

Оценка влияния собственных форм колебаний рамы и груза на показатели динамических качеств длиннобазных вагонов-платформ



А. М. Орлова,
д-р техн. наук, директор
Дирекции научно-техниче-
ского развития
ПАО «Научно-производ-
ственная корпорация
«Объединенная вагонная
компания»,



Е. А. Рудакова,
канд. техн. наук, ведущий
научный сотрудник,
руководитель отдела
комплексных исследований
динамики взаимодействия
экипажа и пути
ООО «ВНИЦТТ»,



А. В. Гусев,
канд. техн. наук, ведущий
научный сотрудник
ООО «ВНИЦТТ»,



А. Х. Юлдашев,
аспирант Петербургского
государственного
университета путей
сообщений Императора
Александра I

Одним из направлений улучшения технико-экономических показателей грузового вагона является расширение номенклатуры перевозимого груза, которое может быть реализовано за счет применения длиннобазного вагона-платформы. Это позволит повысить эффективность перевозочного процесса отдельных видов длинномерного груза и обеспечить высокую вариативность схем погрузки контейнеров.

В сравнении с универсальным вагоном-платформой, у которого длина базы составляет не более 10 м, специализированный подвижной состав может обладать рядом конструктивных и технических особенностей, которые необходимо учитывать при оценке показателей динамических качеств (ДК) экипажа на этапах проектирования и испытаний. К данным особенностям относятся увеличенная масса тары и база вагона, наличие дополнительных элементов на раме для закрепления груза. Также при увеличении длины базы железнодорожной единицы особое значение приобретает учет собственных колебаний рамы вагона и груза в случае перевозки длинномерного металлопроката (рельсов) и их влияние на показатели ДК экипажа.

Увеличенная длина базы вагона позволяет реализовать множество вариантов схем погрузки контейнеров разного типа, проверить которые при ходовых динамических испытаниях не представляется возможным. Поэтому на предварительном этапе компьютерное моделирование позволяет выбрать наиболее критичные схемы погрузки платформы контейнерами с точки зрения наихудших показателей ДК для дальнейшего экспериментального исследования.

Конструктивные особенности длиннобазного вагона-платформы

В эксплуатации находятся разные модели длиннобазных вагонов-платформ с увеличенной базой более 19 м [1] для перевозки контейнеров разного типа по ГОСТ Р 53350 [2], а также длинномерного

металлопроката, уложенного в штабель (рис. 1).

Для расширения ассортимента перевозимого груза и его закрепления на раме в конструкции вагона могут применяться разные технические решения. Так, при перевозке длинномерного металлопроката необходимо обеспечить ограничение его перемещения, поэтому на раме платформы предусмотрены торцевые стены (ТС) и стойки (рис. 1б).

В зависимости от длины перевозимого груза конструкция платформы может допускать изменение положения



Рис. 1. Длиннобазные вагоны-платформы моделей:
а) 13-1281 (база 19,7 м); б) 13-4108 (20 м);
в) 13-6903 (19 м); г) 13-6726 (19 м)

торцевых стен вдоль рамы вагона. Для исследования динамического поведения экипажа в данной работе рассмотрена перспективная конструкция платформы с базой 20,2 м, укомплектованная передвижными торцевыми стенами. В качестве аналога принят вагон на рис. 1б.

Параметры длиннобазного вагона-платформы:

- база вагона 20,20 м
- тара вагона $36\,500 \pm 0,5$ кг
- грузоподъемность 63 000 кг
- масса кузова порожнего вагона 20 300 кг
- масса конструкции торцевой стены 2875 кг
- высота центра масс (ЦМ) порожнего кузова (без торцевых стен) над уровнем плоскости подпятника 0,396 м
- высота ЦМ конструкции торцевой стены над уровнем плоскости подпятника 1,532 м.

Компьютерная модель длиннобазного вагона-платформы

На первом этапе была разработана компьютерная модель длиннобазного вагона-платформы в рамках подхода, реализованного в программном комплексе (ПК) «Medyna» [3].

Торцевые стены, контейнеры и штабель из длинномерного металлопроката смоделированы в виде отдельных твердых тел. Связь торцевых стен и контейнеров с рамой вагона обеспечивалась элементом, который позволяет разрешать или запрещать линейные и угловые перемещения в местах опирания, в результате чего была максимально точно смоделирована работа фитинговых упоров и узлов крепления ТС. Для описания связи штабеля из металлопроката с рамой вагона применялась комбинация аналогичных элементов.

Моделирование проводилось на прямом участке пути в кривой радиусом 650 м со скоростями 60, 100 и 120 км/ч, а также в кривой радиусом 350 м со скоростями 60 и 80 км/ч с учетом численных реализаций вертикальных и горизонтальных неровностей рельсовых нитей согласно РД 32.68 [4], которые учитывают наиболее неблагоприятное состояние верхнего строения пути.

При моделировании рассмотрено несколько случаев динамического поведения экипажа: платформа в порожнем и груженом состояниях на основе твердотельной модели, модель платформы с учетом собственных форм колебаний рамы для всех рассмотренных случаев

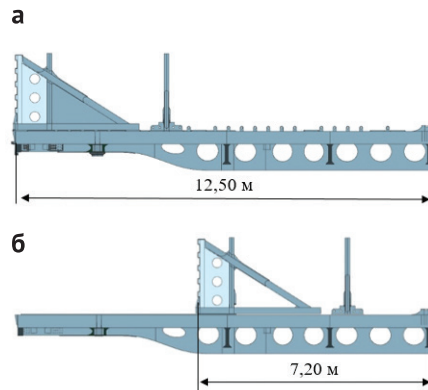


Рис. 2. Установка торцевых стен на раме платформы: а) торцевые стены по краям; б) торцевые стены смещены к центру

и груза для случая перевозки металлопроката минимальной жесткости.

Анализ влияния расположения торцевых стен на показатели динамических качеств порожнего вагона-платформы

Принимая во внимание, что торцевая стена является отдельным телом массой около трех тонн, возникает необходимость оценить влияние положения торцевых стен на раме порожнего вагона-платформы (рис. 2) на показатели ДК. Расположение торцевых стен по краям рамы позволяет реализовать полную загрузку платформы контейнерами или разместить длинномерный металлопрокат по всей длине рамы. Смещение стен в центральную часть позволяет закреплять и перевозить металлопрокат меньшей длины. Данные варианты расположения ТС на раме выбраны для оценки влияния сосредоточенной массы с разных сторон от шкворневого узла на показатели ДК экипажа.

По результатам компьютерного моделирования на твердотельной модели (без учета собственных форм колебаний рамы) установлено, что показатели ДК платформы на различных участках пути для всего диапазона рассмотренных скоростей удовлетворяют требованиям ГОСТ 33211 [5].

На рис. 3 представлено сравнение двух вариантов установки ТС для участка пути с наибольшими значениями показателей ДК (кривая радиусом 650 м) при движении порожнего вагона: максимальный коэффициент динамической добавки обрессоренных частей ($K_{дв}$); максимальное отношение рамной силы к статической осевой нагрузке ($H_p/P_{ст}$); минимальный коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельса ($K_{уст}$).

Результаты моделирования показали, что крайнее расположение ТС на

раме платформы вызывает увеличение (ухудшение) показателей ДК до 11 % по сравнению с расположением ТС ближе к центральной части.

На следующем этапе для крайнего положения торцевых стен с учетом реализованного в ПК «Medyna» подхода было проведено компьютерное моделирование движения вагона-платформы с учетом первой (изгибной) формы собственных колебаний рамы (рис. 4), характеристики которой предварительно получены в ПК «Siemens NX» («NX») и затем учтены в твердотельной модели вагона (перемещения элементов рамы, собственная частота, приведенная масса и жесткость).

Результаты компьютерного моделирования показали, что при учете собственных форм колебаний рамы платформы не установлено превышений допустимых значений показателей ДК на всем диапазоне скоростей на прямом и в кривых участках пути. При этом изгибная форма собственных колебаний рамы платформы способствует увеличению максимальных значений вертикальных ускорений обрессоренных частей (a_z) в долях от ускорения свободного падения и $K_{дв}$ до 35 и 14 % соответственно. Максимальные расхождения, полученные на

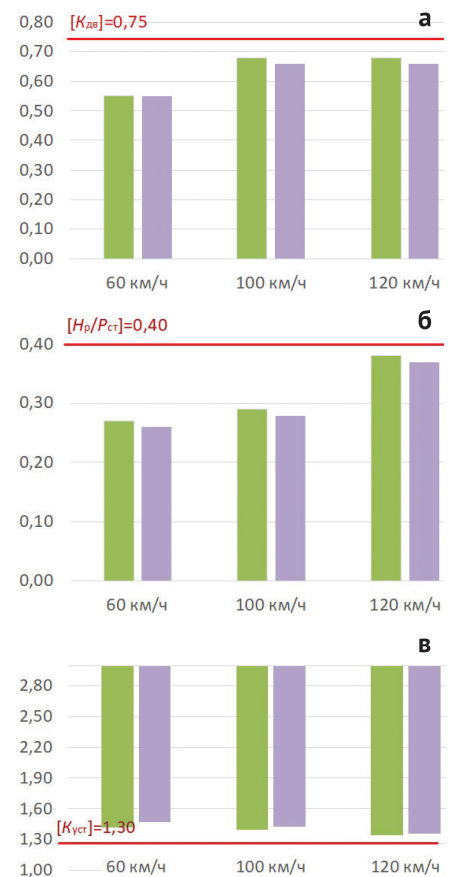


Рис. 3. Показатели ДК порожней платформы в кривой с радиусом 650 м: а) $K_{дв}$; б) $H_p/P_{ст}$; в) $K_{уст}$

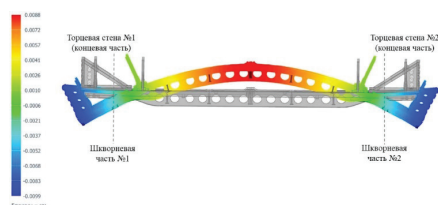


Рис. 4. Графическое изображение изгибной формы собственных колебаний рамы платформы с частотой 8,82 Гц (цветом показано перемещение элементов рамы в вертикальной плоскости, мм)

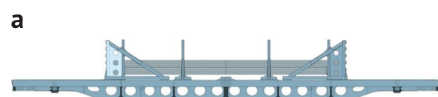


Рис. 6. Рама вагона-платформы в груженом состоянии: а) загрузка металлопрокатом 13 м; б) загрузка металлопрокатом 25 м; в) перевозка контейнеров типа 1ААА

прямом участке пути, представлены на рис. 5. Расхождение с другими показателями ДК не превысило 3%.

Анализ влияния вариантов загрузки вагона-платформы на показатели ДК

На первом этапе было проведено компьютерное моделирование на твердотельных моделях для платформы в груженом состоянии (рис. 6). Вариант загрузки платформы контейнерами типа 1ААА представляет интерес с точки зрения влияния повышенного ЦМ (2,54 м) на показатели ДК. При такой постановке задачи модель предусматривает равномерное распределение нагрузки по раме, поэтому вариант перевозки длинномерного металлопроката 25 м, уложенного в штабель, отличается от варианта перевозки контейнеров только высотой ЦМ (1,36 м).

При перевозке штабеля из металлопроката длиной 13 м с высотой ЦМ 1,5 м нагрузка на раму сосредоточена в центральной части, что способствует максимальному изгибающему моменту в сечениях этой зоны и может существенно влиять на показатели ДК экипажа, поэтому этот вариант загрузки также был рассмотрен.

На рис. 7 приведены результаты компьютерного моделирования на основе твердотельной модели для случаев с наибольшим расхождением показате-

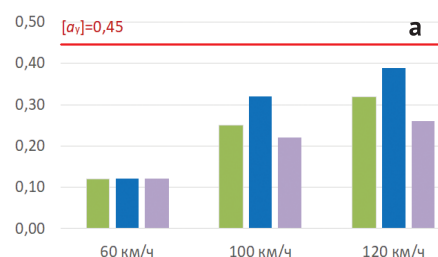


Рис. 7. Показатели ДК груженой платформы: а) прямая, а; б) кривая с радиусом 650 м, $K_{дв}$

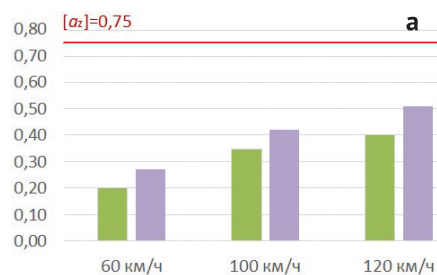


Рис. 5. Показатели ДК порожней платформы с учетом изгибной формы собственных колебаний рамы при движении на прямом участке пути: а) a_z ; б) $K_{дв}$



Рис. 6. Рама вагона-платформы в груженом состоянии: а) загрузка металлопрокатом 13 м; б) загрузка металлопрокатом 25 м; в) перевозка контейнеров типа 1ААА

лей ДК. При сравнении показателей ДК платформы, загруженной контейнерами типа 1ААА и металлопрокатом различной длины, нельзя однозначно сказать, какая схема погрузки хуже или лучше. Так, при перевозке металлопроката зафиксирован рост боковых ускорений обрессоренных частей (a_y) в долях от ускорения свободного падения, по сравнению с вариантом загрузки контейнерами максимальное расхождение достигает 50% на прямом участке пути (рис. 7а). При перевозке контейнеров по сравнению с вариантом загрузки вагона металлопрокатом (рис. 7б) рост значений $K_{дв}$ достигает 44% в кривой с радиусом 650 м при скорости 60 км/ч.

На втором этапе проведена оценка показателей ДК вагона-платформы с учетом собственных форм колебаний рамы платформы (изгибная) и груза (волнообразная) в случае перевозки металлопроката. Первый расчетный случай включал вариант загрузки вагона контейнерами типа 1ААА. При моделировании была учтена изгибная форма собственных колебаний рамы платформы (торцевые стены установлены по краям рамы), а контейнер являлся твердым телом. Установлено, что расхождение значений показателей ДК для твердотельной модели платформы и с учетом изгибной формы собственных колебаний рамы не превысило 3%.

Второй расчетный случай включал вариант загрузки вагона металлопро-

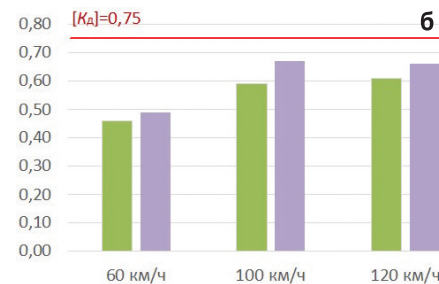


Рис. 5. Показатели ДК порожней платформы с учетом изгибной формы собственных колебаний рамы при движении на прямом участке пути: а) a_z ; б) $K_{дв}$

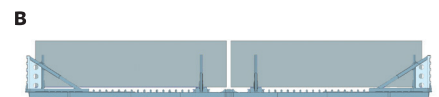


Рис. 6. Рама вагона-платформы в груженом состоянии: а) загрузка металлопрокатом 13 м; б) загрузка металлопрокатом 25 м; в) перевозка контейнеров типа 1ААА

катом длиной 13 м. При моделировании были учтены собственные формы колебаний рамы платформы для случая смещения торцевых стен к центру и отдельно металлопроката, которые предварительно были получены в ПК «NX» (рис. 8). Собственные частоты рамы платформы и металлопроката различаются на 24%, что исключает возникновение резонанса.

Результаты моделирования показали, что при учете собственных форм колебаний рамы платформы и металлопроката не установлено превышения допустимых значений показателей ДК. При этом учет изгибной формы собственных колебаний рамы и металлопроката длиной 13 м способствует увеличению вертикальных ускорений a_z и $K_{дв}$ до 46% и 20% соответственно (рис. 9). Расхождение с другими показателями ДК не превышает 3%.

Третий расчетный случай включал вариант загрузки вагона-платформы металлопрокатом, уложенным в штабель длиной 25 м. При моделировании были учтены собственные формы колебаний рамы платформы для случая расположения торцевых стен по краям рамы и отдельно металлопроката, которые предварительно были получены в ПК «NX» (рис. 10).

Учет изгибной формы собственных колебаний рамы платформы и металлопроката длиной 25 м способствует увеличению вертикальных ускорений a_z и $K_{дв}$ до 55% и 32% соответственно (рис. 11). Расхождение с другими показателями ДК не превышает 5%. При этом следует отметить, что перевозка металлопроката длиной 25 м является наиболее динамически нагруженным режимом по сравнению с вариантом загрузки платформы металлопрокатом длиной 13 м.

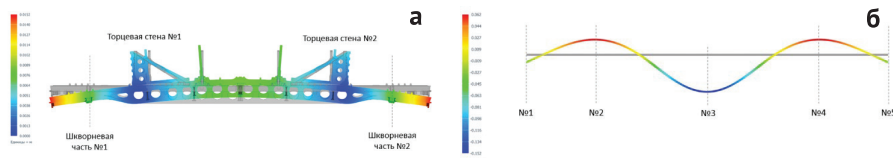


Рис. 8. Графическое изображение собственных форм колебаний: а) рама платформы с частотой 11,31 Гц; б) штабель металлопроката длиной 13 м с частотой 8,56 Гц (цветом показано перемещение элементов рамы и штабеля в вертикальной плоскости, мм)

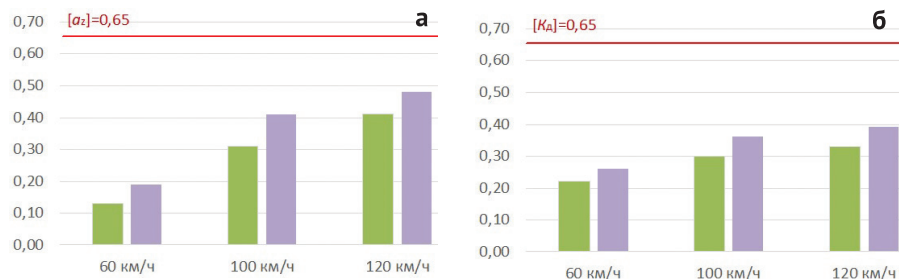


Рис. 9. Показатели ДК для платформы, загруженной металлопрокатом длиной 13 м, при движении на прямом участке пути: а) $[a_z]$; б) $K_{ав}$

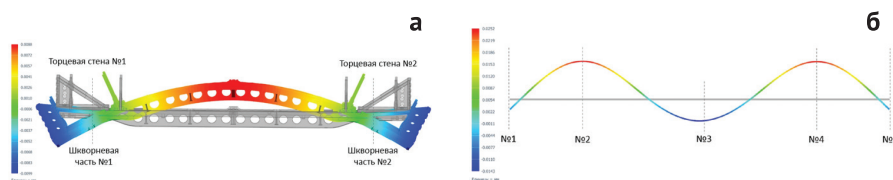


Рис. 10. Графическое изображение собственных форм колебаний: а) рама платформы с частотой 8,82 Гц; б) штабель металлопроката длиной 25 м с частотой 2,62 Гц (цветом показано перемещение элементов рамы и штабеля в вертикальной плоскости, мм)

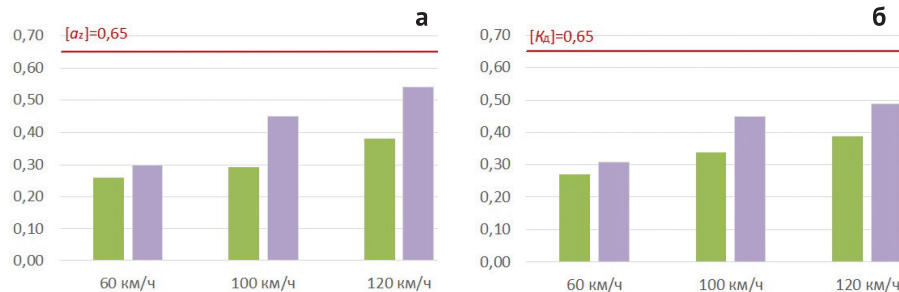


Рис. 11. Показатели ДК для платформы, загруженной металлопрокатом длиной 25 м, при движении на прямом участке пути: а) $[a_z]$; б) $K_{ав}$

Заключение

С применением методов компьютерного моделирования на базе ПК «Medyna» в работе проведен анализ динамического поведения длиннобазного вагона-платформы, особенностью которого является наличие передвижных торцевых стен для крепления груза. Моделирование проводилось с различными скоростями на прямом и в кривых участках пути для вагона в порожнем состоянии с установленными торцевыми стенами и в груженом состоянии при перевозке контейнеров типа 1AAA и металлопроката разной длины.

Анализ показателей ДК длиннобазного вагона-платформы показал следующие результаты.

1. Расположение торцевых стен по краям вагона-платформы способствует увеличению показателей ДК до 11 % относительно варианта размещения торцевых стен в центральной части.

2. Учет изгибной формы собственных колебаний рамы в компьютерной модели длиннобазного вагона-платформы способствует увеличению максимальных значений вертикальных ускорений и коэффициента динамической добавки обрессоренных частей для порожнего вагона до 35 % и 14 % соответственно, а для груженого вагона с учетом изгибной формы собственных колебаний металлопро-

ката — до 46–55 % и 20–32 %. Наибольшие значения соответствуют перевозке металлопроката длиной 25 м, соответственно при этом расхождение с другими показателями не превышает 5 %. Для груженого вагона при загрузке контейнерами типа 1AAA и с учетом изгибной формы собственных колебаний рамы платформы расхождение значений показателей ДК с твердотельной моделью не превышает 3 %.

На основании комплекса исследований для вагонов-платформ с увеличенной базой (более 19 м) целесообразно дать следующие рекомендации.

1. На этапе проектирования проводить анализ показателей ДК с учетом изгибной формы собственных колебаний рамы и груза (в случае перевозки длинномерного металлопроката малой жесткости).

2. При экспериментальной проверке учитывать на полигоне в рамках ходовых динамических испытаний обязательные схемы: в порожнем режиме — с расположением торцевых стен по краям рамы (если есть другие варианты расположения торцевых стен), в груженом — вариант загрузки вагона длинномерным металлопрокатом, уложенным в штабель на длине 25 м (если в номенклатуре перевозимого груза значится длинномерный металлопрокат малой жесткости). **Т**

Источники

- Василенко Д. А. Сравнительный анализ конструкций рам длиннобазных платформ // Изв. ПГУПС. 2007. № 4. С. 48–56.
- ГОСТ Р 53350. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. М.: Стандартинформ, 2009. 15 с.
- Орлова А. М., Лесничий В. С., Рудак ова Е. А. и др. Требования к динамическим качествам грузовых вагонов и методы их подтверждения: учеб. пособие. СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. 51 с.
- РД 32.68-96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. М.: МПС, 1996.
- ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2014.