

УДК629.4.028

Кандидаты техн. наук В. И. БЕЛЯЕВ, Д. А. СТУПИН, В. С. ПЛОТКИН, инж. А. Н. СТЕПАНОВ

Исследование влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на динамико-прочностные характеристики несущих конструкций вагонов

Аннотация. Рассмотрена проблема защиты вагонов, перевозящих опасные грузы, путем применения в автосцепном устройстве поглощающих аппаратов повышенной энергоемкости. Показано, что принятая классификация поглощающих аппаратов с различными требованиями к энергоемкости в зависимости от рода перевозимого груза обеспечивает повышенную защиту и предотвращает возникновение опасных последствий при возможных нештатных ситуациях с такими вагонами.

Приведена разработанная методика, позволяющая количественно оценить влияние повышения энергоемкости поглощающего аппарата на снижение уровня сил, действующих на вагон, степень его повреждаемости в эксплуатации при нештатных ситуациях, повышение остаточного ресурса несущих элементов конструкции кузова.

Даны результаты испытаний при соударении вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами с различной энергоемкостью, а также расчетов нагруженности вагонов, выполненных на основании результатов испытаний. Проведенные испытания подтвердили, что при оборудовании вагонов поглощающими аппаратами большой энергоемкости обеспечивается как значительное увеличение остаточного ресурса конструкции вагонов, так и повышение условно безопасных скоростей соударения, при которых уровень сил не превышает прочности вагонов, что уменьшает вероятность возникновения аварийных ситуаций и снижает тяжесть последствий.

Ключевые слова: поглощающие аппараты автосцепки грузовых вагонов; защита вагонов для перевозки опасных грузов; классификация; основные требования; методика и результаты исследований

Защита конструкций грузовых вагонов и перевозимых грузов от действия продольных сил обеспечивается работой поглощающих аппаратов автосцепки, воспринимающих значительную часть энергии взаимодействия вагонов. При этом силовые характеристики поглощающих аппаратов регламентируются таким образом, чтобы уровень сил, при которых происходит сжатие поглощающих аппаратов, соответствовал прочностным характеристикам вагонов, заложенным при их разработке в соответствии с «Нормами расчетов вагонов на прочность...» [1]. Благодаря этому при соблюдении нормативов эксплуатации подвижного состава железных дорог, основополагающими из которых являются «Правила технической эксплуатации...» [2], уровень возникающих продольных сил не превышает нормативных значений, что обеспечивает безопасность движения и исключает порчу перевозимых грузов и подвижного состава.

Однако проведенными исследованиями [3] установлено, что количество соударений со скоростью, превышающей допустимый по ПТЭ уровень 5 км/ч, составляет свыше 80%, более 7,5 км/ч – 17%, более 10 км/ч – 11%. Максимальная замеренная скорость соударения достигала 19 км/ч. Возможность появления таких скоростей соударения обусловлена скоростями роспуска (в соответствии с ГОСТ 22235 [4] допускается вход сцепов вагонов на замедлитель со скоростью до 30,6 км/ч). Также невозможно полностью исключить нарушения и других правил эксплуатации, технических отказов транспортных средств и элементов инфраструктуры, которые в ряде случаев приводят к авариям и крушениям поездов. Для минимизации последствий, например, столкновений пассажирских поездов между собой и с другими препятствиями в последние годы они оснащаются дорогостоящими крэш-системами и специальными энергопоглощающими устройствами [5]. Для грузовых поездов такая система экономически неоправданна, поэтому защита грузовых вагонов и грузов обеспечивается поглощающими аппаратами автосцепки [6] (на подвижном составе стран, использующих винтовую сцепку, эту функцию выполняют боковые буфера).

Вместе с тем, как показывает опыт эксплуатации, энергоемкость поглощающих аппаратов вагонов эксплуатационного парка в ряде случаев оказывается недостаточной для поглощения энергии удара, что приводит к деформации и разрушению элементов конструкции вагона и потере перевозимого груза. Для массовых грузов это приводит преимущественно лишь к материальным убыткам вследствие задержки движения, повреждения элементов подвижного состава и инфраструктуры, а также потери груза; при перевозке опасных грузов это может привести к техногенным катастрофам, таким как недавние крушения и сходы грузовых поездов с опасными грузами, вызвавшие массовую эвакуацию местных жителей: Нью-Августа, США (01.02.2014), Нью-Брансуик, Канада (08.01.2014), Касселтон, США (30.12.2013), Лотелл, США (05.08.2013), Ляк-Мегантик, Канада (06.07.2013), Балтимор, США (28.05.2013), Коламбус, США (12.07.2012).

Для предотвращения таких опасных случаев по заданию МПС России в 1998–2000 гг. ВНИИЖТ выполнил серию научно-исследовательских работ [7, 8, 9], по результатам которых была обоснована целесообразность введения классификации поглощающих аппаратов грузовых вагонов с различными силовыми и энергетическими характеристиками в зависимости от рода перевозимого груза. На основании данной работы в 2001 г. МПС России был принят и введен в действие отраслевой стандарт ОСТ 32.175–2001 [10], в котором была установлена классификация поглощающих аппаратов автосцепки с различными требованиями, в первую очередь по энергоемкости, т. е. с различной степенью защиты подвижного состава при нештатных ситуациях, приводящих к возникновению продольных сил высокого уровня.

Появление данной классификации стимулировало начало работ по созданию конструкций аппаратов различных классов и установлению требований по оснащению вагонов, перевозящих опасные и особо опасные грузы, только поглощающими аппаратами высоких классов (например, см. [11]). Действие этих требований обеспечило высокую степень защиты, особенно при эксплуатации вагонов, перевозящих опасные грузы [12], в том числе нефтебензиновых и газовых вагонов-цистерн.

Последующие структурные изменения в сфере железнодорожного транспорта и появление компаний — владельцев вагонов привели к изменению сферы интересов и ответственности в данной области. Поэтому для подтверждения обоснованности действующих требований (обязывающих устанавливать на вагоны для перевозки опасных грузов более энергоемкие и, соответственно, более дорогостоящие поглощающие аппараты) решением совещания в Министерстве транспорта России ОАО «ВНИИЖТ» было поручено провести научно-исследовательскую работу по исследованию влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на динамико-прочностные характеристики несущих конструкций вагонов.

Проведение исследований, включая испытания и расчет нагруженности, на основании которых выполнялась оценка изменения относительной повреждаемости вагонов продольными силами в эксплуатации при использовании поглощающих аппаратов различных классов, проводилось в соответствии с «Программой-методикой оценки влияния энергоемкости поглощающих аппаратов автосцепки на динамико-прочностные характеристики и степень защиты грузовых вагонов от повреждений в эксплуатации», разработанной ОАО «ВНИИЖТ» и согласованной ЦТех и ЦВ ЦДИ ОАО «РЖД».

В соответствии с этой методикой в рамках данной работы в одинаковых условиях были проведены натурные испытания на соударение вагонов, оборудованных

поглощающими аппаратами различных классов. Результаты этих испытаний использовались в качестве исходных данных для расчетов нагруженности.

Испытания проводились путем соударения двух груженых вагонов. Ударяемый вагон, оборудованный аппаратом определенного класса, свободно стоял на горизонтальном участке пути в незаторможенном состоянии. Вагон-боек, оборудованный поглощающим аппаратом класса Т0 (модели ПМК-110), накатывался на ударяемый вагон с постепенным увеличением скорости.

Ударяемые вагоны были загружены до полной грузоподъемности, а их фактическая масса определена взвешиванием. В качестве вагона-бойка использован полувагон, загруженный щебнем до массы 102,5 т, в соответствии со стандартизированной методикой испытаний СТ ССФЖТ ЦВ-ЦД 09-07-99 и ГОСТ Р 55185–2012 [13].

Соударения проводились со скоростью соударения от 3 км/ч до достижения максимальной скорости, при которой сила удара находилась в диапазоне от 3,0 до 3,5 МН. При каждом ударе регистрировалась скорость соударения вагонов, продольная сила и ход поглощающего аппарата на ударяемом вагоне, а также строилась силовая характеристика поглощающего аппарата $P(X)$. Аналогичный цикл соударений вагонов выполнялся с поглощающими аппаратами классов Т0, Т1, Т2 и Т3.

Обработку и оценку результатов испытаний выполняли следующим образом. Для деталей вагонов, работающих в условиях длительного воздействия динамических нагрузок, изменение степени защиты от повреждений в эксплуатации выполняют путем расчета на сопротивление усталости при многоцикловом нагружении в соответствии с «Нормами...» [1]. Кривая усталости во всем диапазоне долговечности (числа циклов N_i) имеет вид

$$\sigma_i^m N_i = \text{const}, \quad (1)$$

где показатель степени m равен 4 в соответствии с действующими «Нормами...» [1] для балок из фасонного проката из низколегированных сталей.

Коэффициент запаса сопротивления усталости n вычисляется по формуле

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,3}} = \frac{P_{a,N}}{P_{a,3}} \geq [n], \quad (2)$$

где $\sigma_{a,N}$ — предел выносливости (по амплитуде напряжений) натурной детали при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$; $\sigma_{a,3}$ — амплитуда динамического напряжения, приведенная к базовому числу циклов N_0 , эквивалентная по повреждающему действию режиму эксплуатационных случайных напряжений за проектный срок службы детали, МПа; $P_{a,N}$ и $P_{a,3}$ — силы, соответствующие напряжениям $\sigma_{a,N}$ и $\sigma_{a,3}$; $[n]$ — допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости.

В связи с различными нормативными сроками службы, различающимися для разных вагонов, сравнительное изменение нагруженности определялось по соотношению амплитуд продольных сил $P_{a,э}$, эквивалентных по повреждающему действию за один год эксплуатации. Таким образом, учитывая постоянство значений $P_{a, N}$, зависящих только от конструкции вагона и не изменяющихся при смене поглощающего аппарата, изменение относительной повреждаемости вагонов $K\left(\frac{Ti}{T0}\right)$ продольными силами при эксплуатации вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами различных классов (Ti), определяется по формуле

$$K\left(\frac{Ti}{T0}\right) = \frac{P_{a,э}(Ti)}{P_{a,э}(T0)}, \quad (3)$$

где $P_{a,э}(Ti)$ — амплитуды эквивалентных сил с поглощающими аппаратами Т1, Т2 или Т3; $P_{a,э}(T0)$ — амплитуды эквивалентных сил с поглощающим аппаратом Т0.

На основании статистического распределения максимальных растягивающих и сжимающих продольных сил, действующих на вагон через автосцепку за 1 год эксплуатации, указанных в «Нормах...» [1], определяется количество циклов действия сил различного уровня в год. При этом в качестве действующего значения амплитуд усилия принимается среднее значение силы для каждого интервала. В качестве количества циклов действующих сил этого уровня принимается меньшее из значений количества сил данного уровня — растягивающих или сжимающих. Кроме того, разность между большим и меньшим значениями количества растягивающих и сжимающих сил учитывается как количество циклов с амплитудой сил, равной половине среднего значения силы для данного интервала.

Затем строится статистическое распределение амплитуд сил и соответствующего им количества циклов, по которым рассчитывается нагруженность вагона и определяется эквивалентная приведенная амплитуда динамических сил за один год эксплуатации:

$$P_{a,э} = \sqrt[m]{\frac{T_c}{N_0} \sum_{i=1}^k P_{a_i}^m N_i}, \quad (4)$$

где T_c — расчетный срок (1 год); N_0 — базовое число циклов, $N_0 = 10^7$; $P_{a_i}^m$ — уровень амплитуды сил, МН, в степени $m = 4$ для балок из фасонного проката из низколегированных сталей; N_i — число циклов сил с амплитудой уровня $P_{a_i}^m$.

Оценка изменения относительной повреждаемости вагонов продольными силами в эксплуатации при использовании поглощающих аппаратов различных классов проводится по формуле (3) следующим образом:

- определяется соотношение повреждаемости вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами

класса Т1, и значения повреждаемости вагонов с поглощающими аппаратами класса Т0;

- определяется соотношение повреждаемости вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами классов Т2 и Т3, и значения повреждаемости вагонов с поглощающими аппаратами класса Т1.

Вторым показателем, по которому выполнялась оценка эффективности применения поглощающих аппаратов более высоких классов, являлось повышение уровня безопасных скоростей соударения вагонов по условию не превышения максимального усилия закрытия поглощающего аппарата.

Данное исследование проводилось следующим образом.

По результатам проведенных испытаний, построенным зависимостям максимальных сил от скоростей соударения и линиям аппроксимации для каждого класса поглощающих аппаратов определяется скорость, при которой максимальные силы достигают уровня 3,0 МН, по которым проектируется и изготавливается вагон [1]. После превышения данного уровня (усилия закрытия поглощающего аппарата) поглощение энергии обеспечивается только за счет упругости рамы вагона и смещения перевозимого груза, что в значительной степени зависит от внешних факторов (в первую очередь — свойств груза) и не может гарантировать обеспечение целостности вагона и исключение потери перевозимого груза.

Повышение безопасности по данному показателю определяют по увеличению условно безопасных скоростей соударения (при которых сила не превышает допустимого уровня) при оборудовании вагона поглощающими аппаратами различных классов. В рамках данного исследования сначала определено изменение условно безопасных скоростей соударения при оборудовании вагонов поглощающими аппаратами класса Т1 вместо Т0, затем — поглощающими аппаратами классов Т2 и Т3 по сравнению с поглощающими аппаратами класса Т1.

Статистическое распределение продольных сил, действующих на грузовые вагоны в эксплуатации, приведено в «Нормах...» [1]; с его учетом по формуле (4) рассчитана приведенная эквивалентная амплитуда динамических сил. Следует отметить, что принятое в расчетах распределение установлено в то время, когда на всех грузовых вагонах поглощающие аппараты по энергоемкости соответствовали классу Т0 по действующей в настоящее время классификации. Поэтому полученный показатель может быть отнесен только к случаю оснащения грузового вагона поглощающими аппаратами класса Т0.

Оборудование вагонов аппаратами более высокого класса за счет их большей энергоемкости снижает уровень продольных сил, возникающих при тех же скоростях соударения. В то же время фактические

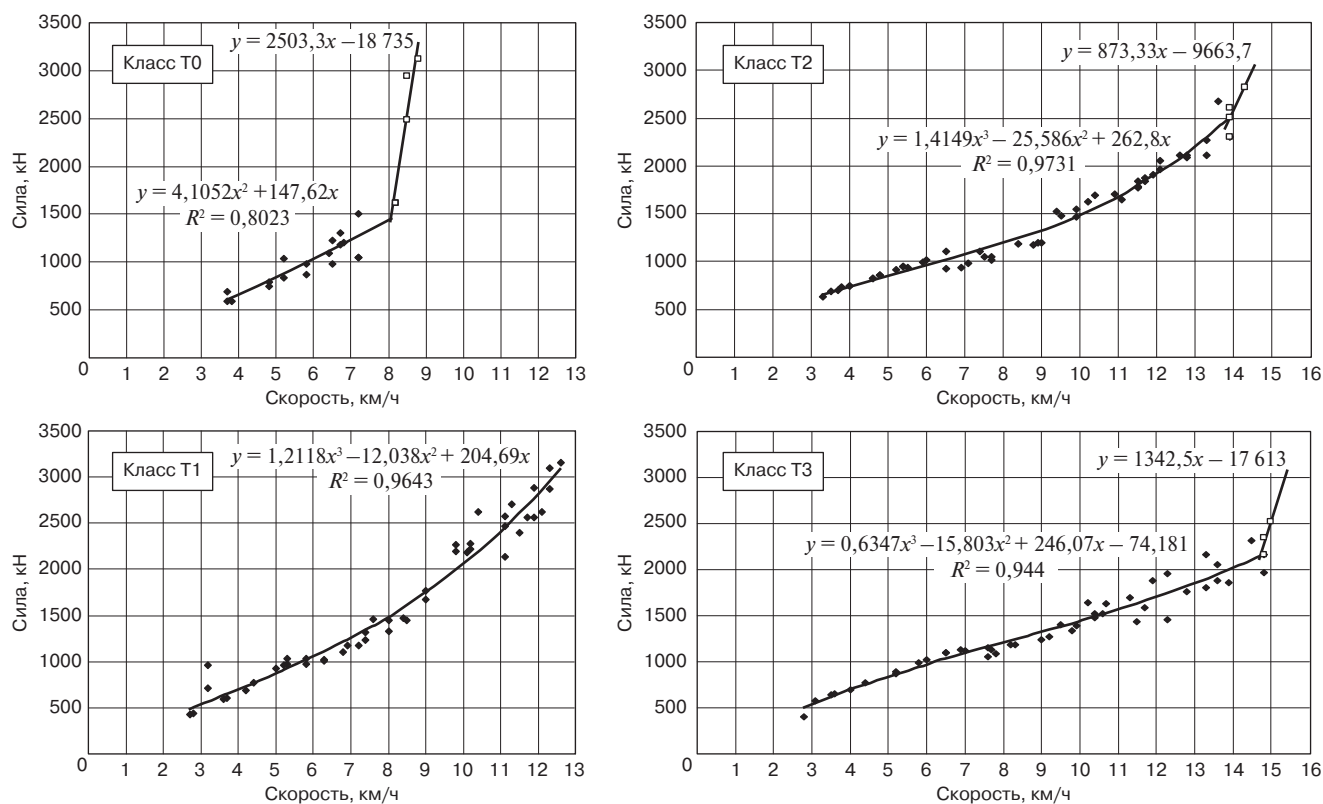


Рис. 1. Зависимости максимальных сил от скоростей соударения вагона-цистерны, оборудованного поглощающими аппаратами классов Т0, Т1, Т2, Т3

скорости соударения вагонов на сортировочных горках являются внешним фактором, не зависящим от класса аппарата.

Исходя из изложенного, по стандартизованной методике [13] были проведены испытания на соударение вагонов с поглощающими аппаратами класса Т0, на основании которых построена зависимость уровня сил от скоростей соударения $P(v)$ (см. рис. 1). На основании

этой зависимости и приведенного в «Нормах...» [1] статистического распределения уровней продольных сил в эксплуатации было получено распределение скоростей соударения вагонов, оборудованных поглощающими аппаратами класса Т0, которое было принято в данном исследовании общим для всех испытаний на соударение вагонов (не зависящим от класса поглощающего аппарата, установленного на вагоне).

Таблица 1

Статистическое распределение максимумов растягивающих и сжимающих сил, действующих на грузовой вагон через автосцепку за 1 год

Условное обозначение интервалов	Интервал сил, МН	Среднее значение силы в интервале, МН	Интервал скоростей соударения*, км/ч	Число циклов действия сил по [1]	
				Растяжение	Сжатие
1	2	3	4	5	6
$a-b$	0,1–0,4	0,25	0,65–2,55	2432	742
$b-c$	0,4–0,8	0,6	2,55–4,8	5408	1793
$c-d$	0,8–1,2	1,0	4,8–6,83	5058	2018
$d-e$	1,2–1,6	1,4	6,83–8,12	3132	1492
$e-f$	1,6–2,0	1,8	8,12–8,28	1050	892
$f-g$	2,0–2,4	2,2	8,28–8,44	350	375
$g-h$	2,4–2,8	2,6	8,44–8,6	60	142
$h-i$	2,8–3,2	3,0	8,6–8,76	10	38
$i-j$	3,2–3,6	3,4	8,76–8,92	—	6
$j-k$	Более 3,6	3,8	Более 8,92	—	2
Всего				17 500	7500

*Экспериментальные данные.

Таблица 2

Распределение амплитуд сил P_{a_i} и значений функции $P_{a_i}^m N_i$ для аппаратов класса Т0

Амплитуда сил P_{a_i} , МН	Количество циклов N_i с амплитудой P_{a_i} в год	Функция $P_{a_i}^m N_i$
$(P_a + P_b)/4$	0,125	2432 – 742 = 1690
$(P_a + P_b)/2$	0,25	742
$(P_b + P_c)/4$	0,3	5408 – 1793 = 3615
$(P_c + P_d)/4$	0,5	5058 – 2018 = 3040
$(P_b + P_c)/2$	0,6	1793
$(P_d + P_e)/4$	0,7	3132 – 1492 = 1640
$(P_e + P_f)/4$	0,9	1050 – 892 = 158
$(P_c + P_d)/2$	1,0	2018
$(P_f + P_g)/4$	1,1	375 – 350 = 25
$(P_g + P_h)/4$	1,3	142 – 60 = 82
$(P_d + P_e)/2$	1,4	1492
$(P_h + P_i)/4$	1,5	38 – 10 = 28
$(P_i + P_j)/4$	1,7	6 – 0 = 6
$(P_e + P_f)/2$	1,8	892
$(P_j + P_k)/4$	1,9	2 – 0 = 2
$(P_f + P_g)/2$	2,2	350
$(P_g + P_h)/2$	2,6	60
$(P_h + P_i)/2$	3,0	10
$\sum_{i=1}^{18} (P_{a_i}^m N_i)$		30 300

По этому статистическому распределению и зависимостям уровней сил от скоростей соударения $P(v)$, построенным по результатам испытаний при соударении вагонов для поглощающих аппаратов каждого класса, проводился обратный пересчет и определялось распределение уровней продольных сил в эксплуатации для классов Т1, Т2 и Т3 и на их основе по формуле (4) определялась приведенная эквивалентная амплитуда динамических сил.

Испытания на соударение проводились на цистерне массой 98,2 т и полувагоне массой 102,5 т. Для каждого случая (цистерны и полувагона) определялись свои базовые распределения скоростей соударения вагонов в эксплуатации (так как уровни скоростей, соответствующих тем же силам, для этих двух случаев различны). На рис. 1 приведены зависимости максимальных сил от скоростей соударения вагона-цистерны, оборудованного поглощающими аппаратами различных классов. Полученные точечные значения аппроксимированы математическими функциями и приведены на рис. 1 с величиной достоверности аппроксимации (R^2), которая для аппаратов класса Т0 не превышала 0,8, а для аппаратов классов Т1, Т2 и Т3 — 0,94.

Расчет нагруженности вагонов проводился следующим образом. По результатам испытаний вагона-цистерны с поглощающим аппаратом класса Т0 для каждого интервала сил, указанного в статистическом распределении «Норм...» [1], определены значения скоростей, при которых реализуются эти значения сил (табл. 1). При последующих испытаниях данного типа вагона с поглощающими аппаратами других классов для каждого интервала ($a - b$, $b - c$ и т. д.) с теми же интервалами скоростей значения сил в столбцах 2 и 3 (см. табл. 1) пересчитывались для каждого интервала скоростей, указанного в колонке 4, по уравнению аппроксимации, определенному для каждого класса поглощающего аппарата по результатам испытаний, приведенным на рис. 1.

Далее по приведенной выше методике построена матрица амплитуд P_{a_i} , количества циклов N_i с амплитудой уровня P_{a_i} и значений функции $P_{a_i}^m N_i$. Для поглощающих аппаратов класса Т0 эти значения приведены в табл. 2.

В графическом виде количество циклов с амплитудами сил и значений функции $P_{a_i}^m N_i$ в диапазоне 0 – 3,0 МН, разделенном по интервалам 0,5 МН, представлено на рис. 2.

Значение функции $P_{a_i}^m N_i$ характеризует долю влияния действующих сил данного диапазона в повреждаемости вагонов продольными силами в эксплуатации. Из рис. 2 видно, что количество сил с амплитудой больше 1 МН гораздо меньше, чем сил с меньшей амплитудой, но их влияние на повреждаемость вагонов значительно выше.

На основании значений функции $P_{a_i}^m N_i$, представленных в табл. 2, по формуле (4) выполнен расчет

эквивалентной приведенной амплитуды продольных динамических сил для расчетов на усталость несущих элементов вагона, оснащенного поглощающим аппаратом класса Т0, которая составляет

$$P_{a,э} = \sqrt[4]{\frac{1}{10^7} 30\,300} = 0,235 \text{ МН.}$$

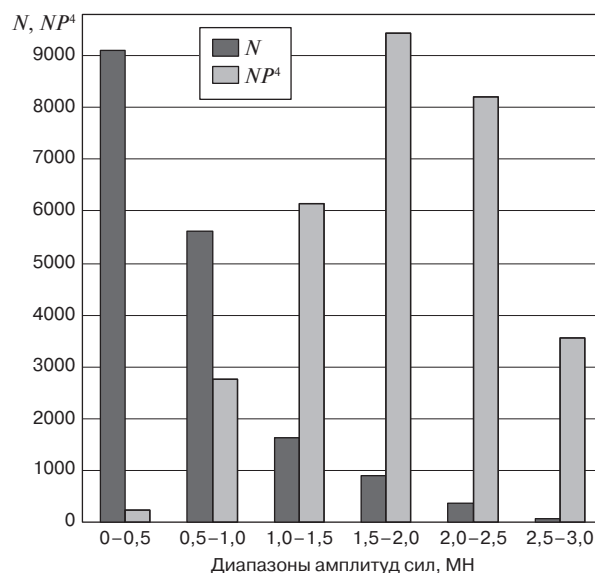


Рис. 2. Распределение максимумов продольных сил P_{a_i} и значений функции накопленных повреждений вагона $P_{a_i}^m N_i$ для вагонов с поглощающими аппаратами класса Т0

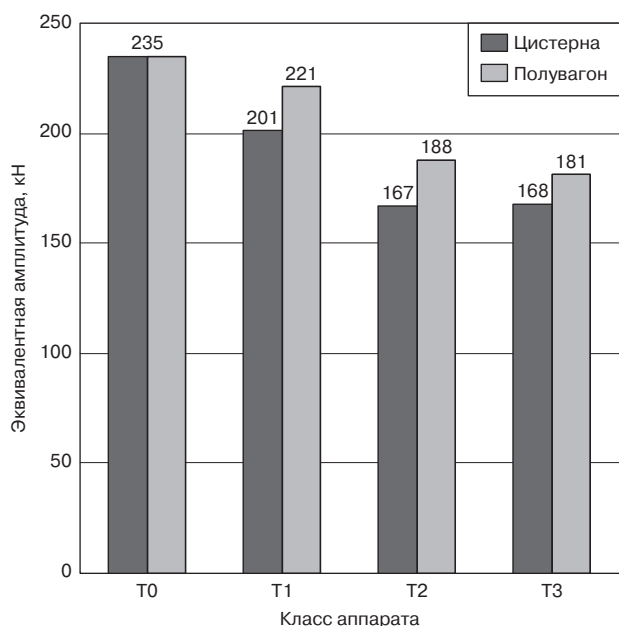


Рис. 3. Эквивалентные приведенные амплитуды продольных сил, действующих на вагон (за 1 год эксплуатации), при оборудовании поглощающими аппаратами классов T0, T1, T2 и T3

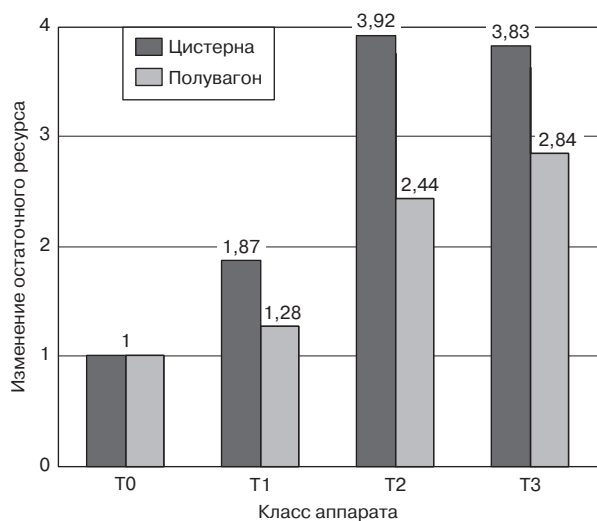


Рис. 4. Изменение остаточного ресурса несущих элементов конструкции кузова при оборудовании вагонов поглощающими аппаратами классов T0, T1, T2 и T3

Полученный уровень эквивалентной приведенной амплитуды продольных динамических сил соответствует расчетному сроку, равному 1 году, — для исключения влияния на результат не только класса аппарата, но и разных сроков службы различных моделей вагонов (рассчитанное по этой же формуле значение эквивалентной приведенной амплитуды продольных динамических сил на срок службы 32 года составит 0,558 МН).

Аналогичные расчеты были выполнены для вагонов-цистерн и полувагонов с поглощающими аппаратами всех классов. Изменение эквивалентной амплитуды продольных сил, действующих на вагон (за 1 год

эксплуатации), при использовании поглощающих аппаратов более высоких классов показано на рис. 3, из которого видно, что применение поглощающих аппаратов класса T1 вместо T0 снижает эквивалентную амплитуду на 16% и 6% (для цистерн и полувагонов соответственно), класса T2 — на 29% и 20%, а класса T3 — на 29% и 23%.

Такое снижение эквивалентной амплитуды значительно повышает остаточный ресурс несущих элементов конструкции кузова, который можно определить на основании кривой усталости Веллера с показателем степени $m = 4$ (для балок из фасонного проката из низколегированных сталей). Увеличение остаточного ресурса конструкции кузова при использовании аппаратов более высоких классов показано на рис. 4.

Как видно из этих результатов, потребность применения аппаратов высоких классов на вагонах-цистернах более значительна, чем на полувагонах (у которых заметная доля энергии поглощается за счет перемещения сыпучего груза, особенно при высоких скоростях соударения).

Но главной задачей постановки на вагоны, перевозящие опасные грузы, поглощающих аппаратов классов T2 и T3 является обеспечение защиты от повреждения кузова и исключение потери груза при всех наиболее неблагоприятных эксплуатационных условиях, включая нештатные. Наиболее часто встречающиеся среди них — соударения со скоростью, превышающей установленную в нормативных документах.

Данная оценка выполнялась следующим образом. По результатам указанных выше испытаний, построенным зависимостям сил удара от скоростей соударения и линиям аппроксимации для каждого класса поглощающих аппаратов определена скорость, при которой максимальный уровень сил достигает уровня 3,0 МН, по которому проектируются и изготавливаются вагоны. Линии аппроксимации зависимостей максимальных сил от скоростей соударения для аппаратов разных классов приведены на рис. 5 (для цистерны массой 98,2 т) и рис. 6 (для полувагона массой 102,5 т).

Повышение безопасности по данному показателю определялось по увеличению условно безопасных скоростей соударения (при которых сила не превышает допустимого уровня, равного 3,0 МН) при оборудовании вагона поглощающими аппаратами различных классов. Эти диаграммы показывают значительное увеличение безопасных скоростей соударения при использовании более энергоемких поглощающих аппаратов.

Как видно из рис. 5 и 6, применение поглощающих аппаратов класса T1 вместо T0 обеспечивает увеличение условно безопасной скорости соударения цистерн массой брутто 98,2 т на 43% (с 8,7 до 12,4 км/ч), для полувагонов массой брутто 102,5 т — на 21% (с 8,5 до 10,3 км/ч).

Применение на вагонах-цистернах поглощающих аппаратов класса Т2 вместо Т0 обеспечивает увеличение условно безопасной скорости соударения на 67% (до 14,5 км/ч), а класса Т3 — на 77% (до 15,4 км/ч). На полувагонах увеличение условно безопасной скорости соударения для класса Т2 составляет 35% (с 8,5 до 11,5 км/ч), а для класса Т3 — 45% (до 12,3 км/ч).

Необходимо отметить, что это не означает повышения уровня допустимых скоростей соударения, но снижает риск ситуаций, при которых технические отказы транспортных средств и нарушения правил эксплуатации приводят к железнодорожным авариям.

Выводы. Результаты проведенных исследований показали:

1. Оборудование вагонов для перевозки опасных грузов (в том числе и при продлении их срока службы) высокоэнергоемкими поглощающими аппаратами классов Т2 и Т3 значительно уменьшает вероятность возникновения нештатных и аварийных ситуаций, а также снижает степень повреждающего воздействия при их возникновении. Это подтверждает обоснованность требований действующих нормативных документов по оборудованию автосцепного устройства вагонов-цистерн и специализированных вагонов, перевозящих ценные и опасные грузы, поглощающими аппаратами классов Т2 и Т3.

2. Применение поглощающих аппаратов повышенной энергоемкости обеспечивает не только повышение безопасности движения, но также значительную технико-экономическую эффективность за счет увеличения остаточного ресурса несущих элементов конструкции кузова. Следовательно, экономический эффект от их применения получают как владельцы инфраструктуры, так и собственники подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов на прочность. М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 346 с.
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: приказ Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286. 256 с.
3. Анализ причин поступлений грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт / Г.К. Сендеров [и др.] // Железнодорожный транспорт (Сер. Вагоны и вагонное хозяйство. Ремонт вагонов). М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1998. Вып. 3—4. С. 29.
4. ГОСТ 22235—2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ.
5. Беляев В.И., Черкашин Ю.М., Койчев Ю.Н. Обеспечение безопасности пассажиров поезда постоянного формирования при аварийных соударениях // Вестник ВНИИЖТ. 2000. № 4. С. 12—15.
6. Беляев В.И., Ступин Д.А. Сцепные и автосцепные устройства железнодорожного подвижного состава М.: Трансинфо, 2012. 416 с.
7. Ступин Д.А., Беляев В.И. Разработка российского эластомерного поглощающего аппарата для автосцепного устройства грузовых вагонов // Вестник ВНИИЖТ. 1998. № 6. С. 29—31.

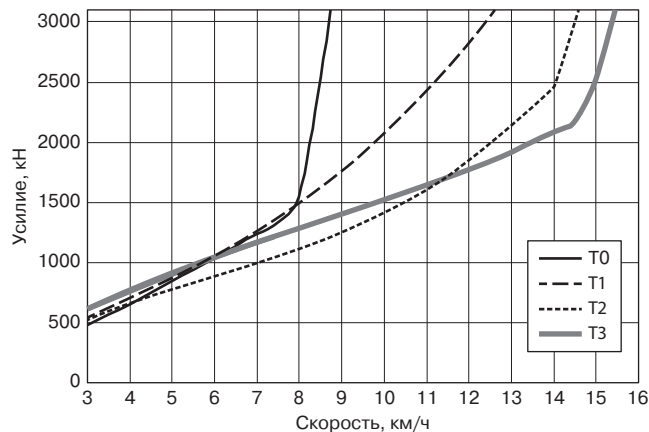


Рис. 5. Зависимость силы от скорости соударения при оборудовании цистерны поглощающими аппаратами классов Т0, Т1, Т2 и Т3

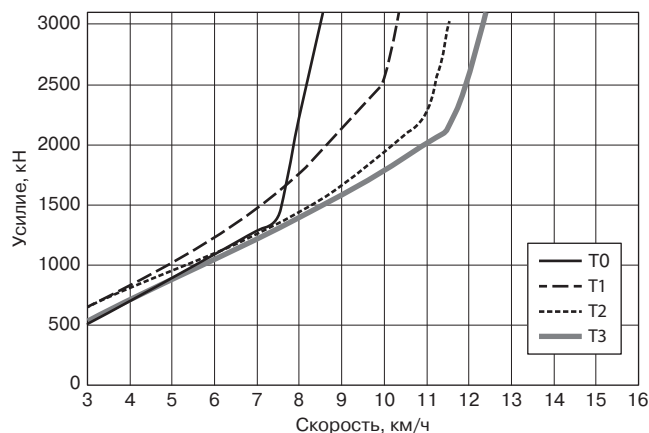


Рис. 6. Зависимость силы от скорости соударения при оборудовании полувагона поглощающими аппаратами классов Т0, Т1, Т2 и Т3

8. Экспериментальные исследования высокоэффективного амортизирующего устройства автосцепки ЭПА-120 / Б.Г. Кеглин [и др.] // Сб. науч. тр. БГТУ. Брянск: Издательство БГТУ, 1999. С. 32—39.
9. Феоктистов И.Б., Ступин Д.А. Поглощающие аппараты грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт. 2000. № 3. С. 25—27.
10. ОСТ 32.175—2001. Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов. Общие технические требования.
11. ГОСТ Р 54749—2011. Устройство сцепное и автосцепное железнодорожного подвижного состава.
12. ГОСТ 19433—88. Грузы опасные. Классификация и маркировка.
13. ГОСТ Р 55185—2012. Детали и сборочные единицы сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЕЛЯЕВ Владимир Игоревич, ведущий научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10. Тел.: (499) 260-42-97. E-mail: vibelyaev@list.ru

СТУПИН Дмитрий Алексеевич,
заведующий лабораторией, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (499) 260-42-97.
E-mail: dstupin@list.ru

ПЛОТКИН Владимир Семенович,
ведущий научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (495) 602-80-82.

СТЕПАНОВ Александр Николаевич,
старший научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (499) 260-42-97.
E-mail: steale1@mail.ru

Investigation of Draft-Gear Energy Absorption Capacity Effect on the Dynamic Structural Behavior of the Freight Cars' Supporting Structures

Vladimir I. Belyaev, Candidate of Technical Science, Leading Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4297. E-mail: vibelyaev@list.ru

Dmitriy A. Stupin, Candidate of Technical Science, Chief of Laboratory, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4297. E-mail: dstupin@list.ru

Vladimir S. Plotkin, Candidate of Technical Science, Leading Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 602 8082.

Alexander N. Stepanov, Senior Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4297. E-mail: steale1@mail.ru

Abstract. The paper tackles the protection problem of freight cars carrying hazardous materials while being solved through use of coupler center draft gears with increased energy absorption capacity. It is demonstrated that the adopted commodity-based classification of draft gears, eligible under different energy absorption capacity requirements, ensures more reliable protection and prevention of hazards in possible emergency situations involving such cars.

The method is put forward allowing for quantitative evaluation of the draft gear energy absorption capacity influence on the reduction in forces acting upon a freight car as well as on the car damageability degree in operation under emergency conditions and increase in the bearing members remaining life expectancy of the car body structure.

There are presented results of the impact tests of freight cars equipped with draft gears having various energy absorption capacity added with the outcomes of these results based car loading calculations. The tests confirmed that freight car equipping with draft gears having extended energy absorption capacity contributes to considerable increase in the life time expectancy of freight car structure and increase in the safe impact speeds at which the level of forces does not exceed the car strength level (thus reducing the probability of contingencies and accident severity as well).

Keywords: freight car center-coupler draft gears; protection of freight cars carrying hazardous materials; classification; basic requirements; investigation method and outcomes

References

1. *Norms for the calculation and design of cars for strength*. Moscow, GosNIIV – VNIIZhT Publ., 1996. 346 p. (in Russ.).
2. *Rules of technical operation of railways of the Russian Federation*. Approved by the order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of December 21, 2010 № 286. 292 p. (in Russ.).
3. Senderov G.K. et al. *Analiz prichin postupleniy gruzovykh vagonov v tekushchiy ottsepochnyy remont* [An analysis of the causes of entry of freight cars to current uncoupling repair]. Zheleznodorozhnyy transport (Ser. Vagony i vagonnoe khozyaystvo.

Remont vagonov) [Rail transport. (Ser. Railway cars and rolling stock. The cars repair)]. 1998, no. 3 – 4, p. 29.

4. *GOST 22235 – 2010. Freight cars for main railways of 1520 mm*. General requirements for secure production, handling and shunting. (in Russ.).

5. Belyaev V. I., Cherkashin Yu. M., Koychev Yu. N. *Obespechenie bezopasnosti passazhirov poezda postoyannogo formirovaniya pri avariynnykh soudareniyakh* [Ensuring the safety of train passengers in the formation of a permanent emergency collisions]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2000, no. 4, pp. 12 – 15.

6. Belyaev V. I., Stupin D. A. *Stsepnnye i avtostsepnnye ustroystva zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Coupling and automatic couplers of railway rolling stock]. Moscow, Transinfo, 2012. 416 p.

7. Stupin D. A., Belyaev V. I. *Razrabotka rossiyskogo elastomernogo pogloshchayushchego apparata dlya avtostsepnogo ustroystva gruzovykh vagonov* [Development of the Russian elastomeric draft gear for automatic wagon couplers]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1998, no. 6, pp. 29 – 31.

8. Keglin B. G. et al. *Eksperimental'nye issledovaniya vysokoefektivnogo amortiziruyushchego ustroystva avtostsepk EPA-120*. Sb. nauch. tr. BGTU [Experimental studies of high-performance cushioning coupler device EPA-120]. Coll. sci. works of Bryansk STU. Bryansk, BSTU Publ., 1999, pp. 32 – 39.

9. Feoktistov I. B., Stupin D. A. *Pogloshchayushchie apparaty gruzovykh vagonov* [Center coupler draft gear of freight wagons]. Zheleznodorozhnyy transport, 2000, no. 3, pp. 25 – 27.

10. *Standard 32.175 – 2001. Center coupler draft gear of freight wagons and locomotives*. General specifications. (in Russ.).

11. *GOST 54749 – 2011. Coupling device and automatic coupling of railway rolling stock*. (in Russ.).

12. *GOST 19433 – 88. Dangerous goods. Classification and labeling*. (in Russ.).

13. *GOST R 55185 – 2012. Parts and assembly units of coupling and automatic couplers of railway rolling stock. Test methods* (in Russ.).