

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.

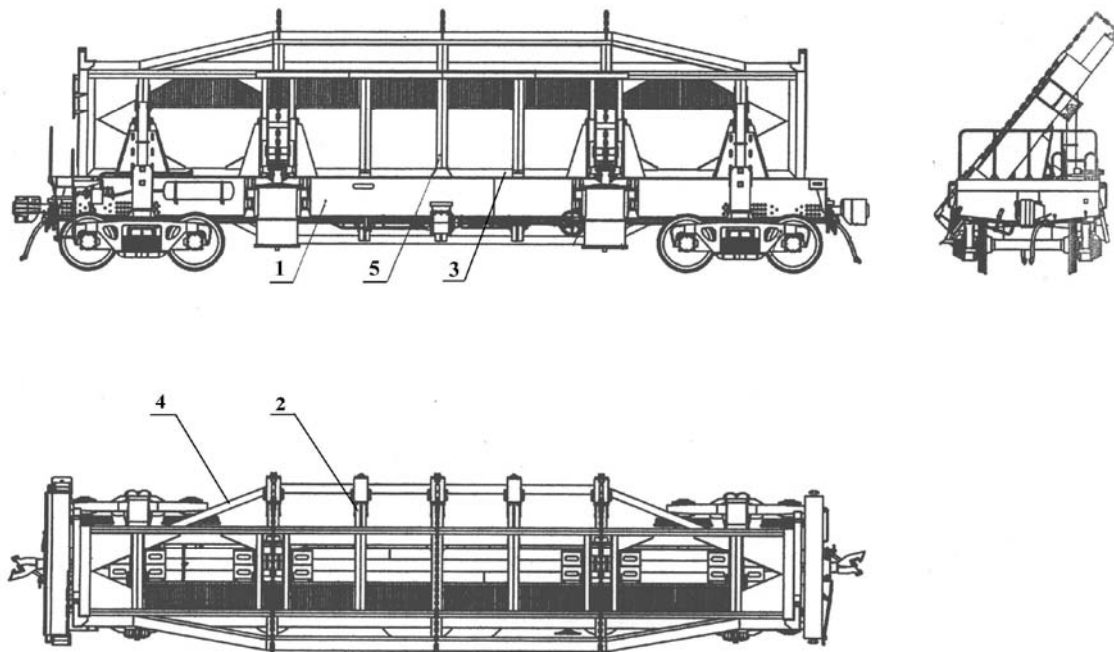


Рис. 1. Вагон-платформа для листового проката

Перевод верхней рамы из одного положения в другое выполняется механизмом поворота, путем подачи сжатого воздуха в нижнюю или верхнюю полость цилиндров пневмосистемы.

Конструкция вагона обеспечивает размещение листового проката на погрузочной плоскости верхней рамы, его крепление от продольных и поперечных смещений.

Укладка листов производится на верхнюю плоскость рамы, в разбежку по длине, поочередно к одному и другому торцевому упору.

Увязочные цепи вместе с натяжными устройствами удерживают груз от поперечных смещений при прохождении кривых и препятствуют смещению груза в случае приложения ветровой нагрузки. Торцевой упор верхней рамы удерживает груз от продольных смещений.

Конструкция вагона-платформы исключает самопроизвольный поворот верхней рамы из транспортного положения в погрузочное и обратно, а также обеспечивает надежное закрепление верхней рамы в наклонном транспортном и горизонтальном погрузочном положениях.

В целом конструкция вагона соответствует требованиям норм [1], что подтверждается динамическими и прочностными расчетами вагона-платформы модели 13-4107 для перевозки листового проката, которые выполнены в ДИИТе.

Для расчетов вагона на прочность использовался метод конечных элементов реализованный в программе ANSYS. Верхняя и нижняя рамы рассчитывались отдельно. В расчетах рассматривалась геометрическая модель рам, представляющая собой совокупность плоских и объемных фигур, которые автоматически разбивались на конечные элементы.

При моделировании использовались преимущественно плоские элементы, которые сопротивляются как деформациям в собственной плоскости, так и деформациям изгиба. Незначительную долю от общего числа элементов составляют объемные элементы.

Расчеты платформы на прочность были выполнены для основных вариантов нагружения, в соответствии с нормами [1]:

– I расчетный режим соответствует троганию с места, экстремному торможению при малых скоростях движения, соударениям при маневровой работе и т. п. На вагон при этом действует вес груза, собственный вес конструкции и продольные усилия в упорах автосцепного устройства.

– III расчетный режим, соответствует движению вагона с конструкционной скоростью сопровождающемуся регулировочным торможением.

В группу вертикальных нагрузок входят силы тяжести груза и конструкции, а также силы инерции, возникающие при колебаниях в вертикальном направлении. К упорам автосцепки приложены продольные силы. На кузов действует также поперечная нагрузка. Погрузка на кузов, при которой действуют лишь вертикальные силы (силы тяжести груза и конструкции).

Соударение, при котором прикладывается продольная ударная нагрузка к концевой балке верхней рамы, а вертикальные нагрузки соответствуют нагрузкам I расчетного режима.

Результаты расчетов показали, что напряжения, возникающие в элементах конструкции платформы при действии нормированных нагрузок, не превышают допустимых напряжений для стали 09Г2С, из которой изготовлены эти элементы, и прочность платформы удовлетворяет требованиям норм. Кроме расчетов на прочность, были выполнены расчеты динамических показателей вагона. Для расчетов использовалась математическая модель пространственных колебаний системы «вагон-путь».

Расчет производился с учетом особенности конструкции вагона-платформы, выраженной в ее несимметричности относительно продольной оси пути в поперечном направлении как в порожнем, так и в груженом состоянии. Отдельно рассматривалось движение вагона по правой и левой кривым, при этом было принято, что правая кривая поворачивает в ту сторону, в которую смещен центр тяжести кузова.

В результате расчетов было установлено, что ходовые качества груженого вагона удовлетворяют требованиям норм при скоростях движения до 120 км/ч, а порожнего вагона – до 100 км/ч. В кривых ходовые качества вагона удовлетворяют требованиям норм при движении со скоростями, при которых непогашенное ускорение не превосходит  $0,3 \text{ м/с}^2$ .

Результаты расчетов подтверждаются предварительными испытаниями, которые проводились согласно требованиями [2]. Предварительные испытания проводились в два этапа.

На первом этапе предварительных испытаний опытный образец вагона-платформы испытывался под действием статических и ударных нагрузок, нахождение кривых малого радиуса по территории предприятия-изготовителя отделом испытаний продукции вагоностроения ОАО «Днепровагонмаш».

Целью испытаний являлась проверка прочностных, ходовых, тормозных и эксплуатационных качеств опытного образца платформы, оценка степени соответствия платформы требованиям, предъявляемых технической документацией.

При проведении предварительных статических испытаний вагон-платформа загружался листовым прокатом, продольные нагрузки прикладывались ступенями 1,0 и 2,5 МН на уровне осей автосцепок к задним упорам. Ремонтные нагрузки создавались с помощью домкратов при подъеме одной стороны груженого до полной грузоподъемности вагона-платформы одновременно под оба конца лобовой балки. Подъемка осуществлялась до момента отрыва пятника от подпятника.

Результаты предварительных статических испытаний вагона-платформы по I и III расчетным режимам показали, что наиболее нагруженным элементом в нижней раме является хребтовая балка (см. рис. 1, поз.1) в нижней части ее поперечного сечения по всей длине вагона, а в верхней раме продольная балка (см. рис. 1, поз.4). При испытании ремонтными нагрузками наиболее нагруженным элементом стал лобовой брус.

Максимальные суммарные напряжения, полученные в результате предварительных испытаний статическими и ремонтными нагрузками, во всех элементах конструкции нижней и верхней рамы не превышают напряжений допускаемых по нормам [2].

Предварительные испытания ударными нагрузками проводились как на свободностоящем опытном вагоне, так и на вагоне, стоящем в подпоре. Наибольшие суммарные напряжения, но не более допускаемых по нормам, для свободностоящего опытного вагона от силы удара и веса брутто возникли в балке поперечной (см. рис. 1, поз. 2), балке продольной (см. рис. 1, поз. 3), упоре шкворневом. Наибольшие суммарные напряжения, но не более допускаемых по нормам, для опытного вагона, стоящего в подпоре от силы удара и веса брутто, возникли в упоре шкворневом, балке продольной, балке поперечной средней (см. рис. 1, поз. 5). В остальных элементах конструкции вагона, при испытаниях на соударение суммарные напряжения существенно ниже допускаемых по нормам.

Предварительные испытания на прохождение кривых малого радиуса и проверке автоматической сцепляемости вагона-платформы для листового проката проводились на кривых участках железнодорожного пути. Для проведения испытаний формировался сцеп, состоящий из вагона-эталона, опытного вагона-платформы и локомотива, а также из двух опытных вагон-платформ и локомотива.

Проверка обеспечения прохода сцепленных вагонов по криволинейным участкам пути проводилась для следующих случаев взаимодействия автосцепных устройств:

- сцепление автоматическое, на участке сопряжения прямой и кривой радиусом 135 м без переходного радиуса, со скоростями движения 0,2...4 м/с;
- проход в сцепе участка сопряжения прямой и кривой радиусом 80 м без переходного радиуса;
- проход в сцепе S-образной кривой радиусом 120 м без прямой вставки;
- проход одиночной платформы круговой кривой радиусом 60 м.

Результаты испытаний на прохождение кривых малого радиуса и проверке автоматической сцепляемости вагона-платформы показали, что автоматическое сцепление на участке сопряжения прямой и кривой радиусом 135 м без переходного радиуса наблюдается:

- при прохождении участка сопряжения прямой и кривой радиусом 80 м без переходного радиуса, и S-образной кривой радиусом 120 м без прямой вставки, касания хвостовика автосцепки и стенок розетки не наблюдалось;
- при проходе одиночного вагона-платформы по круговой кривой радиусом 60 м касание гребней колес и элементов рамы вагона не отмечено, проход обеспечивается.

Вагон-платформа для листового проката по условиям прохождения как в одиночном состоянии, так и в сцепе с вагоном-эталонном, а также с вагоном аналогом обеспечивает прохождение кривых малого радиуса, сохраняет сцепленное состояние подвижного состава и удовлетворяет требованиям конструкторской документации и норм во всех случаях.

На втором этапе предварительных испытаний опытного образца вагона-платформы испытательным центром продукции вагоностроения и литейного производства для вагоностроения УкрНИИВ (ИЦ ПВ), проводилось поколесное взвешивание, ходовые прочностные и ходовые динамические испытания.

Основными задачами предварительных динамических испытаний являлись:

- определение уровня действия вертикальных сил каждого колеса порожнего и груженого вагона на рельс, смещение центра тяжести вагона;
- определение уровня и частотного состава динамических напряжений в основных элементах и узлах металлоконструкции платформы во время движения с разными скоростями до конструкционной, в груженом режи-

ме, на статически представленных по конструкции, плану, профилю и текущему состоянию участках железнодорожного пути, а также определение коэффициентов запаса сопротивления усталости металлоконструкции;

– определение и оценка показателей ходовых качеств опытной платформы во время движения с разными режимами загрузки и скоростями, в том числе с конструкционной, на статистически представительных по конструкции, плану, профилю и текущему состоянию участках железнодорожного пути.

Испытания опытного образца вагона-платформы для перевозки листового проката проводились на полигоне ст. Новомосковск-Днепровский–ст. Днепродзержинск-Левобережный Приднепровской ж. д., во всем диапазоне эксплуатационных скоростей 40...120 км/ч, с интервалом 10 км/ч.

Ходовые испытания проводились на участке, отвечающем требованиям предъявляемым к пути для данных испытаний, протяженностью 50 км, имеющем прямые и кривые участки для получения динамических показателей вагона при реализации непогашенного ускорения в кривых  $0,7 \text{ м/с}^2$ .

Во время проведения ходовых динамических и ходовых прочностных испытаний измерялись и регистрировались такие показатели:

- горизонтальные рамные силы;
- динамические напряжения в рамах тележек;
- ускорение кузова в районе шкворневого узла вагона;
- динамические напряжения в элементах верхней рамы;
- прогибы рессорных комплектов.

По данным зарегистрированных процессов вычислялись такие показатели:

- коэффициент вертикальной динамики;
- коэффициент горизонтальной динамики;
- коэффициент запаса устойчивости колес от схода с рельсов;
- коэффициент запаса поперечной устойчивости от опрокидывания в кривых;
- гистограммы распределения динамических напряжений и коэффициентов запаса сопротивления усталости выбранных элементов конструкции кузова.

Оценка динамических качеств вагона проводилась по соотношениям экспериментально полученных показателей и нормативных величин.

Значения динамических показателей качества движения вагона-платформы для листового проката, полученные в результате испытаний в груженом и порожнем режимах, показаны на рис. 2–6.

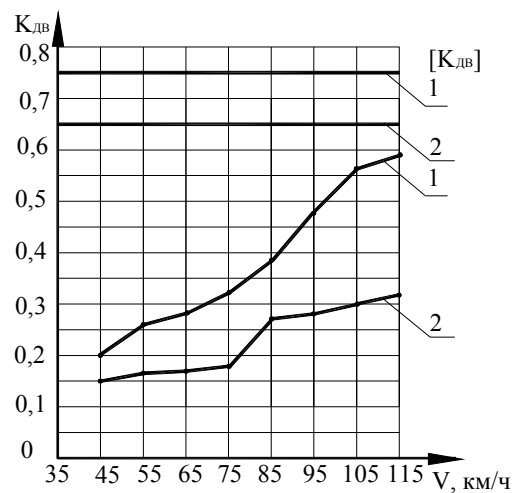


Рис. 2. Коэффициент вертикальной динамики кузова вагона: 1 – порожний режим; 2 – груженный режим

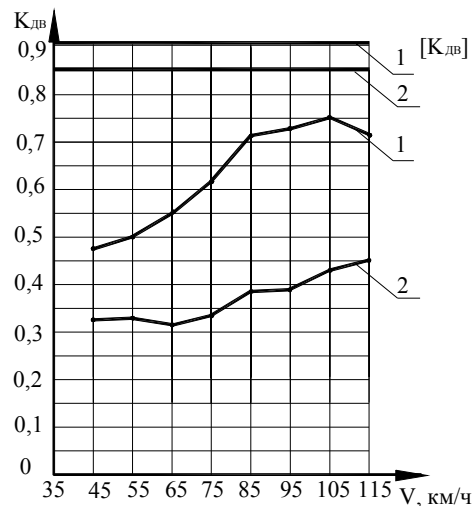


Рис. 3. Коэффициент вертикальной динамики рамы тележки: 1 – порожний режим; 2 – груженный режим

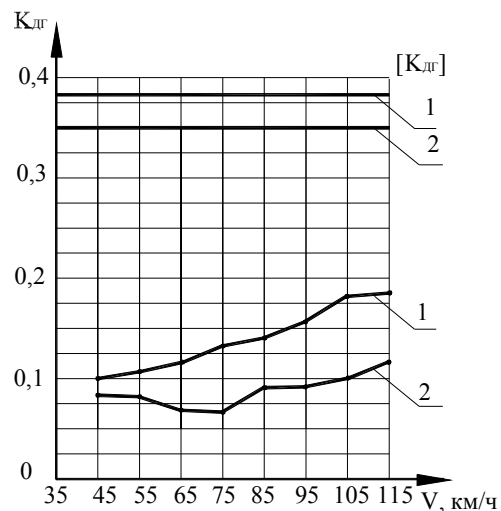


Рис. 4. Коэффициент горизонтальной динамики: 1 – порожний режим; 2 – груженный режим

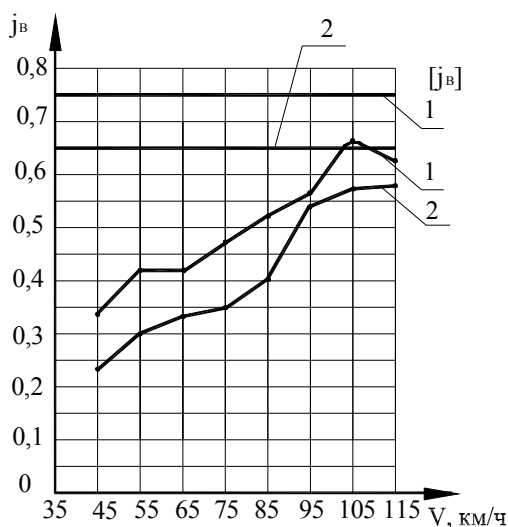


Рис. 5. Ускорение вертикальное:  
1 – порожний режим; 2 – груженный режим

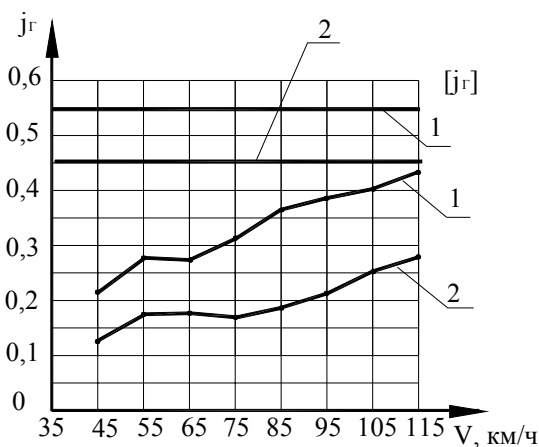


Рис. 6. Ускорение горизонтальное:  
1 – порожний режим; 2 – груженный режим

Коэффициент устойчивости от схода колеса с рельсов вагона-платформы для листового проката в порожнем и груженом режиме приведены в табл. 1.

Таблица 1

Порожний режим	Груженный режим	Допустимое значение
1,6	2,1	$\geq [1,3]$

Показатель устойчивости от опрокидывания вагона-платформы определялся во время прохождения кривых разного радиуса с учетом уровня непогашенного ускорения  $0,7 \text{ м/с}^2$ , и составил 3,1 в груженом и 4,9 в порожнем режимах при нормативном значении не менее 1,2.

Анализ приведенных динамических показателей опытного вагона показал, что качество хода вагона удовлетворяет нормативным показателям для грузовых вагонов во всем диапазоне эксплуатационных скоростей до 120 км/ч на железнодорожных путях, по состоянию текущего содержания соответствующих требованиям движения с указанными скоростями.

При проведении ходовых прочностных испытаний вычислялись коэффициенты запаса сопротивления усталости элементов конструкции нижней и верхней рам вагона-платформы из расчета ее эксплуатации на протяжении 32 лет после изготовления, и динамические напряжения в данных элементах конструкции.

Результаты ходовых прочностных испытаний показали, что напряжения в элементах конструкции вагона-платформы не превышают напряжения в 26,2 МПа, возникающего в сечении шкворневой балки.

Расчетный коэффициент запаса сопротивления усталости во всех выбранных элементах несущей конструкции вагона-платформы для листового проката не ниже минимальной нормативной величины, равной 1,5.

Результаты поколесного взвешивания порожнего и груженого вагона показали, что в связи с особенностью конструкции вагона-платформы, имеет место несимметричное распределение масс конструкции кузова относительно его продольной оси симметрии, но смещение центра тяжести не превышает допустимой нормативной величины.

Таким образом, испытанная конструкция вагона-платформы для перевозки листового проката обладает достаточной прочностью, что подтверждается прочностными расчетами и предварительными испытаниями, соответствует требованиям норм. Вагон может эксплуатироваться по всей сети железных дорог Украины и стран СНГ колеи 1 520 мм.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1 520 мм (несамоходных). – М., 1996.
2. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М.: ГосНИИВ РФ, 1996. – 102 с.

Поступила в редколлегию 25.04.2006.