

ИССЛЕДОВАНИЕ ХОДОВЫХ КАЧЕСТВ ВНОВЬ СОЗДАВАЕМЫХ ВАГОНОВ СО СНИЖЕННЫМ ЗНАЧЕНИЕМ МАССЫ ТАРЫ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СОСТАВА



О.Ю. Кривич



И.К. Сергеев

В статье обоснован наиболее оптимальный способ увеличения грузоподъемности вагонов; выделены ключевые параметры, влияющие на безопасность эксплуатации данных вагонов и уточнен порядок их допуска к перевозочному процессу.

Ключевые слова: применение новых материалов, снижение массы тары, ходовые качества вагона, динамика вагона

EDN: JRGVXC

Современное состояние транспортной системы нашей страны располагает потенциалом, который необходимо раскрывать для увеличения провозной способности железных дорог. Для осуществления данной задачи существует несколько подходов. Один из широко используемых как в нашей стране, так и за рубежом — это увеличение осевой нагрузки нетяговых единиц подвижного состава. Данный метод подразумевает под собой замену ходовых частей вагонов, несет в себе колоссальные капитальные затраты на усовершенствование верхнего строения пути, способного воспринимать большие нагрузки, на которые изначально не была рассчитана его конструкция. Другим же методом увеличения провозной способности выступает снижение массы тары вагонов. Это позволит

увеличить массу груза нетто без увеличения негативных воздействий на верхнее строение пути. Наиболее актуальным такой подход является для специализированных вагонов и, в частности, цистерн, перевозящих грузы высокой плотности. На такой вид подвижного состава наложены ограничения именно по осевой нагрузке, хотя геометрические параметры позволяют в довольно большой степени увеличивать как линейные размеры вагона, так и диаметр котла.

На данный момент активно ведутся исследования по использованию в конструкции вагонов композитных материалов, а именно стеклопластика. Данный материал обладает плотностью в 4,5 раза меньшей плотности стали, а также, не несет ущерба в прочностных качествах. Кроме того, в эксплуатации находятся

Кривич Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, начальник Учебного отдела учебно-методического многофункционального центра Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности технологической подготовки вагоноремонтного производства, оценка потребительских свойств продукции железнодорожного транспорта. Автор 54 научных работ.

Сергеев Иван Константинович, ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность подвижного состава. Автор 28 научных работ.

Емельянов Олег Юрьевич, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: прочность подвижного состава, легковесные материалы. Автор семи научных работ.

цистерны с котлом из алюминия. Ярким представителем таких цистерн является модель 15-6901. При сравнении характеристик данной модели с цистернами моделей 15-157, 15-1226, 15-1406 можно отчетливо видеть, что вагон с котлом из алюминия обладает увеличенным полезным перевозимым объемом груза без изменения таких параметров как масса тары вагона и его осевая нагрузка. Кроме того, такие материалы как стеклопластик и алюминий обладают антикоррозионными свойствами и не предполагают нанесение устойчивых к агрессивным средам покрытий на внутреннюю поверхность, что неизбежно положительно сказывается на экономических показателях, увеличивая срок службы котлов из данных материалов и снижая издержки по их содержанию.

При проектировании единиц подвижного состава важнейшим критерием является соответствие характеристик разработанной конструкции требованиям Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [1]. При реализации вышеописанного метода развития конструкции нетяговых единиц подвижного состава, наиболее изменяемыми параметрами являются масса вагона и его линейные размеры. Данные характеристики являются важнейшими аргументами в функциях расчета коэффициентов устойчивости вагона от вкатывания гребня колеса на головку рельса (1); от опрокидывания вагона под действием продольных сжимающих и растягивающих сил в составе поезда внутрь или наружу кривой соответственно (2).

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \operatorname{tg} \beta \mu} \cdot \frac{P_{B1}}{P_B} \geq [K_{yc}], \quad (1)$$

где β — угол между касательной к поверхности гребня колеса и горизонталью;

μ — коэффициент трения взаимодействующих поверхностей (колеса и рельса);

P_{B1} — вертикальная составляющая нагрузки на набегающее колесо;

P_B — горизонтальная составляющая динамического давления колеса на головку рельса;

$[K_{yc}]$ — допустимый запас устойчивости вагона от вкатывания, который равняется 1,4.

$$K_{yc} = \frac{P_{ст}}{P_{дин}} \geq [K_{yc}], \quad (2)$$

где $P_{ст}$ — статическая вертикальная сила давления колеса на рельс, в которой учитывается обезгрузка при действии вертикальных составляющих продольных сил, приходящихся на автосцепки;

$P_{дин}$ — динамическая вертикальная сила давления колеса на рельс, в которой учитывается обезгрузка при действии вышеперечисленных сил;

$[K_{yc}]$ — допустимый запас устойчивости вагона от опрокидывания ($[K_{yc}] = 1,3$ при проверке опрокидывания наружу кривой; $[K_{yc}] = 1,2$ при проверке опрокидывания внутрь кривой).

В значениях параметров P_{B1} , $P_{ст}$, $P_{дин}$ ключевую роль играют значения массы тары вагона, расположение его центра тяжести и его геометрические параметры, что показывают формулы (3–5).

$$P_{B1} = 2Q_{ш} \left(\frac{b_1 - a_2}{L} (1 - K_{дв}) - \frac{b_1}{L} K_{дг} \right) + H_p \frac{R}{L} + q_{кп} \frac{b_1 - a_2}{L}, \quad (3)$$

$$P_{ст} = \frac{G_B - 2P_N^B}{2n}, \quad (4)$$

$$P_{дин} = (F_k h_{ц} + n_t F_t h_{цт} + F_{вк} h_{вк} + h_t F_{вт} h_{вт} + 2P_N^n h_a + G_k \Delta_k + n_t G_t \Delta_t) / (n2S). \quad (5)$$

В формуле (3) аргумент $Q_{ш}$ — это вес обрессоренных частей вагона, приходящихся на одну шейку оси, что напрямую зависит от массы тары. Формула (4) включает в себя значение P_N^B , а это вертикальная составляющая продольной силы, действующая на кузов вагона через автосцепку, которая в свою очередь зависит как от величины продольной силы, так и от расположения центров тяжести различных элементов конструкции вагона, что также влияет на значение параметра $P_{дин}$ (5).

Кроме того, при расчете значения вертикальной составляющей продольной силы, которая действует на кузов вагона через автосцепку, используется установленное в [1] значение расчетной величины продольной силы, для которого и производится проверка соответствия требованиям безопасности. Значение этой силы нормировано и приводится для различной осности вагона, порожнего или груженого его состояния, а также для ситуации сжатия или растяжения его продольными силами.

Ввиду изменения параметров массы и геометрических размеров вагона, разработанная его конструкция может не соответствовать предъявляемым критериям по [1]. Вследствие этого будет запрещена эксплуатация такого вагона на общей сети железных дорог. Учитывая серьезную экономическую эффективность от внедрения таких специализированных вагонов, целесообразно накладывать на них дополнительные ограничения по эксплуатации при несоответствии их характеристик требованиям [1] и допускать к перевозочному процессу.

Специализированные вагоны как правило закрепляются за конкретным маршрутом, а не эксплуати-

руются на всей сети железных дорог. В случае, если на маршруте, за которым закреплен конкретный вагон или состав вагонов, отсутствуют критические для данного состава элементы пути (кривые малых радиусов, сильные переломы продольного профиля пути), то следование состава по такому маршруту не выходит за рамки безопасной эксплуатации.

Для исследования динамических воздействий, возникающих в составе поезда при его следовании по конкретному маршруту разработана программа, получающая на входе общие параметры исследуемого процесса (рис. 1), типы вагонов в поезде и их характеристики (рис. 2) и параметры профиля пути (рис. 3).

С помощью данной программы не составляет труда оперативно смоделировать процесс движения заданного состава по конкретному маршруту. В ходе моделирования рассчитываются продольные силовые воздействия единиц подвижного состава друг на друга. На рис. 4 приведена форма вывода результатов моделирования продольных сил в составе из сорока цистерн, движущихся по некоторому профилю пути.

Как следует из вышесказанного, расчетные значения продольных сил для подсчета выражений (1–5) могут быть определены с использованием максимумов графика продольных сил реакций состава. Следовательно, в этом случае при расчете можно не пользоваться их нормативными значениями, приведенными в [1]. Таким образом, зная максимальные значения динамических сил, возникающих в составе при его движении по конкретному профилю пути, целесообразно подвергнуть пересчету коэффициенты, влияющие на безопасность движения. В случае их соответствия нормируемым значениям по требова-

Рис. 1. Форма ввода общих параметров процесса

ниям безопасности, такой вагон следует использовать в перевозочном процессе, наложив на него при этом соответствующие ограничения, которые могут выражаться в допуске только к конкретному маршруту, использовании только в составе однотипных вагонов, в ограничениях по параметрам пути. В противном же случае необходима доработка разработанной конструкции, которая может заключаться, например, в изменении центра тяжести таких вагонов с облегченными кузовами, в установке шкворней замкового типа, в замене типа поглощающего аппарата или запрете их [вагонов] к эксплуатации. 

Тип вагона	Загрузка	Тара	Масса тележ.	Момент или Высота ц.т.	База вагона	Длина конс.
т	т	т	т*кв.м	м	м	м
Платформа 70	21	9,6	1000	1,3	9,72	1,5
Полувагон 78	22	9,6	1000	1,8	8,65	1,5
Цистерна 4-57	23	9,6	1000	1,93	7,8	1

Сформирован состав из 40 вагонов

№ п/п	Тип вагона	Загрузка	Тара	Масса тележ.	Момент или Высота ц.т.	База	Консоль	Поглощ. аппарат	Кол-во ваг.
	т	т	т	т*кв.м	м	м	м	шт.	шт.
1	Платформа 70	21	9,6	1000	1,3	9,72	1,5	73-ZW	40

Удалить строку

Выбор поглощающего аппарата

- 73-ZW
- 73-ZW-Y2
- P-2П
- P-5П
- Ш-2-В
- Ш-6-ТО-4
- Ш-1-ТМ
- ПФ-4
- ПМК-110А
- АГО-120М

Количество однотипных вагонов

Рис. 2. Форма ввода параметров вагонов состава

Профиль пути

Укажите число участков пути

№ участка, -	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Окончание участка	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Градиент, -	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Форма ввода параметров профиля пути



Рис. 4. Форма вывода результатов моделирования

Литература

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — Москва: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 317 с. — Текст: непосредственный.
2. Емельянов, О.Ю. Развитие транспортной системы и экономики путём качественного преобразования конструкции подвижного состава / О.Ю. Емельянов, А.И. Быков. — Текст: непосредственный // Материалы молодежного научного форума студентов и аспирантов транспортных вузов с международным участием «Актуальные аспекты и приоритетные направления развития транспортной отрасли». — Москва: Перо, 2019. — С. 284–287. — ISBN 978-5-00150-796-3.
3. Сергеев, И.К. К вопросу о методиках оценки некоторых динамических параметров подвижного состава при высокоскоростном движении / И.К. Сергеев, О.Ю. Емельянов, Д.В. Ковин. — Текст: электронный // Меридиан. — 2020. — №2. — С. 465–467. — URL: <http://www.meridian-journal.ru/site/article?id=2-669&pdf=1> (дата обращения: 01.10.2021).