

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ЕКІПАЖІВ МОТОРВАГОННОГО ШВИДКІСНОГО ПОЇЗДА З СИСТЕМОЮ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ЙОГО ЗІТКНЕННІ З ВАНТАЖНИМ ВАГОНОМ

Інститут технічної механіки

*Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: sobmb@i.ua*

Характеристики вагонів сучасного вітчизняного швидкісного моторвагонного поїзда повинні відповідати діючим в Україні стандартам ДСТУ EN 12663, ДСТУ EN 15227, що регламентують його міцність в експлуатації та пасивну безпеку при аварійних зіткненнях. В нові конструкції вагонів повинні бути інтегровані системи пасивної безпеки (СПБ) з пристроями поглинання енергії (ППЕ), які при зіткненні поїзда з перешкодою дозволять зберегти життя пасажирів, поїзної бригади та зменшити пошкодження рухомого складу. Мета роботи – оцінка динамічної навантаженості екіпажів моторвагонного поїзда з СПБ при його зіткненні з вантажним вагоном згідно з умовами сценарію 2 ДСТУ EN 15227. Науковою новизною статті є математична модель для дослідження зіткнення моторвагонного поїзда з вантажним вагоном на основі розробленої математичної моделі зіткнення ідентичних моторвагонних поїздів (сценарій 1 ДСТУ EN 15227) з урахуванням силової характеристики взаємодії головного та вантажного вагонів в аварійній ситуації. Запропонована математична модель дозволяє отримати середні значення прискорень екіпажів і пластичних деформацій їх конструкцій для порівняння з допустимими значеннями згідно з критеріями ДСТУ EN 15227. Проведено дослідження динамічної навантаженості екіпажів моторвагонного поїзда з СПБ при його зіткненні зі швидкістю 36 км/год з вантажним вагоном масою 80 т. Розглянуто еталонний поїзд, що складається з головного вагона масою 80 т і чотирьох проміжних вагонів масою 50 т (відповідає масі більшості видів вагонів на європейських залізницях з шириною колії 1435 мм), а також масою 64 т (відповідає типовій масі проміжного вагона, що використовується на вітчизняних залізницях з шириною колії 1520 мм). Для пасивної безпеки поїзда запропоновано використовувати розроблені в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України захисні пристрої ППЕ 1 з енергоємністю 0,95 МДж для установки на рівні автозчепів в лобовій частині головного вагона, ППЕ 2 з енергоємністю 0,25 МДж та ППЕ 3 з енергоємністю 0,3 МДж для установки на рівні автозчепів у хвостовій частині головного вагону та у кінцевих частинах пасажирських вагонів відповідно з масами 50 т та 64 т, а також пристрої поглинання енергії верхнього рівня (ППЕ ВР) з енергоємністю 0,12 МДж для установки в лобовій підвіконній частині головного вагона. В результаті проведених досліджень встановлено, що за критеріями ДСТУ EN 15227 для поїзда з масою проміжних вагонів 50 т доцільним є пасивний захист згідно з варіантом 1 (лобову частину головного вагона обладнано двома ППЕ 1 та двома ППЕ ВР, його хвостову частину – двома ППЕ 2, проміжні вагони обладнано спереду і ззаду двома ППЕ 2), а для поїзда з масою проміжних вагонів 64 т – пасивний захист згідно з варіантом 2 (спереду головний вагон обладнано двома ППЕ 1 та двома ППЕ ВР, ззаду головний вагон та спереду і ззаду проміжні вагони обладнано двома ППЕ 3). Запропонована математична модель і результати виконаних досліджень можуть бути використані при проектуванні головних та проміжних вагонів вітчизняного моторвагонного пасажирського поїзда з урахуванням вимог ДСТУ EN 15227.

Ключові слова: аварійне зіткнення, моторвагонний поїзд, вантажний вагон, головний вагон, система пасивної безпеки, пристрої поглинання енергії.

The performance characteristics of the cars of a modern home high-speed motor-car train must meet Ukrainian State Standards DSTU EN 12663 and DSTU EN 15227 now in force in Ukraine, which regulate its crashworthiness and passive safety in emergency collisions. An integral part of new cars must be passive safety systems (PSSs) with energy-absorbing devices (EADs), which save the lives of the passengers and the train crew and reduce car damage in a collision with an obstacle. The aim of this paper is to evaluate dynamic loads on the cars of PSS-equipped motor-car train in its collision with a freight car according to Scenario 2 of DSTU EN 15227. The scientific novelty of the paper is a mathematical model for the study of a collision of a motor-car train with a freight car based on the authors' model of a collision of identical motor-car trains (Scenario 1 of DSTU EN 15227) with account for the force characteristic of head car – freight car interaction in an emergency. The proposed mathematical model allows one to obtain the average values of the car accelerations and plastic deformations to compare them with their admissible values according to DSTU EN 15227. The paper presents the results of a study of dynamic loads on the cars of a PSS-equipped motor-car train in its collision at 36 km/h with a 80 t freight car for a reference train with a 80 head car and four intermediate cars of mass 50 t, which is the mass of the majority of cars on the 1,435 mm European railways, and 64 t, which is the typical mass of intermediate cars used in the 1,520 mm Ukrainian railways. The following protective devices developed at the Institute of Technical mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine are proposed for passive protection: EAD 1 devices of energy capacity 0.95 MJ to be mounted at the coupler level at the head car front end, EAD 2 devices of energy capacity 0.25 MJ and EAD 3 devices of energy capacity 0.3 MJ to be mounted at the coupler level at the head car rear end and at the ends of passenger cars of mass 50 t and

© М. Б. Соболевська, Н. Ю. Науменко, Д. В. Горобець, 2020

64 t, respectively, and EAD UL upper-level energy-absorbing devices of energy capacity of 0.12 MJ to be mounted at the head car front end under the window. It is shown that by the criteria of DSTU EN 15227 for a train with 50 t intermediate cars it is advisable to use the passive protection according to Scenario 1 (the front end of the head car is equipped with two EAD 1 and two EAD UL devices, its rear end is equipped with two EAD 2 devices, and the intermediate cars are equipped with two EAD 2 devices at the front and at the rear), while for a train with 64 t intermediate cars it is advisable to use the passive protection according to Scenario 2 (the front end of the head car is equipped with two EAD 1 and two EAD UL devices, its rear end is equipped with two EAD 3 devices, and the intermediate cars are equipped with two EAD 3 devices at the front and at the rear). The proposed mathematical model and the results obtained may be used in designing head and intermediate cars for a home motor-car passenger train in accordance with the DSTU EN 15227 requirements.

Keywords: emergency collision, motor-car train, freight car, head car, passive safety system, energy-absorbing devices.

Вступ. Характеристики вагонів сучасного вітчизняного швидкісного моторвагонного поїзда повинні відповідати діючим в Україні стандартам DSTU EN 12663 [1], DSTU EN 15227 [2], що регламентують міцність пасажирських поїздів в експлуатації та їх пасивну безпеку при зіткненнях з перешкодами на вітчизняних залізничних коліях. Стандарти DSTU EN 12663 та DSTU EN 15227 є ідентичними європейським стандартам EN 12663 [3] і EN 15227 [4].

Стандартом DSTU EN 15227 визначено сценарії зіткнень, еталонний моторвагонний поїзд, а також критерії оцінки відповідності розроблених конструкцій рухомого складу з системою пасивної безпеки (СПБ) нормативним вимогам. Головна вимога полягає в тому, що при визначених стандартом сценаріях зіткнень середнє значення поздовжнього прискорення в зонах безпеки не повинно перевищувати допустимого значення. Середнє значення прискорення для кожної розглянутої одиниці поїзної складу визначається, починаючи з моменту часу, коли результуюча контактна сила перевищить нульове значення, і до моменту часу, коли це значення знову впаде до нуля. Обов'язковою вимогою DSTU EN 15227 є збереження неушкодженим простору для виживання пасажирів і поїзної бригади (зони безпеки) при визначених сценаріях зіткнень протягом усього часу деформування пристроїв поглинання енергії (ППЕ), що входять до складу СПБ. Місцеві пластичні деформації допускаються за умови, що їх області обмежені, тобто такі деформації не призводять до зменшення зон безпеки.

Сценарій 1 DSTU EN 15227 описує лобове зіткнення двох ідентичних еталонних моторвагонних поїздів зі швидкістю 36 км/год. Математичному моделюванню динамічної навантаженості головного вагона з СПБ при зіткненні ідентичних моторвагонних поїздів присвячено статтю [5]. У даній статті розглядається сценарій 2, який описує зіткнення зі швидкістю 36 км/год еталонного моторвагонного поїзда з вантажним вагоном. Для сценаріїв 1 та 2 допустимим середнім значенням поздовжнього прискорення в зонах безпеки є $5g$ (g – прискорення вільного падіння).

Пасивний захист європейського моторвагонного рухомого складу [6 – 8] організовано згідно з вимогами EN 15227 таким чином, що основну частину енергії аварійного зіткнення поглинають ППЕ нижнього та верхнього рівнів, інтегровані в конструкції головних вагонів перед кабіною машиніста. ППЕ нижнього рівня розташовано на рівні зчпного пристрою, а ППЕ верхнього рівня встановлено в лобовій підвіконній частині кабіни машиніста. Каркас кабіни з пультом управління є посиленою зоною безпеки для виживання і евакуації машиніста при аварійному зіткненні. Головний вагон має несучий кузов, що забезпечує можливість роботи елементів СПБ при зіткненні.

Проміжні вагони моторвагонного поїзда обладнуються протипідйомними і зчіпними пристроями з енергопоглинальними елементами.

Характеристики сучасних російських головних вагонів з СПБ відповідають ГОСТ 32410-2013 [9], який не є еквівалентним EN 15227. Згідно з ГОСТ 32410-2013 в сценарії зіткнення поїзда на переїзді з транспортним засобом в якості останнього розглядається низька недеформівна перешкода. Тому в конструкціях російських головних вагонів ППЕ верхнього рівня не використовуються [10 – 12].

В Україні стандарти ДСТУ EN 12663 та ДСТУ EN 15227 введено в дію у 2016 році, а перший український електропоїзд (“Тарпан”) з СПБ, яку розроблено польською компанією згідно вимог EN 15227, створено в 2013 році ПАТ “Крюковський вагонобудівний завод” [13]. Ця СПБ включає два коробчастих сталевих ППЕ, розташованих на рівні буферного бруса, два ППЕ на рівні підлоги кабіни та п’ять ППЕ на рівні підвіконного бруса. Головний вагон електропоїзда має несучу конструкцію з нержавіючої сталі, обладнаний автозчепом СА-3, який при зіткненні повинен зсуватися назад у підвагонний простір. Міжвагонні з’єднання обладнано безазорними зчіпними пристроями (БЗП). Слід зазначити, що теоретичної та експериментальної перевірки створеної конструкції головного вагона з СПБ на відповідність вимогам ДСТУ EN 15227 не проводилося.

На теперішній час актуальною проблемою в Україні є кардинальне оновлення залізничної галузі, підвищення безпеки пасажирських перевезень, організація власного виробництва екіпажів швидкісних моторвагонних поїздів з СПБ згідно з вимогами діючих ДСТУ EN 12663 та ДСТУ EN 15227. Розробка нового покоління пасажирських вагонів повинна базуватися на результатах математичного моделювання їх навантаженості в експлуатації та при аварійних зіткненнях та відповідних експериментальних випробуваннях.

Постановка задачі. Мета роботи – оцінка динамічної навантаженості екіпажів моторвагонного поїзда з СПБ при його зіткненні зі швидкістю 36 км/год з вантажним вагоном масою 80 т згідно з умовами сценарію 2 ДСТУ EN 15227. Розрахункову схему для дослідження аварійного зіткнення еталонного поїзда з вантажним вагоном наведено на рис. 1.

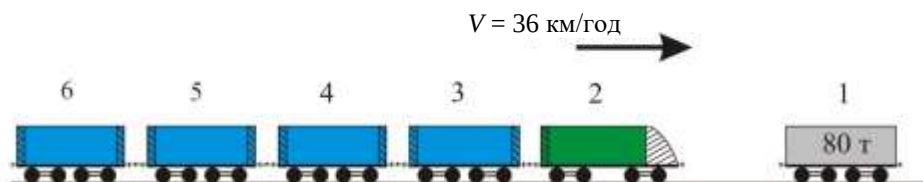


Рис. 1

Згідно з ДСТУ EN 15227 еталонний моторвагонний поїзд складається з головного вагона і чотирьох проміжних вагонів. Відповідно до розробленої концепції пасивного захисту пасажирського поїзда при зіткненнях на колії з шириною 1520 мм [14] в конструкції головних і проміжних вагонів мають бути інтегровані системи пасивної безпеки, які включають автозчепні ударно-тягові пристрої, що можуть зсуватися у підвагонний простір при аварійному зіткненні, протипідйомні пристрої та пристрої поглинання енергії. У хвостових частинах головних вагонів і на причіпних вагонах встановлюються безазорні зчіпні пристрої. В експлуатації БЗП працюють в

штатному режимі – поглинання енергії зіткнення відбувається за рахунок роботи поглинаючих апаратів Р-2П, при закритті яких навантаження передається на раму кузова вагона. Вантажний вагон, з яким відбувається зіткнення еталонного поїзда, обладнано автозчепом СА-3 з поглинальним апаратом Р-2П.

В даній статті розглядається еталонний моторвагонний поїзд, що складається з головного вагона масою 80 т і чотирьох проміжних вагонів. Дослідження проведено для проміжних вагонів масою 50 т (відповідає масі більшості видів вагонів на європейських залізницях з шириною колії 1435 мм), а також масою 64 т (відповідає типовій масі проміжного вагона, що використовується на вітчизняних залізницях з шириною колії 1520 мм). Прийнято, що позовжня сила, при якій виникають пластичні деформації в конструкціях екіпажів, для головних вагонів становить 4,2 МН, для проміжних – 3 МН [15].

У відділі статистичної динаміки і динаміки багатовимірних механічних систем Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) розроблено захисні пристрої ППЕ 1 з енергоємністю 0,95 МДж для установки на рівні автозчепів в кінцевих частинах швидкісних пасажирських локомотивів масою 90 т і 123 т, ППЕ 2 з енергоємністю 0,25 МДж та ППЕ 3 з енергоємністю 0,3 МДж для установки на рівні автозчепів в кінцевих частинах пасажирських вагонів відповідно з масами 50 т та 64 т [15], а також пристрої поглинання енергії верхнього рівня (ППЕ ВР) з енергоємністю 0,12 МДж для установки в лобовій підвіконній частині головного вагона [5].

У даній статті розглядається можливість використання в якості пристроїв поглинання енергії нижнього рівня ППЕ 1 для лобової частини головного вагона, а ППЕ 2 та ППЕ 3 – для хвостової частини головного вагона та для

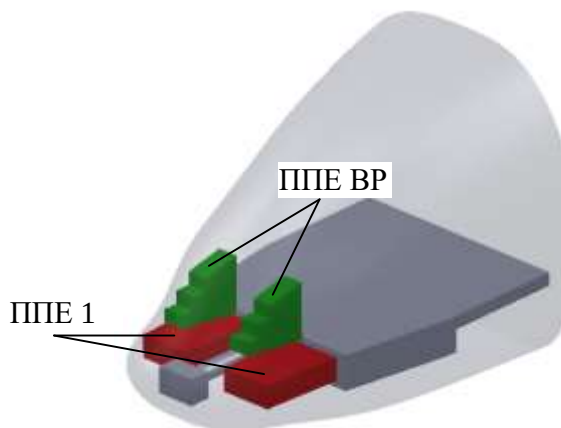


Рис. 2

проміжних вагонів відповідно з масами 50 т та 64 т, а в якості пристроїв поглинання енергії верхнього рівня ППЕ ВР – для лобової підвіконної частини головного вагона. Схему розташування ППЕ в лобовій частині головного вагона показано на рис. 2.

Математична модель.

На основі наведеної в статті [5] математичної моделі зіткнення ідентичних моторвагонних поїздів (сценарій 1

ДСТУ EN 15227) розроблено математичну модель зіткнення моторвагонного поїзда з вантажним вагоном згідно з умовами сценарію 2 ДСТУ EN 15227 з урахуванням особливостей взаємодії головного та вантажного вагонів в аварійній ситуації. При визначенні силової характеристики взаємодії головного та вантажного вагонів враховано, що останній згідно ДСТУ EN 15227 моделюється недеформівною стінкою масою 80 т, шириною 2850 мм, висотою 2490 мм. Нижню кромку стінки розташовано на висоті 850 мм від рівня головки рейки. Схему взаємодії лобової частини головного вагона з вантажним вагоном при їх зіткненні згідно з умовами сценарію 2 наведено на рис. 3.

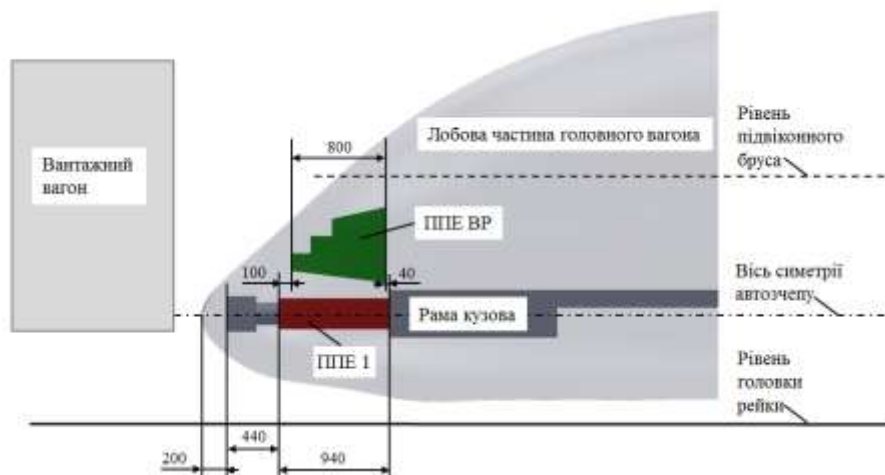


Рис. 3

Поїзд моделюється ланцюжком твердих тіл, з'єднаних між собою суттєво нелінійними елементами. Силова характеристика міжвагонного з'єднання враховує роботу поглинальних апаратів автозчепних пристроїв, можливість зсуву об'єднаних ударно-тягових пристроїв у підвагонний простір, пластичне деформування пристроїв поглинання енергії, можливість виникнення пластичних деформацій в конструкціях головних і проміжних вагонів.

При зіткненні моторвагонного поїзда з вантажним вагоном, коли значення поздовжнього зусилля, що виникає в міжвагонному з'єднанні, перевищує задане значення (2 МН), відбувається руйнування елементів кріплення зчіпного пристрою до рами вагона і відведення його в підвагонний простір. Зусилля взаємодії в міжвагонному з'єднанні дорівнює нулю до моменту зіткнення ППЕ, розташованих в хвостовій і передній частинах сусідніх вагонів. Після цього починають деформуватися ППЕ нижнього і верхнього рівнів. Коли ППЕ повністю спрацювали, зусилля передаються на раму вагона. Залежно від величини стискального зусилля визначаються пружні або пружно-пластичні деформації конструкції кузова вагона.

Для визначення силової характеристики взаємодії головного вагона, обладнаного пристроями пасивного захисту нижнього та верхнього рівнів, з вантажним вагоном при їх зіткненні згідно з умовами сценарію 2 використано кусково-лінійні апроксимації залежностей контактного зусилля між відповідним ППЕ та бойком у вигляді недеформівної стінки масою 80 т від поздовжнього переміщення центру мас бойка при його ударі зі швидкістю 36 км/год [5]. При цьому враховано, що середній рівень контактного зусилля для одного ППЕ 1 дорівнює 1,36 МН. Силу характеристику взаємодії головного вагона з вантажним вагоном при їх зіткненні після початку роботи ППЕ нижнього рівня з урахуванням роботи ППЕ верхнього рівня та конструкції головного вагона показано на рис. 4.



Рис. 4

Математична модель зіткнення моторвагонного поїзда з вантажним вагоном дозволяє отримати середні значення прискорень екіпажів і пластичних деформацій їх конструкцій для порівняння з допустимими значеннями.

Результати досліджень. За допомогою розробленої математичної моделі проведено аналіз динамічної навантаженості екіпажів моторвагонного поїзда з СПБ при зіткненні еталонного моторвагонного поїзда зі швидкістю 36 км/год з вантажним вагоном масою 80 т згідно з умовами сценарію 2 ДСТУ EN 15227.

Розглянуто такі варіанти використання ППЕ нижнього та верхнього рівнів в конструкціях вагонів еталонних поїздів:

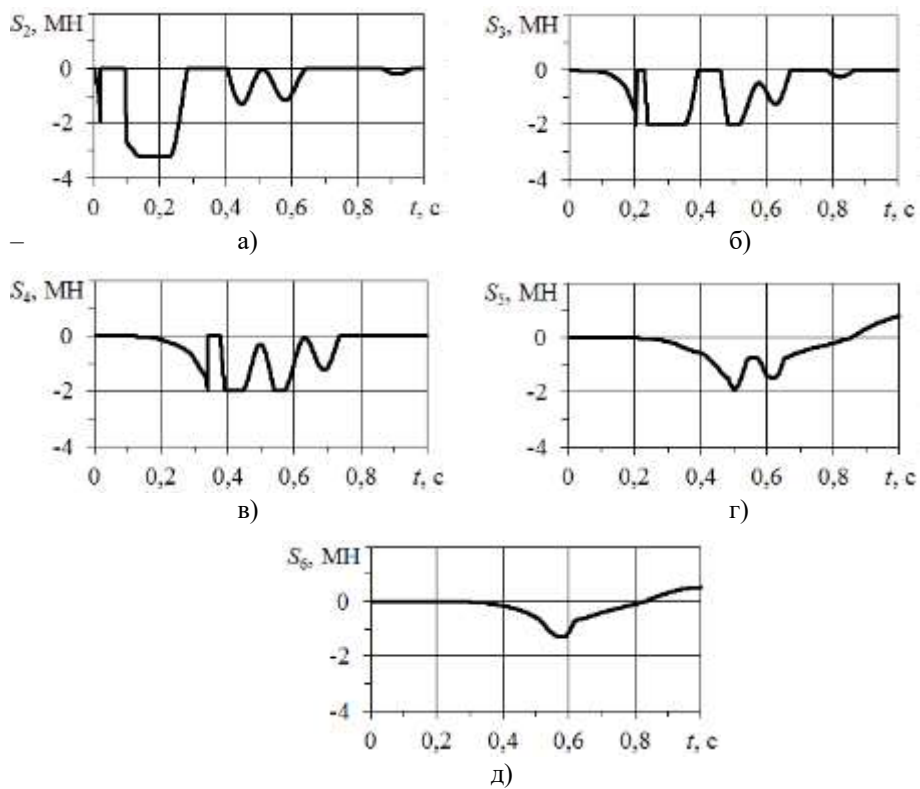
варіант 1 – спереду головний вагон обладнано двома ППЕ 1 та двома ППЕ ВР, ззаду – двома ППЕ 3, проміжні вагони обладнано спереду і ззаду двома ППЕ 3;

варіант 2 – спереду головний вагон обладнано двома ППЕ 1 та двома ППЕ ВР, ззаду – двома ППЕ 2, проміжні вагони обладнано спереду і ззаду двома ППЕ 2.

Результати розрахунків динамічної навантаженості вагонів при зіткненні еталонного поїзда з вантажним вагоном (варіант 1, маси проміжних вагонів 64 т) показано на рис. 5 та рис. 6.

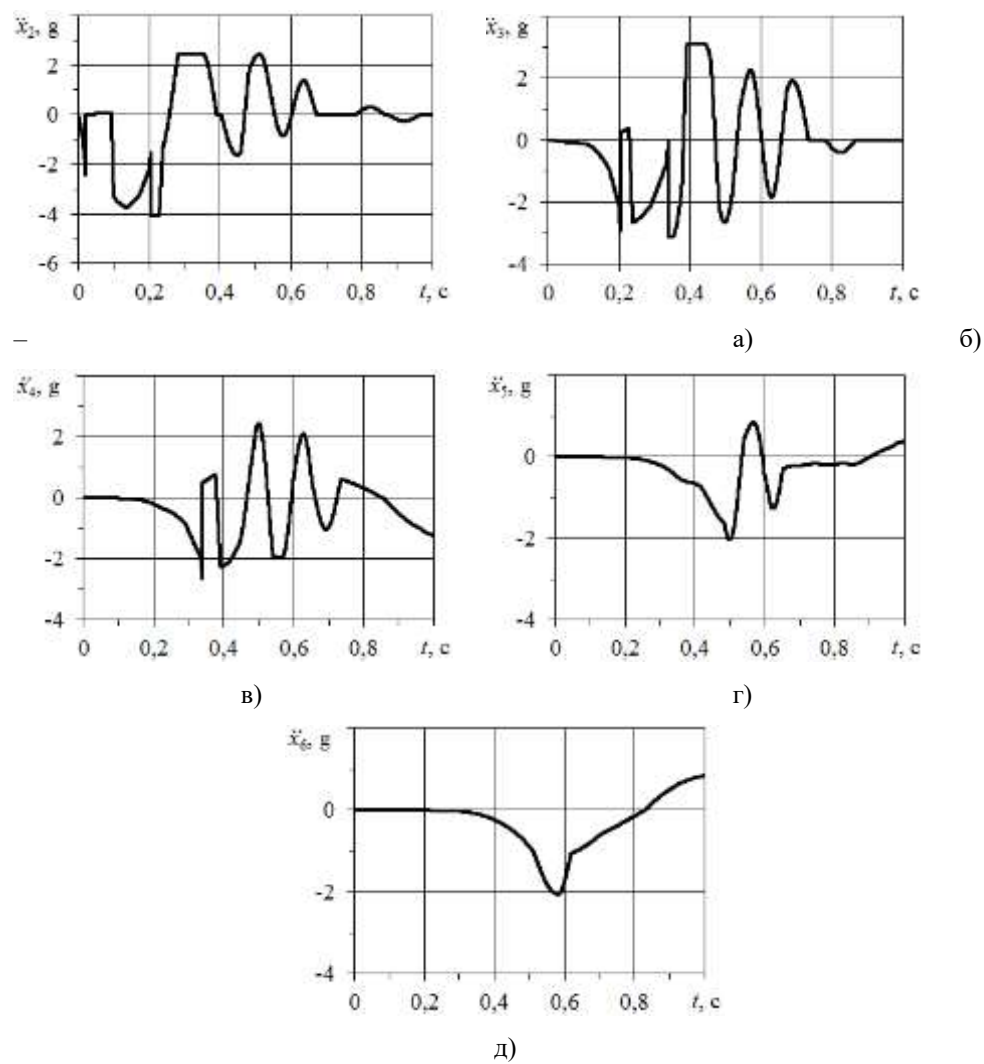
Результати розрахунків динамічної навантаженості вагонів при зіткненні еталонного поїзда з вантажним вагоном (варіант 2, маси проміжних вагонів 50 т) показано на рис. 7 та рис. 8.

Максимальні та середні абсолютні значення зусиль в міжвагонних з'єднаннях та прискорень вагонів при зіткненні еталонного поїзда з вантажним вагоном для варіанта 1, коли маси проміжних вагонів дорівнюють 64 т, приведено в табл. 1, а для варіанта 2, коли маси проміжних вагонів дорівнюють 50 т, – в табл. 2.



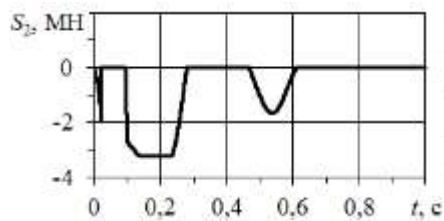
- а) – зміна зусилля S_2 взаємодії між вантажним вагоном 1 та головним вагоном 2;
 б) – зміна зусилля S_3 взаємодії між головним вагоном 2 та проміжним вагоном 3;
 в) – зміна зусилля S_4 взаємодії між проміжними вагонами 3 та 4;
 г) – зміна зусилля S_5 взаємодії між проміжними вагонами 4 та 5;
 д) – зміна зусилля S_6 взаємодії між проміжними вагонами 5 та 6

Рис. 5

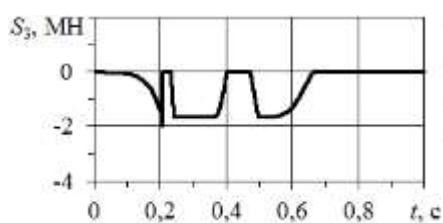


- а) – зміна прискорень $\ddot{x}_2$ головного вагона 2;
 б) – зміна прискорень $\ddot{x}_3$ проміжного вагона 3;
 в) – зміна прискорень $\ddot{x}_4$ проміжного вагона 4;
 г) – зміна прискорень $\ddot{x}_5$ проміжного вагона 5;
 д) – зміна прискорень $\ddot{x}_6$ проміжного вагона 6

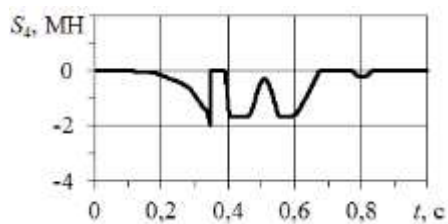
Рис. 6



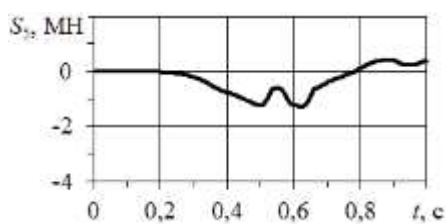
а)



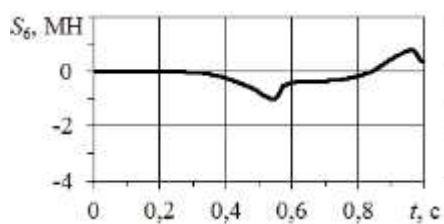
б)



в)



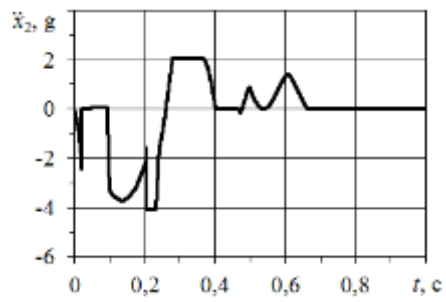
г)



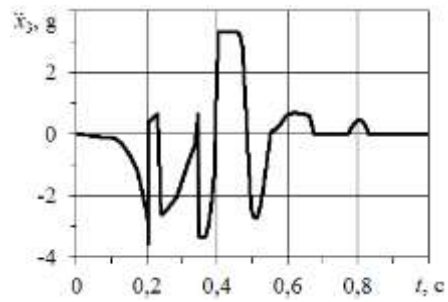
д)

- а) – зміна зусилля S_2 взаємодії між вантажним вагоном 1 та головним вагоном 2;
 б) – зміна зусилля S_3 взаємодії між головним вагоном 2 та проміжним вагоном 3;
 в) – зміна зусилля S_4 взаємодії між проміжними вагонами 3 та 4;
 г) – зміна зусилля S_5 взаємодії між проміжними вагонами 4 та 5
 д) – зміна зусилля S_6 взаємодії між проміжними вагонами 5 та 6

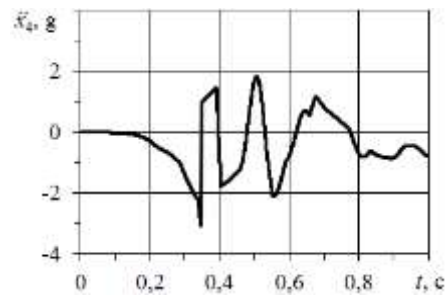
Рис. 7



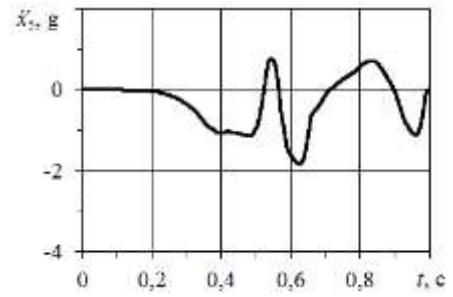
а)



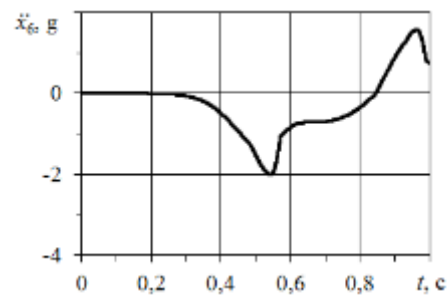
б)



в)



г)



— д)

- а) – зміна прискорень $\ddot{x}_2$ головного вагона 2;
 б) – зміна прискорень $\ddot{x}_3$ проміжного вагона 3;
 в) – зміна прискорень $\ddot{x}_4$ проміжного вагона 4;
 в) – зміна прискорень $\ddot{x}_5$ проміжного вагона 5;
 г) – зміна прискорень $\ddot{x}_6$ проміжного вагона 6

Рис. 8

Таблиця 1

Номер екіпажу, i	Максимальні абсолютні значення зусиль та прискорень		Середні абсолютні значення зусиль та прискорень	
	S_i , МН	$\ddot{x}_i$, g	S_i , МН	$\ddot{x}_i$, g
2	3,25	4,06	2,76	2,76
3	1,99	3,11	1,74	1,96
4	1,99	2,45	1,15	1,27
5	1,87	2,02	0,49	0,38
6	1,31	2,05	0,31	0,49

Таблиця 2

Номер екіпажу, i	Максимальні абсолютні значення зусиль та прискорень		Середні абсолютні значення зусиль та прискорень	
	S_i , МН	$\ddot{x}_i$, g	S_i , МН	$\ddot{x}_i$, g
2	3,24	4,05	2,78	2,82
3	1,66	3,32	1,48	1,87
4	1,66	2,10	1,16	1,08
5	1,28	1,83	0,43	0,53
6	1,00	2,00	0,30	0,60

Аналіз результатів, наведених в табл. 1 та табл. 2, показав, що при зіткненні вантажного вагона та еталонного поїзда, обладнаного ППЕ згідно з варіантами 1 та 2, з масами проміжних вагонів 64 т або 50 т відповідно, пластичні деформації в елементах конструкцій екіпажів не виникають, середні абсолютні значення поздовжніх прискорень екіпажів не перевищують 5 g. Слід зазначити, що пристрої поглинання енергії в міжвагонних зв'язках між проміжними вагонами 4 і 5 та 5 і 6 при розглянутих зіткненнях (варіант 1, маси проміжних вагонів 64 т і варіант 2, маси проміжних вагонів 50 т) не спрацьовують, оскільки зусилля S_5 і S_6 не досягають рівня 2 МН (див. рис. 5, г) і рис. 5, д) та рис. 7, г) і рис. 7, д)), при якому відбувається зсув автозчепів у підвагонний простір. Пасивний захист екіпажів моторвагонного поїзда згідно з розглянутими варіантами 1 та 2 відповідає критеріям ДСТУ EN 15227 для сценарію 2.

Висновки. На основі наведеної в статті [5] математичної моделі зіткнення ідентичних моторвагонних поїздів, розроблено математичну модель зіткнення моторвагонного поїзда з вантажним вагоном згідно з умовами сценарію 2 ДСТУ EN 15227. Визначено силову характеристику взаємодії головного та вантажного вагонів в аварійній ситуації з урахуванням роботи поглинальних апаратів зчіпних пристроїв, можливість зсуву об'єднаних ударно-тягових пристроїв в підвагонний простір, пластичне деформування пристроїв поглинання енергії нижнього та верхнього рівнів, можливість виникнення пластичних деформацій в конструкціях вагонів. Запропонована математична модель дозволяє отримати середні значення прискорень екіпажів і пластичних деформацій їх конструкцій для порівняння з допустимими значеннями згідно критеріїв ДСТУ EN 15227.

За допомогою розробленої математичної моделі проведено аналіз динамічної навантаженості екіпажів моторвагонного поїзда з СПБ при зіткненні еталонного моторвагонного поїзда зі швидкістю 36 км/год з вантажним ваго-

ном масою 80 т. Розглянуто еталонний моторвагонний поїзд, що складається з головного вагона масою 80 т і чотирьох проміжних вагонів. Дослідження проведено для проміжних вагонів масою 50 т та 64 т. Для пасивної безпеки моторвагонного поїзда при аварійних зіткненнях запропоновано використовувати розроблені у відділі статистичної динаміки і динаміки багатовимірних механічних систем Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України захисні пристрої ППЕ 1 з енергоємністю 0,95 МДж для установки на рівні автозчепів в лобовій частині головного вагона, ППЕ 2 з енергоємністю 0,25 МДж та ППЕ 3 з енергоємністю 0,3 МДж для установки на рівні автозчепів у хвостовій частині головного вагону та у кінцевих частинах пасажирських вагонів відповідно з масами 50 т та 64 т, а також пристрої поглинання енергії верхнього рівня з енергоємністю 0,12 МДж для установки в лобовій підвіконній частині головного вагона. В результаті проведених досліджень встановлено, що за критеріями ДСТУ EN 15227 для поїзда з масою проміжних вагонів 50 т доцільним є пасивний захист згідно з варіантом 1 (лобову частину головного вагона обладнано двома ППЕ 1 та двома ППЕ ВР, його хвостову частину – двома ППЕ 2, проміжні вагони обладнано спереду і ззаду двома ППЕ 2), а для поїзда з масою проміжних вагонів 64 т – пасивний захист згідно з варіантом 2 (спереду головний вагон обладнано двома ППЕ 1 та двома ППЕ ВР, ззаду головний вагон та спереду і ззаду проміжні вагони обладнано двома ППЕ 3).

Запропонована математична модель і результати виконаних досліджень можуть бути використані при проєктуванні головних та проміжних вагонів вітчизняного моторвагонного пасажирського поїзда з урахуванням вимог ДСТУ EN 15227.

1. ДСТУ EN 12663-1:2018 (EN 12663-1:2010 + A1:2014, IDT). Залізничний транспорт. Структурні вимоги органів залізничного транспорту. Частина 1. Локомотиви та пасажирський рухомий склад (і альтернативний метод для вантажних вагонів). 2018. 18 с.
2. ДСТУ EN 15227:2015 (EN 15227:2008+A1:2010, IDT). Залізничний транспорт. Вимоги до ударостійкості рейкових транспортних засобів. 2016. 37 с.
3. EN 12663-1: 2010. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies. Brussels, 2010. 18 p.
4. EN 15227: 2008. Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies. Brussels, 2008. 37 p. <https://doi.org/10.15407/itm2020.02.066>
5. *Соболевська М. Б., Науменко Н. Ю., Горобець Д. В.* Математичне моделювання динамічної навантажності головного вагона з системою пасивної безпеки при зіткненні ідентичних моторвагонних поїздів. *Технічна механіка*. 2020. № 2. С. 66–79. <https://doi.org/10.15407/itm2020.02.066>
6. *Roberts J., Fraikin B., Leveque D.* Development and validation of a regional train platform to the requirements of EN 15227. *Proc. of the 7th Int. Symp. 20–21.11.2008 on Passive Safety of Rail Vehicles. Innovation in Passive Safety and Interior Design* (Berlin: IFV Bahntechnik e.V.) 2008. Vol. 17. P. 237–248.
7. *Электропоезд серии 422. Железные дороги мира*. 2010. № 5. С. 37–49.
8. *Производство подвижного состава в странах Восточной Европы. Железные дороги мира*. 2019. № 3. С. 61–65.
9. ГОСТ 32410-2013. Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля. 2014. 11 р.
10. *Назаров О. Н.* Технические особенности высокоскоростного электропоезда Velaro Rus. *Техника железных дорог*. 2009. № 1. С. 18–33.
11. *Манглер Р.* “Desiro rus” – перспективный электропоезд для пригородных перевозок в России. *Локомотив-информ*. 2012. № 10. С. 20–24.
12. *Богатырев Б., Могучев А.* Электропоезд ЭП2Д: будущее уже здесь. ЗАО “Трансмашхолдинг”. *Журнал для партнёров*. 2016. № 2 (6/2016). С. 4–11.
13. *Игнатов Г. С.* Межрегиональный двухсистемный электропоезд. *Локомотив-информ*. 2012. № 12. С. 16–19.
14. *Соболевская М. Б., Сирота С. А.* Основные положения концепции пассивной защиты скоростного пассажирского поезда при аварийных столкновениях. *Техническая механика*. 2015. № 1. С. 84–96.
15. *Науменко Н. Е., Соболевская М. Б., Хижа И. Ю.* Оценка динамической нагруженности эталонного поезда с системой пассивной безопасности при его столкновениях с идентичным составом и грузовым вагоном. *Технічна механіка*. 2017. № 3. С. 72–83. <https://doi.org/10.15407/itm2017.03.072>

Отримано 08.09.2020,
в остаточному варіанті 24.09.2020