УДК 629.463.004.4:656.211.7

Вагон на пароме: воздействие морской волны

Алёна ЛОВСКАЯ

Alyona A. LOVSKAYA

Ловская Алёна Александровна *– кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Вагоны» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, Харьков, Украина.*

A Railway Car on a Ferry: Impact of Sea Wave

(текст статьи на англ.яз. – English text of the article – p.68)

Автором представлены результаты исследований динамики кузовов грузовых вагонов при перевозке на железнодорожных паромах в условиях морского волнения с учетом различных курсовых углов волны по отношению к корпусу. Рассматриваются основные виды колебательного движения вагона при волнении моря, которые оказывают влияние на прочность и устойчивость кузовной конструкции, находящейся на верхней палубе парома.

Ключевые слова: железнодорожно-водный транспорт, паромные перевозки, морские волнения, грузовой вагон, динамика воздействий, нагружение конструкции, математическая модель.

Развитие внешнеэкономических связей между государствами Европы и Азии стимулирует создание и эксплуатацию комбинированных транспортных систем. Наиболее перспективными среди них считаются контрейлерные и контейнерные перевозки. В странах, имеющих выход в морскую акваторию, нашли успешное применение железнодорожно-паромные грузоперевозки.

ОЦЕНОЧНЫЕ ПОДХОДЫ

Процесс нагружения несущих конструкций кузовов вагонов при следовании их железнодорожными паромами (ЖДП) морем нуждается в особом внимании, поскольку динамические характеристики, свойственные этому виду комбинированных перевозок, значительно отличаются от обычных эксплуатационных на магистральных путях.

Статистические данные повреждаемости вагонов при транспортировке их на паромах акваторией Черного моря показывают, что каждый год около 10% единиц вагонного парка, используемых в международном железнодорожно-водном сообщении (МЖВС), требуют ре-

монта с отцепкой. Прежде всего это связано с отсутствием конструкционной приспособленности кузовов вагонов к закреплению на палубах ЖДП и повышенной величиной нагрузок, действующих на них при перевозке в условиях морского волнения.

Вопросам исследования условий грузоперевозок железнодорожными паромами посвящены научные работы разных лет, в частности [1]. Недостатками приводимых в них методик является невозможность учета как курсового угла морской волны с ее возмущающим воздействием по отношению к корпусу ЖДП, так и ветровой нагрузки на надводную проекцию парома с вагонами, размещенными на его верхней палубе. Не учитывается и вероятность перемещения кузова вагона во время морского волнения.

Исследование внешних нагрузок, которые действуют на кузова вагонов при перевозке паромами, проводилось Морским инженерным бюро (г. Одесса, Украина) [2]. При этом искомые данные были определены на основании расчета колебаний ЖДП, происходящих с шестью степенями свободы в условиях нерегулярного трехмерного волнения при движении судна со скоростью 6,5 узла. Использованная методика пригодна только для однопалубного парома ограниченного района плавания, к тому же она не принимает в расчет возможную податливость кузова вагона относительно палубы.

МОДЕЛЬ УСКОРЕНИЙ

С целью обеспечения безопасности движения грузовых вагонов необходимо исследовать особенности основных видов нагрузок, которые действуют на их кузова при перевозках паромом. В этом случае одной из определяющих нагрузок выступает инерционная, обусловленная морским волнением.

Исследования схем закрепления вагонов на палубах украинских ЖДП на станциях «Ильичевск-Паромная» и ГП «ТИС–Крым» показали, что при перевозках морем может иметь место податливость кузовов, которая обусловлена чаще всего одной или несколькими из указанных причин:

– неровностью палубы;

– неисправностью устройств взаимодействия вагонов с палубой ЖДП;

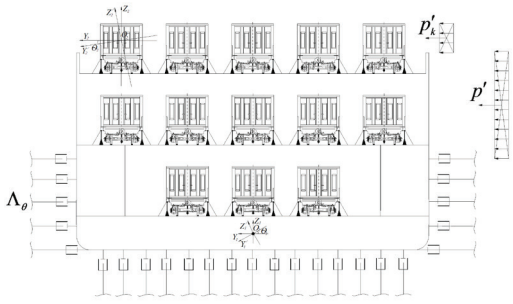


Рис. 1. Расчетная схема кузова вагона, размещенного на палубе железнодорожного парома.

– отклонениями в геометрии кузова, наличием его деформации;

– несимметричностью загрузки кузова грузом;

– человеческим фактором при закреплении вагонов.

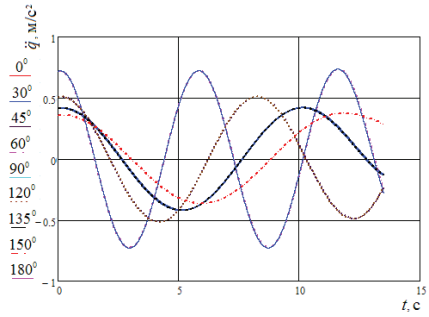
Для определения ускорений, которые действуют на кузова вагонов при перевозке паромом, разработана математическая модель, которая описывает перемещение вагонных конструкций в условиях бортовой качки как вида колебательного движения, оказывающего наибольшее влияние на устойчивость кузова относительно палубы. Расчетная схема кузова вагона, размещенного на ЖДП, представлена на рис. 1.

Первое уравнение математической модели характеризует перемещение самого парома, а второе – кузова вагона относительно палубы. Расчеты проведены на примере ЖДП типа «Герои Шипки».

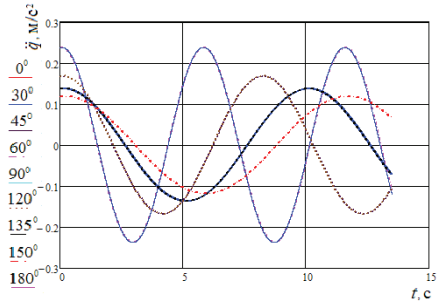
$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12\cdot g}(B^2+4z_g{}^2)\right)\ddot{q}_1+\left(\Lambda_\theta\cdot\frac{B}{2}\right)\dot{q}_1= \\ =p'\cdot\frac{h}{2}+\Lambda_\theta\cdot\frac{B}{2}\cdot\dot{F}(t), \\ I_{\kappa}^{\kappa}(\ddot{q}_1+\ddot{q}_2)=p'\cdot\frac{h_\kappa}{2}, \end{cases} \quad (1)$$

где $q_1=\theta_1$, $q_2=\theta_2$ – обобщенные координаты (θ_1 отвечает угловому перемещению парома относительно продольной оси (крен), проходящей через его центр величины; θ_2 – угловому перемещению кузова вагона относительно продольной оси, проходящей через его центр тяжести); D – весовое водоизмещение ЖДП, кН; В – его ширина, м; – координата центра тяжести

а)



б)



в)

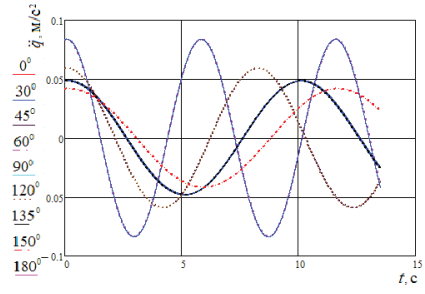


Рис. 2. Ускорения, которые действуют на кузова вагонов при перевозке железнодорожным паромом: а) кузов на крайнем от фальшборта пути; б) кузов на втором от фальшборта пути; в) кузов на среднем пути.

парома, м; h – высота борта, м; Λ_θ – коэффициент сопротивления колебаниям, кН·с·м$^{-1}$; p' – ветровая нагрузка на надводную проекцию ЖДП, кН; $F(t)$ – закон действия усилия, которое возмущает движение парома с кузовами вагонов, размещенными на его палубах; $I_y^к$ – момент инерции кузова вагона относительно его продольной оси, т·м^2; $p'_к$ – ветровая нагрузка на боковую стену кузова вагона, размещенного на верхней палубе, кН; $h_к$ – высота кузова вагона, м.

Коэффициент сопротивления угловым перемещениям ЖДП относительно продольной оси находился по формуле:

$$\Lambda_\theta = \int_{-L/2}^{L/2} l' \cdot \rho \cdot \omega \cdot T^2 dL, \qquad (2)$$

где l' – безразмерный коэффициент демпфирования, приходящийся на единицу длины парома и определяемый на основании справочной литературы в зависимости от технических характеристик ЖДП; ρ – плотность морской воды, кН/м^3; ω – частота возмущающего воздействия, с$^{-1}$; Т – осадка парома, м.

Возмущающее воздействие задано в виде трохоидального закона движения морской волны [3].

Входными параметрами математической модели являются технические характеристики ЖДП, кузова вагона, а также гидрометеорологические данные акватории плавания. Начальное перемещение и скорость парома приняты равными нулю, для вагона начальное перемещение определялось возможной податливостью его узлов относительно палубы (буксовый узел относительно оси колесной пары, рама тележки относительно оси буксового узла, фрикционный клин относительно середины боковины, надрессорная балка относительно фрикционного клина, пятник по подпятнику [4]) и составило 31 мм.

При составлении математической модели не учитывался удар морской волны о борт ЖДП.

Решение дифференциальных уравнений осуществлялось в среде программного обеспечения Mathcad [5, 6] с использованием метода Рунге–Кутта.

Результаты расчетов отражены на рис. 2. Причем общая величина ускорения, которое действует на кузова вагонов при перевозке их ЖДП, включает в себя также горизонтальную составляющую ускорения свободного падения. С учетом этого общая величина ускорения, действующего на крайний от фальшборта кузов вагона, составила около 0,3g; находящийся на втором от фальшборта пути – 0,24g; размещенный на среднем пути – 0,22g.

Полученные величины ускорений превышают ускорения, действующие на кузова вагонов при эксплуатации на магистральных путях [7].

ВЫВОДЫ

1. Максимальные значения ускорений, действующих на кузова вагонов при перевозке их паромами, для акватории Черного моря с учетом технических характеристик ЖДП типа «Герои Шипки» составили около 0,3 *g*, что отлично от величин ускорений, обозначенных в п. 2.18 «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)». Это указывает на необходимость пересмотра и дополнения норм, внесения в них величин ускорений, свойственных условиям перевозки различными типами морских паромов через акватории прохождения железнодорожно-паромных маршрутов.

2. Поскольку значения инерционных нагрузок, которые действуют на кузова вагонов при перевозке подвижного состава на ЖДП, превышают эксплуатационные на магистральных путях, требуется усовершенствование несущих вагонных конструкций для обеспечения их надежного закрепления на паромных палубах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Землезин И. Н. Методика расчета и исследования сил, действующих на вагон при транспортировке на морских паромах. – М.: Транспорт, 1970. – 104 с.
2. Наставление по креплению груза для т/х «Петровск» ПР. № 002CNF001-ЛМПЛ-805. – Одесса: МИБ, 2005. – 52 с.
3. Луговский В. В. Динамика моря: Учебник для втузов. – Л.: Судостроение, 1976. – 199 с.
4. Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. ГОСТ 9238–83. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 27 с.
5. Дьяконов В. Mathcad 8/2000: Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2000. – 592 с.
6. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ–ВНИИЖТ, 1996. – 319 с. ●

Координаты автора: Ловская А. А. – alyonaLovskaya@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 26.09.2014, принята к публикации 19.11.2014.

Статья подготовлена на основе материалов, представленных авторами на Международной научно-практической конференции «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава», посвященной 75-летию со дня рождения В. Д. Хусидова (МИИТ, 20–21 марта 2014 года).

A RAILWAY CAR ON A FERRY: IMPACT OF SEA WAVE

Lovskaya, Alyona A., *Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, Ukraine.*

ABSTRACT

The development of foreign economic relations between Europe and Asia promotes the establishment and operation of combined transport systems. The most promising among them are considered piggyback and container transportation. In countries with access to the sea area, ferry transportation has found a successful application. The process of loading of bearing structures of car bodies when they move on rail ferries by sea requires special attention, as the dynamic characteristics, which are typical of this type of combined transportation, significantly differ from the normal operating characteristics on main lines.

The statistics of damage of cars during ferry transportation in the Black Sea area show that each year about 10% of the units of rolling stock used in international rail and water transportation require repair with uncoupling. This is primarily due to the lack of structural adaptation of car bodies to their fastening on the decks of car ferries and increased loads influencing them during transportation in terms of sea waves.

The disadvantage of usually applied techniques of research on the conditions of freight transportation using car ferries is inability to account for wave angle with its disturbing influence relative to bodies of car ferries as well as for wind load on surface projection of a ferry with cars placed on its upper deck. The likelihood of moving of a car body during a sea wave is also disregarded.

The objective of the author is to present results of research on dynamics of bodies of freight cars during transportation on car ferries in confused sea with account of different wave angles in relation to the body of the car, using mathematical modeling, analysis, comparative method. The author presents the results of studies taking into consideration main types of vibration motion of a railway car at confused sea, which influence strength and stability of the body structure, located on the upper deck of the ferry. Since the revealed values of inertial loads that act on the bodies of cars for transportation of rolling stock on car ferries exceed operating loads on main routes, it is necessary to improve bearing car structures to ensure their secure fixing to the ferry decks.

Keywords: railway-sea transportation, ferry transportation, sea waves, freight car, impact dynamics, loading of the structure, mathematical model.