

$$w_p(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^L \alpha_l \theta_l(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \Omega;$$

$$w_\delta(\mathbf{x}) = \sum_{u=1}^U \gamma_u \Phi_u(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \Omega.$$

These functions are approximated by the modified radial basis functions. For more details, please refer to some related papers.

**Numerical results.** In this case, the aim is to verify the applicability of the proposed numerical method by examining the response of an irregular plate under the influence of a uniform load  $q_0$ . The geometry of the plate is a right-angled sector with  $(0, 0)$  as the center of the circle and radius 1.

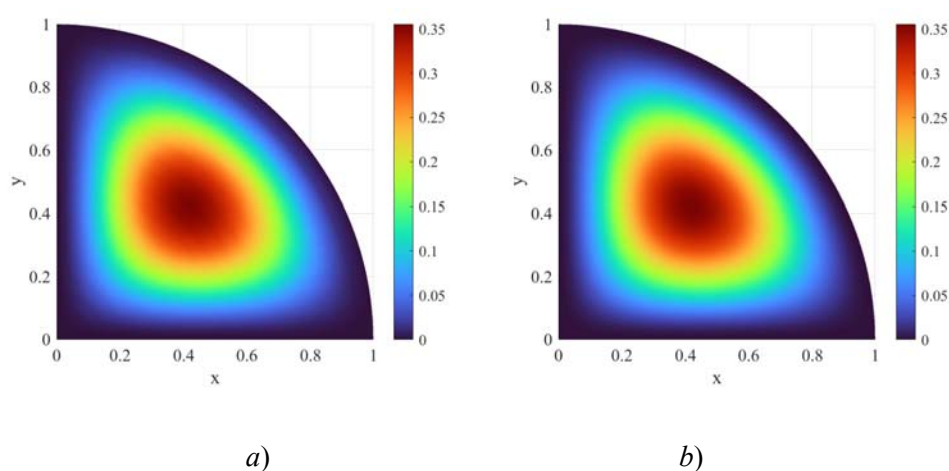


Fig. 1. The numerical solution by the present method and FEM:  
 a – Numerical solution; b – FEM solution

The obtained results from numerical experiments confirm the potential of the proposed method in terms of both accuracy and efficiency.

УДК 629.4.045:629.4.015

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
 ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ  
 «ДЛИННОМЕРНЫЙ ГРУЗ – СЦЕП ВАГОНОВ»**

**М. Г. Гегедеш<sup>1,2</sup>, И. А. Ворожун<sup>2</sup>, А. В. Ворожун<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

*Рассмотрены возможности применения инженерного пакета MSC.Adams для имитации работы системы «длинномерный груз – сцеп вагонов» и анализа движения такой системы в условиях эксплуатации, приближенным к реальным. Выполнено компьютерное моделирование соударения системы «длинномерный груз – сцеп вагонов» при условии закрепления груза с помощью турникетных опор, включающих как подвижные, так и неподвижные эле-*

*менты. Сделаны выводы об адекватности разработанных компьютерных моделей и применимости MSC.Adams к решению задач динамики подобных систем.*

**Ключевые слова:** сцеп вагонов, длинномерный груз, турникетная опора, соударение вагонов, динамика системы тел.

**MODERN TECHNOLOGIES APPLICATION TO ASSESSMENT  
OF THE “LONG CARGO – FLATCARS COUPLING”  
SYSTEM DYNAMIC CHARACTERISTICS**

**M. G. Gegedesh<sup>1,2</sup>, I. A. Varazhun<sup>2</sup>, A. V. Varazhun<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Sukhoi Gomel State Technical University, the Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Belarusian State University of Transport, Gomel*

*The paper considers the possibilities of using the MSC.Adams engineering package to simulate the operation of the “long load-wagon coupling” system and to analyze the motion of such a system under operating conditions close to real ones. A computer simulation of the collision of the “long load-wagon coupling” system is performed for the case when the load is fastened using turnstile supports, including both movable and fixed elements. There are made the conclusions about the adequacy of the developed computer models and the MSC. Adams applicability to solving problems of the such systems dynamics.*

**Keywords:** wagon coupling, long cargo, turnstile support, wagon collision, bodies system dynamics.

В связи с постоянно расширяющейся номенклатурой транспортируемых железнодорожным транспортом грузов возникает необходимость совершенствования и модернизации существующего парка вагонов, а также разработки новых вариантов единиц подвижного состава, обладающих повышенной вместимостью и грузоподъемностью. В последнее время значительно возросли масса и длина поездов, а также их максимальная скорость, что может привести к невозможности обеспечения их безопасной эксплуатации и небезопасной перевозке грузов из-за продольных динамических усилий в межвагонных связях [1], влияющих на плавность хода подвижного состава.

Достаточно часто грузы при погрузке в вагон выходят за пределы одной или обеих его концевых балок рамы более чем на 400 мм [2]. Примерами таких грузов являются рельсы, арматура, железобетонные и деревянные изделия. В таких случаях их относят к длинномерным и размещают на сцепе вагонов с опорой на один вагон или с опорой на два вагона в зависимости от их длины и массы. Наибольшие динамические нагрузки имеют место при перевозке длинномерных грузов, размещаемых на сцепе вагонов, что обусловлено отклонением от горизонтали между опорными устройствами (провисание) и возможностью смещения осей вагонов друг относительно друга при движении по кривому в плане или профиле пути. Одними из устройств, ограничивающих относительные смещения длинномерных грузов, являются турникетно-крепёжные устройства (ТКУ) [3, 4], а также иные конструкции, которые, как правило, разрабатываются индивидуально для конкретного груза или группы грузов со сходными свойствами.

Целью представленной работы является анализ динамики системы «сцеп вагонов – длинномерный груз» на основе компьютерного моделирования в системе инженерного проектирования MSC.Adams.

Размещение длинномерного груза на сцепе с опорой на два вагона, произведенное с применением турникетов, приведено на рис. 1. Длинномерный груз длиной 22 м имеет массу 32,5 т и размещается при перевозке на две 4-осные универсальные плат-

## 46 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

формы базой 9720 мм и грузоподъемностью 69 т. Центр тяжести длинномерного груза, погруженного на сцеп вагонов с опорой на два вагона, располагается на пересечении продольной и поперечной плоскостей симметрии сцепа.

Для определения основных характеристик груза и сил, действующих на него в продольном поперечном направлениях, использована стандартная методика, применяемая при разработке схем размещения и крепления грузов, описанная в Соглашении о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) [5], подразумевающая определение инерционных сил, действующих на груз в продольном и поперечном направлениях, а также подбор параметров турникетных опор, способных оказать удерживающее от относительного смещения груза воздействие, обеспечивающих гашение этих инерционных сил. При транспортировке на груз и на турникеты действуют продольная, поперечная инерционные силы, силы тяжести, ветровая нагрузка, а также силы трения.

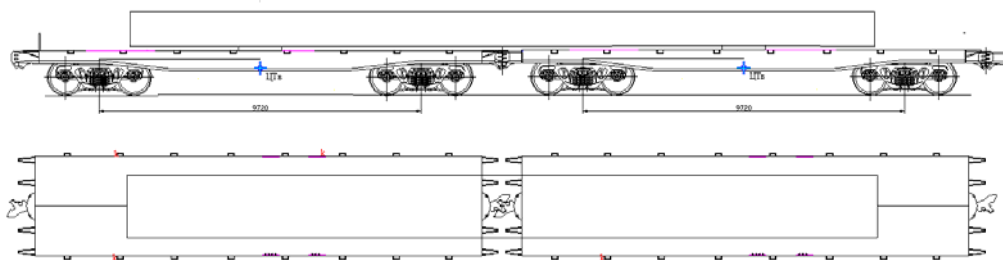


Рис. 1. Схема размещения рассматриваемого длинномерного груза на сцепе с опорой на два вагона с применением турникетов

В инженерном пакете MSC Adams разработана компьютерная модель сцепа вагонов с размещенным на нем длинномерным грузом (рис. 2) с его опорой на два вагона посредством турникетных опор. Все тела являются абсолютно твердыми, автосцепка заменена аналоговой пружины, имеющей коэффициенты жесткости и демпфирования, соответствующие реальному автосцепному устройству. Получена зависимость относительного ускорения груза при столкновении сцепа с группой неподвижно стоящих вагонов от начальной скорости движения сцепа, представленная на рис. 2, б и согласующаяся с результатами натурных испытаний (погрешность составила 9 %).

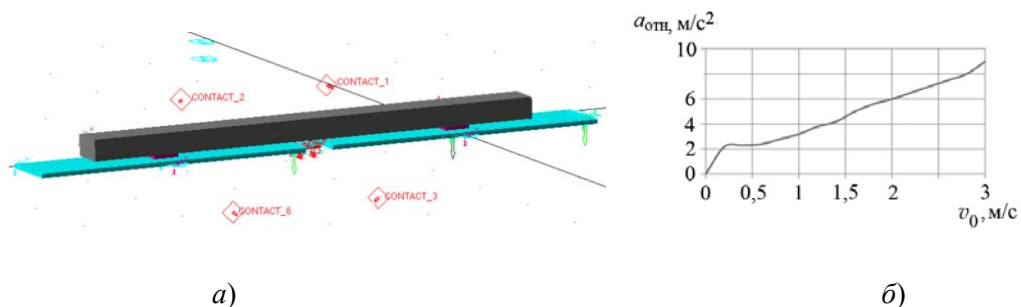
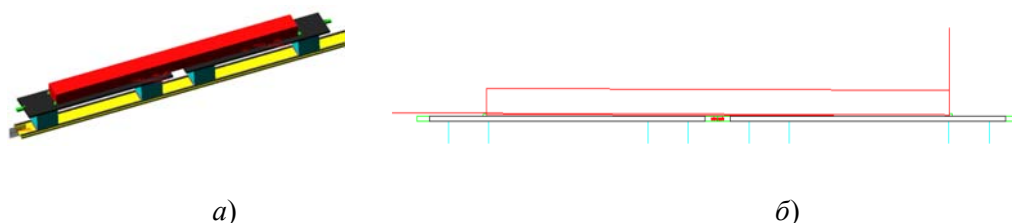


Рис. 2. Компьютерная модель длинномерного груза, опирающегося на два вагона посредством турникетных опор (а), и зависимость относительного ускорения длинномерного груза для случая соударения с группой неподвижно стоящих вагонов при условии использования двух подвижных турникетных опор (б)

Кроме того, выполнены расчеты для случая крепления длинномерного груза только с использованием продольных и поперечных брусков (рис. 3, а). Результаты моделирования в этом случае подтверждают сложившуюся практику перевозок длинномерных грузов и показывают, что из-за продольных колебаний, вызванных особенностями работы автосцепок, крепление длинномерного груза на сцепе с помощью стандартных деревянных упоров (брусков) не может обеспечить сохранность груза при перевозке (рис. 3, б). При этом бруски, на которые действуют инерционные силы, деформируются.



*Рис. 3. Компьютерная модель длинномерного груза, размещенного на сцепе из двух вагонов (а) и закрепленного только брусками, работающими в продольном и поперечном направлениях, и смещение груза в процессе движения поезда (б)*

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение инженерного пакета MSC.Adams позволяет решать динамические задачи, связанные с движением поездов и транспортировкой грузов, и получать при адекватно составленной модели результаты, близкие к реальным перевозочным характеристикам.

#### Литература

1. The influence of resistant force equations and coupling system on long train dynamics simulations / N. Bosso, M. Magelli, L. Rossi Bartoli, N. Zampieri // *Journal of Rail and Rapid Transit*. – Vol. 236, iss. 1. – P. 35–47.
2. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах : ТУ № ЦМ-943. – Утв. 27.05.2003 МПС России. – Москва : Юртранс, 2003. – 544 с.
3. Васильев, С. М. Математическое моделирование динамических воздействий на длинномерные грузы и опорные вагоны / С. М. Васильев // *Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт*. – 2006. – № 1–2 (12–13). – С. 30–36.
4. Research of the operation of the turnstile support-fastening device during the transportation of a long-dimensional heavy load / J. Musayev, V. Solonenko, A. Zhauyt, S. Zhunisbekov // *Vibroengineering Procedia*. – 2023. – Vol. 49. – P. 80–85.
5. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) : действует с 1 нояб. 1951 г. : с изм. и доп. на 1 июля 2015 г. – Минск : Амалфея, 2015. – 216 с.

УДК 539.431:621.891

### **КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ИСПЫТАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ»**

**С. А. Тюрин, М. О. Прядко**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Приведена концепция испытаний сельскохозяйственных машин производства ОАО «Гомсельмаш» на стадиях их проектирования и производства. На базе которой ре-*