

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ЭТАЛОННОГО ПОЕЗДА С СИСТЕМОЙ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЕГО СТОЛКНОВЕНИЯХ С ИДЕНТИЧНЫМ СОСТАВОМ И ГРУЗОВЫМ ВАГОНОМ

Институт технической механики

*Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: dep7@ukr.net*

Новий швидкісний пасажирський рухомий склад колії 1520 мм повинен проектуватися з урахуванням систем пасивної безпеки (СПБ) при зіткненнях. До складу СПБ входять пристрої поглинання енергії (ППЕ), призначені для захисту пасажирів і поїзної бригади, а також конструкцій екіпажів від руйнівної дії ударних навантажень. В Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України розроблено конструкції ППЕ різної енергоємності. Мета досліджень – оцінка динамічної навантаженості екіпажів еталонного поїзда з СПБ при зіткненнях, сценарії яких передбачені стандартом EN 15227. У статті розглянуто сценарії зіткнення зі швидкістю 36 км/год еталонного поїзда з ідентичним поїзним складом і з вантажним вагоном масою 80 т. Еталонний поїзд сформований з локомотива і чотирьох вагонів, кінцеві частини яких обладнані відповідними ППЕ. У статті наведено дискретно-масову модель лобового зіткнення потягів. Новизною моделі є силова характеристика міжвагонного з'єднання, яка враховує роботу зсувних автозчепних пристроїв, ППЕ локомотивів і вагонів, пружно-пластичне деформування конструкцій екіпажів. Розглянуто два варіанти формування поїзда: локомотив масою 90 т і вагони масою 50 т; локомотив масою 123 т і вагони масою 64 т. Показано, що вимоги європейського стандарту EN 15227 і розробленої концепції пасивного захисту швидкісного пасажирського поїзда колії 1520 мм виконуються, якщо локомотив обладнати ППЕ з енергоємністю 0,95 МДж, вагони масою 50 т – ППЕ з енергоємністю 0,25 МДж, вагони масою 64 т – ППЕ з енергоємністю 0,3 МДж. Розроблено конструкції ППЕ з визначеною енергоємністю для локомотивів та вагонів.

Новый скоростной пассажирский подвижной состав колес 1520 мм должен проектироваться с учетом систем пассивной безопасности (СПБ) при столкновениях. В состав СПБ входят устройства поглощения энергии (УПЭ), которые предназначены для защиты пассажиров и поезда бригады, а также конструкций экипажей от разрушительного действия ударных нагрузок. В Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины разработаны конструкции УПЭ разной энергоёмкости. Цель исследований – оценка динамической нагруженности экипажей эталонного поезда с СПБ при столкновениях, сценарии которых предусмотрены стандартом EN 15227. В статье рассмотрены сценарии столкновения со скоростью 36 км/ч эталонного поезда с идентичным поездным составом и с грузовым вагоном массой 80 т. Эталонный поезд сформирован из локомотива и четырех вагонов, концевые части которых оборудованы соответствующими УПЭ. В статье приведена дискретно-массовая модель лобового столкновения поездов. Новизной модели является силовая характеристика межвагонного соединения, которая учитывает работу сдвигаемых автоцепных устройств, УПЭ локомотивов и вагонов, упругопластическое деформирование конструкций экипажей. Рассмотрены два варианта формирования поезда: локомотив массой 90 т и вагоны массой 50 т; локомотив массой 123 т и вагоны массой 64 т. Показано, что требования европейского стандарта EN 15227 и разработанной концепции пассивной защиты скоростного пассажирского поезда колес 1520 мм выполняются, если локомотив оборудовать УПЭ с энергоёмкостью 0,95 МДж, вагоны массой 50 т – УПЭ с энергоёмкостью 0,25 МДж, вагоны массой 64 т – УПЭ с энергоёмкостью 0,3 МДж. Разработаны конструкции УПЭ с определенной энергоёмкостью для локомотивов и вагонов.

New high-speed passenger cars for 1520 mm gage railways must be designed taking into account passive safety systems (PSSs) for collision protection. A PSS includes energy absorbing devices (EADs), which protect the passengers, the train crew, and the car structures from destructive impact loads. At the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine, EADs of different absorbing capacities have been designed. The aim of this paper is to estimate dynamic loads on the PSS-equipped vehicles of a reference train in collisions whose scenarios are specified in the EN 15227 standard. In this paper, collisions of a reference train at 36 km/h with an identical train and with 80 t freight car are considered. The reference train consists of a locomotive and four cars whose end parts are equipped with EADs. A discrete-mass model of a head-on train collision is presented. What is new in the model is the force characteristic of an inter-car connection, which takes into account the operation of the locomotive and car push-back automatic couplers and EADs and the elastoplastic deformation of the vehicle structures. Two trains are considered: a 90 t locomotive with 50 t cars and a 123 t locomotive with 64 t cars. It is shown that the requirements of the European EN 15227 standard and the passive protection concept developed for a 1520 mm gauge high-speed passenger train are met if the locomotive, 50 t cars, and 64 t cars are equipped with EADs of energy absorbing capacity 0.95 MJ, 0.25 MJ, and 0.3 MJ, respectively. Locomotive and car EAPs with these values of the energy absorbing capacity have been designed.

© Н. Е. Науменко, М. Б. Соболевская, И. Ю. Хижа, 2017

Техн. механіка. – 2017. – № 3.

Ключевые слова: скоростной пассажирский поезд локомотивной тяги, столкновение, система пассивной безопасности, устройство поглощения энергии.

Введение. В настоящее время в Украине разработана стратегия развития Публичного акционерного общества (ПАТ) “Украинская железная дорога” 2017 – 2021 гг. [1]. На заседании правления ПАТ “Украинская железная дорога” от 29.11.2016 одобрена программа обновления подвижного состава ПАТ “Украинская железная дорога” на период до 2021 г. [2]. В программе отмечено, что потенциальными изготовителями продукции для железнодорожной отрасли будут преимущественно украинские предприятия. Основными тенденциями развития железнодорожного транспорта Украины являются увеличение скоростей движения поездов, ориентация на европейскую интеграцию и европейские стандарты, обновление пассажирского подвижного состава, в том числе парка локомотивов и вагонов. На сегодняшний день эксплуатационный парк пассажирских вагонов составляет 66 % от инвентарного, его изношенность – 87 %, рабочий парк магистральных электровазозов составляет 66 % от инвентарного, его изношенность – 84 %, рабочий парк магистральных тепловозов составляет 42 % от инвентарного, его изношенность – 99 % [3]. Критический износ пассажирского подвижного состава обуславливает безотлагательную потребность в замене физически и морально устаревших локомотивов и вагонов новыми современными скоростными железнодорожными экипажами для обеспечения эффективности и безопасности перевозочного процесса.

При проектировании скоростных пассажирских локомотивов и вагонов нового поколения необходимо предусмотреть наличие интегрированных в их конструкции систем пассивной безопасности (СПБ). При аварийном столкновении поезда с препятствием в результате контролируемого деформирования входящих в состав СПБ съемных устройств поглощения энергии (УПЭ) происходит снижение продольных усилий и ускорений, что позволяет повысить защиту пассажиров и поездной бригады, сохранить подвижной состав и уменьшить масштабы тяжелых последствий аварий на железных дорогах. СПБ должна обеспечить защиту пассажиров и персонала поезда при наиболее вероятных аварийных столкновениях. В странах ЕС с 2008 г. действует стандарт EN 15227 [4]. Он регламентирует обязательное наличие СПБ у всех вновь создаваемых пассажирских экипажей. В стандарте EN 15227 определены эталонные составы и сценарии для оценки энергоемкости УПЭ, а также прописаны 4 сценария столкновения. Определяющими для разработки УПЭ являются первые два (лобовое столкновение идентичных поездных составов со скоростью 36 км/ч и столкновение со скоростью 36 км/ч поездного состава с грузовым вагоном массой 80 т), которые характеризуются наиболее тяжелыми последствиями. В рассматриваемых сценариях участвует эталонный поезд, который сформирован из локомотива и четырех пассажирских вагонов. Каждый экипаж эталонного поезда оборудован УПЭ спереди и сзади. Критерии выполнения сценариев столкновения следующие. Уменьшение пространства выживания не должно превышать 0,05 м на каждые пять метров длины, или же пластическая деформация в таких зонах не должна превышать 10 %. Среднее значение продольного ускорения в зонах выживания не должно превышать 5 g для рассматриваемых сценариев.

Для европейского подвижного состава уже разработаны эффективные системы пассивной безопасности [5 – 14]. Пассивная защита европейских пассажирских локомотивов с отдельными ударно-тяговыми приборами организована таким образом, что основную часть энергии при столкновениях с железнодорожным подвижным составом поглощают крэш-буфера и расположенные за ними УПЭ [5 – 9]. Вагоны, как правило, оборудуются только крэш-буферами [6, 10 – 14]. Пассажирский подвижной состав железных дорог с шириной колеи 1520 мм имеет ряд существенных отличий от европейского подвижного состава. Это, в первую очередь, оборудование экипажей объединенными ударно-тяговыми приборами и более высокие массы локомотивов и вагонов. Поэтому с ориентацией на европейский стандарт EN 15227 и мировой опыт разработана концепция пассивной защиты скоростных пассажирских поездов локомотивной тяги для железных дорог колеи 1520 мм. Эта концепция предполагает оборудование концевых частей железнодорожных экипажей противоположными и сдвигаемыми автосцепными устройствами, а также установку двух УПЭ вместо буферов [15].

В настоящее время для скоростного подвижного состава, эксплуатируемого на пространстве колеи 1520 мм, разработаны методики [16, 17], позволяющие путем математического моделирования оценить динамическую нагруженность экипажей скоростного пассажирского поезда с СПБ при аварийных столкновениях, определить интегральные параметры УПЭ, разработать его конструкцию и выбрать ее параметры, которые позволяют обеспечить выполнение требований по пассивной безопасности.

В статье [16] приведены результаты оценки энергоемкости УПЭ для скоростных пассажирских локомотивов массами 90 т (максимальная масса локомотива по EN 15227) и 123 т (соответствует массе пассажирских локомотивов, эксплуатируемых на железных дорогах колеи 1520 мм). Установлено, что выполнение требований сценария столкновения эталонного поезда, состоящего из локомотива, оборудованного спереди и сзади двумя УПЭ, и грузового вагона массой 80 т, с грузовым вагоном массой 80 т возможно при использовании УПЭ с энергоемкостью 0,95 МДж.

В статье [17] приведены результаты оценки энергоемкости УПЭ для пассажирского вагона массой 50 т (максимальная масса вагона по EN 15227) и 64 т (соответствует массе пассажирских вагонов колеи 1520 мм). В соответствии с требованиями EN 15227 рассмотрено столкновение со скоростью 18 км/ч эталонного поезда из 4-х пассажирских вагонов, оборудованных двумя УПЭ спереди и сзади, с неподвижным половинным вагоном, упирающимся в неподвижную стенку. Концевая часть половинного вагона также оборудована двумя УПЭ. Вагоном, подлежащим оценке, являлся первый вагон сцепа. Анализ полученных результатов показал, что выполнение требований рассматриваемого сценария столкновения для вагона массой 64 т возможно при использовании УПЭ с энергоемкостью 0,3 МДж. Следует отметить, что вагоны массой 50 т достаточно оборудовать УПЭ с энергоемкостью 0,25 МДж.

Постановка задачи. Рассматривается задача оценки динамической нагруженности экипажей эталонного поезда с СПБ при столкновениях, сценарии которых предусмотрены стандартом EN 15227.

Рассмотрены сценарии столкновения со скоростью 36 км/ч эталонного поезда с идентичным поездным составом и с грузовым вагоном массой 80 т. Эталонный поезд сформирован из локомотива и четырех вагонов, концевые

части которых оборудованы соответствующими УПЭ [16, 17]. Усилия взаимодействия экипажей при рассматриваемых сценариях столкновений определяются в зависимости от вида сцепных устройств, которыми оборудованы экипажи, и используемых УПЭ.

Расчетная схема лобового столкновения двух эталонных поездов приведена на рис. 1.



Рис. 1

Расчетная схема столкновения эталонного поезда с грузовым вагоном приведена на рис. 2.

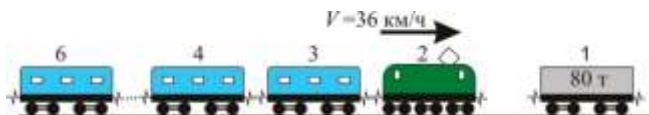


Рис. 2

Математическое моделирование. Процесс лобового столкновения двух идентичных скоростных пассажирских поездов локомотивной тяги на прямолинейном участке пути описывается следующей системой дифференциальных уравнений, приведенной к виду, удобному для численного интегрирования

$$\begin{aligned} \dot{v}_i &= m_i^{-1} [S_i - S_{i+1} + F_i] \quad (i = 1, 2, \dots, 2N); \\ \dot{q}_i &= v_{i-1} - v_i; \quad q_i = x_{i-1} - x_i \quad (i = 2, 3, \dots, 2N); \\ S_i &= S_i(q_i, \dot{q}_i), \quad S_1 = S_{2N+1} = 0; \\ v_i &= v_{i0} \quad (i = 1, \dots, N); \quad v_i = 0 \quad (i = N + 1, \dots, 2N), \end{aligned}$$

где m_i – масса i -го экипажа; x_i , v_i – соответственно перемещение и скорость i -го экипажа; S_i – продольное усилие в межвагонной связи, соединяющей i -й и $(i-1)$ -й экипажи; q_i , \dot{q}_i – относительные перемещение и скорость i -го экипажа; F_i – внешняя сила, действующая на i -й экипаж; N – число экипажей в каждом поезде.

В общем виде силовая характеристика межвагонного соединения с учетом совместной работы поглощающих аппаратов и конструкций экипажей, увода автосцепных устройств экипажей поезда, работы устройств поглощения энергии системы пассивной безопасности вагонов и локомотива, возможности возникновения продольных пластических деформаций в конструкциях локомотивов и вагонов приведена на рис. 3.

На рис. 3 введены обозначения: S_H – сила на первом участке работы поглощающих аппаратов; S_a – сила закрытия поглощающих аппаратов; Δ_a – суммарный ход поглощающих аппаратов; S_{np} – сила, при которой происходит разрушение элементов крепления автосцепки к раме экипажа; $dkro2$ – значение деформации, при котором происходит увод автосцепки; $dkro3$ –

значение деформации, при котором начинают деформироваться УПЭ вагона; $dkro4$ – значение деформации, при котором начинают деформироваться УПЭ вагона при постоянной силе $S_{кр1}$; $dkro5$ – значение деформации, при котором начинают деформироваться первые блоки УПЭ локомотива; $dkro6$ – значение деформации, при котором начинают деформироваться первые блоки УПЭ локомотива при постоянной силе $S_{кр2}$; $dkro7$ – значение деформации, при котором начинают деформироваться вторые блоки УПЭ локомотива; $dkro8$ – значение деформации, при котором начинают деформироваться вторые блоки УПЭ локомотива при постоянной силе $S_{кр3}$; $dkro9$ – значение деформации, при котором начинается упругая деформация рамы конструкции экипажа; $dz_{упэ}$ – суммарная деформация энергопоглощающих элементов, расположенных в соединении экипажей (вагона и локомотива, вагонов, локомотивов); S_s – значение усилия, при превышении которого возникают продольные пластические деформации в элементах конструкции рамы экипажа (локомотива, вагона); $\Delta_{\sigma\bar{\sigma}}$ – упругая деформация конструкции кузова экипажа при увеличении силы от $S_{кр3}$ до S_s ; $akro1, akro2$ – жесткости межвагонного соединения на первом и втором участках работы поглощающих аппаратов и конструкции экипажа; $akk1$ – жесткость конструкции экипажа (вагона, локомотива); $akrv1, akrv2$ – жесткостные характеристики межвагонного соединения при совместной работе УПЭ вагона и его конструкции; $akrl1, akrl2, akrl3, akrl4$ – жесткостные характеристики межвагонного соединения при совместной работе УПЭ локомотива и его конструкции после отработки УПЭ, расположенных на вагоне; $akt1$ – жесткость конструкции экипажа (вагона, локомотива) в зоне пластических деформаций с упрочнением.

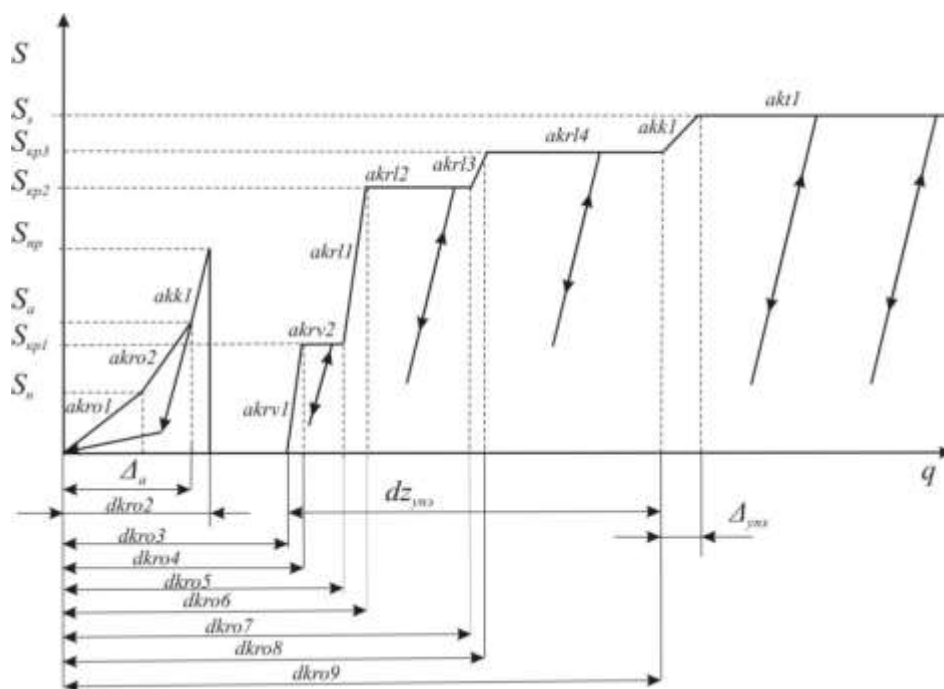


Рис. 3

Для случая, когда пассажирский поезд сформирован из подвижного состава, оборудованного СПБ и сдвигаемыми сцепками, работающими по принципу push-back coupler [18 – 20], алгоритм определения усилий, возникающих при столкновении поездов в межвагонном соединении между i -м и $(i-1)$ -м экипажами, приведен в работах [18, 21, 22].

Разработанную математическую модель процесса столкновения идентичных поездов можно использовать для исследования столкновения со скоростью 36 км/ч эталонного поезда с грузовым вагоном массой 80 т.

Результаты исследования динамической нагруженности экипажей пассажирского поезда с СПБ при лобовом столкновении идентичных эталонных поездов. Рассмотрим столкновение поездов на прямолинейном горизонтальном участке пути. Локомотив эталонного поезда с двух сторон оборудован сдвигаемыми автосцепками СА-3. Вагон, расположенный за локомотивом, оборудован автосцепкой СА-3 для соединения с локомотивом и безззорным сцепным устройством (БСУ) для соединения с соседним вагоном. Все остальные вагоны оборудованы сдвигаемыми БСУ с поглощающими аппаратами РП-5. Предполагаем, что экипажи поезда оборудованы противоподъемными устройствами, которые обеспечивают передачу ударных нагрузок на энергопоглощающие устройства только в продольном направлении.

Для оценки динамической нагруженности экипажей эталонных поездов при их лобовом столкновении со скоростью 36 км/ч, соответствия требованиям стандарта EN 15227 и основных положений разработанной для колеи шириной 1520 мм концепции пассивной защиты пассажирского скоростного поезда при аварийных столкновениях [15] рассмотрим оборудование локомотивов и вагонов различными конструкциями устройств поглощения энергии, описанными в работах [16, 17].

Расчеты проведены для следующих вариантов оборудования экипажей эталонных поездов:

- вариант 1 – локомотивы, массой 90 т каждый, оборудованы защитными устройствами с энергоемкостью 0,95 МДж, вагоны массой 50 т – УПЭ с энергоемкостью 0,25 МДж;

- вариант 2 – локомотивы, массой 123 т каждый, оборудованы защитными устройствами с энергоемкостью 0,95 МДж, вагоны массой 64 т – УПЭ с энергоемкостью 0,25 МДж;

- вариант 3 – локомотивы, массой 123 т каждый, оборудованы защитными устройствами с энергоемкостью 0,95 МДж, вагоны массой 64 т – УПЭ с энергоемкостью 0,3 МДж.

Предполагается, что пластические деформации в конструкции рамы кузова локомотива возникают при значении продольного усилия свыше 4,2 МН, в конструкциях рамы пассажирского вагона – при значении продольного усилия свыше 3 МН, которые будем считать допускаемыми.

Для указанных выше вариантов формирования поездов максимальные абсолютные значения усилий, возникающих в соединениях экипажей при лобовом столкновении эталонных поездов на прямолинейном участке пути со скоростью 36 км/ч, и ускорений экипажей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер экипажа i	Максимальные абсолютные значения усилий и ускорений (вариант 1)		Максимальные абсолютные значения усилий и ускорений (вариант 2)		Максимальные абсолютные значения усилий и ускорений (вариант 3)	
	$S_i, \text{МН}$	\ddot{x}_i, g	$S_i, \text{МН}$	\ddot{x}_i, g	$S_i, \text{МН}$	\ddot{x}_i, g
1	0,00	1,70	0,00	1,80	0,00	2,20
2	0,86	3,10	1,16	2,20	1,39	2,50
3	2,00	4,80	2,00	5,60	2,00	3,10
4	2,93	5,00	3,59	4,50	2,00	3,90
5	2,51	3,10	2,81	2,30	2,47	2,30
6	2,79	3,10	2,80	2,30	2,79	2,30
7	2,51	5,00	2,81	4,50	2,47	3,90
8	2,93	4,80	3,59	5,60	2,00	3,10
9	2,00	3,10	2,00	2,20	2,00	2,50
10	0,86	1,70	1,16	1,80	1,39	2,20

Отметим, что в табл. 1 локомотивы идентичных поездов соответствуют экипажам с номерами 5 и 6, а вагоны, расположенные соответственно за локомотивами – экипажам с номерами 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 (см. рис. 1). На рис. 4 приведены графики изменения во времени усилий в соединениях экипажей эталонных поездов при их лобовом столкновении со скоростью 36 км/ч для варианта 1.

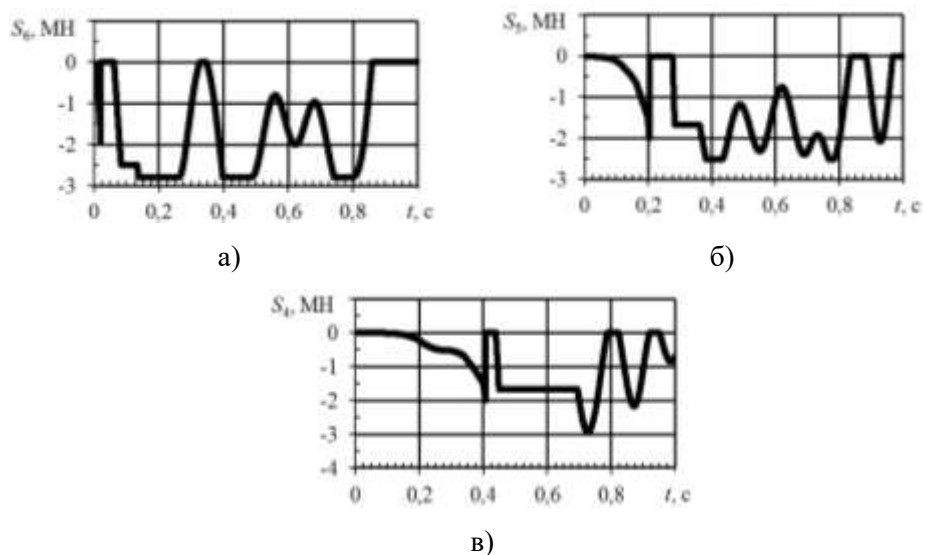


Рис. 4

Графики рис. 4, а), рис. 4, б) и рис. 4, в) соответствуют изменениям во времени усилий взаимодействия между локомотивами, в соединении локомотива с вагоном, расположенным за локомотивом, и в следующем межвагонном соединении.

На рис. 5, а) и рис. 5, б) показаны изменения во времени ускорений локомотива и вагона, расположенного за локомотивом.

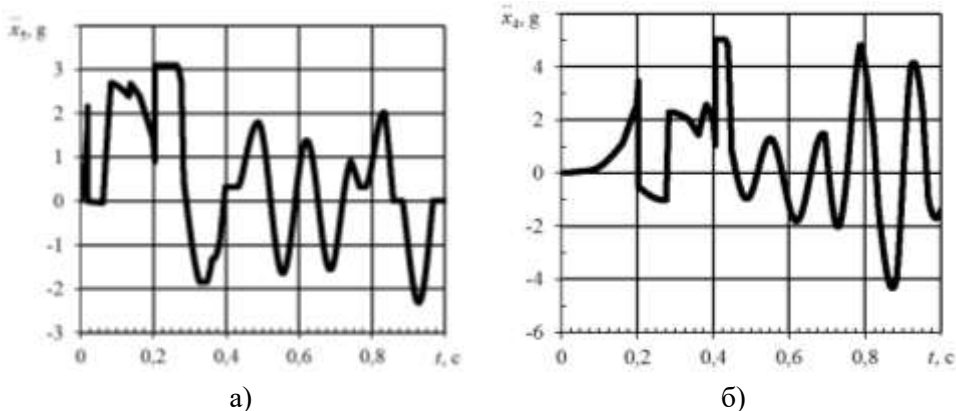


Рис. 5

Анализ полученных результатов показал, что при лобовом столкновении идентичных поездов в случае формирования эталонных поездов из локомотивов массами 90 т и вагонов массами 50 т при оборудовании локомотивов и вагонов защитными устройствами соответственно с энергоемкостями 0,95 МДж и 0,25 МДж в конструкциях экипажей не возникает продольных остаточных деформаций и средний уровень ускорений экипажей в зонах выживания не превосходит 5 g [4].

Для поездов, сформированных из локомотивов массами 123 т и вагонов массами 64 т, использование УПЭ с указанными выше энергоемкостями не обеспечивает выполнения требований стандарта EN 15227 при лобовом столкновении идентичных поездов. В межвагонных соединениях вагонов, расположенных за локомотивами, возникают усилия, составляющие -3,6 МН. Средние значения продольных ускорений экипажей в зонах выживания не превышают 5 g. В конструкциях 4-го и 8-го экипажей системы возникают локальные продольные остаточные деформации, составляющие -0,038 м, что не превосходит допускаемого значения 0,05 м на каждые 5 м длины конструкции.

Для случая столкновения идентичных поездов, сформированных согласно варианту 3, на рис. 6 и рис. 7 показаны графики, аналогичные приведенным соответственно на рис. 4 и рис. 5.

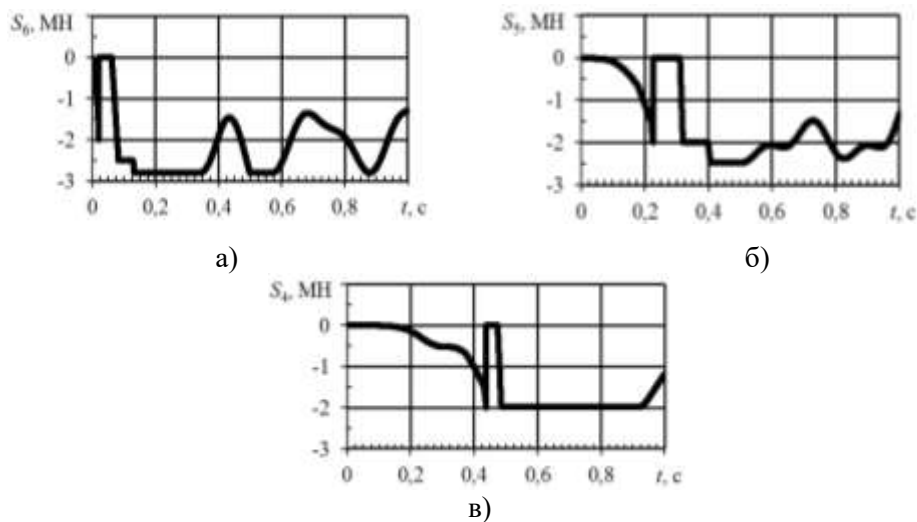


Рис. 6

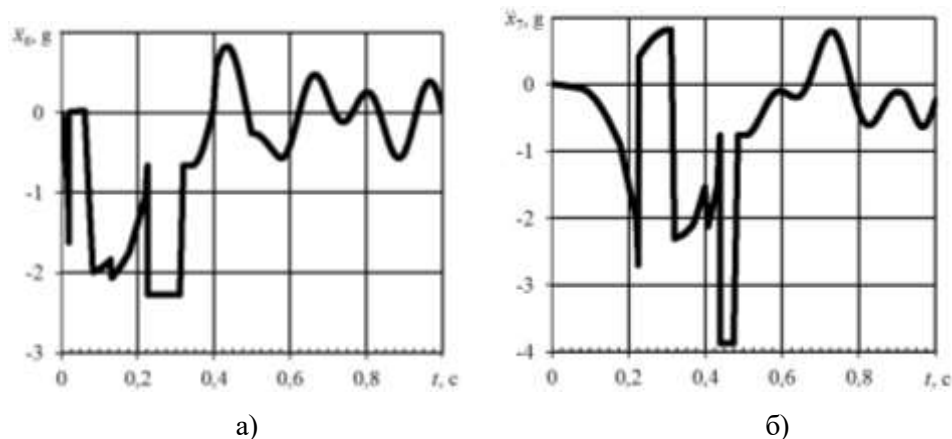


Рис. 7

Результаты исследования динамической нагруженности экипажей пассажирского поезда с СПБ при столкновении эталонного поезда с грузовым вагоном. В табл. 2 приведены максимальные абсолютные значения усилий в межвагонных соединениях эталонного поезда и ускорений экипажей при формировании состава согласно вариантам 1 и 3.

Таблица 2

Номер экипажа i	Максимальные абсолютные значения усилий и ускорений (вариант 1)		Максимальные абсолютные значения усилий и ускорений (вариант 3)	
	S_i , МН	\ddot{x}_i , g	S_i , МН	\ddot{x}_i , g
1	0,00	4,60	0,00	6,00
2	3,67	4,10	4,83	3,90
3	2,00	3,50	2,00	3,10
4	2,00	2,70	2,00	2,30
5	1,20	1,30	1,33	1,10
6	0,67	1,30	0,97	1,50

Максимальное значение усилия, действующего на конструкцию локомотива массой 123 т, составляет -4,83 МН, что больше предельного 4,2 МН, но при этом значение продольной остаточной деформации, возникающей в конструкции локомотива, равно -0,04 м и не превышает допустимого [4]. Средние значения ускорений экипажей эталонного поезда, возникающие в процессе столкновения состава с грузовым вагоном, не превосходят 5 g.

Разработанные конструкции УПЭ для локомотива и вагонов. Алгоритм разработки конструкции УПЭ с требуемой энергоемкостью и выбора ее параметров в результате конечно-элементного моделирования пластического деформирования устройства при ударе бойком массой 80 т со скоростью 36 км/ч приведен в статьях [16, 17].

С использованием предложенного алгоритма разработаны следующие конструкции:

– УПЭ 1 с энергоемкостью 0,95 МДж, предназначенного для установки в концевых частях рамы кузова скоростного пассажирского локомотива массой 90 и 123 т (рис. 8);

– УПЭ 2 с энергоемкостью 0,25 МДж, предназначенного для установки в концевых частях рамы кузова скоростного пассажирского вагона массой 50 т (рис. 9);

– УПЭ 3 с энергоемкостью 0,3 МДж, предназначенного для установки в концевых частях рамы кузова скоростного пассажирского вагона массой 64 т.

На рис. 8 и рис. 9 все результаты приведены в миллиметрах.

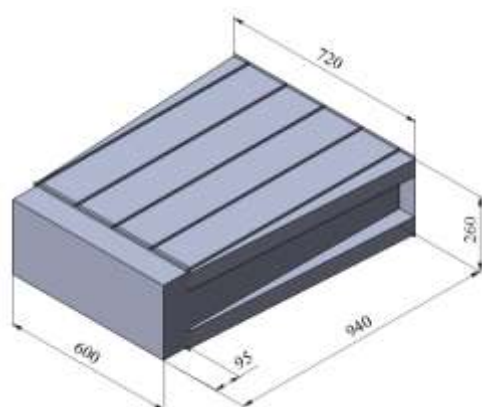


Рис. 8

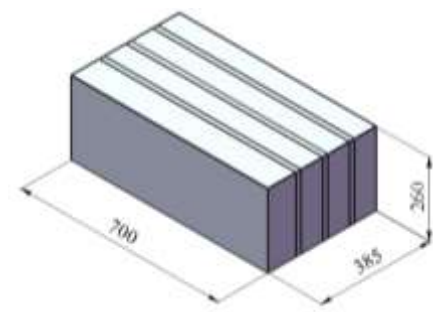


Рис. 9

Конструкция УПЭ 1 (рис. 8) состоит из двух частей (блок 1 и блок 2). Блок 1 представляет собой короб в виде параллелепипеда с однослойным сотовым пакетом внутри. Толщина стенок короба – 2 мм, толщина передней торцевой пластины – 4 мм. Сотовый пакет состоит из сот переменной высоты с шестигранными ячейками. Он содержит 53 ячейки, из которых 18 имеют длину 80 мм, а 35 – длину 85 мм. Длина стороны шестигранной сотовой ячейки – 30 мм. Толщина пластин, формирующих шестигранные сотовые ячейки – 0,6 мм. Между сотовым пакетом и передней торцевой пластиной предусмотрен зазор 10 мм.

Блок 2 выполнен в виде усеченной пирамиды и состоит из сот с трехгранными ячейками. Половина пластин, образующих трехгранные ячейки, укорочены на 20 мм со стороны блока 1. Толщина торцевых пластин блока 2 – 8 мм. Толщина пластин, образующих трехгранные ячейки – 2,2 мм. Толщина внешних продольных ребер в конструкции блока 2 – 6,6 мм.

Конструкция УПЭ 2 (рис. 9) представляет собой короб, внутри которого размещен четырехслойный сотовый блок. Каждый слой представляет собой пакет шестигранных сот, установленный на диафрагме, которая прикреплена к коробу. Между сотовыми пакетами и прикрепленными к коробу диафрагмами предусмотрен зазор 5 мм, а между первым сотовым пакетом и передней торцевой пластиной – 10 мм. Длина стороны сотовой ячейки – 30 мм. Минимальная высота пластин, формирующих сотовые ячейки – 80 мм, максимальная высота – 85 мм, их толщина 0,6 мм. Короб имеет толщину стенок – 2 мм. Толщина диафрагм – 2 мм.

Конструкции УПЭ 3 и УПЭ 2 аналогичны и имеют одинаковые габариты. УПЭ 3 состоит из короба в виде параллелепипеда с четырехслойным сотовым пакетом внутри. Каждый слой сотового пакета, состоящий из сот переменной высоты с шестигранными ячейками, установлен на диафрагмах, прикрепленных к коробу. Толщины стенок короба, передней и задней торцевых пластин, диафрагм – 2 мм. Сотовый пакет состоит из сот переменной длины с

шестигранными ячейками. Он содержит 63 ячейки, из которых 33 ячейки имеют длину 80 мм, а 30 – длину 90 мм. Длина стороны шестигранной сотовой ячейки – 30 мм. Толщина пластин, формирующих шестигранные сотовые ячейки – 0,7 мм. Между сотовым пакетом и передней торцевой пластиной предусмотрен зазор – 5 мм.

Конструкций УПЭ 1 – УПЭ 3 изготавливаются из стали 08Ю с пределом текучести 175 МПа.

Выводы. Дана оценка динамической нагруженности экипажей пассажирского эталонного поезда, составленного из локомотива (массой 90 т или 123 т) и четырех вагонов (массами 50 т или 64 т), оборудованных сзади и спереди двумя УПЭ соответствующей энергоемкости, при столкновении со скоростью 36 км/ч с идентичным эталонным составом и с грузовым вагоном.

Проведенные исследования показали, что при оборудовании локомотивов массой 90 т и 123 т УПЭ с энергоемкостью 0,95 МДж и вагонов массой 50 т УПЭ с энергоемкостью 0,25 МДж, вагонов массой 64 т УПЭ с энергоемкостью 0,3 МДж требования европейского стандарта EN 15227 и разработанной концепции пассивной безопасности пассажирского подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм для рассмотренных сценариев столкновения выполняются.

Разработаны конструкции и определены параметры следующих защитных устройств: УПЭ 1 с энергоемкостью 0,95 МДж для скоростных пассажирских локомотивов массой 90 т и 123 т; УПЭ 2 с энергоемкостью 0,25 МДж для пассажирских вагонов массой 50 т; УПЭ 3 с энергоемкостью 0,3 МДж для пассажирских вагонов массой 64 т.

1. Основні аспекти стратегії розвитку ПАТ “Укрзалізниця” 2017 – 2021 роки. URL: http://www.uz.gov.ua/files/file/Strategy_Presentation_fin1.pdf (Last accessed: 15.09.2017).
2. Програма (прогнозна) оновлення рухомого складу ПАТ “Укрзалізниця” на період до 2021 року та її виконання у 2017 році. URL: <http://eurotrain.railway-publish.com/assets/files/pdf/1.pdf> (Last accessed: 15.09.2017).
3. Залізничний транспорт України 2016-2017. URL: <http://eurotrain.railway-publish.com/assets/files/pdf/5.pdf> (Last accessed: 15.09.2017).
4. EN 15227. Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies. Brussels, 2008. 37 p.
5. Carl F.B., Schneider S., Wolter W. Development of the crashworthy locomotive platform TRAXX: Operational needs, technical concept and validation procedure. Passive Safety of Rail Vehicles and Safe Interiors. Proceedings of 5th International Symposium (17 – 18 March, 2005, Berlin). Berlin, 2005. P. 42–62.
6. The EST crash buffer (EST креш буфер). URL: <http://www.crashbuffer.com/index.htm> (Last accessed: 15.09.2017).
7. Foedtke J., Schneider S., Pfrommer R., Zurheide H. Entwicklung der Kastenstruktur für die Lokomotive Voith Maxima 40C. Design of the carbody structure for the Voith Maxima 40CC locomotive. ZEVrail Glasers Annalen. 2008. № 132. P. 292–303.
8. Prima II – локомотивы нового поколения. Железные дороги мира. 2010. № 12. С. 17–25.
9. Siemens. Locomotives – Локомотивы. Интегрированные решения для эффективных пассажирских и грузовых перевозок. URL: <http://eurotrain.railway-publish.com/assets/files/pdf/12.pdf> (Last accessed: 15.09.2017).
10. Сцепление и защита. Сцепные устройства и системы для передней части состава. URL: http://resource.voith.com/vt/publications/downloads/1994_r_g1712_rus_2013-03.pdf (Last accessed: 15.09.2017).
11. Jade E. Development process of a side bumper crash device. Passive Safety of Rail Vehicles. Innovation in passive safety and interior design. Proceedings of the 7th International Symposium (20–21 November 2008, Berlin). Berlin, 2008. P. 71–80.
12. Wasilewski L. Evolution of crash absorbing systems according to EN 15227 and according to real operation conditions. Passive Safety 2013 – Passive Safety of Rail Vehicles and Safe Interiors. Proceedings of the 9th International Symposium (21–22 February 2013, Berlin). Berlin, 2013. P. 211–218.
13. Axtone is the supplier of the largest crash buffers in Europe. URL: <http://www.crashtechology.eu/news/task,item/id,10/> (Last accessed: 15.09.2017).

14. Innova Systems & Technologies. Railway technologies & crash buffers. URL: <http://www.innova-systech.com/> (Last accessed: 15.09.2017).
15. *Соболевская М. Б., Сирота С. А.* Основные положения концепции пассивной защиты скоростного пассажирского поезда при аварийных столкновениях. *Техническая механика*. 2015. № 1. С. 84–96.
16. *Науменко Н. Е., Соболевская М. Б., Горобец Д. В., Богомаз Е. Г.* Разработка элементов пассивной защиты скоростных пассажирских локомотивов нового поколения при аварийных столкновениях на железных дорогах колеи 1520 мм. *Техническая механика*. 2017. № 1. С. 72–82.
17. *Науменко Н. Е., Соболевская М. Б., Сирота С. А., Горобец Д. В.* Разработка элементов пассивной защиты вагонов пассажирского поезда нового поколения для железных дорог колеи 1520 мм. *Техническая механика*. 2017. № 2. С. 73–83.
18. *Науменко Н. Е., Хижа И. Ю.* Моделирование аварийного соударения с преградой пассажирского поезда, оборудованного системой пассивной безопасности. *Техническая механика*. 2014. № 4. С. 65–74.
19. *Llana P., Stringfellow P.* Preliminary finite element analysis of locomotive crashworthy components. ASME 2011 Rail Transportation Division Fall Technical Conference RTDF011, September 21 – 22, 2011, Minneapolis, Minnesota, USA: proceedings. Minneapolis, 2011. P. 1–11.
20. *Llana P., Stringfellow R.* Preliminary development of locomotive crashworthy components. ASME/ASCE/IEEE Joint Rail Conference JRC2011, March 16 – 18, 2011, Pueblo, Colorado, USA: proceedings. Pueblo, 2011. P. 11–20.
21. *Науменко Н. Е., Хижа И. Ю.* Оценка влияния работы устройств системы пассивной безопасности пассажирского локомотива на его динамическую нагруженность при аварийном столкновении с препятствием на железной дороге. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. національного ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2013. № 1 (43). С. 154–161.
22. *Науменко Н. Е., Хижа И. Ю.* Моделирование взаимодействия экипажей пассажирского поезда, оборудованного системой пассивной безопасности, при аварийном столкновении с препятствием. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. національного ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2015. № 4 (58). С. 163–174.

Получено 18.09.2017,
в окончательном варианте 02.10.2017