

СНИЖЕНИЕ ВЕСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ДЛЯ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Розроблено методику зниження ваги кузова пасажирського вагона. Створено математичну модель, виконано розрахунки, наведено деякі результати.

Разработана методика снижения веса кузова пассажирского вагона. Создана математическая модель, выполнены расчеты, приведены некоторые результаты.

The method of decline of weight of basket of passenger carriage is developed. A mathematical model is created, calculations are executed, some results are resulted.

Повышение скоростей движения на железных дорогах Украины является первоочередной задачей, решение которой позволит осуществить интеграцию железнодорожного транспорта в международную транспортную систему [1]. Особенно остро этот вопрос касается пассажирских перевозок. Железная дорога может предоставить пассажиру в пути следования более комфортные условия, чем автомобильный транспорт, но при этом длительность поездки должна быть соизмеримой, а по возможности и меньшей. Как показывает мировой опыт, это позволит не только успешно конкурировать железнодорожному транспорту с автомобильным, но и обеспечит ему доминирующее положение на рынке перевозок пассажиров.

Требование повышения скорости движения накладывает ограничение на величину осевой нагрузки. Следовательно, необходимо решить задачу снижения веса подвижного состава. Одним из путей решения этой задачи является уменьшение веса металлоконструкции кузова рельсового экипажа.

Для проработки был взят вагон модели 61-779 «Украина» (рис. 1) производства Крюковского вагоностроительного завода (г. Кременчуг), который является базовой моделью семейства пассажирских вагонов для скоростных перевозок. Вагон имеет два тамбура с дверями и ступенями которые, обеспечивают посадку-высадку пассажиров на высокие и низкие платформы. Планировка включает два туалета, служебное отделение, отделение для отопительных приборов и пассажирское отделение. Делая перепланировку пассажирского отделения, можно изготавливать разные модификации вагонов. Как и большинство европейских скоростных вагонов, этот вагон имеет увеличенную базу (19 м), что позволяет увеличить пассажировместимость. Параметры вагона согласно [2] приведены в табл. 1.



Рис. 1. Вагон модели 61-779 «Украина» в составе поезда «Столичный экспресс»

Таблица 1

Основные технические характеристики вагона модели 61-779

Техническая характеристика	Значение (тип)
Длина вагона по осям автосцепок, мм	26 696
Ширина кузова, мм	3 021
База вагона, мм	19 000
Высота оси автосцепки над уровнем головки рельса, мм	1 060 ± 20
Габарит согласно ГОСТ 9283-83:	
для кузова	01-ВМ
для тележки	02-ВМ
Масса тары вагона не более чем, т	59
Конструкционная скорость, км/ч	160
Количество пассажирских купе, шт.	10
Срок службы вагона, год	30

Расчеты кузова на прочность выполнялись при помощи метода конечных элементов с использованием программного комплекса SCAD [3] в соответствии с нормами [4]. Кузов рассматривался как система стержневых и пластинчатых конечных элементов. Расчетная схема приведена на рис. 2.

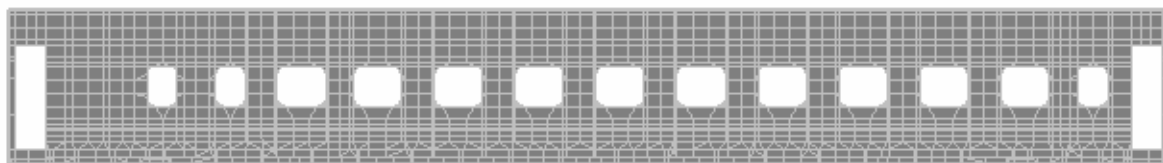


Рис. 2. Расчетная схема кузова пассажирского вагона модели 61-779

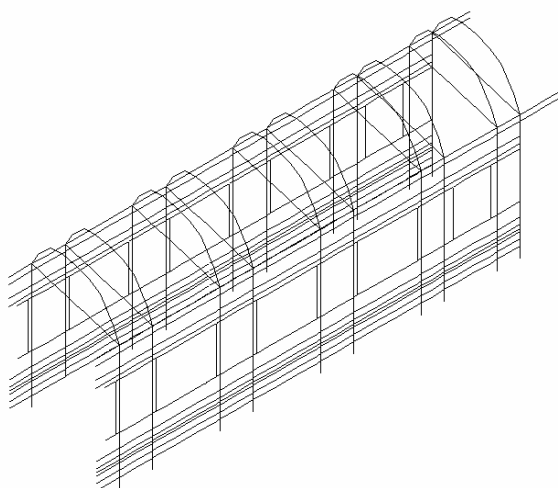


Рис. 3. Фрагмент стержневой конструкции кузова

Стержневые конечные элементы работают на растяжение (сжатие), изгиб, кручение и сдвиг. Плоские конечные элементы работают на изгиб (как пластины) и на растяжение (сжатие) под действием сил, линии действия которых лежат в срединной плоскости.

Всего расчетная схема содержит 7 220 узлов и 11 458 конечных элемента.

Нормы [4] предусматривают необходимость расчетов по трем расчетным режимам:

- I расчетный режим соответствует троганию с места, экстремному торможению при малых скоростях движения, столкновению при маневровой работе и т. п.;
- II расчетный режим – движению поезда на расчетном подъеме (для пассажирских вагонов при включении их в состав грузовых поездов);
- III расчетный режим – движению с конструкционной скоростью и регулировочным торможением.

Каждому из этих расчетных режимов отвечает комбинация нагрузок, которые прикладываются к кузову вагона. Можно выделить три группы: продольные, вертикальные и боковые нагрузки. Ниже приведено описание каждой из групп.

Как стержни рассматривались стойки и верхняя обвязка боковых стен, дуги крыши и др. (фрагмент схемы показан на рис. 3). Рама кузова, нижняя обвязка, обшива боковых стен, торцевые стены, обшива крыши и настил пола моделировались с помощью пластинчатых конечных элементов.

Продольные нагрузки – это продольная растягивающая или сжимающая сила, прикладываемая к передним или задним упорным угольникам соответственно. При расчете по I режиму прикладывается сжимающая сила 2,5 МН, II режим авторами не рассматривается, при расчете по III режиму отдельно оценивается прочность кузова как при действии растягивающей силы 1 МН, так и при действии сжимающей силы такой же величины (рассматривается случай действия растягивающей силы).

Группу вертикальных нагрузок образует сила тяжести кузова вагона, сила тяжести внутреннего оборудования, экипировки и пассажиров с багажом. В эту группу, кроме перечисленных выше статических нагрузок, входят также динамические добавки, вызванные ускорением кузова в вертикальном направлении при движении вагона.

Сила тяжести Q , действующая на кузов вагона, равна разнице веса брутто вагона и веса тележек и составляет для данного вагона 510 кН. Эта нагрузка прикладывалась следующим образом. Кузов сначала был нагружен силой тяжести, действующей на металлоконструкцию кузова, и силами тяжести крупных единиц оборудования. Сила, равная разнице между Q и весом металлоконструкции и оборудования, была приложена как действующая на пол вагона равномерно распределенная нагрузка.

При расчете по I режиму учитывается только вертикальная статическая нагрузка. При расчете по III режиму учитывается также динамическая добавка путем умножения статической нагрузки на множитель $1 + k_{дв}$ ($k_{дв}$ – расчетное значение коэффициента вертикальной динамики).

Величина $k_{дв}$ рассчитывается по формуле

$$k_{дв} = \bar{k}_{дв} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(k_{дв})}},$$

где $k_{дв}$ – среднее значение коэффициента вертикальной динамики (математическое ожидание процесса $k_{дв}(t)$); $P(k_{дв})=0,97$ – доверительная вероятность.

Среднее значение $\bar{k}_{дв}$ определяется таким образом:

$$\bar{k}_{дв} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \frac{V - 15}{f_{ст}},$$

где $a=0,05$ для элементов кузова; b – коэффициент, который зависит от числа осей в тележке (для двухосных тележек $b=1$); $f_{ст}=0,15$ м – статический прогиб рессорного подвешивания; V – скорость движения, м/с.

Для III расчетного режима $V=160$ км/ч (44,4 м/с):

$$\bar{k}_{дв} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{44,4 - 15}{0,15} = 0,121;$$

$$k_{дв} = 0,121 \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,256.$$

Для III расчетного режима $V=200$ км/ч (55,5 м/с):

$$\bar{k}_{дв} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{55,5 - 15}{0,15} = 0,147;$$

$$k_{дв} = 0,147 \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,311.$$

Боковая нагрузка учитывается только при расчете по III режиму. Сила, равная разности центробежной силы и горизонтальной составляющей силы тяжести, возникающей вследствие возвышения наружного рельса, для пассажирских вагонов составляет 10 % от силы тяжести брутто, т. е. 51 кН. Также учитывается сила давления ветра, равная произведению боковой проекции кузова на удельное давление ветра 500 Н/м^2 , которая для данного вагона равна 44,3 кН. Таким образом, суммарная боковая нагрузка составляет 95,3 кН и прикладывается к верхним и нижним обвязкам боковых стен.

При проведении расчетов рассматривалось три варианта приложения нагрузок. Первый вариант отвечает I расчетному режиму, второй вариант – III режиму при скорости движения 160 км/ч, третий вариант – III режиму при скорости движения 200 км/ч. Нагрузки, которые прикладываются в каждом из вариантов, приведены в табл. 2.

Нагрузки при разных расчетных режимах

Расчетный режим	Продольная нагрузка, кН	Вертикальная нагрузка, кН	Боковая нагрузка, кН
I	-2500	510	–
III ($V=160$ км/ч)	+1000	641	95,3
III ($V=200$ км/ч)	+1000	669	95,3

Вначале производился расчет кузова при стандартных толщинах обшивы. Полученные результаты сравнивались с экспериментальными данными. Сходимость результатов подтвердила правильность созданной модели. Далее производился расчет кузова с толщиной обшивы боковых стен 2 мм и толщиной обшивы крыши 1,5 мм. Также рассматривался вариант модернизации кузова, при котором удалялись гофры без замены их на подкрепляющие изнутри элементы (стрингеры).

Анализ напряженно-деформированного состояния при разных вариантах модернизации показал, что кузов пассажирского вагона обладает достаточным запасом прочности. Напряжения, которые возникают в наиболее нагруженных местах, не превышают допустимых значений для применяемых конструкционных сталей. При этом масса тары вагона уменьшилась на 1,05 т, что составляет 1,78 %.

Таким образом, за счет рационального применения элементов металлоконструкций вагона можно достичь снижения массы тары, что само по себе дает экономический эффект. Это способствует также уменьшению энергозатрат на тягу пассажирского поезда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кірка Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. – Д.: Арт-Прес, 2003. – 268 с.
2. Федюшин Ю. М. Розробка, створення, освоєння виробництва та впровадження сімейства моделей вітчизняних сучасних пасажирських вагонів для швидкісних перевезень / Ю. М. Федюшин, Л. М. Лобойко, О. М. Пшінько и др. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. – Вип. 7 – С. 5–24.
3. Карпиловский и др. В. С. SCAD для пользователя – К.: ВВП «Компас», 2000. – 358 с.
4. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ–ВНИИЖТ, 1983. – 258 с.

Поступила в редколлегия 25.04.2006.

С. В. МЯМЛИН (ДИИТ), А. И. ЯЛОВОЙ (ОАО «Завод точного литья»),
А. Е. ЛОЗОВАЯ (ОАО «Днепровагонмаш»)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВАГОНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Наведено основні результати випробувань вагона-платформи для перевезення широкого листового прокату. За своїми динамічними та міцносними якостями вагон-платформа може експлуатуватися на магістральних залізницях із швидкістю до 120 км/год.

Приведены основные результаты испытаний вагона-платформы для перевозки широкого листового проката. По своим динамическим и прочностным качествам вагон-платформа может эксплуатироваться на магистральных железных дорогах со скоростью до 120 км/ч.

In article the main results of previous tests of platform-car for wider steel are presented. The platform-car has dynamics and strengths qualities for operation on railways with velocity up to 120 km/h.

Для обеспечения потребности грузоперевозчиков, которые занимаются транспортировкой специальных видов грузов, например, металлопродукции, очень важным условием является адаптация конструкции вагонов к особенностям перевозимого груза. Ярким примером успешного решения такой конструкторской задачи может служить вагон-платформа для перевозки листового проката.

Вагон-платформа для перевозки листового проката (рис. 1) был разработан на ОАО «Днепровагонмаш» и предназначен для перевозки металлопродукции (листа) шириной 3 080...4 450 мм, длиной 10 000...12 300 мм и толщиной 7...50 мм, по путям общего пользова-

ния и промышленных предприятий. Особенностью перевозки такого листового проката является то, что в горизонтальном положении листы не вписываются в габарит подвижного состава и перевозить его следует в наклонном состоянии.

Вагон представляет собой сварную конструкцию, опирающуюся на две двухосные тележки модели 18-100, на нижней раме которой шарнирно закреплена верхняя рама, имеющая два положения: транспортное и погрузочное. Транспортное положение верхней рамы с углом наклона к горизонту 52°. Погрузка и разгрузка листов осуществляется в погрузочном горизонтальном положении при помощи магнитных захватов.

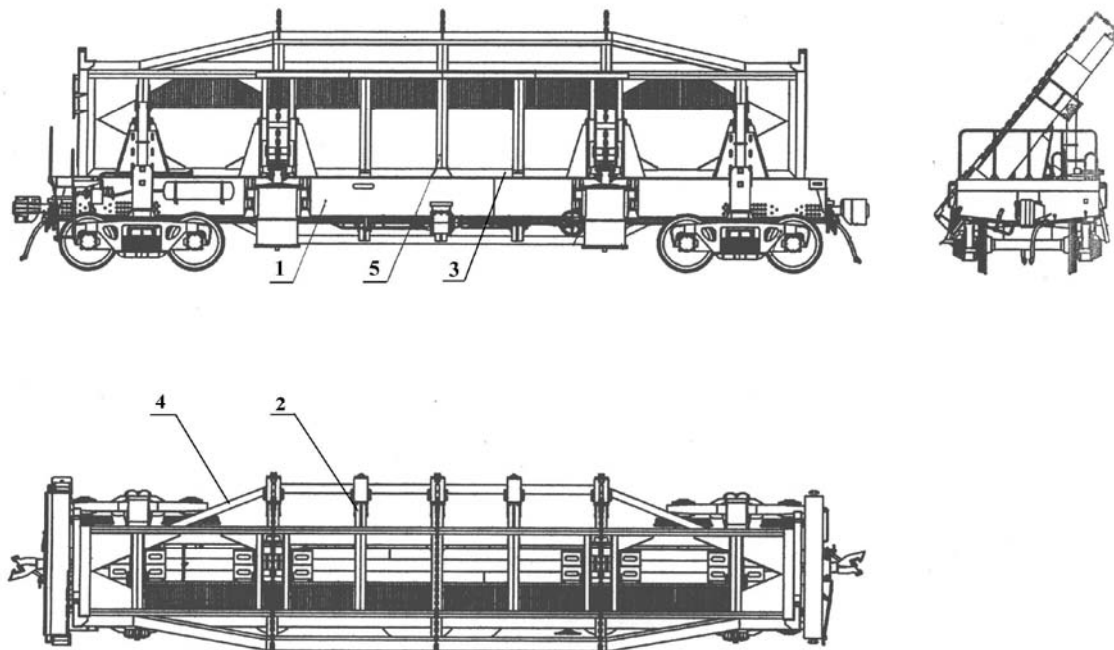


Рис. 1. Вагон-платформа для листового проката