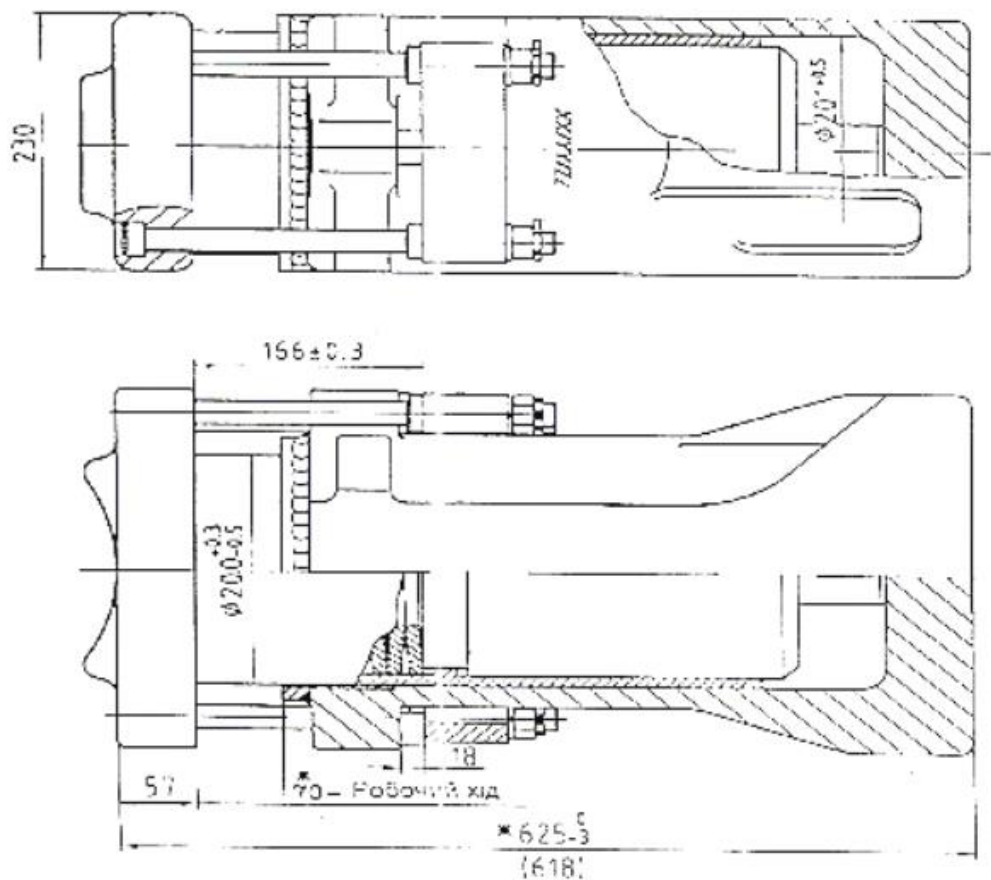


Рисунок 10 – Загальний вигляд поглинаючого апарату типу ЕПУ-2

Польською фірмою «КАМАХ» за технічними вимогами Укрзалізниці вперше спроектовані та виготовлені дослідні зразки еластомірних поглинаючих апаратів типу ЕПУ-2 (еластомірний польсько-український, другий варіант) для пасажирських вагонів. Особливістю даного ПА є те, що послідовно встановлено еластомірний амортизатор та комплект тарільчатих пружин (рис. 10). За своїми розмірами апарат ЕПУ-2 зроблений так, що є взаємозамінним з іншими типами апаратів (ЦНИИ-Н6 та Р-2П).

Графік залежності сили співударів від швидкості, який проводили автори досліджень [21] показаний на рис. 11. Як видно з графіку, що максимальна сила, яка отримана при співударах під час випробувань, досягала значення 1,6 МН при швидкості співудару 9,6 км/год. В інтервалі швидкостей співударів 2,3...9,6 км/год згідно графіку (рис. 11) у нас практично лінійна залежність сили удару від швидкості. Таке пояснюється тим, що матеріал ПА має високу амортизаційну властивість та якість для поглинаючих апаратів ЕПУ-2. Авторами статті [21] шляхом проведення інтерполяції цих даних, була отримана очікувана швидкість співударів $V \approx 15,84$ км/год, при якій сила досягне нормативного значення – 2,5 МН (нормативної). Надалі, виходячи з отриманої швидкості, були розраховані нормативні значення інших характеристик (напружень та прискорень) дослідного вагона.

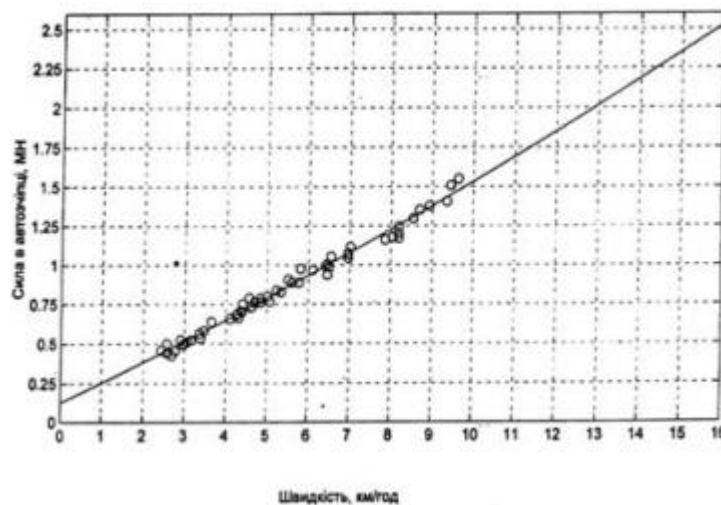
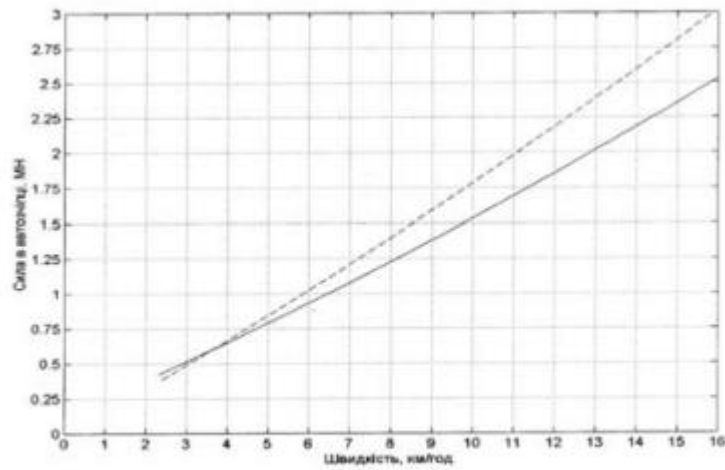
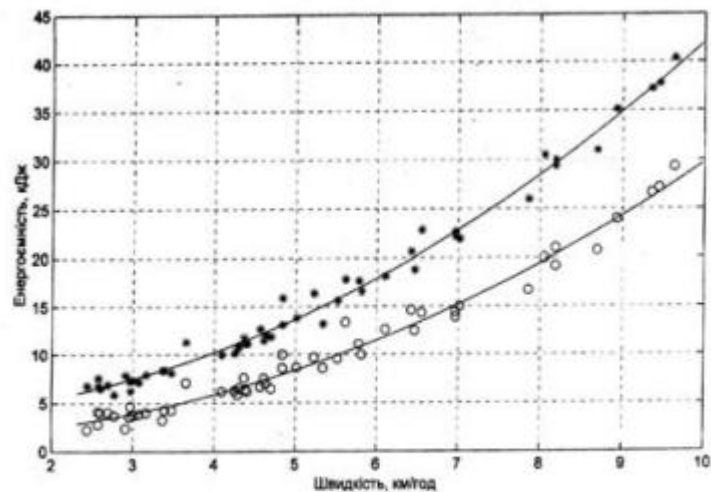


Рисунок 11 - Графік залежності сили співударів від швидкості



- ЕПУ-2 - - Р5-II

Рисунок 12 – Інтерпольований рівень сил на ПА типу ЕПУ-2



* - енергетичність апарата ⁰ - безповоротно поглинена енергія

Рисунок 13 – Графік безповоротно поглиненої енергії ПА типу ЕПУ-2

Більше у вітчизняній практиці пасажирських поглинальних апаратів мною не було знайдено, що свідчить про широкий простір пошуку відповідних технічних та технологічних рішень.

3. ВИМОГИ ДО ПОГЛИНАЛЬНИХ АПАРАТІВ

3.1 Вимоги відповідно до ДСТУ

Загальні визначення ДСТУ ГОСТ 32913:2016 є наступними і будуть містити.

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 32913:2016 за експлуатаційними технічними показниками поглинаючі апарати для пасажирського рухомого складу поділяться на наступні такі класи:

- поглинаючі апарати міжвагонних зчіпок класу П0, які призначені для моторвагонного рухомого складу постійного формування, який не допускає переформування між плановими заводськими ремонтами;
- поглинаючі апарати для класу складу П1 для моторвагонного рухомого складу;
- поглинаючі апарати класу П2, які призначені для пасажирських вагонів локомотивної тяги;
- поглинаючі апарати класу П3, призначені для пасажирських вагонів, що експлуатуються в умовах підвищених динамічних навантажень.

Вимоги до поглинаючих апаратів для пасажирського рухомого складу відповідно до п. 5.3.1 ДСТУ ГОСТ 32913:2016 є наступними:

1. Конструкційний хід поглинаючих апаратів класів П1, П2, П3 повинен бути не більше 80 мм, а для класу П4 - не більше 120 мм (з урахуванням підтискання при встановленні на рухомий склад обладнаний автозчіпним пристроєм
2. Зусилля початкової затяжки у апаратів класів П1, П2, П3 від 0,025 до 0,080 МН, класу П4 від 0,025 до 0,200 МН.
3. Коефіцієнт незворотного поглинутої енергії в поглинальному апараті повинен бути в межах не менше 0,3.

4. Ресурс поглинаючих апаратів за кількістю введеної в них енергії має становити щонайменше 25 МДж. Критеріями граничного стану ПА є поява тріщин, злами елементів конструкції апарату або зниження енергоємності поглинаючого апарату при максимальній силі на 10% і більше від вихідного значення.

Нормативні силові та енергетичні показники для кожного класу поглинаючих апаратів пасажирського рухомого складу наведені в таблиці 2.

Відповідно до СТП 04-15-2018 є наступна класифікація поглинальних апаратів, яка приведена в табл. 1

Таблиця 1 - Основні параметри гумометалевих поглинаючих апаратів

Параметр	Поглинаючий апарат		
	P-2П	P-4П	P-5П
Енергоємність	20-25	28	40-50
Хід погл. апарату, мм	70	72	80
Сила опору при стисненні, МН	1,3	1,8	1,2
Коефіцієнт незворотно поглинутої енергії	0,32-0,38	0,55	0,31-0,36

Для пасажирського рухомого складу вимоги до ПА при температурах плюс 50 °С і мінус 40 °С при статичному навантаженні поглинаючого апарату допускається зниження статичної енергоємності не більше, ніж на 30 % від значення, яке було отримане при температурі (18±5) °С. При динамічному навантаженні поглинальний апарат повинен сприймати енергію орієнтовно 70 % від нормативного значення енергоємності, наведеної в таблиці 2 для відповідного класу поглинального апарату. Якщо ж пасажирський рухомий склад, для якого призначений поглинаючий апарат, допускає його експлуатацію при температурах нижче мінус 40 °С, але не нижче мінус 60 °С, то сам поглинаючий апарат повинен забезпечувати збереження працездатності при таких температурах при чому критерієм працездатності є збереження мінімальної енергоємності після дії

екстремальних температур. Після стиснення апарата до нормативної сили при екстремальній негативній температурі (не нижче мінус 60 °С), динамічна енергоємність, визначена після відновлення температури (18±5)°С, повинна становити не менше 70 % від вихідного значення. якого призначений поглинаючий апарат, не призначений для експлуатації при температурах мінус 40 °С і нижче.

Таблиця 2 – Нормативні показники поглинаючих апаратів пасажирських вагонів

Найменування показника	Клас поглинального пара				
	П0	П1	П2	П3	П4
Максимальна сила , МН	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5
Енергоємність при силі не перевищуючої максимальну, кДж , не менше	7	20	35	60	90

3.2 Вимоги відповідно до ОСЗ

Відповідно до пам'ятки 0+P 521/1 та 0+P 521/3 до поглинальних апаратів сталять наступні вимоги.

3.1. Для включення в поїзд та руху в сцепі з вагоном, обладнаним бічними буферами за Пам'яткою ОСЗ О+P 529/2, поглинаючі апарати на вагоні повинні забезпечувати такі значення зусилля на початкових етапах деформації:

- зусилля початкової затяжки при квазістатичному навантаженні: 20-50 кН;
- зусилля при деформації 50 мм при квазістатичному навантаженні: не більше 150 кн.

При чому динамічна енергоємність поглинального апарату при силі не більше 1,5 МН має бути не меншою 35 кДж.

Всі поглинальні апарати повинні мати конструкційний хід 70-80 мм.

Коефіцієнт незворотного поглинання енергії при квазістатичному навантаженні повинен складати і бути не менше ніж 0,3.

Ресурс поглинаючих апаратів за кількістю введеної енергії має становити щонайменше 25 МДж. Критеріями граничного стану є: поява тріщин, злами елементів конструкції апарату, неповне відновлення апарату або зниження енергоємності поглинаючого апарату при максимальній силі більше, ніж на 10%.

При екстремальних значеннях експлуатаційних температур (не нижче за мінус 40 °С) динамічна енергоємність має бути не менше 25 кДж. При цьому сила не має перевищувати 2,0 МН.

Якщо пасажирські вагони, для яких призначений поглинаючий апарат, допускає експлуатацію при температурах нижче за мінус 40 °С, то апарат повинен забезпечувати збереження працездатності за таких температур - після стиснення апарату до нормативної сили за екстремальної негативної температури, енергоємність (визначена після відновлення температури 18 ± 5 °С) повинна становити щонайменше 25 кДж.

3.3 Вимоги відповідно до UIC

Відповідно до пам'ятки UIC-524 та її табличних значень усі вагони країн в даному випадку підрозділяють знову ж таки на три категорії: вагони брутто до 40 т, вагони масою брутто від 40 до 80 т та вагони масою брутто більше 80 т.

В більшості вимоги до пасажирських вагонів ставляться до буферних пристроїв та так званої пасивної системи безпеки, яка на даний момент є дуже популярною, а самі поглинальні апарати – поки знаходяться на задньому плані

Всі ці значення приведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Технічні параметри поглинаючих апаратів згідно пам'ятки UIC 524

№ п/п	Найменування показника	Ум. позн.	Од. вимір.	Нормативні значення для гонів з масою - брутто		
				40≤	40 ... 80	≥ 80
1	Конструкційний хід	X_k	мм	110	110	110
2	Номінальна нормативна сила	F_n	МН	0,85	0,85	0,85
3	Міцність корпусу при ударному навантаженні силою не менше	F_a	МН	2,0	2,0	2,0
4	Сила опору при робочому ході рівному конструктивному ($X-X_k$)	R_k	МН	1,2	1,6	1,85
5	Зусилля початкового зтягу	P_0	кН	30-130	30-130	30-130
6	Статична енергоємність	$W_{ст}$	кДж	≥36	≥36	≥50
7	Коефіцієнт необоротно поглинутої енергії (статичний)	$\eta_{ст}$		0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6
8	Номінальна енергоємність при нормативній силі $F_n=2,0$ МН	W_n	кДж	≥80	≥100	≥140
9	Максимальна енергоємність при закритті ПА і максимальній силі не більше 3,0 МН	W_{max}	кДж	≥85	≥130	≥190
10	Енергоємність в стані поставки	W_0	кДж	≥55	≥95	≥120
11	Коефіцієнт необоротно поглинутої енергії (динамічний)	$\eta_{дин}$		0,7-0,95	0,7-0,95	0,7-0,95

Отримавши такі значення можна зробити висновки , що корпуси ПА які розроблені по UIC 524 мають меншу механічну міцність, при чому енергоємність ПА є чомусь більшою.

Відповідно до правил, які прописані в ППВ та нормативних документів країн Європи ми можемо експлуатувати лишень ПА класу П1 та П2, так як поглинаючими апаратами класу П0 не забезпечується відповідна енергоємність поглинального апарата.

3.4 Висновки по розділу 3

Підсумовуючи вище описане можна прийти до наступних висновків:

- в нормативних документах є загальні вимоги до поглинальних апаратів, які не в повній мірі описують ті процеси, які можуть відбуватись;
- Потрібно ставити перед собою завдання та вносити на розгляд зміни як до пам'яток ОСЗ так і UIC ;
- Потрібно гармонізувати нормативні документи ЄС що стосуються поглинальних апаратів рухомого складу, а то на сьогоднішній день їх поки немає.

4. РОЗРАХУНОК ПОГЛИНАЛЬНОГО АПАРАТУ Р2П ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛУ

4.1 Розрахунок при традиційному застосуванні гуми

Вихідні дані для розрахунку будуть : тип ПА-Р-4П; марка гуми НК-1;
 $T_{\max}=2,1\text{МН}$; $K_p=1,1$; $x_0=12\text{мм}$; $x_{\max}=77\text{мм}$; $[\varepsilon]=0,3$; $\xi=0,76$;

Габаритні розміри апарату стандартні $A=218\text{мм}$; $B=128\text{мм}$; при стисненні
 $V_0=3,2\text{ м/с}$; при віддачі $V_0=2,2\text{ м/с}$;

В результаті розрахунків будемо будувати силову характеристику .

Силова характеристика ПА з гумовими елементами, що є отримана
 емпіричним способом має наступний вигляд:

$$T(X) = (c_p + a_p \operatorname{sgn} v) \cdot x + \beta_p \cdot x^3 + \mu_p c_p \cdot v \quad (1)$$

Де $T(X)$ – сила , що діє на апарат;

X - величина стиснення апарата , включаючи початкове затягування
 (стиснення);

β_p, c_p, a_p – параметри статичної силової характеристики апарата;

μ_p – коефіцієнт в'язкості, що залежить від типу матеріалу (гуми);

v – швидкість стиснення апарата.

Ці параметри визначаються виходячи із наступних залежностей

$$c_p = \frac{1}{1+r_p} \cdot \frac{k \cdot E \cdot F}{h} \quad (2)$$

$$a_p = \frac{r_p}{1+r_p} \cdot \frac{k \cdot E \cdot F}{h}, \quad (3)$$

$$\beta_p = \left(\frac{\alpha_p}{\varepsilon \cdot h} \right)^2 \cdot \frac{k \cdot E \cdot F}{h}, \quad (4)$$

Де r_p - коефіцієнт , що характеризує «статичний» гістерезис гуми

K – коефіцієнт, що залежить від розмірів деталі та умов кріплення гуми до металу;

E – статичний модуль пружності , який може бути знайдений в залежності від твердості гуми H_p (таблиця 1) та знаходиться із співвідношення:

$$E = 0,025 \cdot H_p + H_p^4 \cdot 10^{-7} \quad , \text{ Мн/м}^2 \quad (5)$$

F – опорна площа гуми або матеріалу;

h – висота гуми в комплекті;

δ – товщина кожного елемента;

n – кількість елементів;

α_p – безрозмірний критерій нелінійності статичної характеристики ;

ε – відносна ступінь стиснення.

Висоту гуми для такого розрахунку знаходимо із співвідношення:

$$h = \delta \cdot n \quad (6)$$

Значення параметрів гуми беремо із довідкового матеріалу та приведені в табл. 3, а коефіцієнт K визначаємо виходячи із наступного графіка (Рис. 14).

Таблиця 3 – Значення параметрів гуми

Параметри	Марка гуми НК-1
r_p	0,10
a_p	0,86
$\mu_p \cdot 10^{-3}$	7,4
H_p (ТМ-2)	50...55

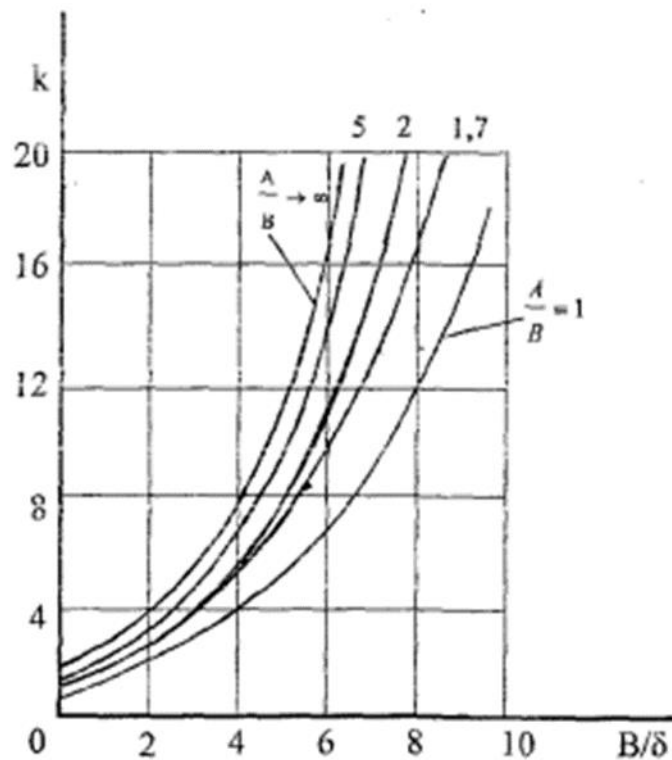


Рисунок 14 – Графік для визначення коефіцієнта К

Дальше знаходимо енергоємність апарату при наперед відомому конструктивному ході, який визначається згідно формули :

$$E_{amax} = X_i \int_0^{max} T(x) dx \quad (7)$$

Цей же показник можна визначити ще з наступного співвідношення

$$E_{amax} = \frac{c_p + a_p}{2} x_{max}^2 + \frac{\beta_p}{4} + \mu_p c_p v_0 x_{max} \xi \quad (8)$$

Де ξ – дослідний коефіцієнт.

І як показують практичні досліді цей коефіцієнт рівний $\xi=0,74-0,77$

Отже маючи вище наведені вихідні параметри для ПА типу Р-4П знайдемо силу при максимальному ході ПА:

$$T_{V=0} = \frac{T_{max}}{k_p} \quad (9)$$

де T_{max} - максимальна сила, яка діє на апарат;

K_p - експериментальний коефіцієнт;

$$T_{V=0} = \frac{2,1}{1,10} = 1,9 \text{ МН} = 1900000 \text{ Н}$$

Дальше знайдем суму $c_p + a_p$, яка виражена рівняннями (2-4):

$$c_p + a_p = \frac{k \cdot E \cdot F}{h}, \quad (10)$$

Після підстановки в рівняння (2-4) отримуємо:

$$c_p = \frac{1}{1+r_p} \cdot (c_p + a_p), \quad (11)$$

$$a_p = \frac{r_p}{1+r_p} \cdot (c_p + a_p), \quad (12)$$

$$\beta_p = \left(\frac{\alpha_p}{\varepsilon \cdot h} \right)^2 \cdot (c_p + a_p), \quad (13)$$

Відповідно до формули (5) та таблиці 3 та графіка рис.14 знаходимо статичний модуль пружності

$$E=0,025 \cdot 53 + 53^4 \cdot 10^{-7} = 2,114 \frac{\text{МН}}{\text{м}^2},$$

Дальше підставивши значення та звівши рівняння отримаємо вираз:

$$T_{V=0} = (c_p + a_p) \cdot x_{\max} + \beta_p \cdot x_{\max}^3, \quad (14)$$

Використовуючи формули (11-13) і враховуючи, що $\varepsilon \cdot h = x_{\max}$, отримаємо таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} 0,077 \cdot (c_p + a_p) + 0,077^3 \cdot \beta_p = 1900000 \\ \beta_p = \left(\frac{0,86}{0,077} \right)_p^2 \cdot (c_p + a) \end{cases}, \quad (15)$$

Дальше проводимо розрахунок даної системи рівнянь та отримаю :

$$0,077 \cdot (c_p + a_p) + 0,077^3 \cdot \left(\frac{0,86}{0,077} \right)^2 \cdot (c_p + a_p) = 1900000$$

$$(c_p + a_p) = 14184,48 \frac{\text{КН}}{\text{м}}$$

$$\beta_p = \left(\frac{0,86}{0,077} \right)^2 \cdot 14184,48 = 1769,411 \frac{\text{МН}}{\text{м}^3}$$

Підставляючи значення $(c_p + a_p)$ в (2) і (3), отримуємо:

$$c_p = \frac{14184,48}{1+0,10} = 12894,98 \frac{\text{КН}}{\text{м}}$$

$$a_p = \frac{0,10 \cdot 14184,48}{1+0,10} = 1289,5 \frac{\text{КН}}{\text{м}}$$

При висоті пружного елемента в ПА в комплекті:

$$h = \frac{x_{\max}}{[\varepsilon]}, \quad (16)$$

$$h = \frac{0,077}{0,3} = 0,256 \text{ м},$$

Наступним кроком буде знаходження опорної площі гуми в елементах:

$$F = A \cdot B, \quad (17)$$

$$F = 0,218 \cdot 0,128 = 0,0279 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт, який залежить від розмірів деталі і умови кріплення гуми до металу, визначаєм з виразу

$$K = \frac{c_p \cdot (1+r_p) \cdot h}{E \cdot F}, \quad (18)$$

Підставивши значення отримаю:

$$K = \frac{12894,98 \cdot 10^3 \cdot 1,10 \cdot 0,256}{2,114 \cdot 10^6 \cdot 0,0279} = 61,57$$

Дальше користуючись графіком (рис.14) для $K=61,57$ і співвідношення $A/B=1,7$ знаходим значення :

$$\frac{B}{\delta} = 9,9 \quad (19)$$

Дальше робимо перевірку на необхідну товщину гуми :

$$\delta = \frac{B}{9,9}$$

$$\delta = \frac{0,128}{9,9} = 0,013 \text{ м}$$

І в кінцевому визначаю енергоємність поглинаючого апарату визначається за формулою 8:

$$E_a \max = \frac{14184,48 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,077^2 + \frac{1769,411 \cdot 10^6}{4} \cdot 0,077^4 +$$

$$+ 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot 12894,98 \cdot 10^3 \cdot 0,76 \cdot 3,2 \cdot 0,077 = 75,47 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} = 75,47 \text{ кДж}$$

Далі записуємо силову характеристику ПА з гумовим елементами, яка отримана в результаті досліду:

$$T(x) = (c_p + a_p \cdot \operatorname{sgn} v) \cdot x + \beta_p \cdot x^3 + \mu_p \cdot c_p \cdot v,$$

де $T(x)$ - сила, яка діє на апарат;

- при стисненні ПА:

$$\begin{aligned} T(x) &= (12894,98 \cdot 10^3 + 1289,4 \cdot 10^3) \cdot x + 1769,411 \cdot 10^6 \cdot x^3 + 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot 12894,98 \cdot 10^3 \cdot 3,2 = \\ &= 14,18 \cdot 10^6 \cdot x + 1769,411 \cdot 10^6 \cdot x^3 + 0,3 \cdot 10^6 = 14,18 \cdot x + 1769,411 \cdot x^3 + 0,3 \text{ МН} \end{aligned}$$

- при віддачі ПА:

$$\begin{aligned} T(x) &= (12894,98 \cdot 10^3 - 1289,5 \cdot 10^3) \cdot x + 1769,411 \cdot 10^6 \cdot x^3 + 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot 12894,98 \cdot 10^3 \cdot 2,2 = \\ &= 11,61 \cdot 10^6 \cdot x + 1769,411 \cdot 10^6 \cdot x^3 + 0,2 \cdot 10^6 = 11,61 \cdot x + 1769,411 \cdot x^3 + 0,2 \text{ МН} \end{aligned}$$

- при стисненні ПА:

$$T(x) = 14,18 \cdot x + 1769,411 \cdot x^3 + 0,3, \quad (22.18)$$

- при віддачі ПА:

$$T(x) = 11,61 \cdot x + 1769,411 \cdot x^3 + 0,2, \quad (22.19)$$

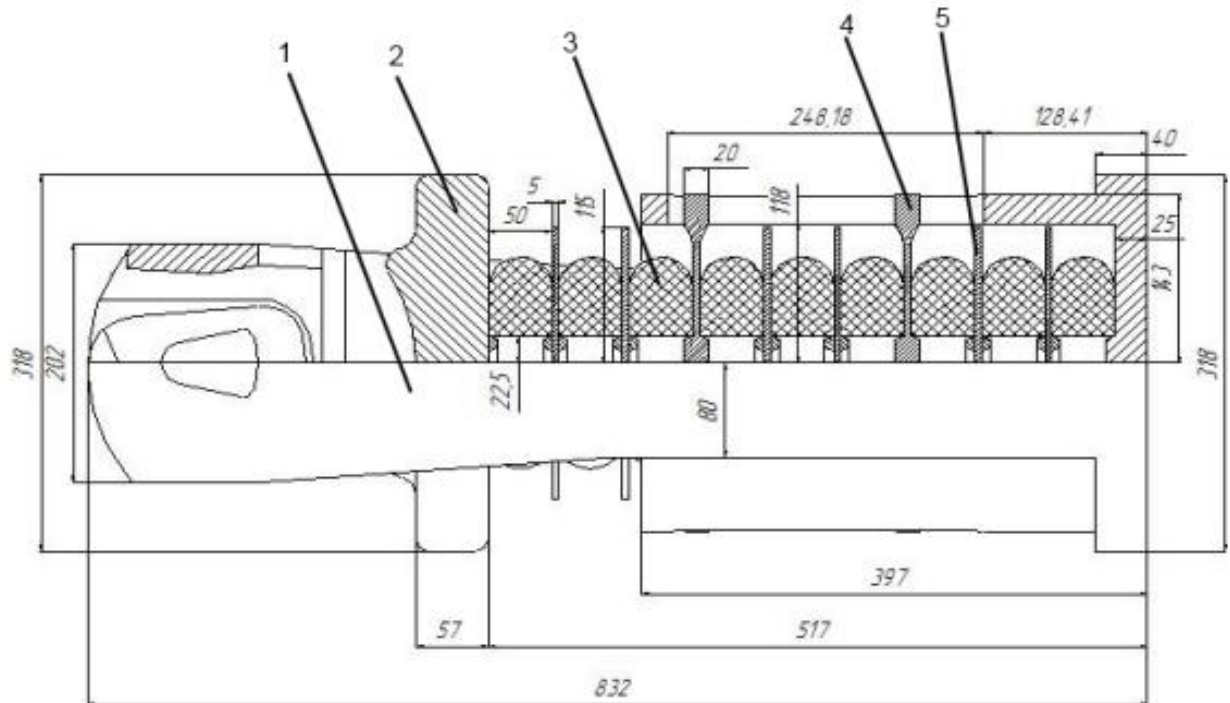
Останній крок робимо з метою побудови сигової характеристики обчислюємо значення сили T в залежно від величини стиснення апарату x за формулами, а значення зводимо в табличну форму:

Таблиця 4 – Результати розрахунку ПА

Стиснення ПА							
X,мм	12	32	52	72	75,5	76,25	77
		(12+20)	(32+20)	(52+20)	(72+3,5)	(75,5+0,75)	(76,25+0,75)
T(x),МН	0,47	0,81	1,29	1,98	2,13	2,17	2,2
Віддачі ПА							
T(x),МН	0,34	0,63	1,05	1,7	1,84	1,87	1,9

4.2 Проект нового ПА при застосуванні нового полімерного матеріалу

Під час визначення найкращих варіантів конструкції було обрано декілька рішень, що представлені на рисунках 15 та 16.

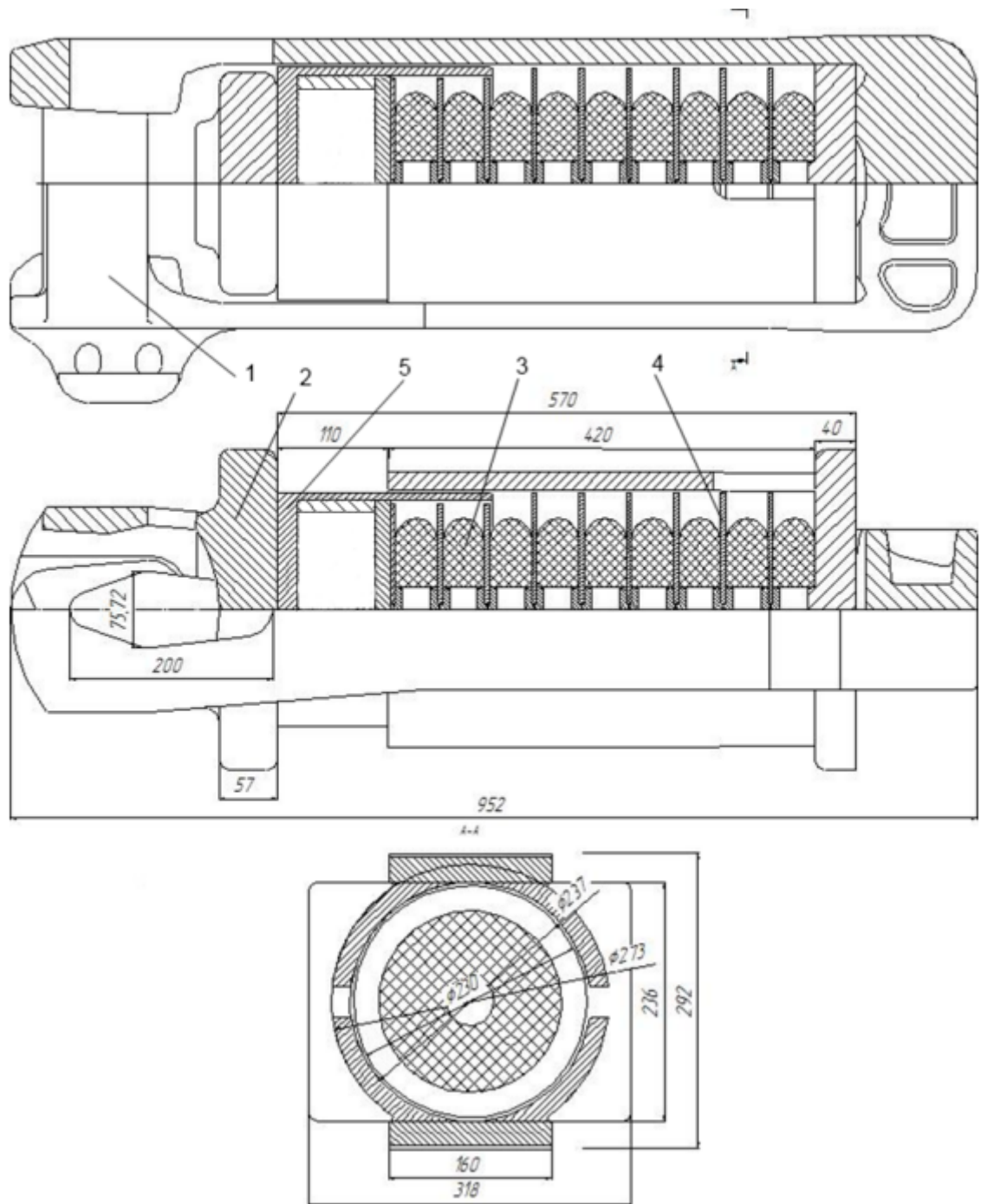


1 – корпус; 2 – нажимна плита; 3 – полімерний елемент; 4, 5 – проміжні пластини

Рисунок 15 – – Ескізний проект апарату без напрямної

Прототип даного поглинального апарату складався з корпусу 1, упорної плити 1, полімерних елементів 3, проміжних пластин 4 і 5.

Складання даного варіанту поглинаючого апарату є достатньо складним, крім того, наявні в цій конструкції пластини можуть контактувати з корпусом, тому в наступному варіанті поглинаючого апарату використовується натискний стакан, який дозволяє вирішити цю проблему.



1 – корпус; 2 – напольглива плита; 3 – полімерний елемент; 4 – проміжні пластини; 5 – нажимний стакан

Рисунок 16 - Ескізний проект апарату з спрямовуючою у вигляді нажимного стакану

У якості пружних елементів тут використовуємо матеріал Durel.

Наступний етап при проектуванні апарату є визначення форми полімерного елемента.

Тут враховуємо спосіб виробництва елементів з цього матеріалу, а також його економічну складову, та максимально можливі геометричні параметри елемента. І в кінцевому була обрана конфігурація полімерного елемента (рис.17).

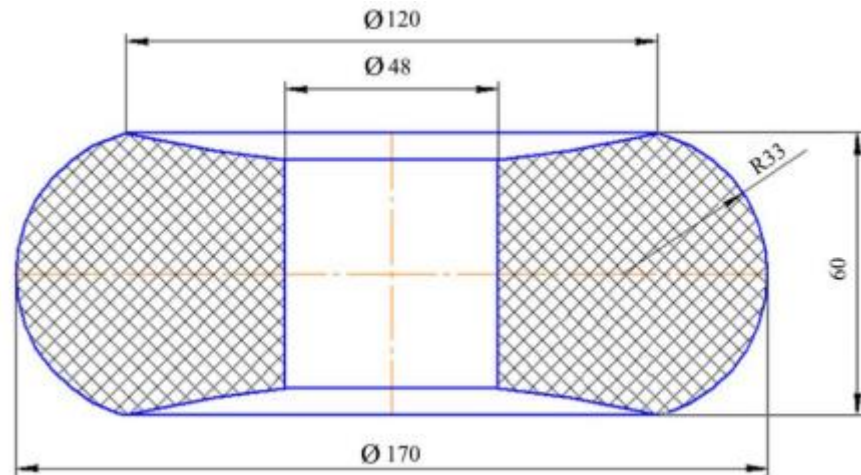
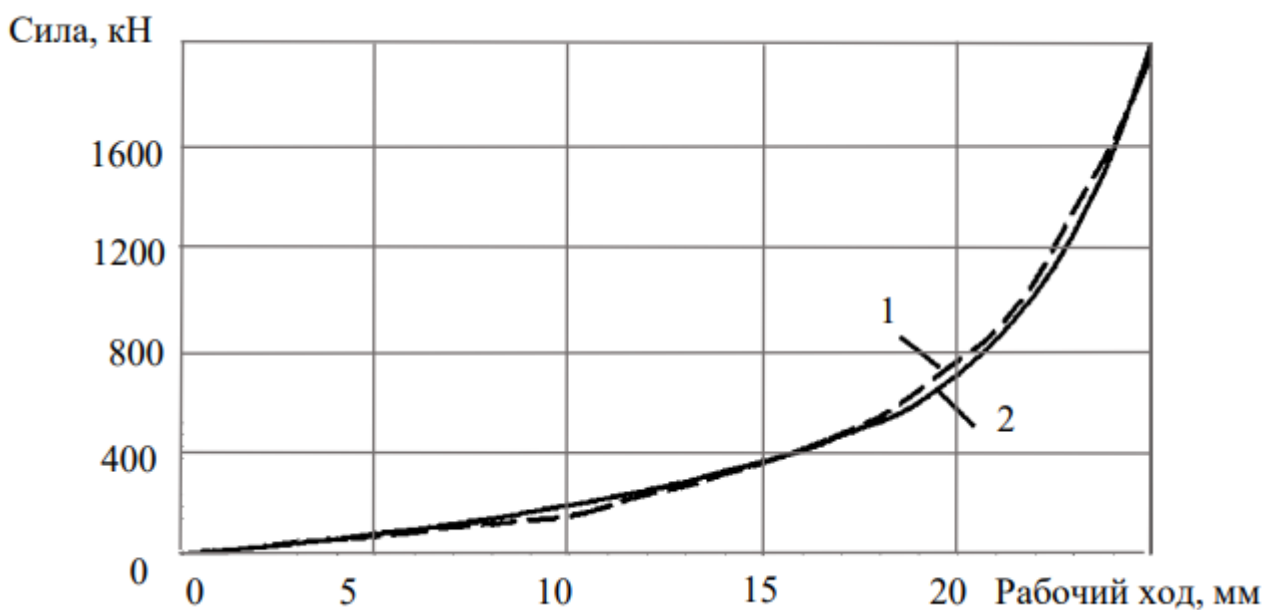


Рисунок 17 - Ескіз полімерного елемента дослідного поглинаючого апарату

Такі випробування проводились науковцями [22], які моделювали даний матеріал для вантажного поглинаючого апарату. Під час моделювання науковцями [22] було виготовлено кінцевоелементну модель одного полімерного елемента.

Звичайно елементна модель заснована на результатах експериментів, що проводяться в лабораторії БДТУ. На рисунку 18 представлені експериментальна та розрахункова силові характеристики полімерного елемента. У таблиці 5 подано основні показники одержаних силових характеристик.



1 – експериментальна; 2 – розрахункова

Рисунок 18 – Силова характеристика полімерного елемента

Таблиця 5 – Результати випробувань полімерного елемента

Характеристика	Коефіцієнт повноти	Енергоємність , кДж	Максимальна сила при стисненні, кН
Експериментальна	0,247	10,53	1700
Розрахункова	0,241	10,51	1710
Розбіжність	-2,2%	-0,2%	0,6%

По аналогії як у поглинальному апараті Р-2П склали ескіз полімерного комплексу з дев'яти елементів для дослідного поглинаючого апарату представлений рисунку 19.

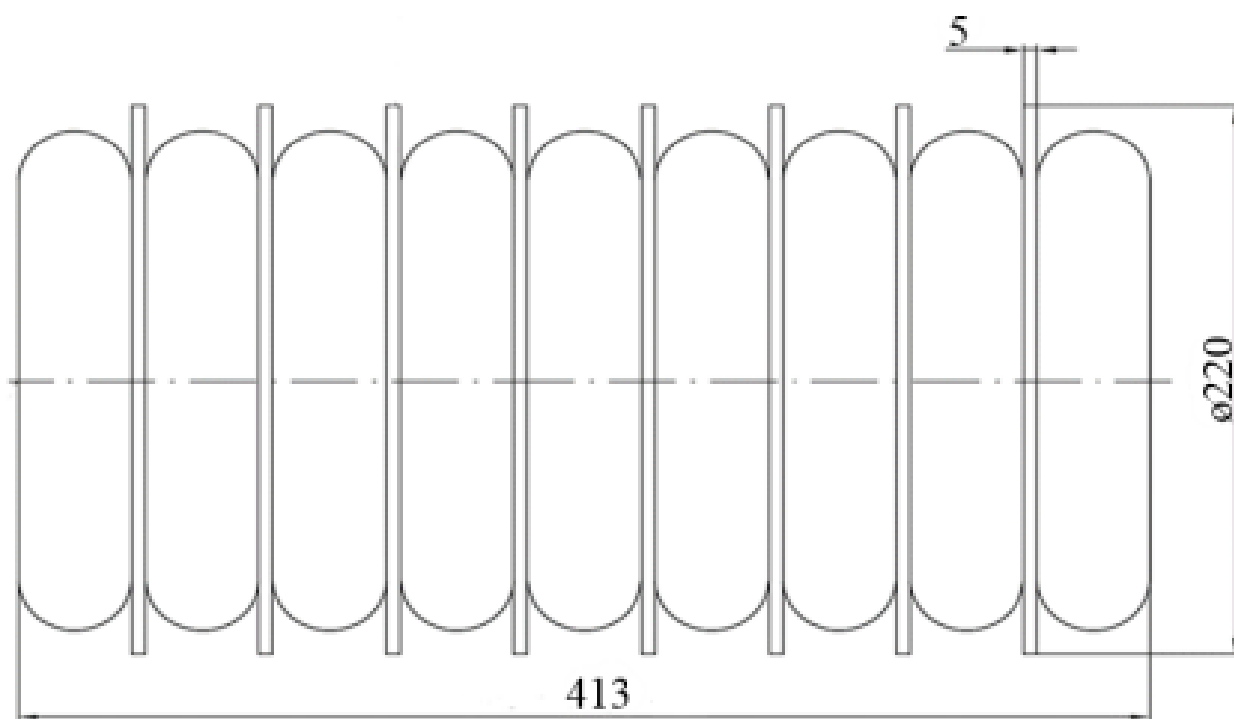


Рисунок 19 – Пропонована модель полімерних блоків для поглинального апарату Р-2П

При проведенні випробувань вченими [22] була отримана наступна силова характеристика , яка приведена на рис. 20.

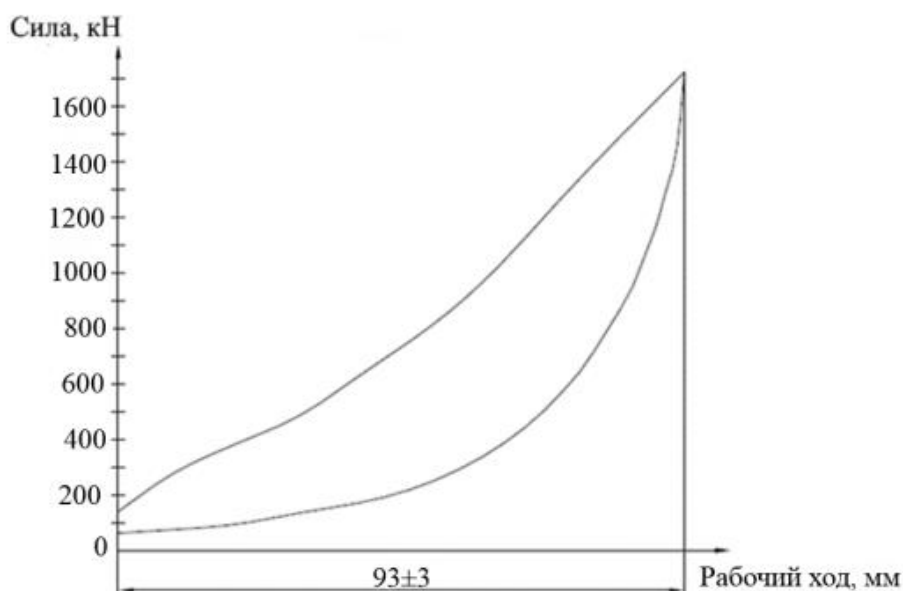


Рисунок 20 – Силова характеристика полімерного боку з 9-и частин

Дана силова характеристика дуже нагадує силову характеристику гумометалевих ПА, правда з тією відмінністю, що параметри тут дещо є вищими : так при ході 95 см – максимальне зусилля становить практично 1700 кН.

4.3 Висновки по розділу 4

Виконавши даний розділ були проведено розрахунок існуючого ПА типу Р-4П та запропоновано варіант модернізації поглинального апарату типу Р-2П за допомогою застосування спеціальних полімерних блоків.

Дану роботу що стосується модернізації поглинальних апаратів доцільно проводити, так як за останні десятиліття практично в цій галузі не змінилось.

Використовуючи досвід , який мають напрацьований при експлуатації вантажних вагонів можна добитись швидких та позитивних результатів та перейти до класу енергоємності П2 або П3

5. ШЛЯХИ ТА НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПОГЛИНАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Аналізуючи статистику ушкоджень та несправностей еластомірних ПА , яка склала 4,9% та 5,9% в 2017 та 2018 році відповідно. Несправності ПА пружно полімерно фрикційного типу склали відповідно 1,8% та 1,5 %.

Маючи такі значення можна зробити висновки, що еластомірні ПА в експлуатації частіше виходять з ладу ніж ПА пружно полімерно фрикційного типу.

Багато виробників пропонує еластомірні ПА. Тому виникає питання в доцільності переводити всі вагони на ПА еластомірного типу.

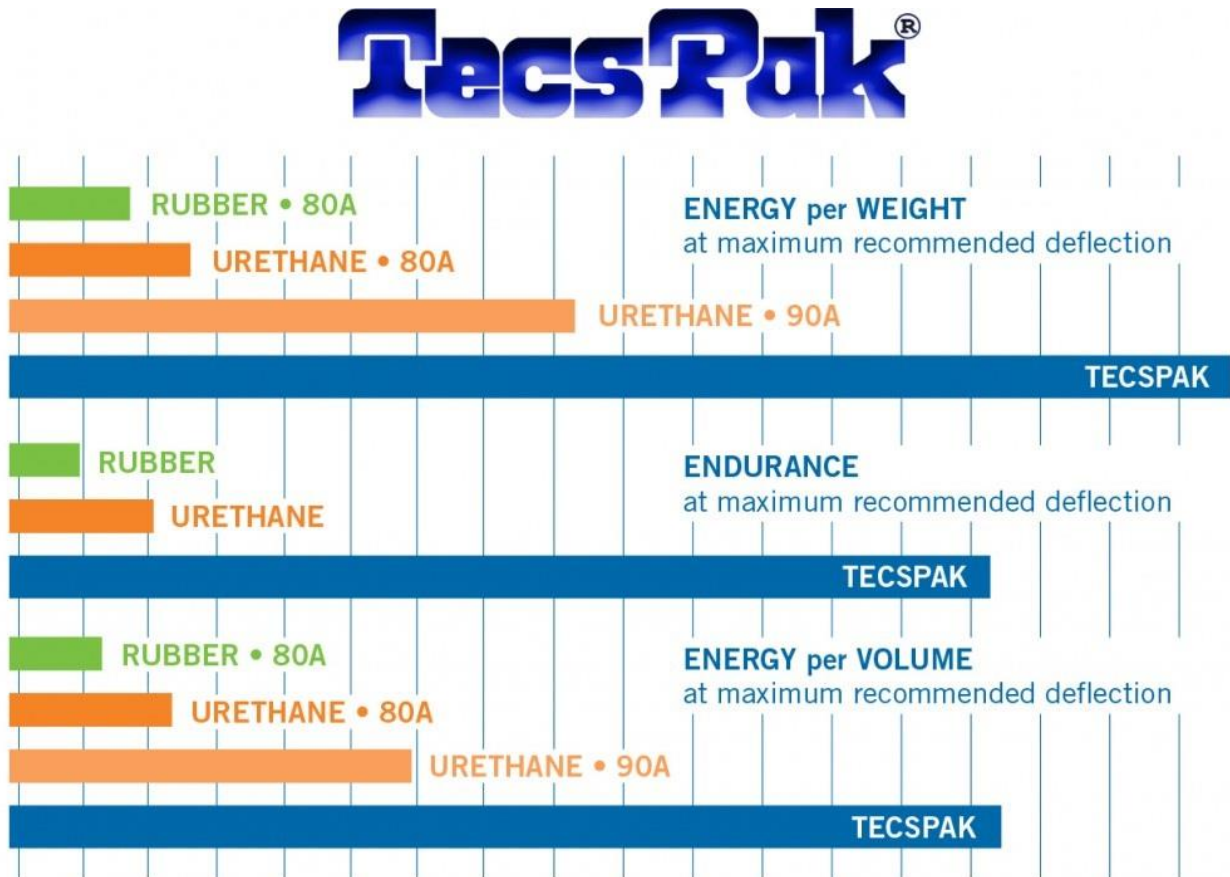
Аналізуючи ринок матеріалів, які застосовуються для вантажних поглинальних апаратів можна сказати, що на даний момент є рішення, які будуть на стороні спеціальних полімерних блоків у деяких випадках – це і будуть спеціальні еластоміри.

Так останні роки компанія «Майнер» випускає поглинаючі апарати з запатентовано пружинним блоком TecсPак®, який може випускатись в діапазоні різноманітних енергоємностей, як для вантажних так і для пасажирських вагонів. [4, 31]. Загальний вигляд такого пружинного блоку полімерного або еластомірного представлений на рис. 21 з технічними даними в табл. 6.



Рисунок 21 – Загальний вигляд пружинного блоку TecсPак®

Таблиця 6 – Технічні параметри полімерних пружинних блоків TecSPak®



При виготовленні компанія TecSPak® використовує спеціальний термопластичний еластомір. А завдяки використанню дизайну конфігурації та геометрії фігури та запатентованій обробці отримують дуже цікавий та унікальний пружинний матеріал.

“Еластомір” - це інша назва того матеріалу фірми «Майнер» з гумоподібними характеристиками. Даний матеріал є еластичний і розтягується.

Фактично існує два основних класи еластомерів: термореактивні та термопластичні.

Термореактивні еластомери поєднуються з 30-ма різними інгредієнтами під час нагрівання і дії тиску, що дає нам гумоподібний матеріал з більшими властивостями, ніж гума.

Термопластичний еластомер отримується в результаті плавлення під впливом сильного тепла і в кінцевому він "замерзає", коли температура опускається нижче температури плавлення. Термопластичні еластомери мають дуже багато характеристик від каучуку та деякі хороші властивості, яких гума не має.

Еластомери що використовується для ПА вагонів повинні мати наступні такі технічні дані та показники в експлуатації:

1. Робота його повинна бути без технічного обслуговування, ніколи не потребує регулювання;
2. Матеріал володіє високою міцністю, що забезпечує тривалий термін служби;
3. Матеріал володіє високим енергопоглинанням в легкій пружинній упаковці;
4. Матеріал володіє та елементи працюють в широкому діапазоні робочих температур (від -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$);
5. Матеріал володіє та елементи працюють та випускається з ультрафіолетовим захистом;
6. Даний матеріал розроблений відповідно до EN-15551 для буферів та EN-15566 для гвинтових пружин
7. Має гарантійний термін 5 мільйонів стискань безвідмовної роботи.

Отже підсумовуючи можна зробити такі основні висновки:

- Зі збільшенням швидкостей потрібно ставити поглинальні апарати більшої енергоємності;
- Потрібно робити перехід з пружино-фрикційних поглинальних апаратів на гумометалеві;
- Потрібно пробувати зробити модернізацію поглинального апарату типу ПР-2П під полімерні блоки;
- Продовжити наукові роботи по експлуатації та випробовуванню еластомірних поглинальних апаратів типу ЕПУ-2, які ще 2002 році працювали і не стали в серійне виробництво.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Під час виконання роботи та в процесі роботи було напрацьовано багато матеріалу та проведено розрахунки та запропоновано зміни до конструкції поглинального апарату типу Р-2П з встановленням полімерних блоків

Підсумовуючи роботу можна прийти до наступних висновків:

1. Потрібно замінювати старотипні пружино-фрикційні поглинаючі апарати на нові апарати (еластомірні, гумометалеві, полімерні);
2. Також як варіант є застосування поглинаючих поглинальних апаратів з подовженим тяговим хомутом, що збільшить хід поглинального апарату;
3. Дослідження по впровадженню нових типів полімерних блоків можна починати виходячи із багатого досвіду робіт проведених для вантажних вагонів
4. Виникає запитання до розробників ДСТУ ГОСТ 32913:2016 що стосується класів пасажирських поглинаючих апаратів яких є 5, а по факту виробники виготовляють лишень перші два-три;
5. Для гармонізації документів потрібно звернутись до пам'яток УІС 524 в яких є відмінності від ДСТУ ГОСТ 32913:2016
6. Зі збільшенням швидкостей руху потрібно підвищувати клас поглинальних апаратів, а для того потрібно розробити їх або продивитись підходящі, які є на ринку та виробляються виробниками
7. Поряд з поглинальними апаратами слід приділити увагу буферним пристроям, які в пасажирських вагонах відіграють важливу роль
8. Окрім всього вказаного ще також слід звернути увагу на пасивну безпеку рухомого складу, яка все частіше застосовується

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety (Text with EEA relevance) OJ L 138, 26.5.2016, p.
2. OSJD Leaflet No. O + R 521/1 “Mixed traction coupling of railway rolling stock. Basic technical requirements
3. OSJD Leaflet No. O + R 521/3 “Traction gear for mixed traction coupling of railway rolling stock. Basic technical requirements” .
4. OSJD Leaflet No. O+ R 430-4 “Freight cars for communication between 1435 mm gauge railways and 1520 mm gauge railways. Technical regulations and technical conditions for the admission of wagons”
5. Design and calculation of cars [Text]: textbook for railway universities. transport / V.V. Lukin [etc.]; edited by P. S. Anisimova. – M.: “Training and Methodological Center for Education in Railway Transport”, 2011. – 688 p. TSI WAG режим доступу <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1536757575300&uri=CELEX%3A32006D0861>
6. Design and calculation of cars [Text]: textbook for railway universities. transport / V.V. Lukin [etc.]; edited by V.V. Lukina. – M.: UMK Ministry of Railways of Russia, 2000. – 731 p.
7. Lukin, V.V. Cars. General course [Text]: textbook for railway universities. transe. / V. V. Lukin, P. S. Anisimov, Yu. P. Fedoseev; under. ed. V.V. Lukina. – Moscow, Route, 2004. – 424 p.
8. Nikolsky, L. N. Friction shock absorbers [Text] / L. N. Nikolsky. – M.: Mechanical Engineering, 1964 - 167 p.
9. Nikolsky, L. N. Shock absorbers of rolling stock [Text] / L. N. Nikolsky, B. G. Keglin. – M.: Mechanical Engineering, 1986 - 144 p.
10. Keglin, B. G. Parametric reliability of friction devices [Text] / B. G. Keglin. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – 135 p.
11. Keglin, B. G. Prospects for improving shock absorbers for rolling stock [Text] / B. G. Keglin // Questions of research into the dynamics and reliability of rolling

stock and transport vehicles: collection. scientific works – BITM, Bryansk, 1988 – p. 4-6.

12. Keglin, B. G. Current state and main problems of improving automatic coupler draft gears [Text] / B. G. Keglin // Dynamics of strength and reliability of transport machines: collection. scientific works – BITM, Bryansk, 1992. – p. 6-10.

13. Boldyrev, A. P. Optimization of parameters of hydro-friction draft gears for automatic couplers of refrigerated cars [Text] / A. P. Boldyrev // Problems of railway transport mechanics. Increasing reliability and improving the design of rolling stock: abstract. report – DIIT, Dnepropetrovsk, 1988. – p. 8-9.

14. Boldyrev, A.P. Shalimov P.Yu. Research on the operation of hydrofriction draft gears with hydraulic volumetric thrust [Text] / A.P. Boldyrev, P.Yu. Shalimov // Dynamics of carriages: collection. scientific works – LIIZH, Leningrad, 1993. – p. 60-69.

15. Boldyrev, A.P. Scientific principles for improving automatic coupler draft gears [Text]: abstract. dis. ... Doctor of Technical Sciences // A. P. Boldyrev. – St. Petersburg 2006. – 40 p.

16. Three-chamber hydro-gas apparatus for automatic coupling of rolling stock [Text] / Z. O. Karakashyan [et al.]: collection of scientific works. Proceedings of MIIT, vol. 451. – Moscow, MIIT, 1975. – p. 165-168.

17. Pershin, V. Ya. Research of hydro-gas draft gears of automatic couplers with quasi-soft elastic characteristics [Text]: abstract. dis... cand. tech. Sciences // V. Ya. Pershin. – Moscow, 1978. – 24 p.

18. Bespalko, S. V. Development and analysis of models of damaging effects on tank boilers for transporting cryogenic products [Text]: abstract. diss. ..Dr.Tech. Sciences / S. V. Bespalko. – Moscow, MIIT, 2000. – 36 p.

19. Andriyanov, S. S. Loading of elements of specialized cars equipped with shock absorbers of increased energy intensity [Text]: abstract. diss. ... cand. tech. Sciences / S. S. Andriyanov. – Moscow, MIIT, 2006. – p. 24.

20. Lazaryan, V. A. On the issue of the influence of the characteristics of connections of one-dimensional mechanical systems on transient modes of motion [Text]

/ V.A. Lazaryan [and others] // Proceedings of DIIT, vol. 59. “Study of transient modes of movement and dynamics of rolling stock.” – Moscow, Transport, 1966. – p. 3-9

21. Пуларія, А. Л. Дослідження роботи еластомірних поглинаючих апаратів типу ЕПУ-2, встановлених на вагонах швидкісного поїзда / А. Л. Пуларія, О. В. Шатунов, М. А. Грічаний // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 1. – С. 110–112. – DOI: 10.15802/stp2003/21490.

22. Kravtsov S.A. Improving calculation methods and increasing the efficiency of draft gears with polymer elements, dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Bryansk. BITM- 2023- 143s

23. Lazaryan, V. A. On transient modes of train movement [Text] / V. A. Lazaryan // Proceedings of DIIT, vol. 152. “Research on the dynamics of rail vehicles.” – Dnepropetrovsk, 1973. – p. 3-44.

24. Blokhin, E.P. Manashkin L.A. Train dynamics [Text] / E.P. Blokhin, L.A. Manashkin. – Moscow, Transport, 1982. – 222 p.

25. Blokhin, E.P. About the forces in automatic couplers when starting a compressed train composed of gondola cars and tanks [Text] / E.P. Blokhin, L.A. Manashkin // Issues of improving the technical maintenance of cars and improving the running parts. Interuniversity collection of scientific works, DIIT, Dnepropetrovsk. – 1982. – p. 31-34

26. Blokhin, E. P. On the influence of the characteristics of automatic coupler draft gears and air distributors of automatic brakes of freight and passenger cars on the longitudinal load of long trains [Text] / E. P. Blokhin [et al.]: mat. conf. “Prospects for the development of carriage building”; abstract report – Moscow, VNIIV, 1988 – p. 34-35.

27. Manashkin, L. A. Dynamics of cars, couplings and trains under longitudinal impacts [Text]: abstract. dis. ... Dr. Tech. Sciences / L.A. Manashkin. – L: 1980. – 44 p.

28. Vershinsky, S. V. Longitudinal dynamics of cars in freight trains [Text] / S. V. Vershinsky // Proceedings of VNIIZhT, 1957, vol. 143. – 263 p.

29. Dynamics of cars [Text]; edited by prof. S.V. Vershinsky. – Moscow, Transport, 1976. – 352 p.

30. Standards for the calculation and design of railway cars of the Ministry of Railways, 1520 mm gauge. (non-self-propelled) [Text]. – Moscow, GosNIIV-VNIIZhT, 1996. – 319 p.

31. Technical requirements for the development of automatic coupling devices for new generation freight cars [Text]. No. 10/31, CVA, Ministry of Railways, 1999. – 5 p.

32. Koturanov, V.A. Increasing the energy intensity of draft gears of freight cars [Text] V.A. Koturanov // Transport of the Russian Federation. – St. Petersburg, 2013. – p. 40-42

33. Automatic coupling device of railway rolling stock: monograph / V.V. Kolomiychenko, N.A. Kostina, V.D. Prokhorenkov, V.I. Belyaev;]. - Moscow: Transport, 1991. - 232 p. : ill.

34. Manashkin, L. A. Vibration dampers and shock absorbers of rail carriages (mathematical models): monograph / L. A. Manashkin, S. V. Myamlin, V. I. Prikhodko. - D.: ART-PRES, 2007. - 196 p.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/da/98/11/2e98ef89b813dd/WO2012166075A1.pdf>

35. [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://rcit.su/proj-zda5-22.html>

36. [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://www.minerent.com/Draft_Gear-Overview.php

37. [Электрон. ресурс] – Режим доступа: http://www.science-bsea.narod.ru/2009/mashin_2009_2/boldyrev_mat.htm

38. [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.eastrailway.com/plus/view.php?aid=216>

39. Пам'ятка ОСЖД О + Р 521/1. Смешанная тяговая сцепка железнодорожного подвижного состава. Основные технические требования.

40. Пам'ятка ОСЖД О 521/3. Поглощающие аппараты для смешанной тяговой сцепки железнодорожного подвижного состава. Основные технические требования

41. ДСТУ ГОСТ 32913:2016 Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки (ГОСТ 32913-2014, IDT)

42. UIC 524 : 1978 AMD 6 . Wagons; technical specifications governing spring devices for wagons fitted with automatic couplers belonging to the UIC and OSJD member railways

43. GOST R 54749-2011. Coupling and automatic coupling devices for railway rolling stock.

44. Kozlov, M.P. Calculation assessment of the performance characteristics of draft gears [Text]. M.P. Kozlov, V.A. Koturanov // Railway transport – 2014, – No. 2, – p.72-73 Tao Zhu, Bao-zhu Yang, Chao Yang, Shou-ne Xiao, Guang-wu Yang & Bin Yang The mechanism for the coupler and draft gear and its influence on safety during a train collision. Режим доступа <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1413198>

45. Koturanov V.A. Justification of indicators characterizing the innovativeness of the designs of automatic coupler draft gears under conditions of shunting collisions. Text]: . dis. k – yes. technical sciences // V.A. Koturanov. – МИИТ 2014. – 181 p.