

УДК: 629.4.06

Н.Е. НАУМЕНКО, канд. техн. наук,

И.Ю. ХИЖА, канд. техн. наук,

Е.Г. БОГОМАЗ, инж.

Д.В. ГОРОБЕЦ, асп.

Институт технической механики НАНУ и НКАУ (Украина)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ЛОКОМОТИВОВ И ВАГОНОВ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ СОУДАРЕНИЯХ

За допомогою комп'ютерного моделювання проведена оцінка динамічного навантаження локомотива і вагонів при зіткненні поїздів або при наїзді поїзда на нерухому перешкоду. Показано ефективність використання комбінованих буферів з додатковими елементами, що деформуються, як захисні пристрої конструкцій локомотива і вагонів.

С помощью компьютерного моделирования проведена оценка динамической нагруженности локомотива и вагонов при столкновении поездов или при наезде поезда на неподвижную преграду. Показана эффективность использования комбинированных буферов с дополнительными деформируемыми элементами в качестве защитных устройств конструкций локомотива и вагонов.

The estimation of locomotive and car structures dynamic response arising under a train ride into a fixed obstacle or under trains collision was carried out by the computer simulations. Efficiency of use of the combined buffers with additional deformable elements as accident protection devices of locomotive and car structures was shown.

Методами математического моделирования проведена оценка динамической нагруженности конструкций локомотива и вагонов, возникающей при аварийных ситуациях, которые характеризуются наездом поезда на неподвижную преграду или столкновением поездов. При этом учтена возможность образования остаточных продольных деформаций кузовов экипажей и автосцепок (буферов). В качестве объекта исследований выбран скоростной поезд направления Днепропетровск – Киев. Расчетная схема поезда представлена одномерной системой твердых тел, связанных деформируемыми нелинейными элементами. Рассмотрены случаи, когда локомотив оборудован автосцепками с поглощающими аппаратами ЭПУ-2 или его головная часть оборудована комбинированными буферами типа С, в том числе с деформируемыми элементами, а другой конец локомотива – автосцепкой с поглощающим аппаратом ЭПУ-2. В качестве ударно-тяговых приборов пассажирских вагонов использованы автосцепки с поглощающими аппаратами ЭПУ-2 и тяжелые буфера. Кроме того, рассмотрено оборудование пассажирских вагонов отдельными ударно-тяговыми приборами, а именно, буферами для вагонов габарита РИЦ либо комбинированными буферами типа С и винтовыми

стяжками с поглощающими аппаратами ЭПУ-2. Рассмотрен также вариант оборудования вагонов поезда не только комбинированными буферами типа С, но и установленными последовательно за ними поглощающими устройствами. Конструкция и эксплуатационные характеристики комбинированного буфера и деформируемого элемента, выполняющих функции пассивной защиты подвижного состава в случае столкновения, приведены в работе [1].

Оценим динамическую нагруженность конструкций локомотива и вагонов поезда при наезде поезда на неподвижную преграду для случаев, когда масса преграды составляет 50 и 100 т, и используются различные варианты оборудования пассажирских вагонов и локомотивов ударно-тяговыми приборами. Анализ результатов проведенных расчетов показал, что значение критической скорости соударения, при котором возникают ускорения пассажирских вагонов, превосходящие допустимый уровень 3g, существенно зависит как от вида оборудования вагонов и локомотивов ударно-тяговыми устройствами, так и от массы преграды.

На рис. 1 показаны графики распределения экстремальных сжимающих усилий по длине пассажирского поезда при его наезде на непод-

вижную преграду массой 50 т со скоростью 30 км/ч. Приведенные результаты соответствуют оборудованию вагонов тяжелыми буферами и автосцепками с поглощающими аппаратами ЭПУ-2 (рис. 1, а), буферами для вагонов типа РИЦ (рис. 1, б) или буферами типа С (рис. 1, в) и винтовыми стяжками. Зависимости, показанные линиями 1, 2 и 3, получены соответственно в предположении, что головная часть локомотива оборудована автосцепкой с поглощающим аппаратом ЭПУ-2, буферами типа С и буферами типа С с последовательно установленными деформируемыми элементами.

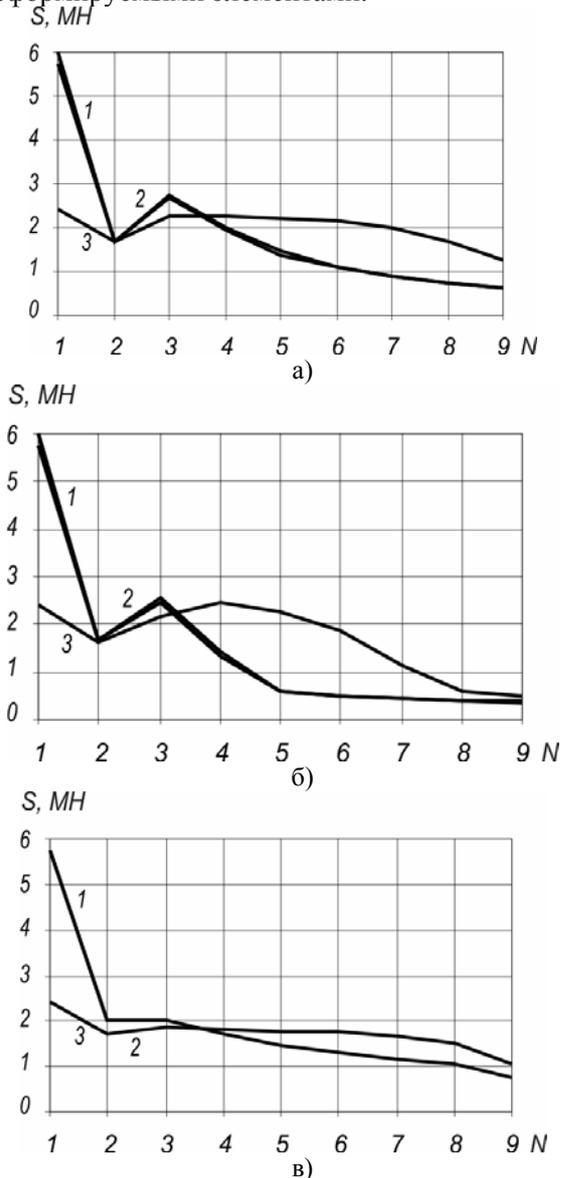


Рис. 1. Распределение экстремальных сжимающих продольных усилий по длине поезда при наезде поезда на преграду массой 50 т со скоростью 30 км/ч

Анализ результатов исследования процесса наезда поезда на неподвижную преграду показал, что для существующих ударно-тяговых приборов, которыми оборудуются пассажир-

ские вагоны, использование на локомотиве автосцепок с поглощающими аппаратами ЭПУ-2 или буферов типа С приводит практически к одному и тому же распределению по длине экстремальных сжимающих усилий (линии 1 и 2 рис. 1, а, б совпадают). Применение на локомотиве защиты в виде установленных последовательно за комбинированными буферами деформируемых элементов позволяет понизить для локомотива и вагонов, расположенных в первой половине состава, экстремальные значения продольных сжимающих сил, возникающих при сверхнормативных ударных воздействиях. В табл. 1 приведены максимальные значения ускорений \ddot{x}_i локомотива ($i=1$) и вагонов ($i=2, \dots, 9$), остаточных деформаций δ_i экипажей поезда, а также сжимающих продольных сил S_i , возникающих перед локомотивом и в межвагонных соединениях при соударении поезда с неподвижной преградой массой 50 т со скоростью 50 км/ч. Вариант 1 соответствует оборудованию межвагонных соединений вагонов только буферами типа С, локомотив при этом оборудован буферами и последовательно расположенными деформируемыми элементами. Вариант 2 соответствует случаю, когда и вагоны, и локомотив оборудованы как буферами, так и деформируемыми элементами. Как видно из приведенных результатов, применение на вагонах защиты в виде комбинированных буферов и установленных последовательно с ними деформируемых элементов приводит практически к таким же результатам, как и в случае оборудования вагонов комбинированными буферами, а локомотива – комбинированными буферами и деформируемыми элементами. Однако в первом случае остаточные деформации возникают в конструкциях локомотива и первого вагона, во втором случае – в конструкциях локомотива и первых двух вагонов. Для рассматриваемой преграды в случае использования существующего ударно-тягового оборудования вагонов критическая скорость составляет 30 км/ч.

Если же вагоны поезда оборудовать комбинированными буферами типа С и винтовыми стяжками, а локомотивы – комбинированными буферами типа С и деформируемыми элементами, то критическая скорость для рассматриваемых поезда и преграды может быть повышена до 50 км/ч, при этом ускорения локомотива и первого вагона, предназначенного для перевозки автомобилей, составляют $7g$, ускорение только первого пассажирского вагона равно $3g$ (табл. 1).

Параметры нагруженности экипажей поезда при его соударении со скоростью 50 км/ч с неподвижной преградой массой 50 т

Вариант	Параметр	Номер экипажа, i								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	S_i , МН	11,9	3,35	3,00	2,40	2,40	2,24	2,18	2,00	1,44
	\ddot{x}_i , g	7,00	7,00	3,00	2,30	2,00	1,80	1,70	1,70	2,50
	δ_i , м	0,48	0,12	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	S_i , МН	11,9	3,35	2,40	2,35	2,27	2,23	2,17	1,98	1,40
	\ddot{x}_i , g	7,00	7,00	3,00	2,30	2,00	1,80	1,70	1,70	2,50
	δ_i , м	0,48	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Проведены исследования нагруженности железнодорожных экипажей для случая наезда поезда на преграду, масса которой составляет 100 т. Варианты оборудования локомотива и вагонов поезда ударно-тяговыми приборами соответствуют рассмотренным при наезде поезда на преграду массой 50 т. Анализ полученных данных показал, что при оборудовании головной части локомотива автосцепкой или комбинированными буферами значения сжимающих усилий в межвагонных соединениях зависят только от вида ударно-тяговых приборов вагонов. Если же локомотив оборудовать не только буферами типа С, но и дополнительно деформируемыми элементами, то нагрузки, действующие на локомотив, значительно снижаются. На рис. 2 приведены графики распределений максимальных ускорений по длине поезда, когда головная часть локомотива оборудована комбинированными буферами типа С и деформируемыми элементами (рис. 2, а) и только буферами (рис. 2, б). Результаты, показанные линиями 1, 2 и 3, соответствуют оборудованию вагонов поезда тяжелыми буферами и автосцепками, буферами РИЦ или буферами типа С и винтовыми стяжками. Значительное снижение сжимающих усилий и ускорений вагонов получено только в предположении, что вагоны оборудованы отдельными тягово-сцепными и ударными приборами и в качестве ударных приборов используются буфера типа С. При этом критическая скорость может быть повышена с 20 до 40 км/ч. Если же вагоны оборудовать деформируемыми элементами, то для скоростей соударения до 35 км/ч решения полностью совпадают с теми, которые получены в случае оборудования вагонов только буферами. При наезде поезда на преграду со скоростью 40 км/ч отличаются усилия, действующие в первой половине состава, и остаточные

деформации, имеющие место в конструкциях экипажей.

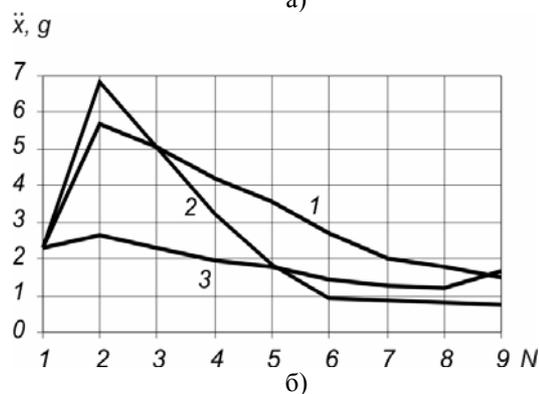
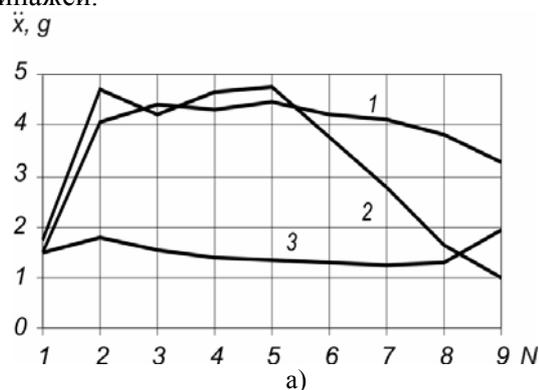


Рис. 2. Распределение экстремальных продольных ускорений по длине поезда при наезде поезда на преграду массой 100 т со скоростью 20 км/ч

В табл. 2 приведены максимальные значения ускорений локомотива и вагонов, остаточных деформаций экипажей поезда, а также сжимающих продольных сил, возникающих в соединениях и перед локомотивом при соударении поезда с неподвижной преградой массой 100 т со скоростью 40 км/ч. Варианты оборудования ударно-тяговыми приборами вагонов и локомотива аналогичны тем, которые рассмотрены при исследовании наезда поезда на преграду массой 50 т.

Параметры нагруженности экипажей поезда при его соударении со скоростью 40 км/ч с неподвижной преградой массой 100 т

Вариант	Параметр	Номер экипажа поезда, i								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	S_i , МН	12,48	3,88	3,58	2,86	2,40	2,32	2,26	2,20	1,56
	\ddot{x}_i , g	6,98	6,87	3,05	2,28	1,98	1,80	1,70	1,73	2,73
	δ_i , м	0,50	0,23	0,18	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	S_i , МН	12,48	3,88	2,40	2,40	2,35	2,30	2,25	2,20	1,55
	\ddot{x}_i , g	6,98	6,87	2,87	2,25	1,96	1,79	1,68	1,72	2,72
	δ_i , м	0,50	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показал, что при использовании первого варианта оборудования межвагонных соединений вагонов поезда остаточные деформации возникают в конструкциях локомотива и первых четырех вагонов, и усилия, действующие на третий и четвертый вагоны, составляют соответственно 3,58 МН и 2,86 МН. При оборудовании вагонов и локомотива как буферами, так и деформируемыми элементами, пластическому деформированию подвержены только конструкции локомотива и первого вагона, и усилия составляют 2,4 МН.

Исследован процесс аварийного соударения двух одинаковых по формированию и массе пассажирских поездов. Рассмотрены как лобовое столкновение поездов, так и соударение головной части одного состава с хвостовой частью другого. Предполагалось, что локомотив с первым вагоном соединяется типовой автосцепкой, вагоны оборудованы автосцепками и тяжелыми буферами. В качестве поглощающих аппаратов рассматривались эластомерные аппараты типа ЭПУ-2. При этом рассмотрены варианты оборудования головной части локомотива поезда такие же, как указано выше. Относительная скорость соударения поездов варьировалась в пределах от 10 до 30 км/ч.

Результаты проведенных исследований показали, что в случае оборудования головной части локомотива автосцепкой с поглощающим аппаратом ЭПУ-2 при относительной скорости столкновения поездов, равной 10 км/ч, значение максимальной сжимающей силы, приходящейся на локомотив, составляет 3 МН. Значения же усилий, возникающих в межвагонных соединениях экипажей, значительно ниже. При этом у двух вагонов, расположенных непосредственно за локомотивом, максимальные значения ускорений превосходят предельный уро-

вень 3g и составляют соответственно 3,7g и 3,4g. В случае столкновения поездов с относительными скоростями 15 км/ч и выше практически во всех конструкциях экипажей появляются пластические деформации, и наблюдается резкое возрастание максимальных значений продольных сил и ускорений вагонов.

Применение на локомотиве комбинированных буферов типа С приводит к снижению уровня максимальных значений продольных сжимающих сил и ускорений только для локомотива. Так, при относительной скорости соударения 10 км/ч усилие, действующее на локомотив, не превосходит 2,4 МН, а ускорение локомотива составляет 1,65g. Однако при этом нарушается условие безопасности пассажиров в вагонах, так как уровень ускорений пяти вагонов, следующих за локомотивом, превосходит 3g. При скорости соударения более 12 км/ч наблюдаются пластические деформации конструкции локомотива. При скорости соударения 15 км/ч остаточная деформация кузова локомотива составляет 0,14 м.

Использование комбинированных буферов с последовательно расположенными деформируемыми элементами позволяет обеспечить защиту конструкции локомотива от повреждений при скоростях соударения до 25 км/ч, не улучшая при этом динамику пассажирских вагонов. На рис. 3 приведены графики распределения экстремальных значений продольных сжимающих сил (рис. 3, а) и ускорений (рис. 3, б) по длине поезда для различных вариантов оборудования локомотива, когда относительная скорость соударения составляет 15 км/ч.

На графиках линии 1 соответствуют варианту, когда локомотив оборудован автосцепкой, линии 2 – комбинированными буферами типа С, линии 3 – комбинированными буферами типа С и деформируемыми элементами.

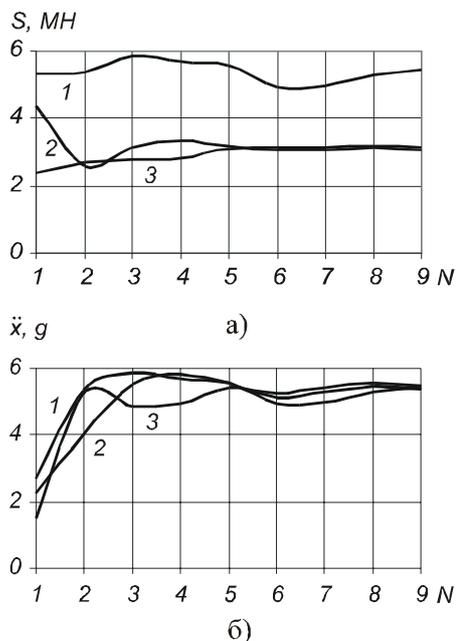


Рис. 3. Распределение по длине поезда экстремальных значений сжимающих сил и ускорений

С целью оценки динамической нагруженности поездов в случае столкновения головной

части одного состава с хвостовой частью другого исследован процесс соударения поездов, локомотивы которых оборудованы комбинированными буферами типа С. Получено, что при относительной скорости соударения 10 км/ч максимальное усилие, действующее на локомотив, составляет 2,44 МН. При скоростях соударения 15 км/ч и выше, как и в случае лобового столкновения поездов, максимальные значения усилий, приходящиеся на локомотив и последние вагоны, значительно возрастают и превышают значения, допускаемые Нормами [3].

Аналогичные закономерности получены при оборудовании пассажирских вагонов существующими отдельными ударно-тяговыми приборами, а именно, буферами вагонов габарита РИЦ и винтовыми стяжками с поглощающими аппаратами ЭПУ-2. Исследования проведены для всех описанных выше вариантов оборудования головной части локомотива. В табл. 3. приведены результаты расчетов динамической нагруженности пассажирского поез-

Таблица 3

Результаты расчетов динамической нагруженности пассажирского поезда

Вариант	i	Скорость соударения 10 км/ч			Скорость соударения 15 км/ч		
		S_i , МН	\ddot{x}_i , g	δ_i , м	S_i , МН	\ddot{x}_i , g	δ_i , м
Локомотив оборудован автосцепкой с поглощающим аппаратом ЭПУ-2	1	-3,01	1,85	-0,060	-3,69	2,15	-0,198
	2	-1,19	3,94	0	-1,69	6,87	0,000
	3	-1,92	3,12	0	-3,00	5,28	-0,016
	4	-1,78	2,07	0	-2,56	4,49	0,000
	5	-1,18	1,31	0	-2,30	4,03	0,000
	6	-0,75	0,97	0	-2,01	3,35	0,000
	7	-0,57	0,97	0	-1,81	3,12	0,000
	8	-0,58	0,99	0	-1,88	3,29	0,000
	9	-0,58	1,02	0	-2,02	3,55	0,000
Локомотив оборудован комбинированными буферами типа С	1	-2,39	1,45	0	-3,35	2,04	-0,139
	2	-1,16	3,32	0	-1,69	6,47	0,000
	3	-1,77	3,09	0	-2,95	5,18	-0,014
	4	-1,65	2,89	0	-2,76	4,84	-0,006
	5	-1,42	2,48	0	-2,70	4,73	-0,003
	6	-0,89	1,47	0	-2,31	3,85	0,000
	7	-0,57	0,98	0	-1,95	3,35	0,000
	8	-0,57	0,98	0	-1,78	3,11	0,000
	9	-0,58	1,01	0	-1,87	3,69	0,000
Локомотив оборудован комбинированными буферами типа С и деформируемыми элементами	1	-2,39	1,45	0	-2,39	1,48	0,000
	2	-1,16	3,32	0	-1,80	4,98	0,000
	3	-1,77	3,09	0	-2,67	4,69	-0,002
	4	-1,65	2,89	0	-2,85	5,00	-0,012
	5	-1,42	2,48	0	-2,93	5,14	-0,016
	6	-0,89	1,47	0	-2,79	4,65	-0,008
	7	-0,57	0,98	0	-2,61	4,50	-0,001
	8	-0,57	0,98	0	-2,32	4,06	0,000
	9	-0,58	1,01	0	-1,97	3,45	0,000

да, вагоны которого оборудованы отдельными ударно-тяговыми приборами, в случае лобового столкновения поездов с относительными скоростями 10 км/ч и 15 км/ч. Анализ результатов расчета показал, что использование буферов, предназначенных для вагонов габарита РИЦ, позволяет лишь несколько снизить уровень максимальных сжимающих сил и ускорений пассажирских вагонов, но не меняет характер распределения экстремальных значений продольных усилий и ускорений по длине поезда в целом.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в целях защиты локомотива и локомотивной бригады от воздействия продольных нагрузок при сверхнормативных соударениях поездов целесообразно оборудовать локомотивы комбинированными буферами типа С и деформируемыми элементами. Однако использование пассивных средств защиты, устанавливаемых только на локомотиве, не улучшает динамику поезда в целом. Высокий уровень продольных ускорений вагонов, наблюдаемый уже при относительных скоростях соударений поездов 15 км/ч и выше, не позволяет обеспечить защиту пассажиров от травматических воздействий внутри пассажирского вагона. На рис. 4 приведены распределения максимальных продольных ускорений экипажей в случае оборудования вагонов тяжелыми буферами и автосцепками, а локомотива – буферами типа С и деформируемыми элементами при различных относительных скоростях соударения. Линия 1 соответствует скорости соударения 10 км/ч, линия 2 – 15 км/ч, линия 3 – 20 км/ч, линия 4 – 25 км/ч, линия 5 – 30 км/ч.

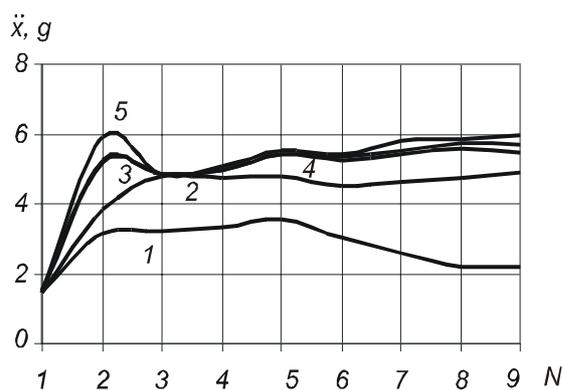


Рис. 4. Распределение ускорений по длине поезда

С целью повышения безопасности пассажиров при аварийных столкновениях проведены исследования динамической нагруженности поездов, у которых не только локомотивы, но и вагоны оборудованы защитными устройствами,

в частности, комбинированными буферами типа С и винтовыми стяжками с поглощающими аппаратами ЭПУ-2. Анализ результатов расчета показал, что при использовании на вагонах комбинированных буферов типа С и винтовых стяжек, а на локомотиве – буферов с деформируемыми элементами значительно уменьшается динамическая нагруженность вагонов поезда. Так, при скорости соударения 20 км/ч максимальное усилие, возникающее в межвагонных соединениях вагонов, не превышает 2,54 МН, а максимальное ускорение вагонов – 2,6 g, максимальное значение продольной сжимающей силы, приходящейся на локомотив, составляет – 2,68 МН. На рис. 5 приведены графики распределения экстремальных значений продольных сжимающих сил (рис. 5, а) и ускорений (рис. 5, б) по длине поезда для различных вариантов оборудования вагонов, когда относительная скорость соударения составляет 20 км/ч. На графиках линии 1 соответствуют варианту, когда вагоны оборудованы автосцепкой с поглощающим аппаратом ЭПУ-2 и тяжелыми буферами, линии 2 – буферами вагонов габарита РИЦ и винтовыми стяжками с поглощающими аппаратами ЭПУ-2, линии 3 – комбинированными буферами типа С и винтовыми стяжками с поглощающими аппаратами ЭПУ-2. Локомотив при этом оборудован комбинированными буферами типа С с деформируемыми элементами.

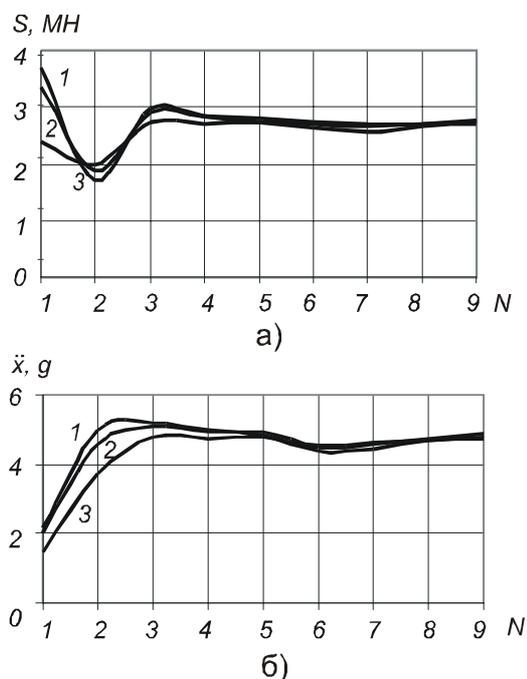


Рис. 5. Распределение по длине поезда экстремальных значений сжимающих сил и ускорений

Таким образом, проведенные исследования показали, что безопасность пассажиров при наезде поезда на неподвижную преграду или аварийных столкновениях поездов может быть повышена, если не только локомотив, но и вагоны поезда будут оборудованы защитными устройствами в виде комбинированных буферов типа С и последовательно расположенных деформируемых элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Schneider S., Staub J. Комбинированный буфер с деформируемым элементом // Железные дороги мира. – 2000. – № 9. – С. 50-54.
2. Беляев В.И., Черкашин Ю.М., Ступин Д.А., Кочнов А.Д. Разработка системы безопасности пассажирского поезда при аварийных соударениях // Транспорт. – 2000. – Вып. 6. – С. 11-13.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.