
ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(EASC)

EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(EASC)



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
(проект, RU,
первая редакция)

ТРАНСПОРТЕРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ

Требования к прочности и динамическим качествам

*Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его
принятия*

Предисловие

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий» (ООО «ВНИЦТТ»)

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 524 «Железнодорожный транспорт»

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от №)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004–97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004–97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
---	------------------------------------	---

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации не несет ответственности за патентную чистоту настоящего стандарта. Патентообладатель может заявить о своих правах и направить в национальный орган по стандартизации своего государства аргументированное предложение о внесении в настоящий стандарт поправки для указания информации о наличии в стандарте объектов патентного права и патентообладателя.

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты».

Исключительное право официального опубликования настоящего стандарта на территории указанных выше государств принадлежит национальным органам по стандартизации этих государств.

Содержание

1 Область применения	
2 Нормативные ссылки	
3 Термины и определения	
4 Режимы для определения прочности и сопротивления усталости конструкции	
5 Режимы для определения показателей динамических качеств, динамических сил и устойчивости от выжимания и опрокидывания при движении	19
6 Требования к прочности, устойчивости сжатых конструкций и сопротивлению усталости	24
7 Требования к показателям динамических качеств и устойчивости к выжиманию и опрокидыванию при движении	
8 Требования к автоматическому сцеплению вагонов и проходу сцепленными вагонами кривых участков пути	
7 Требования к воздействию вагона на железнодорожный путь	
Приложение А (справочное) Расчет устойчивости вагонов от выжимания продольными силами для многоярусных вагонов	32

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

ВАГОНЫ-ТРАНСПОРТЕРЫ

Требования к прочности и динамическим качествам

Transporter cars. Requirements to structural straight and dynamic qualities.

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на вагоны-транспортёры (далее – вагоны), предназначенные для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов по путям общего и необщего пользования колеи железных дорог колеи 1520 мм.

Примечание – В стандарте учтены вагоны-транспортёры платформенного, площадочного, колodцевого, сцепного и сочлененного типа, а также двухъярусные и трехъярусные варианты конструкций.

Настоящий стандарт устанавливает требования к прочности и динамическим качествам при выполнении расчетов и оценке результатов испытаний по ГОСТ 33788 для несущей конструкции кузова вагона, грузов, установленных на вагоне и выполняющих функции несущих элементов, крепления подвесного оборудования вагона, несущей конструкции и крепления подвесного оборудования тележек, составных частей тормозной рычажной передачи, а также требования к автоматическому сцеплению вагонов и проходу сцепленными вагонами кривых участков пути.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 25.101–83 Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов

ГОСТ

(проект, RU, первая редакция)

ГОСТ 10791 Колеса цельнокатаные. Технические условия

ГОСТ 22235 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм.
Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ

ГОСТ 32885 Автосцепка модели СА-3. Конструкция и размеры

ГОСТ 33211-2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам

ГОСТ 33434-2015 Устройство сцепное и автосцепное железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки

ГОСТ 33788 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества

ГОСТ (проект) Тележки трех и четырехосные грузовых вагонов железных дорог. Общие технические требования

ГОСТ (проект) Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (www.easc.by) или по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанным в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего документа в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

база вагона: Номинальное расстояние в продольном направлении между центрами наружных пятников кузова вагона.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.15]

3.2

боковое направление: Перпендикулярное продольному направлению в плоскости пути.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.5]

3.3

вагон-транспортер: Грузовой вагон, предназначенный для перевозки крупнотоннажных и тяжеловесных грузов.

[ГОСТ 34056-2017, статья 3.3.16]

3.4

вертикальное направление: Направление перпендикулярное к плоскости пути.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.6]

3.5

длина вагона по осям сцепления: Расстояние в продольном направлении между плоскостями зацепления автосцепки.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.9]

3.6

зона влияния сосредоточенной нагрузки: Локальная зона в окрестности задания расчетной сосредоточенной (точечной) силы или реакции.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.24]

3.7

конструкционная скорость: Наибольшая скорость движения, заявленная в технической документации на проектирование.

Примечание — Вагон при движении со скоростями, вплоть до конструкционной, на прямом горизонтальном участке пути (с отступлениями, не требующими снижения скоростей движения в соответствии с национальным законодательством*) обеспечивает показатели прочности своих составных частей и показатели динамических качеств (с учетом изменения его массы от тары до брутто) в соответствии с нормативами, установленными в настоящем стандарте.

* В Российской Федерации применяют «Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации», утвержденные Министерством Транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 года, № 286.

3.8

коэффициент динамической добавки: Отношение амплитуды вертикальной динамической силы (напряжения от действия вертикальной динамической силы), действующей при движении вагона по рельсовому пути, к силе тяжести (напряжению от действия силы тяжести).

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.19]

3.9

максимальная расчетная масса вагона: Масса вагона брутто при максимальной расчетной статической осевой нагрузке.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.3]

3.10

максимальная расчетная статическая осевая нагрузка: Максимальный вес вагона брутто, передаваемый на рельсы одной колесной парой.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.2]

3.11

местное напряжение: Механическое напряжение, вызываемое внешней нагрузкой в несущей конструкции с учетом ее макро-геометрии и геометрических концентраторов напряжений.

Примечание – Местные напряжения определяют с учетом упругого деформирования материала методом конечных элементов с применением трехмерных моделей из объемных или оболочечных конечных элементов, либо измеряют с применением методов тензометрии. В местном напряжении не учитывают концентрацию, связанную с наличием сварных швов, дефектов сварных швов, поверхностных дефектов литых несущих конструкций, контактом между телами.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.23]

3.12

минимальная расчетная масса вагона: Номинальная масса порожнего вагона, указанная в конструкторской документации.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.11]

3.13

необрессоренные части тележки: Составные части несущей конструкции тележки, не имеющие опоры на рессорное подвешивание, а также колесные пары.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.13]

3.14 несущая конструкция кузова вагона-транспортера: Составные части вагона, которые передают силы, возникающие при движении вагона в составе поезда и маневрах, воспринимают силы от действия на вагон груза, подвесного оборудования, тормозной системы вагона, установленных механизмов, служат опорой на ходовые части.

Примечание – К несущей конструкции вагона транспортера в зависимости от его типа относят главную балку, соединительную балку, промежуточную балку и концевую балку.

3.15

несущая конструкция тележки: Составные части тележки, которые воспринимают силы от действия на тележку кузова вагона, тормозной системы вагона, и передают их на подшипники колесных пар.

Примечание – К несущей конструкции двухосной трехэлементной тележки относят надрессорную балку и боковую раму, буксу, адаптер, боковой скользун.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.12]

3.16

рамная сила: Боковая сила, действующая от несущей конструкции тележки на колесную пару.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.21]

3.17

расчетный ресурс составной части несущей конструкции вагона: Ресурс составной части до достижения предельного состояния по сопротивлению усталости, установленный технической документацией.

Примечание – Для несущей конструкции кузова вагона расчетный ресурс, как правило, соответствует назначенному ресурсу (сроку службы) вагона. Для составных частей вагона, подлежащих замене при ремонте, расчетный ресурс соответствует наработке между видами планового ремонта.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.25]

3.18

расчетный статический прогиб: Статический прогиб упругих элементов рессорного подвешивания эквивалентный подвешиванию с линейной зависимостью силы от деформации (постоянной жесткостью) без учета сил трения.

[ГОСТ 9246–2013, статья 3.20]

3.19

обрессоренные части вагона (тележки): Составные части несущей конструкции вагона (тележки), расположенные выше рессорного подвешивания.
[ГОСТ 33211-2014, статья 3.14]

3.20

общее напряжение: Механическое напряжение, вызываемое внешней нагрузкой в несущей конструкции с учетом ее основной геометрии.

Примечание – Общие напряжения определяют с учетом упругого деформирования материала аналитически или методом конечных элементов с применением трехмерных моделей из балочных конечных элементов, либо измеряют с применением методов тензометрии. В общем напряжении не учитывают концентрацию, связанную с геометрическими концентраторами напряжений.

[ГОСТ 33211-2014, статья 3.22]

3.21

опорный узел: Составная часть несущей конструкции вагона, которая включает в себя пятник и ответную поверхность к боковому скользуна тележки.
[ГОСТ 33211-2014, статья 3.8]

3.22

подвесное оборудование вагона (тележки): Оборудование, закрепленное на несущей конструкции кузова вагона (на несущей конструкции тележки) посредством разъемного или неразъемного соединения.
[ГОСТ 33211-2014, статья 3.10]

3.23

продольное направление: Направление в плоскости пути вдоль его оси.
[ГОСТ 33211-2014, статья 3.4]

3.24

статический прогиб несущей конструкции вагона: Деформация несущей конструкции кузова вагона в вертикальном направлении под действием силы тяжести груза, отсчитываемая от горизонтальной плоскости, проходящей через центры пятников.
[ГОСТ 33211-2014, статья 3.20]

3.25 специальный подвижной состав: вагоны-транспортёры большой осности (более 16 осей), эксплуатирующиеся отдельными единицами.

4 Режимы для определения прочности и сопротивления усталости конструкции

4.1 Прочность несущей конструкции кузова вагона определяют при действии сил в режимах Ia, Ib, Iv, Ig, указанных в таблице 1. Режим Iv применяют для определения устойчивости сжатых составных частей несущей конструкции кузова вагона расчетными методами.

Примечание — Режимам Ia и Ib соответствует сочетание сил, действующих при трогании с места, осаживании или экстренном торможении груженого поезда при малых скоростях движения. Режимам Iv и Ig соответствует сочетание сил, действующих на вагон при торможении и разгоне состава, движущегося в кривом участке пути.

Таблица 1 — Силы, действующие на вагон, для определения прочности несущей конструкции кузова

Силы	Значение силы			
	I режим			
	а	б	в	г
Продольные	По 4.1.1 перечис- ление а)	По 4.1.1 перечис- ление б)	По 4.1.1 перечис- ление в)	По 4.1.1 перечис- ление г)
	Специальный подвижной состав			
	По 4.1.2 перечис- ление а)	По 4.1.2 перечис- ление б)	По 4.1.2 перечис- ление в)	По 4.1.2 перечис- ление г)
Вертикальные: — сила тяжести; — составляющая инерции; — составляющая продольной силы; — кососимметричные силы	По 4.1.5	По 4.1.5	По 4.1.5	По 4.1.5
	По 4.1.6	По 4.1.6	—	—
	По 4.1.3	По 4.1.3	По 4.1.3	По 4.1.3
	—	—	По 4.1.8	По 4.1.8
Боковые	—	—	По 4.1.7	По 4.1.7
Примечание — Знак «—» в таблице означает отсутствие действия силы в указанном режиме.				

При определении прочности расчетными методами учитывают симметричность несущей конструкции кузова вагона и указанные в эксплуатационной документации схемы размещения груза. При определении прочности методами испытаний допускается уменьшать количество схем размещения груза при испытаниях на основании определения прочности расчетными методами.

Действующие на несущую конструкцию кузова вагона вертикальные и боковые силы уравновешены реакциями в опорных узлах, зависящими от конструктивного устройства опорного узла.

4.1.1 Устанавливают следующие значения и схемы приложения продольных сил к кузову вагона по I режиму:

а) сила 3,0 МН, направленная внутрь вагона, приложена к опорной поверхности заднего упора автосцепного устройства с одной стороны вагона и уравновешена продольными силами инерции по 4.1.4 масс кузова вагона, тележек, автосцепных устройств и груза;

б) сила 2,5 МН, направленная наружу вагона, приложена к опорной поверхности переднего упора автосцепного устройства с одной стороны вагона и уравновешена продольными силами инерции по 4.1.4 масс кузова вагона, тележек, автосцепных устройств и груза;

в) силы 2,5 МН, направленные внутрь вагона, приложены к опорным поверхностям задних упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона;

г) силы 2,0 МН, направленные наружу вагона, приложены к опорным поверхностям передних упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона.

4.1.2 Устанавливают следующие значения и схемы приложения продольных сил к кузову вагона специального подвижного состава по I режиму:

а) сила 1,5 МН, направленная внутрь вагона, приложена к опорной поверхности заднего упора автосцепного устройства с одной стороны вагона и уравновешена продольными силами инерции по 4.1.4 масс кузова вагона, тележек, автосцепных устройств и груза;

б) сила 1,5 МН, направленная наружу вагона, приложена к опорной поверхности переднего упора автосцепного устройства с одной стороны вагона и уравновешена продольными силами инерции по 4.1.4 масс кузова вагона, тележек, автосцепных устройств и груза;

в) силы 2,5 МН, направленные внутрь вагона, приложены к опорным поверхностям задних упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона;

г) силы 2,0 МН, направленные наружу вагона, приложены к опорным поверхностям передних упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона.

4.1.3 При приложении продольных сил дополнительно учитывают действие вертикальной силы P_z , Н, приложенной к соответствующим упорам автосцепного устройства, определяемой по формуле

$$P_z = \pm N \frac{e}{2a}, \quad (4.1)$$

где N – продольная сила по 4.1.1, 4.1.2;

e – разность уровней осей автосцепок, при определении прочности расчетными методами; принимают $e = 0,10$ м, если иное не предусмотрено эксплуатационной документацией вагона, при определении прочности методами испытаний допускается разность уровней осей автосцепок не более 0,05 м;

a – расчетная длина корпуса автосцепки (для корпуса автосцепки по ГОСТ 32885 принимают 1,0 м при действии сил внутрь вагона; 0,9 м при действии сил наружу вагона); знак «+» обозначает действие силы вверх, знак «–» обозначает действие силы вниз.

Примечание – Указанная вертикальная сила по формуле (4.1) возникает за счет трения между поверхностями поглощающего аппарата и поверхностями упоров автосцепного устройства.

4.1.4 Продольную силу инерции составной части вагона или груза $N_{\text{и}}$, Н, имеющей массу m , кг, определяют по формуле

$$N_{\text{и}} = N_y \frac{m}{m_{\text{ваг}}}, \quad (4.2)$$

где N_y – продольная сила, приложенная к вагону в соответствии с 4.1.1 [перечисления а), б)]; 4.1.2 [перечисления а), б)];

$m_{\text{ваг}}$ – максимальная расчетная масса вагона, кг.

Продольную силу инерции при использовании расчетных методов прикладывают к центру масс составной части вагона. Допускается учитывать продольную силу инерции массы составной части вагона приложением распределенного по ее объему ускорения. Передачу продольных сил инерции груза, автосцепных устройств и тележек на кузов вагона определяют с учетом устройства их крепления и соединения.

4.1.5 Действие силы тяжести на составную часть вагона учитывают при определении прочности расчетными методами приложением к объему ускорения свободного падения $9,81 \text{ м/с}^2$.

Действие на составную часть вагона силы тяжести от масс, опертых на нее частей (кузова, груза и т.п.) определяют, исходя из максимальной расчетной статической осевой нагрузки при ускорении свободного падения $9,81 \text{ м/с}^2$.

4.1.6 При использовании расчетных методов вертикальную составляющую силы инерции, действующую на составную часть вагона от опертых на нее частей или груза, $P_{\text{в}}$, Н, определяют по формуле

$$P_{\theta} = N_{II} \frac{h}{2l}, \quad (4.3)$$

где N_{II} — определяют по формуле (4.2);

h — высота центра масс составной массы вагона или груза от уровня плоскости опоры, м;

$2l$ — расстояние в продольном направлении между опорами, м.

Вертикальную составляющую силы инерции складывают с силой тяжести в опорах, расположенных со стороны действия силы по 4.1.1 [перечисление а)], 4.1.2 [перечисление а)] и со стороны противоположной действию силы по 4.1.1 [перечисление б)], 4.1.2 [перечисление б)], и вычитают из силы тяжести с противоположной стороны.

4.1.7 Боковую силу P_N , Н, действующую на вагон через автосцепные устройства, определяют по формулам:

- для режима I в

$$P_N = \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{ka}}} \cdot \left[\frac{\delta \cdot L}{l_{\theta}^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \beta \cdot \frac{L_c}{R} \right]; \quad (4.4)$$

- для режима I г

$$P_N = N \frac{L_c}{R}, \quad (4.5)$$

где N — продольная сила по 4.1.1 [перечисления в) и г)]; 4.1.2 [перечисления в) и г)];

R — радиус кривой, принимают 250 м;

$2l_{\theta}$ — база вагона, м;

$2l$ — расстояние между задними опорными поверхностями упоров автосцепных устройств, м;

$2L_c$ — длина вагона по осям сцепления, м;

a — расчетная длина корпуса автосцепки, м (для корпуса автосцепки по ГОСТ 32885 принимают 1,0 м при действии сил внутрь вагона или 0,9 м при действии сил наружу вагона);

δ — возможное одностороннее боковое перемещение шкворневого сечения кузова вагона за счет зазоров колесной пары в рельсовой колее, зазоров между буксой (адаптером) колесной пары и проемом для колесной пары в боковой раме, зазоров между пятником и подпятником, упругих боковых деформаций рессорного

подвешивания, м. Значение принимают средним вероятным в соответствии с конструкторской документацией, эксплуатационными и ремонтными документами.

β – коэффициент, учитывающий влияние продольных критических сил N_{ka} , $N_{k\delta}$, приводящих к относительному перекосу вагонов и осей автосцепок в плане, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{1 - \frac{N}{N_{ka}}}{1 - \frac{N}{N_{k\delta}}}, \quad (4.6)$$

где N_{ka} и $N_{k\delta}$ определяют по формулам

$$N_{ka} = \frac{c_2}{1 + \frac{l}{a}} \cdot \frac{l_{\delta}^2}{L}, \quad (4.7)$$

$$N_{k\delta} = a \cdot c_2, \quad (4.8)$$

где c_2 – приведенная боковая жесткость рессорного подвешивания одной тележки, Н/м.

В режиме I в боковые силы по формуле (4.4) противоположных направлений приложены к задним опорным поверхностям упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона.

В режиме I г боковые силы по формуле (4.5) одного направления приложены к передним опорным поверхностям упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона.

4.1.8 При наличии в конструкции вагона водила боковые силы для случая действие сжимающих сил рассчитывают с учетом возможных перекосов элементов кинематической схемы передачи продольной силы от соединительных балок к главной балке.

4.1.9 Боковую сжимающую силу для многоярусных вагонов определяют по формуле

$$P_N = \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{kp}}} \cdot \left[\frac{\delta}{l_u + l} \left(1 + \frac{l}{a} \right) + \frac{l'_c}{R} \right] \cdot \frac{c_{z1,2} \cdot (l \pm l_u) \cdot L}{c_{z1} \cdot (l_u + l)^2 + c_{z2} \cdot (l_u - l)^2}, \quad (4.9)$$

где l_u – расстояние от пятника до середины базы концевой балки;

$2l$ – база концевой балки, м;

l'_c – расстояние между задними опорными поверхностями упоров автосцепных устройств до центра пятника концевой балки, м;

L'_c – расстояние от оси автосцепного устройства до центра пятника концевой балки, м;

C_{21}, C_{22} – горизонтальные жёсткости тележек, объединенных концевой балкой;

$N_{кр}$ – критическая сила, приводящая к относительному перекосу вагонов и осей автосцепок в плане, определяемая по формуле

$$N_{кр} = \frac{C_{21} \cdot (l_u + l)^2 + C_{22} \cdot (l_u - l)^2}{L \cdot (1 + \frac{L}{a})}. \quad (4.10)$$

4.1.10 Действие вертикальной кососимметричной силы учитывают, если выполнено условие

$$z = 0,0032 \cdot 2l_b > 2\Delta, \quad (4.11)$$

где $2l_b$ – база вагона (база секции вагона для вагонов сочлененного типа), м;

Δ – минимальное значение динамического прогиба бокового скользуна постоянного контакта при его применении или зазора при применении боковых скользунов зазорного типа, предусмотренное конструкторской документацией на тележку, м.

Примечание – Действию вертикальных кососимметричных сил соответствует движение вагона по переходным кривым с отводом возвышения наружного рельса равным 3,2 мм/м при условии замыкания боковых скользунов, расположенных по диагонали.

Вертикальную кососимметричную силу прикладывают вверх к ответным поверхностям боковых скользунов на кузове вагона, расположенным по диагонали вагона, таким образом, чтобы соответствующее перемещение составило $(0,5z - \Delta)$, м, с каждой стороны вагона.

Допускается задавать вертикальное перемещение ответных поверхностей боковых скользунов на кузове вагона, расположенных по диагонали вагона, равное $(0,5z - \Delta)$, м.

4.2 Прочность несущей конструкции кузова вагона при текущем ремонте определяют при действии силы тяжести по 4.1.5 (без учета силы тяжести груза), уравновешенной реакциями в зонах главной балки, предусмотренных для подъема на домкратах, расположенных по диагонали.

При наличии дополнительных схем подъема кузова вагона, предусмотренных эксплуатационными документами, для них должна быть определена прочность несущей конструкции.

4.3 Вагоны, предназначенные для перевозки на паромов, проверяют расчетными методами на прочность при действии:

а) продольной силы, соответствующей действию на вагон и груз ускорения $1,96 \text{ м/с}^2$, и вертикальной силы, соответствующей действию на вагон и груз ускорения $9,81 \text{ м/с}^2$;

Примечание – Соответствует продольному (килевому) крену до 10° .

б) боковой силы, соответствующей действию на вагон и груз ускорения $9,81 \text{ м/с}^2$, и вертикальной силы, соответствующей действию на вагон и груз ускорения $4,91 \text{ м/с}^2$.

Примечание – Соответствует боковому крену до 30° .

Силы уравновешены реакциями в приспособлениях для закрепления вагона и груза. Допускается уточнять действующие силы в зависимости от характеристик парома.

При наличии дополнительных схем перевозки вагона, предусмотренных эксплуатационными документами, для них, как и для средств крепления вагона на судне, должна быть определена прочность несущей конструкции в соответствии с действующими нормативными документами.

Несущую конструкцию кузова вагона проверяют на прочность при действии сил, действующих от применяемых механизмов при погрузке или выгрузке, от работы установленных механизмов, значения которых определяют в соответствии с конструкторской документацией на вагон в соответствии с его условиями эксплуатации, а также ГОСТ 22235.

4.4 Предохранительные устройства, предназначенные для предотвращения падения на путь оборудования, проверяют на прочность при действии двукратной силы тяжести по 4.1.5 предохраняемого оборудования.

4.5 Составные части вагона, тормозную рычажную передачу и кронштейны ее крепления, воспринимающие действие сил в тормозной системе, проверяют расчетными методами на прочность при действии максимальной силы на штоке поршня тормозного цилиндра, определяемой без учета жесткости отпусковой пружины и без учета потерь (при коэффициенте полезного действия равном единице), а кронштейны, рычаги и тяги стояночного тормоза – при действии момента силы $M = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$, прикладываемого к штурвалу стояночного тормоза.

4.6 Составные части несущей конструкции кузова вагона, на которых закреплено подвесное оборудование, проверяют на прочность при действии:

- продольного ускорения a_n , м/с², определяемого по формуле

$$a_n = \frac{N_y}{m_m}, \quad (4.12)$$

где N_y – продольная сила в соответствии с 4.1.1 [перечисление а)], Н; 4.1.2 [перечисление а)], Н;

Примечание – Принято значение ускорения, действующего на порожний вагон.

m_m – минимальная расчетная масса порожнего вагона, кг.

- вертикального ускорения a_b , м/с², определяемого по формуле

$$a_b = g + N_{II} \cdot \frac{1}{m_k} \cdot \frac{h_b}{2l_b} \cdot \frac{x}{l_b}, \quad (4.13)$$

где N_{II} – определяют по формуле (4.2) для кузова вагона с минимальной расчетной массой при N_y в соответствии с 4.1.1 [перечисление а)], Н; 4.1.2 [перечисление а)], Н;

m_k – масса кузова вагона с минимальной расчетной массой, кг;

g – ускорение свободного падения по 4.1.5;

h_b – расстояние в вертикальном направлении от центра масс кузова вагона с минимальной расчетной массой до уровня оси автосцепки, м;

x – расстояние в продольном направлении от среднего поперечного сечения кузова вагона до центра масс подвесного оборудования, м;

$2l_b$ – база вагона (база секции вагона для вагонов сочлененного типа), м.

Продольную и вертикальную силу от действия ускорения по формулам (4.12) и (4.13) при использовании расчетных методов прикладывают к центру масс подвесного оборудования. Допускается прикладывать силы инерции массы подвесного оборудования приложением распределенного по объему ускорения. Передачу сил от подвесного оборудования на кузов вагона определяют с учетом устройства их соединения.

4.7 Для проверки отсутствия резонанса, величины собственных частот колебаний подвесного и навесного оборудования должны превышать значения

собственных частот колебаний несущей конструкции кузова не менее, чем в 1,5 раза и составлять не менее 20 Гц.

4.8 Составные части автосцепного устройства, а также их крепление на вагоне проверяют на прочность при действии сил согласно ГОСТ 33434-2015 (подразделы 5.8, 5.9).

4.9 Прочность несущей конструкции тележки для случая установки в вагоне двух тележек (для четырехосного вагона) рассчитывают согласно ГОСТ 33211-2014 (подразделы 4.4, 4.5). Для тележек трехосных (четырёхосных) прочность конструкции оценивают согласно ГОСТ (проект) «Тележки трех и четырехосные грузовых вагонов железных дорог. Общие технические требования» (подраздел 5.6).

4.9.1 Элементы, жестко закрепленные на неподрессоренных частях тележки, проверяют расчетными методами на прочность при действии сил инерции их масс, возникающих при динамическом взаимодействии тележки и пути. Силы инерции, H , определяют по формуле

$$F_H = m_{\text{Э}} \cdot \dot{j}_H, \quad (4.14)$$

где $m_{\text{Э}}$ – масса элемента, кг;

$\dot{j}_H$ – ускорение неподрессоренных частей тележки, м/с^2 , определяемое по формуле

$$\dot{j}_H = \frac{\theta}{\sqrt{m_{\text{НК}}}} g, \quad (4.15)$$

где θ – коэффициент инертности тела, $\sqrt{\text{кг}}$, принимаемый равным:

- 420 для вертикального направления;
- 84 – для продольного;
- 63 – для бокового направления;

$m_{\text{НК}}$ – масса необрессоренных частей тележки, приходящаяся на колесо, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Силы прикладывают к центру масс подвесного оборудования. Передачу сил от подвесного оборудования на несущую конструкцию тележки определяют с учетом устройства их соединения.

4.10 Устройства крепления груза (отверстия, скобы, анкеры, кольца) рассчитывают при приложенной силе 150кН.

4.11 Сочленения проушин консолей вагона и самонесущего груза (или дополнительных несущих конструкций) проверяют на прочность при действии продольной $X_{пр}$ и вертикальной $Z_{пр}$ сил; зоны контакта груза и верхних упоров консолей вагона – при действии продольной силы $X_{уп}$ (рисунок 1.).

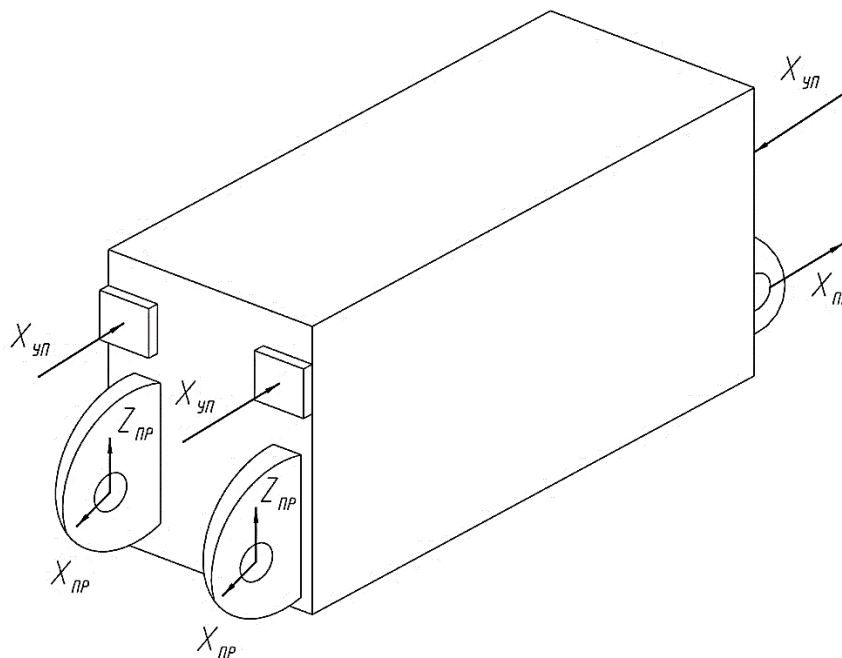


Рисунок 1 – Схема нагружения опорных узлов самонесущего груза

Продольная сила, действующая в проушинах самонесущего груза и консоли вагона $X_{пр}$, Н; определяют по формуле

$$X_{пр} = \frac{Q_{зг} \cdot l_{к2} + Q_k \cdot (l_{к2} - l_k)}{2h} + \frac{N}{2}, \quad (4.16)$$

где $Q_{зг}$ – сила тяжести груза, Н;

Q_k – сила тяжести одной консоли вагона, Н;

$l_{к2}$ – расстояние по горизонтали от оси проушин до опорного устройства (пятника или каткового устройства «водила»), м (см. рисунок 2);

l_k – расстояние по горизонтали от оси проушин до центра масс консоли вагона, м (см. рисунок 2);

N – продольная сила согласно п.4.1.1 [перечисление а)], Н;

h – расстояние в вертикальном направлении между осями проушин и верхних упоров (см. рисунок 2), м;

Продольная сила, действующая в верхних упорах самонесущего груза и консоли вагона, $X_{уп}$, Н; определяют по формуле

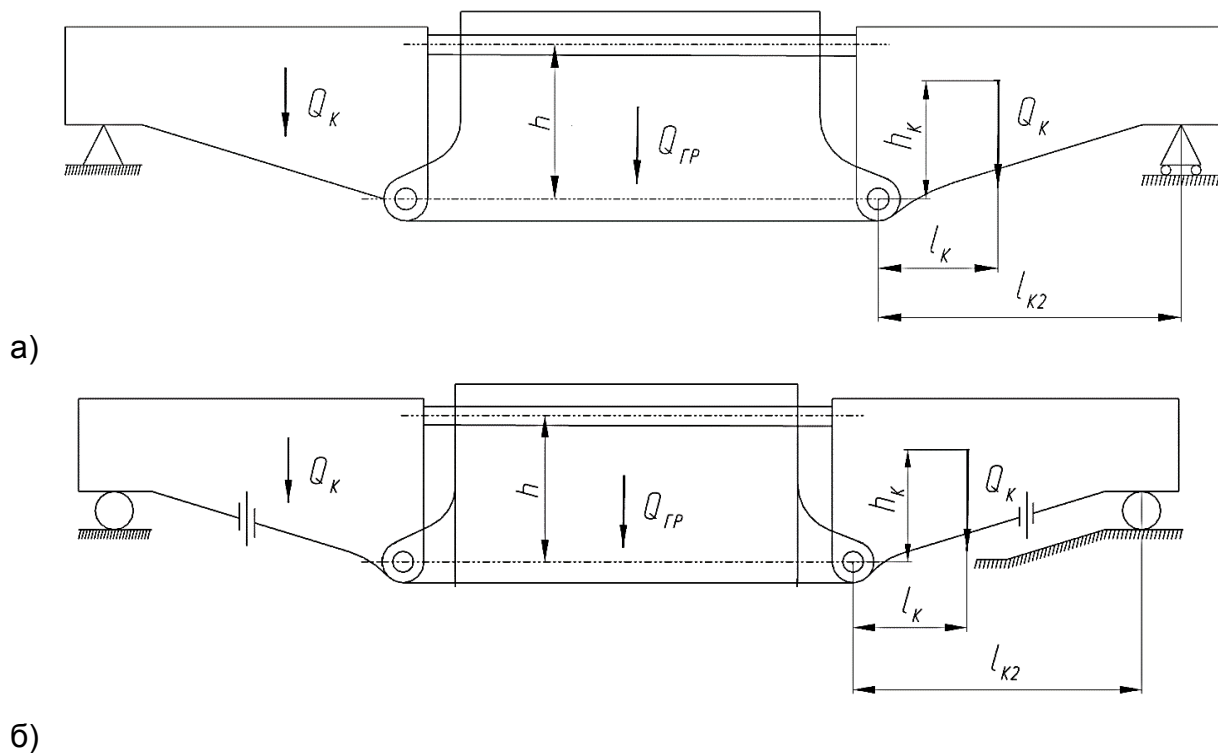
$$X_{уп} = \frac{\frac{Q_{2p}}{2} \cdot l_{k2} + Q_k \cdot (l_{k2} - l_k)}{2h} + \frac{N}{2} \cdot \frac{h_k}{h}, \quad (4.17)$$

где h_k – расстояние в вертикальном направлении от центра проушин до центра масс консоли вагона (см. рисунок 2), м.

Вертикальную силу $Z_{пг}$, Н, действующая в проушинах самонесущего груза и консоли, определяют по формуле

$$Z_{пг} = \frac{Q_{2p}}{k}, \quad (4.18)$$

где k – количество проушин крепления самонесущего груза.



а) для вагонов без «водила»; б) для вагонов с «водителем»

Рисунок 2 – Схема сил, действующих на систему «консоль вагона – груз»

4.12 Оценку сопротивления усталости несущей конструкции кузова вагона проводить согласно 6.3.

4.12.1 При определении сопротивления усталости расчетными методами учитывают симметричность несущей конструкции кузова вагона и указанные в эксплуатационной документации схемы размещения груза. При определении

ГОСТ

(проект, RU, первая редакция)

сопротивления усталости методами испытаний допускается уменьшать количество схем размещения груза при испытаниях на основании определения сопротивления усталости расчетными методами.

4.12.2 Для случая установки в вагоне двух тележек (для четырехосного вагона) сопротивление усталости несущей конструкции тележки определяют согласно 4.12.4. Для тележек трехосных (четырёхосных) сопротивление усталости несущей конструкции оценивают согласно ГОСТ (проект) «Тележки трех и четырехосные грузовых вагонов железных дорог. Общие технические требования» (подраздел 5.7).

4.12.3 Динамические силы (динамические напряжения), действующие на несущую конструкцию кузова вагона при движении, и частоту их изменения определяют по ГОСТ 33211-2014 (пункт 4.6.2), где значение коэффициента α в формуле (4.13) принимают равным 1,1. Для несущих балок вагонов платформенного и площадочного типов величину коэффициента вертикальной динамики корректируют с учетом упругих деформаций по формуле

$$K_D = \bar{K}_D \cdot (1 + \gamma), \quad (4.19)$$

где $\bar{K}_D$ – среднее вероятное значение коэффициента динамической добавки определяемое по ГОСТ 33211-2014 (пункт 4.6.2);

γ – коэффициент, учитывающий упругие деформации, принимаемый для четырехосных вагонов $\gamma = 0,2$; для восьмиосных вагонов $\gamma = 0,15$; для вагонов с большим числом осей $\gamma = 0,1$.

При расчете главной, соединительной, промежуточной и концевой балок в величину статического прогиба включают прогибы этих и ниже лежащих балок под нагрузкой.

4.12.4 Динамические силы (динамические напряжения), действующие на тележку при движении вагона, и их частоты, за исключением среднего вероятного значения рамной силы $\bar{H}_p$, определяют по ГОСТ 33211-2014 (пункт 4.7.2) с учетом наибольших износов деталей в рессорном подвешивании, допустимых эксплуатационными документами на тележку, где коэффициент α в формуле (4.13) принимают равным 1,2 для обрессоренных частей тележек, 1,5 – для необрессоренных частей тележек.

Среднее вероятное значение рамной силы $\bar{H}_p$, Н; определяют по формуле

$$\bar{H}_p = \theta \cdot P_0 \cdot b \cdot (V + V_1), \quad (4.20)$$

где θ – коэффициент, принимаемый 0,003 с/м;

P_0 – максимальная расчетная статическая осевая нагрузка, Н;

b – коэффициент, учитывающий влияние сила осей в тележке под одним концом вагона, определяемый по формуле (4.21);

V – конструкционная скорость вагона, м/с;

V_1 – начальное значение скорости движения, принимают $V_1 = 5$ м/с.

Коэффициент, учитывающий влияние сила осей, b , определяют по формуле

$$b = \frac{n+2}{2n}, \quad (4.21)$$

где n – число осей тележки или группе сбалансированных тележек.

5 Режимы для определения показателей динамических качеств, динамических сил и устойчивости от выжимания и опрокидывания при движении

5.1 Показатели динамических качеств вагона и динамические силы (динамические напряжения), действующие на несущую конструкцию кузова вагона и тележки определяют в соответствии с 5.2 – 5.14.

5.2 При определении показателей динамических качеств расчетными методами учитывают симметричность вагона и указанные в эксплуатационной документации схемы размещения груза. При определении показателей динамических качеств методами испытаний допускается уменьшать количество схем размещения груза при испытаниях на основании определения показателей динамических качеств расчетными методами.

5.3 Показатели динамических качеств вагона определяют на участках пути со следующими характеристиками:

- а) прямой участок пути протяженностью не менее 1000 м;
- б) участок пути, состоящий из прямой, переходной кривой и круговой кривой проектного (среднего) радиуса в диапазоне от 300 м до 400 м включительно;
- в) участок пути, состоящий из прямой, переходной кривой и круговой кривой проектного (среднего) радиуса в диапазоне от 600 м до 800 м включительно;

г) участок пути, включающий в себя стрелочный перевод на боковой путь с рельсами типа Р65 согласно требованиям национального законодательства¹, с крестовиной марки 1/11 или 1/9 согласно национальному законодательству².

5.4 Кривые должны иметь протяженность участка постоянного радиуса не менее 200 м. Возвышение наружного рельса хотя бы в одной из кривых должно обеспечивать движение вагона с конструкционной скоростью и непогашенным ускорением 0,7 м/с².

5.5 Устройство переходных кривых должно соответствовать требованиям национального законодательства¹.

5.6 На прямом участке пути по 5.3 [перечисление а)] показатели динамических качеств определяют со скоростями движения от 20 км/ч до скорости, соответствующей конструкционной скорости вагона с шагом от 10 до 20 км/ч.

5.7 При движении по кривым по 5.3 [перечисления б), в)] показатели динамических качеств определяют со скоростями движения от 10 км/ч до скорости, соответствующей непогашенному ускорению 0,7 м/с², с шагом от 10 до 20 км/ч.

5.8 При движении по стрелочному переводу на боковой путь по 5.3 [перечисление г)] показатели динамических качеств определяют со скоростями движения от 10 км/ч до 40 км/ч, с шагом не более 10 км/ч.

5.9 На участках пути должны быть уложены рельсы типа Р65 согласно требованиям национального законодательства³.

5.10 Характеристики неровности рельсов на участках пути по 5.3 [перечисления а) – в)] должны соответствовать таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики неровностей рельсов для определения показателей динамических качеств

В миллиметрах

Конструкционная скорость вагона, км/ч	Отступление, не более					
	по ширине колеи*	по уровню	по перекосу	по просадке	Разность смежных стрел**	
					до 20 м вкл.	более 20 м до 40 м вкл.
от 90 до 140	6/14	16	12	15	15	25
* В числителе для сужения колеи, в знаменателе – для уширения колеи. ** Измеренных от середины хорды длиной 20 м при длине неровности пути.						

¹ В Российской Федерации – по ГОСТ Р 51685 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия».

² На территории Российской Федерации применяют Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. №286

³ В Российской Федерации – по ГОСТ Р 51685 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия»

5.11 Показатели динамических качеств определяют расчетным методом для одиночного вагона. При определении показателей динамических качеств по результатам испытаний вагон включают в состав опытного поезда массой не более 1 тыс. т.

5.12 Коэффициент трения между колесом и рельсом при определении показателей динамических качеств расчетным методом принимают равным 0,25 на поверхности катания колеса, 0,30 на гребне. Испытания проводят при существующем естественном значении коэффициента трения между колесом и рельсом.

5.13 Профиль поверхности катания колеса при определении показателей динамических качеств рекомендуется принимать новым и с износом по кругу катания от 1,3 до 2,0 мм.

5.14 Для вагонов со статическим прогибом несущей конструкции кузова более 25 мм при определении показателей динамических качеств расчетным методом учитывают изгибные колебания несущей конструкции кузова.

5.15 Устойчивость вагона от выжимания определяют расчетными методами для минимальной расчетной массы вагона в соответствии с 5.15.1 - 5.15.3

При определении показателей динамических качеств расчетными методами учитывают симметричность вагона и указанные в эксплуатационной документации схемы размещения груза. При определении показателей динамических качеств методами испытаний допускается уменьшать количество схем размещения груза при испытаниях на основании определения показателей динамических качеств расчетными методами.

Примечание – Устойчивость вагона от выжимания проверяют для случая сочетания большой боковой силы взаимодействия набегающего колеса с рельсом и малой вертикальной силы на это колесо, возникающего при экстренном торможении при прохождении составом кривого участка пути.

5.15.1 Вагон расположен на участке круговой кривой проектного (среднего) радиуса 250 м. Рассматривают случай круговой кривой с возвышением наружного рельса 0,15 м и без возвышения наружного рельса.

5.15.2 Боковые силы вычисляют по формуле (4.4, 4.9) для продольной силы, действующей на опорные поверхности задних упоров автосцепного устройства, приведенной в таблице 3. Боковые силы противоположных направлений приложены к задним опорным поверхностям упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона.

Таблица 3 – Величины продольных сил для расчета на устойчивость вагона против схода с рельса и опрокидывания

Расчетные параметры	Сжатие при осаживании и торможении в кривой $R = 250$ м	Растяжение при тяге в кривой $R = 250$ м	Сжатие при осаживании, торможении и трогании в кривой $R = 250$ м	Растяжение при тяге в кривой $R = 250$ м
	6- и 8-осные порожние и груженые вагоны		4-осные порожние и груженые вагоны	
Продольная сила, МН	1,0	1,6	0,5	0,8
Скорость движения, м/с	5,0		5,0	

5.15.3 К опорным поверхностям задних упоров автосцепного устройства приложены вертикальные силы, определяемые по формуле (4.1) для разности уровней осей автосцепок 0,08 м. Рассматривают случаи действия вертикальных сил вверх и вниз.

5.16 Устойчивость вагона от опрокидывания определяют расчетными методами для минимальной расчетной массы вагона.

При определении показателей динамических качеств расчетными методами учитывают симметричность вагона и указанные в эксплуатационной документации схемы размещения груза. При определении показателей динамических качеств методами испытаний допускается уменьшать количество схем размещения груза при испытаниях на основании определения показателей динамических качеств расчетными методами.

Примечание – Устойчивость вагона от опрокидывания наружу кривой проверяют для случая торможения вагона с наибольшей скорости движения в кривой при действии ветровой нагрузки наружу кривой. Устойчивость вагона от опрокидывания внутрь кривой проверяют для случая движения вагона с малой скоростью в режиме тяги поезда при действии ветровой нагрузки внутрь кривой.

5.16.1 При опрокидывании наружу кривой рассматривают следующие условия движения:

- а) вагон расположен на участке круговой кривой среднего радиуса 650 м;
- б) на вагон наружу кривой действует непогашенное ускорение $0,7 \text{ м/с}^2$;
- в) боковые силы вычисляют по формуле (4.4) для продольной силы, действующей на опорные поверхности задних упоров автосцепного устройства, приведенной в таблице 6 (для порожнего и груженого состояний). Промежуточные значения продольной силы определяют линейной интерполяцией. Боковые силы приложены к задним опорным поверхностям упоров автосцепного устройства с

двух сторон вагона и действуют перпендикулярно продольной оси вагона наружу кривой;

г) к опорным поверхностям задних упоров автосцепного устройства приложены вертикальные силы, определяемые по формуле (4.1) для разности уровней осей автосцепок 0,08 м. Рассматривают случаи действия вертикальных сил вверх и вниз;

д) удельное давление ветра, действующее наружу кривой, принимают равным 360 Па.

5.16.2 При опрокидывании внутрь кривой рассматривают следующие условия движения:

а) вагон расположен на участке круговой кривой среднего радиуса 300 м;

б) на вагон внутрь кривой действует непогашенное ускорение $0,9 \text{ м/с}^2$;

в) боковые силы вычисляют по формуле (4.5) для продольной силы, действующей на опорные поверхности передних упоров автосцепного устройства, приведенной в таблице 6 (для порожнего и груженого состояний). Промежуточные значения продольной силы определяют линейной интерполяцией. Боковые силы приложены к передним опорным поверхностям упоров автосцепного устройства с двух сторон вагона и действуют перпендикулярно продольной оси вагона внутрь кривой;

г) к опорным поверхностям передних упоров автосцепного устройства приложены вертикальные силы, определяемые по формуле (4.1) для разности уровней осей автосцепок 0,08 м. Рассматривают случаи действия вертикальных сил вверх и вниз;

д) удельное давление ветра, действующее внутрь кривой, принимают равным 360 Па.

5.16.3 При определении динамической вертикальной силы давления колеса на рельс учитывают:

— боковые перемещения центров тяжести кузова вагона, груза и тележек, вызванные действием сил по 5.16.1 [перечисления б), в) и д)], или 5.16.2 [перечисления б), в) и д)];

— боковые перемещения центров тяжести кузова вагона, груза и тележек, вызванные боковым наклоном при действии сил по 5.16.1 [перечисления б), в) и д)] или 5.16.2 [перечисления б), в) и д)].

Боковые перемещения определяют с учетом наибольших зазоров между составными частями вагона, допустимыми конструкторской документацией и эксплуатационными документами.

6 Требования к прочности, устойчивости сжатых конструкций и сопротивлению усталости

6.1 Прочность несущих конструкций оценивают в соответствии с 6.1.1-6.1.5.

6.1.1 При оценке прочности определяют общие и местные напряжения в сварных и литых составных частях несущих конструкций.

В сварных конструкциях местные напряжения определяют на расстоянии от $1,0t$ до $1,5t$ от границы сварного шва, где t – толщина листа.

В литых конструкциях местные напряжения определяют на расстоянии от $1,0t$ до $1,5t$ от локальных концентраторов напряжений (канавок, выступов) с характерным размером менее t , где t – толщина стенки.

Местные напряжения, полученные расчетными методами в зонах влияния сосредоточенных нагрузок, не оценивают.

6.1.2 Для общих и местных напряжений определяют эквивалентное напряжение σ_3 , Па, по формуле

$$\sigma_3 = \sqrt{0,5 [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}, \quad (6.1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – значения главных компонент поля напряжения, Па.

Допускается для материалов, прочность которых не оценивают по величине предела текучести или условного предела текучести, применять для определения эквивалентных напряжений специальные критерии.

Примечание – Специальные критерии применяют, например, для керамики, полимеров, композиционных материалов.

6.1.3 Для обеспечения прочности несущей конструкции напряжения не должны превышать допускаемого, определяемого по формулам

$$\sigma_3 \leq [\sigma] = \eta_1 \cdot R_e, \quad (6.2)$$

$$\tau \leq [\tau] = \eta_2 \cdot R_e, \quad (6.3)$$

$$\sigma_{CM} \leq [\sigma_{CM}] = \eta_3 \cdot R_e, \quad (6.4)$$

где σ_3 – напряжения, определяемые по формуле (6.1);

τ – напряжения среза (если выполнен дополнительный расчет на срез), Па;
 $\sigma_{см}$ – напряжения смятия (если выполнен дополнительный расчет на смятие), Па;

R_e – предел текучести материала или условный предел текучести материала, Па, при относительном остаточном удлинении 0,2 %, или при относительном остаточном удлинении 1 % для аустенитных сталей;

η_1, η_2, η_3 – понижающие коэффициенты, определяемые по таблице 4.

Примечание – Понижающие коэффициенты для болтов даны с учетом предварительной затяжки.

При определении прочности методом испытаний дополнительно визуально определяют отсутствие остаточных деформаций и повреждений несущей конструкции.

Напряжения, возникающие в конструкциях несущих элементов кузова, выполненных из сталей с соотношением предела текучести материала к пределу прочности менее 0,8, при испытаниях на удар, проводимых согласно ГОСТ 33788 не должны превышать величины допускаемых напряжений, равных 0,8 от предела прочности.

6.1.4 Прочность заклепочных соединений оценивают по ГОСТ 33211-2014 (пункт 6.1.4).

6.1.5 Прочность составных частей автосцепного устройства оценивают согласно ГОСТ 33211-2014 (пункт 6.1.6).

6.2 Устойчивость сжатых конструкций оценивают расчетными методами в соответствии с 4.1, 6.2.1, 6.2.2.

6.2.1 При расчете устойчивости рамы вагона необходимо учитывать начальные прогибы от действия силы тяжести.

6.2.2 Собственные значения (масштабные множители приложенных нагрузок, полученные в результате расчета на устойчивость, должны составлять не менее 1,1 для рамы вагона.

Таблица 4 – Понижающие коэффициенты для оценки прочности составных частей несущих конструкций вагона

Составная часть несущей конструкции	Понижающий коэффициент		
	$\eta_1^{2)}$	η_2	η_3
1 Главная балка кузова; соединительная, промежуточная и концевая балки тележки - прокат, штамповки, поковки - литые детали - металл сварного шва - болты ³⁾	0,90 0,85 0,85 0,60	0,55 0,50 0,50 0,35 ¹⁾	1,20 1,00 — 1,20
2 Составные части кузова (за исключением перечисленных в показателе 1 таблицы 3) - прокат, штамповки, поковки - литые детали - металл сварного шва - болты ³⁾	0,95 0,90 0,90 0,65	0,60 0,55 0,60 0,40 ¹⁾	1,30 1,20 — 1,30
3 Составные части тележки (за исключе- нием перечисленных в показателе 1 таблицы 3) - прокат, штамповки, поковки - литые детали - металл сварного шва - болты ³⁾	0,90 0,85 0,80 0,55	0,55 0,50 0,50 0,30 ¹⁾	1,10 1,00 — 1,10
4 Составные части тормозной рычажной передачи и кронштейнов ее крепления ³⁾ - прокат, штамповки, поковки - литые детали - металл сварного шва - болты ³⁾	0,60 0,55 0,50 0,50	0,35 0,30 0,35 0,25 ¹⁾	0,70 0,70 — 1,00

¹⁾ Применяют для болтов повышенной точности.

²⁾ Допускается в режимах I а, I б и по 4.1 для составных частей кузова (показатели 1 и 2 таблицы 3) принимать $\eta_1 = 1,00$ для листового, фасонного, сортового проката, штамповок и поковок, литых деталей. Для металла сварного шва и болтов коэффициенты η_1 , η_2 , η_3 допускается увеличивать на 10%.

³⁾ При нахлесточном одностороннем соединении деталей, а также при соединении двух деталей через промежуточную деталь, коэффициенты η_1 , η_2 , η_3 умножают на 0,90.

Примечания

1 Напряжения, возникающие в конструкциях несущих элементов кузова, выполненных из сталей с соотношением предела текучести материала к пределу прочности менее 0,8, при испытаниях на соударение, проводимых согласно ГОСТ 33788—2016 (пункт 8.2) не должны превышать величины допускаемых напряжений, равных 0,8 от предела прочности.

2 Для составных частей тормозной рычажной передачи и кронштейнов ее крепления при действии момента силы, прикладываемого к штурвалу стояночного тормоза по 4.5, понижающие коэффициенты η_1 , η_2 , η_3 принимают в соответствии с перечислением 2 таблицы.

6.3 Сопротивление усталости металлических несущих конструкций вагона оценивают в соответствии с 6.3.1 – 6.3.8.

6.3.1 Сопротивление усталости оценивают в многоцикловой постановке, когда амплитуды действующих напряжений лежат в диапазоне не менее 10 МПа для сталей, не менее 3 МПа для алюминиевых сплавов и не более 75 % от значения предела текучести (условного предела текучести) материала. Положение настоящего раздела применяют к сталям и алюминиевым сплавам, предел текучести (условный предел текучести) которых не превышает 960 МПа.

6.3.2 Коэффициент запаса сопротивления усталости составной части вагона Π определяют по формуле

$$\Pi = \frac{\sigma_{aN}}{\sigma_{a,z}}, \quad (6.5)$$

где σ_{aN} – предел выносливости по амплитуде, Па, составной части при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$, определяемый согласно 6.3.3;

$\sigma_{a,z}$ – расчетная эквивалентная величина амплитуды эксплуатационных динамических напряжений, Па, эквивалентная по повреждающему действию распределению амплитуд напряжений за расчетный ресурс составной части, определяемая по 6.3.4.

6.3.3 Значение предела выносливости по амплитуде несущих конструкций σ_{aN} определяют по ГОСТ 33211—2014 [формула (6.8)], где предел выносливости базового материала $\bar{\sigma}_m$ для литых стальных конструкций принимают 58 МПа. Коэффициенты снижения предела выносливости, определяемые для различных зон литых деталей, назначают согласно ГОСТ 33211—2014 (таблица 11); для сварных соединений – согласно ГОСТ 33211-2014 (таблица 10). Также коэффициенты снижения предела выносливости могут быть получены по результатам испытаний в соответствии с ГОСТ 25.502.

6.3.4 При наличии данных о распределении амплитудных значений эксплуатационных напряжений величину $\sigma_{a,z}$ определяют по методике ГОСТ 33211—2014 (пункт 6.3.6). При отсутствии данных о распределении величину $\sigma_{a,z}$ определяют расчетным путем по формуле

$$\sigma_{a,z} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2}, \quad (6.6)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5$ – величины напряжений в детали от нормативных нагрузок при движении груженого вагона, соответственно от вертикальной динамической силы, определяемой по 4.10.3, 4.10.4; боковой горизонтальной силы, определяемой по 6.3.6; вертикальной кососимметричной силы, определяемой по 4.1.10 и от силы инерции массы вагона при действии продольной силы N , равной 1,0 МН.

6.3.5 Расчетную скорость принимают равной 25 м/с для вагонов с числом осей до 16 и равной $\frac{3}{4}$ конструкционной скорости для вагонов с числом осей более 16.

6.3.6 Боковая сила, равна разности центробежной силы и горизонтальной составляющей силы тяжести, возникающей вследствие возвышения наружного рельса, если в технических требованиях не оговорены особые условия движения в кривых, принимают равной 7,5 % от силы тяжести брутто. При расчете рекомендуется отдельно учитывать отдельно центробежные сил кузова и тележки.

6.3.7 Амплитуду динамического напряжения при действии сил по 4.10.3 определяют методом экстремумов в соответствии с ГОСТ 25.101—83 (пункт 3.2.1), при действии сил по 4.10.4 – методом полных циклов или методом «дождя» по ГОСТ 25.101—83 (пункт 3.3.3).

6.3.8 Допускаемые коэффициенты запаса сопротивления усталости n приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Допускаемые коэффициенты запаса сопротивления усталости несущей конструкции

Вариант	Метод определения предела выносливости по амплитуде	Метод определения приведенной амплитуды	Коэффициент запаса сопротивления усталости несущей конструкции, не менее	
			кузова вагона	тележки, сцепных устройств
А	Испытания или расчет по 6.3.3	Испытания по 5.1-5.14	1,15	1,30
Б	Испытания или расчет по 6.3.3	Расчет по 5.1-5.14	1,20	1,40
В	Испытания или расчет по 6.3.3	Расчет по 4.10.3, 4.10.4	1,50	1,80

7 Требования к показателям динамических качеств и устойчивости к выжиманию и опрокидыванию при движении

7.1 Требования к показателям динамических качеств и устойчивости к выжиманию и опрокидыванию определяют согласно ГОСТ 33211-2014 (раздел 7), за исключением положений, приведенных в 7.1 – 7.5.

7.2 Мгновенное значение коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельса K_{yc} определяют по формуле

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{(P_B)}{(P_{\delta})}, \quad (7.1)$$

где β — угол наклона образующей гребня колеса к горизонтали, для колес без износа по ГОСТ 10791 принимают $\beta = 60^\circ$;

μ — коэффициент трения между гребнем колеса и рельсом, принимают по ГОСТ 33211-2014:

— 5.1.6 — для определения показателей динамических качеств;

— 5.2.4 — для расчета устойчивости от выжимания;

P_B — вертикальная сила, Н, действующая от колеса на рельс в диапазоне частот от Гц до 20 Гц (положительное направление вниз);

P_{δ} — боковая сила, Н, действующая от колеса на рельс в диапазоне частот от 0 Гц до 20 Гц;

() — оператор, который обозначает определение скользящего среднего с шириной окна 2 м.

7.3 Уровни оценки и допустимые значения показателей динамических качеств приведены в таблице 6.

7.4 Пример метода расчета коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельса при выжимании приведен в приложении А.

7.5 Устойчивость вагона от опрокидывания оценивают по коэффициенту запаса устойчивости от опрокидывания, определяемому по формуле (7.3) ГОСТ 33211-2014, где динамическую вертикальную силу $P_{дин}$, действующую от колеса на рельс, определяют с учетом действия сил по 5.16.1 [перечисления б), в)

и д)] или 5.16.2 [перечисления б), в) и д)] и перемещений центров тяжести кузова вагона и тележек по 5.16.3.

Таблица 6 – Уровни оценки и допустимые значения показателей динамических качеств

Показатель	Уровень оценки	Допустимое значение	
		порожный	груженный
Коэффициент вертикальной динамики обрессоренных частей, не более: - главная балка - промежуточные, соединительные, и концевые балки; обрессоренные части тележек	Допустимый	0,70	0,65
		0,75	0,70
Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей тележек, не более	Допустимый	0,95	0,80
Максимальное отношение рамной силы к статической осевой нагрузке, не более	Хороший	0,25	0,15
	Удовлетворительный	0,30	0,25
	Допустимый	0,35	0,30
Коэффициент запаса устойчивости колеса против схода с рельса, не менее	Допустимый	1,50	
Коэффициент запаса устойчивости от опрокидывания, не менее: - внутрь кривой - наружу кривой	Допустимый	1,3	
		1,3/1,4*	
* Вагоны с «водителом»			

8 Требования к автоматическому сцеплению вагонов и проходу сцепленными вагонами кривых участков пути

8.1 Требования к проходу сцепленными вагонами кривых участков пути принимают согласно ГОСТ 33211-2014 (раздел 8).

8.2 Автоматическая сцепляемость проверке не подлежит, так как сцепление вагонов проводят под контролем сцепщика.

8.3 В случае наличия эксплуатационных документов, подтверждающих отсутствие прохода вагона па аппарельному съезду и сортировочной горке – расчеты прохода вагона по аппарельному съезду и сортировочной горке допускается не производить.

8.4 Для обеспечения свободного перемещения деталей тележки относительно кузова при проходе одиночного вагона по круговой кривой малого

радиуса, необходимо, чтобы при угле ψ поворота тележки вокруг ее центра имели место зазоры между деталями тележки и кузова, достаточные для компенсации других возможных относительных смещений (за счет забегания боковин тележек с нежесткой рамой, смещений кузова в центральном подвешивании и в зазорах пятника). Величину угла ψ , рад, в этом случае определяют по формуле

$$\psi = \frac{l}{R} + \frac{e}{l_T} \cdot \left(1 + \frac{l_T}{2l}\right), \quad (8.1)$$

где l – половина базы одноярусного вагона, половина базы концевой балки «двух- и трехъярусного» вагона, м;

l_T – половина базы тележки, м;

R – радиус кривой согласно ГОСТ 22235 (пункт 6.1), м;

e – максимальное одностороннее смещение рамы тележек поперек пути в сечении, проходящем через ось колесной пары; принимают равным 0,03 м.

9 Требования к воздействию вагона на железнодорожный путь

Вагон должен обеспечить показатели воздействия на железнодорожный путь, установленные ГОСТ (проект) «Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний».

Приложение А (справочное)

Расчет устойчивости порожних вагонов от выжимания продольными силами

А.1 Устойчивость вагонов с числом осей $n \leq 6$, у которых автосцепные устройства установлены непосредственно на грузонесущих балках, определяют по формуле

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \times \frac{P_T + \gamma \cdot N \left[\frac{\delta \cdot z}{l^2} \left(1 + \frac{z}{a} \right) \cdot \frac{h_n}{h_u} \pm \alpha \cdot \frac{z_c}{R} \right] \frac{h_u}{S}}{\mu \cdot P_T + 2\gamma \cdot N \left[\frac{\delta \cdot z}{l^2} \left(1 + \frac{z}{a} \right) \pm \alpha \cdot \frac{z_c}{R} \right] \left(1 - \mu \frac{h_n}{2S} \right) \mp \alpha \cdot \frac{z_c}{R} \cdot \frac{h_u - h_n}{2S}}, \quad (A.1)$$

где β — угол, образованный прямолинейной частью контура профиля гребня колеса и плоскостью пути, град;

μ — коэффициент трения гребня о выкружку головки рельса;

P_T — вертикальная нагрузка от тележки на путь с учетом обезгруживания под действием продольной силы, Н; определяют по формуле

$$P_T = \frac{P_{CT}}{2} - \frac{N \frac{\Delta h}{2a} \left(\frac{z+l}{2l} - \frac{z}{l} \cdot \frac{1}{1 - \frac{c_B \cdot l^2}{N \cdot z}} \right)}{1 - \frac{N}{2a \cdot c_B} \left(1 + \frac{z^2}{l^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{N \cdot z}{c_B \cdot l^2}} \right)}, \quad (A.2)$$

где P_{CT} — вес порожнего вагона, Н;

N — продольная сжимающая сила, на автосцепку; принимают по таблице 3, Н;

Δh — разность уровней осей автосцепок в соединении 2-х вагонов; принимают $\Delta h = 0,1$ м;

a — длина корпуса автосцепки (от оси сцепления до конца хвостовика), м;

$2z$ — расстояние между упорными плитами автосцепок, м;

$2l$ — база вагона, м;

c_B — вертикальная жесткость рессорного подвешивания одной тележки, Н/м;

γ — коэффициент перехода; определяют по формуле

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{KA}}}, \quad (A.3)$$

где N_{KA} — продольная критическая сила, приводящая к относительному перекосу вагонов и осей сцепок в плане, Н; определяют по формуле

$$N_{KA} = \frac{\zeta_r}{1 + \frac{z}{a}} \cdot \frac{l^2}{z}, \quad (\text{A.4})$$

где ζ_r — горизонтальная (поперечная) жесткость рессорного подвешивания одной тележки, Н/м;

2δ — полный поперечный разбег рамы вагона относительно оси пути в сечении по пятнику; при ориентировочных расчетах со среднеизношенными гребнями колес допускается принимать $2\delta = 0,05$ м при буксах с подшипниками качения;

h_n, h_u — соответственно высоты рабочей плоскости пятника и оси автосцепки над уровнем головок рельсов, м;

α — коэффициент перехода; определяют по формуле

$$\alpha = \frac{1 - \frac{N}{N_{KA}}}{1 - \frac{N}{N_{KB}}}, \quad (\text{A.5})$$

где N_{KB} — продольная критическая сила, приводящая к относительному перекоосу вагонов и осей сцепок в плане, Н; определяют по формуле

$$N_{KB} = a \cdot \zeta_r, \quad (\text{A.6})$$

$2z_c$ — длина вагона по осям сцепления автосцепок, м;

R — радиус кривой; при расчете принимают $R=250$ м;

$2S$ — расстояние между кругами катания колес, м.

В формуле (A.1) верхние знаки соответствуют первой тележке, нижние — второй.

A.2 Устойчивость «двухъярусных» вагонов, у которых сжимающие силы передаются на грузонесущие балки через подпятник или «водило», определяют по формулам:

— для первой по ходу тележки при установках I и II:

$$K_{yB\ I} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{P_{T1} - A \left(B \left(1 - \frac{h_u}{h_{\Pi K}} - \frac{\zeta_{r1} \cdot L (l_u + l) \left(1 + \frac{h_{\Pi T}}{h_{\Pi K}} \right)}{E} - D_1 \right) \mp C \right)}{\mu P_{T1} + A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_u}{h_{\Pi K}} - F \frac{\zeta_{r1} \cdot L (l_u + l)}{E} - \mu D_1 \right) \mp \mu C \right)}, \quad (\text{A.7})$$

— для второй по ходу тележки при установках I и II:

$$K_{yB\ II} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{P_{T2} + A \left(B \left(1 - \frac{h_u}{h_{\Pi K}} - \frac{\zeta_{r2} \cdot L (l_u - l) \left(1 + \frac{h_{\Pi T}}{h_{\Pi K}} \right)}{E} - D_2 \right) - C \right)}{\mu P_{T2} - A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_u}{h_{\Pi K}} - F \frac{\zeta_{r2} \cdot L (l_u - l)}{E} - \mu D_2 \right) - \mu C \right)}, \quad (\text{A.8})$$

где P_{T1}, P_{T2} — вертикальные нагрузки, Н, от соответственно первой и второй тележек на путь с учетом перераспределения вертикальных нагрузок под действием продольных сил; вычисляют по формулам

$$P_{T1} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N'_{KP}}} \cdot \frac{C_{B1}(l_{\text{ц}} + l) \left(h_{\text{пк}} - h_{\text{ц}} - \frac{\Delta h}{2a} l \right)}{C_{B1}(l_{\text{ц}} + l)^2 + C_{B2}(l_{\text{ц}} - l)^2}, \quad (\text{A.9})$$

$$P_{T2} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N'_{KP}}} \cdot \frac{C_{B2}(l_{\text{ц}} - l) \left(h_{\text{пк}} - h_{\text{ц}} + \frac{\Delta h}{2a} l \right)}{C_{B1}(l_{\text{ц}} + l)^2 + C_{B2}(l_{\text{ц}} - l)^2}, \quad (\text{A.10})$$

где P_{TCT} — статическая нагрузка от каждой из тележек, объединенных концевой балкой, на путь, Н;

N — продольная сжимающая сила на автосцепку, Н; принимают по таблице 3. В случаях, когда устойчивость вагонов при этой силе недостаточна, необходимо в технических условиях на вагон указать предельно допускаемую массу поезда, в который вагон может быть поставлен;

N'_{KP} — вертикальная критическая сила, приводящая к относительному перекоосу элементов транспортера и осей сцепок в плане, Н; определяют по формуле

$$N'_{KP} = \frac{C_{B1}(l_{\text{ц}} + l)^2 + C_{B2}(l_{\text{ц}} - l)^2}{L \left(1 + \frac{L}{a} \right)}, \quad (\text{A.11})$$

где C_{B1}, C_{B2} — вертикальные жесткости рессорного подвешивания первой и второй тележек, объединенных концевой балкой, Н/м;

$l_{\text{ц}}$ — расстояние от центра поворота грузонесущей балки до полубазы концевой балки, м;

$2l$ — база концевой балки, м;

L — расстояние от хвостовика автосцепки до центра поворота грузонесущей балки, м;

$h_{\text{пк}}, h_{\text{пт}}, h_{\text{ц}}$ — соответственно высоты рабочей плоскости пятника или «води́ла», пятников концевой балки и оси автосцепки над уровнем головок рельсов, м;

Δh — разность уровней осей автосцепок в соединении транспортера с вагонами; принимают $\Delta h = 0,1$ м;

A, B, C, D_1, D_2, E, F — величины, которые вычисляют по формулам (A.12) — (A.18)

$$A = \frac{N}{1 - \frac{N}{N'_{KP}}} \cdot \frac{h_{\text{пк}}}{2S}, \quad (\text{A.12})$$

$$B = \frac{\delta_0}{l_{\text{ц}} + l} \left(1 + \frac{L}{a} \right) \pm \frac{z_c}{R}, \quad (\text{A.13})$$

$$C = \frac{1 - \frac{N}{N_{кр}}}{N \cdot h_{ПК}} \cdot \frac{P_{ГБ} \cdot l_B \left(L_{ГЛ} \sqrt{R^2 - l^2} + l_{Ц} \sqrt{R^2 + l_{Ц}^2 - l^2 - L_{ГЛ}^2} \right)}{R^2 + l_{Ц}^2 - l^2}, \quad (A.14)$$

$$D_1 = \frac{C_{Г2} \cdot L (l_{Ц} - l) \left(1 - \frac{h_{ПТ}}{h_{ПК}} \right)}{C_{Г1} (l_{Ц} + l)^2 + C_{Г2} (l_{Ц} - l)^2}, \quad (A.15)$$

$$D_2 = \frac{C_{Г1} \cdot L (l_{Ц} + l) \left(1 - \frac{h_{ПТ}}{h_{ПК}} \right)}{C_{Г1} (l_{Ц} + l)^2 + C_{Г2} (l_{Ц} - l)^2}, \quad (A.16)$$

$$E = C_{Г1} (l_{Ц} + l)^2 + C_{Г2} (l_{Ц} - l)^2, \quad (A.17)$$

$$F = \mu + \mu \frac{h_{ПТ}}{h_{ПК}} - \frac{4S}{h_{ПК}}, \quad (A.18)$$

где $N_{кр}$ — продольная критическая сила, приводящая к относительному перекосу элементов транспортера и осей сцепок в плане, Н; определяют по формуле

$$N_{кр} = \frac{C_{Г1} (l_{Ц} + l)^2 + C_{Г2} (l_{Ц} - l)^2}{L \left(1 + \frac{l}{a} \right)}, \quad (A.19)$$

$C_{Г1}, C_{Г2}$ — горизонтальные (поперечные) жесткости рессорного подвешивания первой и второй тележек, объединенных концевой балкой, Н/м;

$2S$ — расстояние между кругами катания колес, м;

$2\delta_0$ — полный поперечный разбег концевой балки вагона относительно оси пути в сечении по пятнику; при ориентировочных расчетах для вагонов со среднеизношенными гребнями величину $2\delta_0$ допускается принимать 0,05 м при буксах с подшипниками качения;

R — радиус кривой; при расчете принимают $R=250$ м;

$P_{ГБ}$ — вес главной балки, Н;

l_B — длина «водила», м;

$L_{ГЛ}$ — база вагона, м.

Верхние знаки соответствуют первой установке, нижние — второй.

А.3 При равенствах $C_{Г1} = C_{Г2}$ и $C_{Б1} = C_{Б2}$ формулы (А.7) и (А.8) примут вид:

$$K_{УВ I, II} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{P_{Т1} - A \left(B \left(1 - \frac{h_{Ц}}{h_{ПК}} - \frac{L \cdot l_{Ц}}{l_{Ц}^2 + l^2} - \frac{L \cdot l}{l_{Ц}^2 + l^2} \cdot \frac{h_{ПТ}}{h_{ПК}} \right) \mp C \right)}{\mu P_{Т1} + A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_{Ц}}{h_{ПК}} - \frac{L \cdot l_{Ц}}{l_{Ц}^2 + l^2} \left(\mu - \frac{2S}{h_{ПК}} \right) + \frac{L \cdot l}{l_{Ц}^2 + l^2} \cdot \left(\frac{2S}{h_{ПК}} - \mu \frac{h_{ПТ}}{h_{ПК}} \right) \right) \mp \mu C \right)}, \quad (A.20)$$

$$K_{yB2} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{P_{T2} + A \left(B \left(1 - \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{L \cdot l_{\text{Ц}}}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} + \frac{L \cdot l}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \cdot \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} \right) - \zeta \right)}{\mu P_{T2} - A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{L \cdot l_{\text{Ц}}}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \left(\mu - \frac{2S}{h_{\text{ПК}}} \right) - \frac{L \cdot l}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \cdot \left(\frac{2S}{h_{\text{ПК}}} - \mu \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} \right) \right) - \mu \zeta \right)}, \quad (\text{A.21})$$

где

$$P_{T1} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N'_{KP}}} \cdot \left(\frac{(h_{\text{ПК}} - h_{\text{Ц}})(l_{\text{Ц}} + l)}{2(l_{\text{Ц}}^2 + l^2)} - \frac{\Delta h}{2a} \cdot \frac{L(l_{\text{Ц}} + l)}{2(l_{\text{Ц}}^2 + l^2)} \right); \quad (\text{A.22})$$

$$P_{T2} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N'_{KP}}} \cdot \left(\frac{(h_{\text{ПК}} - h_{\text{Ц}})(l_{\text{Ц}} - l)}{2(l_{\text{Ц}}^2 + l^2)} + \frac{\Delta h}{2a} \cdot \frac{L(l_{\text{Ц}} - l)}{2(l_{\text{Ц}}^2 + l^2)} \right), \quad (\text{A.23})$$

$$N'_{KP} = \frac{\zeta_B}{1 + \frac{L}{a}} \cdot \frac{2(l_{\text{Ц}}^2 + l^2)}{L}, \quad (\text{A.24})$$

$$N_{KP} = \frac{\zeta_{\Gamma}}{1 + \frac{L}{a}} \cdot \frac{2(l_{\text{Ц}}^2 + l^2)}{L}, \quad (\text{A.25})$$

А.4 Устойчивость «трехъярусных» вагонов определяют по формулам

$$K_{yB I, II} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{P_{T1} - A \left(B \left(1 - \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{\zeta_{\Gamma 1} \cdot L(l_{\text{Ц}} + l) \left(1 + \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} \right)}{E} - D_1 + K \right) \mp \zeta_1 \right)}{\mu P_{T1} + A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - F \frac{\zeta_{\Gamma 1} \cdot L(l_{\text{Ц}} - l)}{E} - \mu D_1 + K \right) \mp \mu \zeta_1 \right)}, \quad (\text{A.26})$$

$$K_{yB 2} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{P_{T2} + A \left(B \left(1 - \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{\zeta_{\Gamma 2} \cdot L(l_{\text{Ц}} - l) \left(1 + \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} \right)}{E} - D_2 + K \right) - \zeta_2 \right)}{\mu P_{T2} - A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - F \frac{\zeta_{\Gamma 2} \cdot L(l_{\text{Ц}} - l)}{E} - \mu D_2 - \mu K \right) \pm \mu \zeta_2 \right)}, \quad (\text{A.27})$$

где

$$P_{T1} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{KP}}} \cdot \left[\frac{\zeta_{B1}(l_{\text{Ц}} + l) \left(h_{\text{ПК}} - h_{\text{Ц}} - \frac{\Delta h}{2a} L \right)}{\zeta_{B1}(l_{\text{Ц}} + l)^2 + \zeta_{B2}(l_{\text{Ц}} - l)^2} - \frac{(h_{\text{БК}} - h_{\text{ПК}})(L_{\text{CB}} + L_{\text{Ц}})(l_{\text{Ц}} - l)}{4l(l_{\text{Ц}}^2 + L_{\text{CB}}^2)} \times \right. \\ \left. \times \sqrt{\left(\left(\frac{N_{KP} - N}{N_{KP}} \right)^2 - B^2 \right) \left(1 - \frac{L_{\text{CB}}^2}{R^2 - l^2} \right)} \right] \quad (\text{A.28})$$

$$P_{T2} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{KP}}} \cdot \left[\frac{C_{B2}(l_{\text{Ц}} - l) \left(h_{\text{ПК}} - h_{\text{Ц}} + \frac{\Delta h}{2a} l \right)}{C_{B2}(l_{\text{Ц}} + l)^2 + C_{B2}(l_{\text{Ц}} - l)^2} + \frac{(h_{\text{БК}} - h_{\text{ПК}})(L_{\text{СБ}} + L_{\text{Ц}})(l_{\text{Ц}} + l)}{4l(l_{\text{Ц}}^2 + L_{\text{СБ}}^2)} \right] \times \sqrt{\left(\left(\frac{N_{\text{KP}} - N}{N_{\text{KP}}} \right)^2 - B_2^2 \right) \left(1 - \frac{L_{\text{СБ}}^2}{R^2 - l^2} \right)}, \quad (\text{A.29})$$

где

$$B_2 = \frac{\delta_0}{l_{\text{Ц}} + l} \left(1 + \frac{l}{\alpha} \right) + \frac{z_{\text{С}}}{R}, \quad (\text{A.30})$$

C_1, C_2, K — величины, которые вычисляют по формулам (A.31)–(A.33):

$$C_1 = \frac{1 - \frac{N}{N_{\text{KP}}}}{2N \cdot h_{\text{ПК}}} \cdot \frac{P_K \cdot l_B \left(L_K \sqrt{R^2 - l^2 + l_{\text{Ц}}^2 - L_{\text{СБ}}^2} + l_{\text{Ц}} \sqrt{R^2 - l^2 + l_{\text{Ц}}^2 - L_{\text{СБ}}^2 + L_{\text{Ц}}^2 - L_K^2} \right)}{R^2 - l^2 + l_{\text{Ц}}^2 - L_{\text{СБ}}^2 + L_{\text{Ц}}^2}, \quad (\text{A.31})$$

$$C_2 = \frac{1 - \frac{N}{N_{\text{KP}}}}{2N \cdot h_{\text{ПК}}} \cdot \frac{P_K l_B L_K \sqrt{R^2 - l^2 + l_{\text{Ц}}^2 - L_{\text{СБ}}^2 + L_{\text{Ц}}^2 - L_K^2}}{R^2 - l^2 + l_{\text{Ц}}^2 - L_{\text{СБ}}^2 + L_{\text{Ц}}^2}, \quad (\text{A.32})$$

$$K = \frac{h_{\text{БК}} - h_{\text{ПК}}}{2h_{\text{ПК}}} \cdot \frac{L_{\text{СБ}}(L_{\text{СБ}} - L_{\text{Ц}})}{L_{\text{СБ}}^2 + L_{\text{Ц}}^2} \sqrt{\left(\frac{(N_{\text{KP}} - N)^2}{N_{\text{KP}}^2 \cdot B^2} - 1 \right) \frac{L_{\text{СБ}}^2}{R^2 - l^2 + l_{\text{Ц}}^2 - L_{\text{СБ}}^2}}, \quad (\text{A.33})$$

где $L_{\text{Ц}}$ — расстояние от центра поворота консоли до полубазы соединительной балки;

$2L_{\text{СБ}}$ — база соединительной балки, м;

l_B — длина «води́ла», м;

P_K — вес консоли, м;

$2L_K$ — база вагона, м;

$h_{\text{БК}}$ — высота рабочей плоскости подпятника или «води́ла» соединительной балки, м.

A.5 При равенствах $C_{\Gamma 1} = C_{\Gamma 2}$ и $C_{B1} = C_{B2}$ формулы (A.26) и (A.27) примут вид:

$$K_{\text{УВ I, II}} = \frac{\text{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \text{tg} \beta} \cdot \frac{P_{T1} - A \left(B \left(1 - \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{L \cdot l_{\text{Ц}}}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} - \frac{L \cdot l}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \cdot \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} + K \right) \mp C_1 \right)}{\mu P_{T1} + A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{L \cdot l_{\text{Ц}}}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \left(\mu - \frac{2S}{h_{\text{ПК}}} \right) + \frac{L \cdot l}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \cdot \left(\frac{2S}{h_{\text{ПК}}} - \mu \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} \right) + \mu K \right) \mp \mu C_1 \right)}, \quad (\text{A.34})$$

$$K_{\text{УВ 2}} = \frac{\text{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \text{tg} \beta} \cdot \frac{P_{T2} + A \left(B \left(1 - \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{L \cdot l_{\text{Ц}}}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} + \frac{L \cdot l}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \cdot \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} + K \right) - C_1 \right)}{\mu P_{T2} - A \left(B \left(\mu - \mu \frac{h_{\text{Ц}}}{h_{\text{ПК}}} - \frac{L \cdot l_{\text{Ц}}}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \left(\mu - \frac{2S}{h_{\text{ПК}}} \right) - \frac{L \cdot l}{l_{\text{Ц}}^2 + l^2} \cdot \left(\frac{2S}{h_{\text{ПК}}} - \mu \frac{h_{\text{ПТ}}}{h_{\text{ПК}}} \right) + \mu K \right) - \mu C_1 \right)}, \quad (\text{A.35})$$

где

$$P_{T1} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{KP}}} \cdot \left[\frac{(h_{ПК} - h_{Ц})(l_{Ц} + l)}{2(l_{Ц}^2 + l^2)} - \frac{\Delta h}{2a} \cdot \frac{l(l_{Ц} + l)}{2(l_{Ц}^2 + l^2)} - \frac{(h_{БК} - h_{ПК})(L_{СБ} + L_{Ц})(l_{Ц} - l)}{4l(l_{Ц}^2 + L_{СБ}^2)} \times \right. \\ \left. \times \sqrt{\left(\left(\frac{N_{KP} - N}{N_{KP}} \right)^2 - B^2 \right) \left(1 - \frac{L_{СБ}^2}{R^2 - l^2} \right)} \right], \quad (A.36)$$

$$P_{T2} = P_{TCT} + \frac{N}{1 - \frac{N}{N_{KP}}} \cdot \left[\frac{(h_{ПК} - h_{Ц})(l_{Ц} - l)}{2(l_{Ц}^2 + l^2)} + \frac{\Delta h}{2a} \cdot \frac{l(l_{Ц} + l)}{2(l_{Ц}^2 + l^2)} + \frac{(h_{БК} - h_{ПК})(L_{СБ} + L_{Ц})(l_{Ц} + l)}{4l(l_{Ц}^2 + L_{СБ}^2)} \times \right. \\ \left. \times \sqrt{\left(\left(\frac{N_{KP} - N}{N_{KP}} \right)^2 - B^2 \right) \left(1 - \frac{L_{СБ}^2}{R^2 - l^2} \right)} \right]. \quad (A.37)$$

УДК 656.4.027.11.354

МКС 45.060

Ключевые слова: вагон, вагон-транспортёр, несущая конструкция, кузов, тележка, грузовые вагоны, прочность, сопротивление усталости, динамические качества

Исполнительный директор
ООО «ВНИЦТТ»



А. М. Орлова

Заместитель исполнительного
директора по науке – директор научно-
исследовательской дирекции
ООО «ВНИЦТТ»



Д.В. Шевченко

Руководитель направления «Прочность
конструкций вагонов»
научно-исследовательской дирекции
ООО «ВНИЦТТ»



М.Р. Тохчукова

Руководитель отдела стандартизации
ООО «ВНИЦТТ»



Д.Е. Абрамов

Инженер по стандартизации
ООО «ВНИЦТТ»



М.О. Евгеньева