

комплексе MathCad. Стартовые условия приняты равными нулю. Установлено, что максимальные ускорения, действующие на несущую конструкцию вагона-платформы составляют  $36,2 \text{ м/с}^2$ . Данная величина ускорения на 3,5 % ниже той, что получена для несущей конструкции без наполнителя. При этом коэффициент вязкого сопротивления материала, которым заполнены элементы рамы, должен иметь значение около  $118 \text{ кН·с/м}$ , а жесткость – около  $80 \text{ кН/м}$ .

Полученная величина ускорения учтена при расчетах на прочность несущей конструкции вагона-платформы. При этом использован программный комплекс SolidWorks Simulation (Cosmos-Works), который реализует метод конечных элементов. При составлении конечно-элементной модели использованы изопараметрические тетраэдры. Определение оптимального количества тетраэдров осуществлено по графоаналитическому методу [5, 6]. Материал конструкции – сталь марки 09Г2С. Учтено, что несущая конструкция вагона-платформы загружена двумя контейнерами типоразмера 1СС. Наличие материала с упруго-вязкими свойствами в раме моделировалось постановкой связей «пружина-демпфер» с помощью опций программного комплекса SolidWorks Simulation. Закрепление модели осуществлялось в зонах опирания на ходовые части. Максимальные эквивалентные напряжения при этом возникают при I расчетном режиме (удар) в зонах взаимодействия шкворневых балок с хребтовой и составляют  $285,6 \text{ МПа}$ , что на 17 % ниже допускаемых [7, 8]. Максимальные перемещения возникают в средней части вагона-платформы и равны  $4,5 \text{ мм}$ .

Проведенные исследования будут способствовать уменьшению динамической нагруженности несущих конструкций вагонов-платформ, улучшению их усталостной прочности, ресурса эксплуатации и уменьшению затрат на содержание. Также результаты проведенных исследований будут способствовать созданию рекомендаций по проектированию инновационных конструкций подвижного состава.

#### Список литературы

- 1 Lovska, A. A new fastener to ensure the reliability of a passenger coach car body on a railway ferry / A. Lovska, O. Fomin // Acta Polytechnica. – 2020. – Vol. 60, is. 6. – P. 478–485.
- 2 Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / A. Lovska [et al.] // Applied Sciences. – 2020. – No. 10, 5710. – DOI:10.3390/app10165710.
- 3 Płaczek, M. A concept of technology for freight wagons modernization / M. Płaczek, A. Wróbel, A. Buchacz // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering. – 2016. – No. 161 (2016). – DOI:10.1088/1757-899X/161/1/012107.
- 4 Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку / Г. И. Богомаз [и др.] // Динаміка та керування рухом механічних систем : сб. наук. праць. – Київ: АНУ, Інститут технічної механіки, 1992. – С. 87–95.
- 5 Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages / G. Vatulia [et al.] // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 301–307.
- 6 Design solutions for structures with optimal internal stress distribution / Y. Kitov [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 133(1–3). – 03001.
- 7 ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). – Київ, 2015. – 162 с.
- 8 ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – М., 2016. – 54 с.

УДК 629.463.65

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ПОЛУВАГОНОВ С СОТОВЫМИ ПОДАТЛИВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ НАДНОРМИРОВАННЫХ РЕЖИМАХ ПАРОМНЫХ ПЕРЕВОЗОК

С. В. ПАНЧЕНКО<sup>1</sup>, А. В. ФОМИН<sup>2</sup>, Г. Л. ВАТУЛЯ<sup>1</sup>, А. А. ЛОВСКАЯ<sup>1</sup>, А. В. РЫБИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков

<sup>2</sup>Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина

Тенденции развития международных внешнеэкономических отношений между евроазиатскими государствами диктуют необходимость повышения эффективности эксплуатации транспортной отрасли. С целью реализации данной задачи целесообразно внедрение в перевозочный процесс комбинированных транспортных систем. Одной из наиболее успешных и перспективных транспортных комбинаций являются железнодорожно-паромные перевозки.

Первая в мире железнодорожно-паромная переправа была введена в эксплуатацию в 1851 г. через залив Фьорт-оф-Форт между районом Грантон и Бьорнтайлендом [1]. С тех пор география железнодорожно-паромных маршрутов значительно расширилась. Данный вид комбинированных перевозок постоянно развивается и находит применение не только через морские акватории, но и речные, озерные и даже океаны.

Важно сказать, что для обеспечения безопасности функционирования и экологичности железнодорожно-паромных маршрутов значительного внимания требует техническая адаптация вагонов к перевозкам морем [2, 3]. Нормативная база, в соответствии с которой осуществляются проектирование и расчеты подвижного состава, освещает не в полной мере особенности нагруженности вагонов при перевозках на железнодорожных паромов. Такая ситуация вызывает повреждения несущих конструкций вагонов, необходимость дополнительных средств на эксплуатацию, что обусловлено проведением внеплановых видов ремонта. Кроме того, нарушение надежности закрепления вагонов на палубах ведет к нарушению устойчивости железнодорожного паромов и экологической опасности перевозок. Поэтому актуальным и первоочередным вопросом является необходимость определения нагруженности вагонов при перевозке морем, техническая адаптация их к взаимодействию со средствами закрепления на палубах, а также корректировки нормативных документов, регламентирующих требования к проектированию и расчету несущих конструкций вагонов [4, 5].

Для уменьшения динамической нагруженности несущей конструкции полувагона при эксплуатационных режимах нагружения предложено его усовершенствование, которое заключается в том, что промежуточные балки рамы полувагона имеют замкнутое коробчатое сечение, а между вертикальными листами промежуточных, концевых и шкворневых балок используются сотовые панели из материала, который имеет упруго-вязкие свойства (рисунок 1).

С целью исследования возможности перевозки вагона на железнодорожном паромов проведено определение его динамической нагруженности.

Ко вниманию приняты наиболее распространенные схемы нагружения несущей конструкции вагона при перевозке на железнодорожном паромов:

- угловые перемещения относительно продольной оси  $X$  на угол  $\theta$  (бортовая качка);
- разворот железнодорожного паромов с вагонами при подходе к причалу.

При проведении расчетов учтены технические характеристики железнодорожного паромов «Герои Шипки». При этом приняты ко вниманию параметры возмущающего воздействия, которые присущи акватории Черного моря: высота морской волны – 8 м, длина – 120 м, давление ветра – 1,47 кПа, период волны – 9 с. В качестве вагона-прототипа рассмотрен полувагон модели 12-757 постройки ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» (г. Кременчуг, Украина).

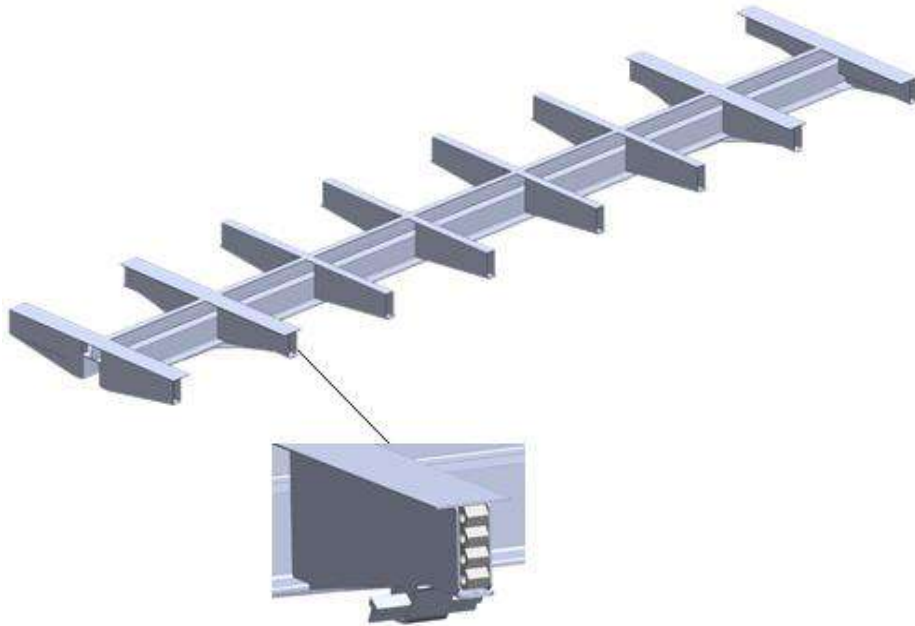


Рисунок 1 – Рама полувагона с учетом предложенных усовершенствований

Учено, что сотовая панель изготовлена из материала, который имеет упруго-вязкие свойства. При этом коэффициент вязкого сопротивления материала должен находиться в диапазоне от 150 до 165 кН·с/м, а жесткость – от 500 до 520 кН/м.

Решение сформированной математической модели осуществлено в программном комплексе MathCad с использованием метода Рунге-Кутты. Результаты расчета показали, что использование сотовых панелей способствует уменьшению динамической нагруженности вагона по сравнению с типовой конструкцией почти на 25 %. При этом максимальные ускорения, действующие на несущую конструкцию полувагона с типовой рамой, составляют 0,38 м/с<sup>2</sup>, а усовершенствованной – 0,29 м/с<sup>2</sup>. С учетом угла крена железнодорожного паромы 12,2° общая величина ускорения, действующего на несущую конструкцию полувагона с типовой рамой, составляет 2,45 м/с<sup>2</sup> (0,25g), а усовершенствованной – 2,36 м/с<sup>2</sup> (0,24g). Данная величина крена рассчитана для случая статического действия ветра на надводную проекцию железнодорожного паромы с вагонами, которые размещены на верхней палубе.

На следующем этапе исследования проведено определение нагруженности несущей конструкции вагона при развороте железнодорожного паромы. Установлено, что составляющие центробежной силы, действующие на раму  $F_x = 4,9$  кН;  $F_y = 8,4$  кН.

Полученные величины нагрузок учтены при определении прочности несущей конструкции полувагона с сотовыми панелями. При этом закрепление вагона на палубе осуществляется через узлы закрепления, которые размещаются на шкворневых балках. Расчет на прочность проведен по методу конечных элементов в программном комплексе SolidWorks Simulation. Результаты расчета позволили установить, что максимальные эквивалентные напряжения возникают в шкворневой балке и составляют около 240 МПа, что ниже на 23 % от напряжений, возникающих в типовой конструкции шкворневой балки. Результаты расчета на прочность несущей конструкции полувагона при развороте железнодорожного паромы показали, что максимальные эквивалентные напряжения составляют около 185 МПа, т. е. прочность несущей конструкции обеспечивается [4, 5].

Проведенные исследования будут способствовать повышению безопасности и экологичности железнодорожно-паромных перевозок, а также эффективности их эксплуатации.

#### Список литературы

- 1 Сотников, Е. А. Железные дороги мира из XX в XXI век / Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1993. – 200 с.
- 2 Lovska, A. A new fastener to ensure the reliability of a passenger coach car body on a railway ferry / A. Lovska, O. Fomin // Acta Polytechnica. – 2020. – Vol. 60, is. 6. – P. 478–485.
- 3 Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / A. Lovska [et al.] // Applied Sciences. – 2020. – No. 10, 5710. – DOI:10.3390/app10165710.
- 4 ДСТУ 7598:2014. Вагоны вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). – Київ, 2015. – 162 с.
- 5 ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – М., 2016. – 54 с.

УДК 629.4.046:629.463

## ЕВРОПЕЙСКИЕ КОНСТРУКЦИИ СЪЕМНЫХ КУЗОВОВ

*А. В. ПИГУНОВ, В. В. ПИГУНОВ, П. А. ДАШУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Применение съемных кузовов позволяет с максимальной эффективностью эксплуатировать вагоны в течение срока службы. В европейских странах они получили достаточно широкое применение в сочетании с платформами для их перевозки.

Разработка концепции применения съемных кузовов позволяет адаптировать вагоны для перевозки различных по свойствам грузов: сыпучих, жидких, скатывающихся и др. Ее реализация дает возможность постоянно эксплуатировать вагоны, заменяя съемные кузова в зависимости от сезонных потребностей в перевозках тех или иных грузов.

Компания «Wascosa» разработала систему применения съемных кузовов, которая получила название «Wascosa flex freight system». Она включает в себя облегченные 60-, 54-, 52-, 48- или 45-футовые платформы для перевозки контейнеров с дополнительными упорами для крепления съемных кузовов