

В работе [2] было проведено исследование влияния различных по весу добавок индия на структуру и свойства сплава АК5М2 (предел прочности – 228 МПа, пластичность – 1,33 %). Процесс модифицирования силуминов индием протекает за счет того, что индий – поверхностно-активный модификатор согласно адсорбционной теории. Вводился элемент в чистом виде, 0,05; 0,1; 0,2 мас %, показатели которых составили: 0,05In – прочность 240 МПа; пластичность – 1,71 %, но в последующих случаях предел прочности оставался на уровне немодифицированного, а пластичность не превысила 1,5 %.

В настоящей работе на основе литературы были проведены исследования влияния индия на доэвтектический силумин АК7ч и его термическая обработка, так как, согласно источнику [3], наибольшее модифицирующее воздействие индий показывает при старении.

При введении 0,1 % индия в АК7ч предел прочности возрос до 173,5 МПа, пластичность же возросла до 3,9 %. Но после добавок 0,2 и 0,3 % модифицирующего воздействия на механические свойства практически нет, т. к. они остаются на уровне немодифицированного сплава (157 МПа прочность и 2,1 % пластичность). После термообработки и добавки индия 0,3 % было получено максимальное значения предела прочности,  $\sigma_b = 303,3$  МПа,  $\delta = 1,8$  %, а при введении 0,1 % получена максимальная пластичность  $\delta = 2,2$  %, (предел прочности  $\sigma_b = 301,5$  МПа), что превосходит значения немодифицированного сплава (АК7ч после закалки с последующим искусственным старением:  $\sigma_b = 235$  МПа;  $\delta = 1$  %).

Введение 0,1 % In способствует измельчению кристаллов кремния и более равномерному распределению дендритов  $\alpha$ -твердого раствора, наблюдается распределение модифицированной структуры по объему сплава, с повышением массы добавок происходит небольшое измельчение структуры, это происходит из-за поверхностно-активного действия индия согласно адсорбционной теории.

#### Список литературы

- 1 Рот, А. Вакуумные уплотнения : пер. с англ. / А. Рот. – М. : Энергия, 1971. – 464 с. : ил.
- 2 Рабинович, А. М. Повышение механических свойств вторичных алюминиевых сплавов путем рационализации их составов и режимов термической обработки; дис. ... канд. техн. наук : 05.16.05 / А. М. Рабинович. – Л., 1984. – 215 с. : ил.
- 3 Алюминий и его сплавы : учеб. пособие / сост. А. Р. Луц, А. А. Суслина. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с. : ил.

УДК 629.463.32

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ С УПРУГО-ФРИКЦИОННЫМИ СВЯЗЯМИ В ОПОРАХ КОТЛА, А ТАКЖЕ МЕЖДУ ОПОРАМИ И РАМОЙ

*А. В. ФОМИН*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

*А. А. ЛОВСКАЯ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Обеспечение эффективной эксплуатации железнодорожного подвижного состава как ведущей отрасли транспортной сети, требует внедрения современных конструкций вагонов. При этом обеспечение конкурентоспособности железнодорожной отрасли приводит к повышению требований не только к технико-экономическим показателям подвижного состава, но к возможности адаптации конструкций к соответствующим условиям эксплуатации.

Одним из наиболее нагруженных типов вагонов в эксплуатации являются вагоны-цистерны, что обусловлено податливостью грузов, перевозимых в них. В основном это наливные грузы, имеющие собственную степень свободы вследствие недолива котла.

Кроме того, несущие конструкции вагонов-цистерн испытывают нагрузки, возникающие при эксплуатационных режимах. Наиболее частыми среди них являются вертикальные, обусло-

вленные неровностями пути. Вследствие цикличности действия таких нагрузок может иметь место повреждение несущих конструкций вагонов-цистерн, а следовательно, и необходимость выделения дополнительных затрат на их содержание. Это вызывает необходимость разработки и внедрения мероприятий по усовершенствованию несущих конструкций вагонов-цистерн для уменьшения их динамической нагруженности в эксплуатации [1–3].

С целью уменьшения динамической нагруженности несущей конструкции вагона-цистерны предлагается использование упруго-фрикционных связей между котлом и его опорами, а также между опорами и рамой (рисунок 1).

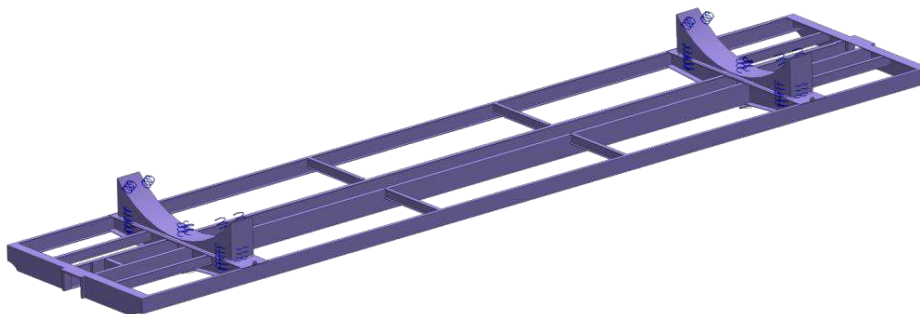


Рисунок 1 – Размещение упруго-фрикционных элементов на опорах котла, а также между опорами и рамой

Для определения вертикальных ускорений, действующих на котел вагона-цистерны проведено математическое моделирование. При составлении дифференциальных уравнений движения вагона-цистерны учтено, что он движется в порожнем состоянии, так как при этом наблюдается наибольшая вертикальная нагруженность несущей конструкции. Также учтено, что путь имеет упруго-вязкие свойства, а реакции пути пропорциональны как его деформации, так и скорости этой деформации. Неровность пути описывалась периодической функцией.

Связь котла с опорами, опор с рамой и рамы с ходовыми частями описывалась как последовательное соединение. При проведении расчетов учитывались параметры тележки модели 18-100. Расчет осуществлен касательно вагона-цистерны модели 15-1443-06. Решение дифференциальных уравнений движения проводилось в программном комплексе MathCad [4, 5]. При этом начальные перемещения и скорости приняты равными нулю.

Установлено, что использование упруго-фрикционных связей позволяет уменьшить динамическую нагруженность вагона-цистерны по сравнению с прототипом почти на 36 %.

На следующем этапе исследования осуществлен расчет на прочность несущей конструкции вагона-цистерны. Графические работы проведены в программном комплексе SolidWorks. Расчет выполнен по методу конечных элементов в программном комплексе SolidWorks Simulation. Оптимальное количество элементов сетки определено по графоаналитическому методу. В качестве конечных элементов использовались пространственные изопараметрические тетраэдры.

Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения возникают в зоне взаимодействия хребтовой балки со шкворневой и составляют около 250 МПа, т. е. не превышают допускаемые [6, 7]. Максимальные перемещения составили 8,3 мм и сосредоточены в зоне люка-лаза.

Проведен расчет проектного срока службы несущей конструкции вагона-цистерны. При этом использована методика, изложенная в [8]. Установлено, что проектный срок службы более чем на 20 % выше срока службы вагона-прототипа. Важно сказать, что полученная величина проектного срока службы должна быть уточнена с учетом дополнительных исследований продольной нагруженности несущей конструкции вагона-цистерны и экспериментальных (натурных или стендовых) исследований.

Также в рамках исследования проведен расчет сопротивления усталости несущей конструкции вагона-цистерны. При этом коэффициент сопротивления усталости равен 4,2. В связи с отсутствием экспериментальных данных допускаемое значение коэффициента запаса сопротивле-

ния усталости принято равным 2,2. Следовательно, усталостная прочность несущей конструкции вагона-цистерны обеспечивается.

Проведенные исследования позволят повысить эффективность эксплуатации вагонов-цистерн, а также будут способствовать созданию их инновационных конструкций.

#### Список литературы

- 1 **Собержанский, А. Н.** Совершенствование конструкций вагонов-цистерн / А. Н. Собержанский, Л. В. Цыганская // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 25–28.
- 2 Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages / G. Vatulia [et al.] // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 301–307. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.379.
- 3 **Iman H. Ashtiani.** Investigation of coupled dynamics of a railway tank car and liquid cargo subject to a switch-passing maneuver / Iman H. Ashtiani, Rakheja Subhash, Ahmed Waiz // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 2019. – Vol. 233, is. 10.
- 4 Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation / O. Fomin [et al.] // VIBROENGINEERING PROCEDIA. – 2019. – Vol. 29. – P. 118–123.
- 5 Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as part of combined trains on railway ferries / O. Fomin [et al.] // Vibroengineering Procedia. – 2019. – Vol. 29. – P. 124–129.
- 6 ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). – Київ, 2015. – 162 с.
- 7 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016-07-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.
- 8 **Устич, П. А.** Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П. А. Устич, В. А. Карпыч, М. Н. Овечников. – М. : Вариант, 1999. – 416 с.

УДК 629.463

### К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ СО СМЕННЫМИ КУЗОВАМИ

*А. В. ФОМИН, П. Н. ПРОКОПЕНКО*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

*С. В. КАРА*

*Филиал «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт  
железнодорожного транспорта» АО «Украинские железные дороги», г. Киев*

Железнодорожный транспорт Украины обеспечивает более 60 % всех грузовых перевозок страны. При этом эффективность использования многих типов вагонов не является достаточной. Коэффициент порожнего хода отдельных типов вагонов для перевозок сыпучих грузов, цистерн различных типов может составлять 50 % при значительных простоях вагонов в течение года. При этом коэффициенты порожнего хода и общая эффективность более универсальных вагонов, таких как полувагоны, вагоны-платформы являются более оптимальными. В качестве дополнительной проблемы можно рассматривать избыточный вагонный парк отдельных типов вагонов со значительным сроком службы, для повышения эффективности перевозок которого вагоны модернизируют под другие типы грузов, что, в свою очередь, приводит к значительным капиталовложениям при незначительном остаточном ресурсе подвижного состава. В связи с этим целесообразным является создание предпосылок для проектирования более универсальных вагонов с возможностью оперативной замены кузовов для повышения эффективности их эксплуатации и перевозок большего количества типов грузов.

Целью работы является разработка технических решений грузовых вагонов универсальной конструкции с возможностью замены кузовов.

Процесс модернизации вагона для изменения типов перевозимых грузов в соответствии ГОСТ 15.902 и положения об организации работ по продлению срока службы вагонов, состоит из значительного количества регламентных работ:

- разработка и согласование технических требований и технического задания на модернизацию;
- опытно-конструкторские работы, а именно проведение комплекса нормативных расчетов, выбор оптимальных конструктивных решений, разработка и согласование конструкторской документации на модернизацию;