

УДК 629.464.2:004.94

*К. В. МАКСИМЧИК, А. О. ШИМАНОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

## **КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА СНЕГОУБОРОЧНОГО ПОЕЗДА СМ-2**

Разработаны геометрическая и конечно-элементная модели рамной конструкции концевого вагона снегоуборочного поезда СМ-2 в среде программных комплексов Creo Parametric и ANSYS Workbench. Проведен расчет напряженно-деформированного состояния конструкции от действия сил тяжести. Выполнено сравнение результатов расчетов, полученных с применением разных программ.

**Ключевые слова:** снегоуборочный поезд, концевой полувагон, метод конечных элементов, статический расчет.

В настоящее время парк снегоуборочных поездов типа СМ-2 на Белорусской железной дороге составляет 21 единицу, что на два меньше, чем двумя годами ранее. Если по состоянию на 2022 год выработали свой нормативный ресурс 96 % таких поездов [1], то на данный момент этот показатель составляет 100 %. Поэтому выполнение исследований с целью установления возможности продления срока службы снегоуборочных поездов представляет собой весьма важную задачу. Для ее решения требуется выполнить комплекс работ по определению прочностных характеристик несущих конструкций подвижного состава.

Анализ публикаций, в которых рассматриваются статические и динамические расчеты средств транспорта, показывает, что в абсолютном большинстве случаев для этих целей применяются различные современные инженерные программные комплексы.

Так, в работе [2] при анализе возможности продления срока службы двухъярусных платформ для перевозки автомобилей выполнен многофакторный вычислительный эксперимент в среде программы ANSYS, который показал, что прочность конструкции удовлетворяет требованиям нормативных документов, а экспериментальные исследования подтвердили этот вывод.

При анализе прочности полувагонов в статье [3] показано, что, используя пластинчатые конечные элементы, удастся, в отличие от балочных элементов, достаточно точно оценить напряженное состояние не только в пролетах балок, но и в местах их соединения, а также в местах приложения нагрузок.

Различные инженерные комплексы для моделирования напряженно-деформированного состояния [4] и определения несущей способности рам и кузовов различных по типу и назначению вагонов [5] используются сотрудниками Белорусского государственного университета транспорта. Полученные результаты применяются для разработки схем наклейки тензометриче-

ских датчиков при проведении натурных испытаний вагонов и, в конечном счете, для оценки их остаточного ресурса.

В статьях [6, 7] рассматриваются подходы, используемые при оценке усталостных повреждений и долговечности конструкций железнодорожного подвижного состава, которые также опираются на результаты численного моделирования его напряженно-деформированного состояния.

Выполненный анализ научных публикаций показывает, что результаты численного моделирования являются основой для принятия решения о дальнейшей эксплуатации подвижного состава и, при необходимости, о целесообразности модернизации и усиления конструкции [2, 8, 9].

Вопросы, связанные с продлением срока службы снегоборочного поезда СМ-2, рассматривались в работах [9, 10], где представлена конечно-элементная модель головной машины и определены значения напряжений, которые возникают в ее элементах. Результаты расчетов показали, что в некоторых зонах значения напряжений превышают допускаемые и возникает необходимость усиления конструкции машины.

Целью данной работы является создание геометрической и конечно-элементной моделей рамной конструкции кузова концевой полувагона снегоборочного поезда СМ-2.

Рассматривается сварная конструкция, состоящая из продольных и поперечных балок, связанных вертикальными стойками и раскосами, образующими каркас полувагона, которые несут всю нагрузку от рабочего оборудования и собственной массы. Геометрическое моделирование рамной конструкции концевой полувагона снегоборочного поезда СМ-2 выполнено в среде программы Creo Parametric (рисунок 1).

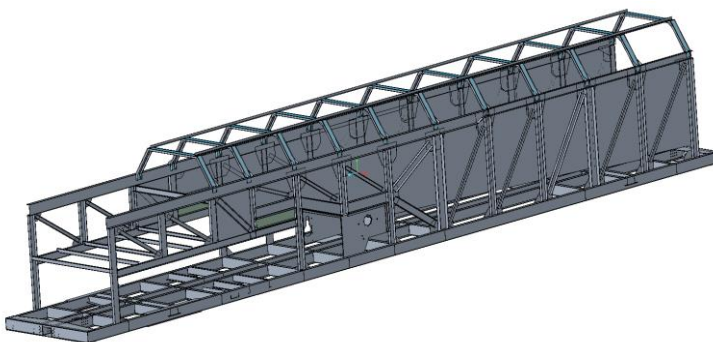


Рисунок 1 – Геометрическая модель рамы концевой полувагона снегоборочного поезда СМ-2

Твердотельная модель построена на основе конструкторской документации [11] и представляет собой сборку, включающую 329 деталей (в том числе тонкостенных с толщиной 0,002 м) и подборок, зафиксированных в трех

плоскостях, в результате чего между ними созданы 714 контактов (рисунок 2).  
 Материал деталей – сталь со следующими характеристиками: модуль упругости  $E = 210$  ГПа; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; плотность  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>.

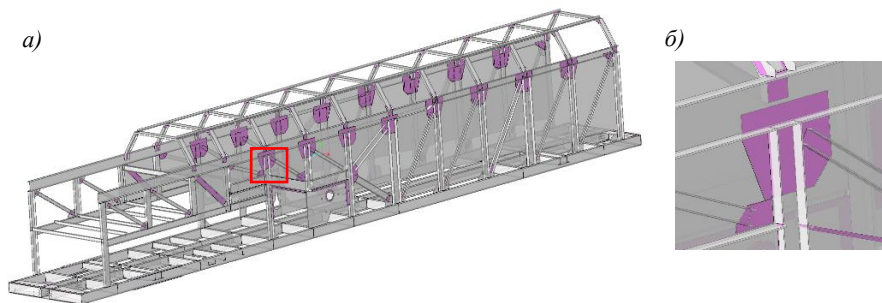


Рисунок 2 – Изображение контактирующих поверхностей:  
*a* – изометрия; *б* – увеличенное изображение выделенной области

Конечно-элементные модели построены в средах конечно-элементных пакетов Creo Parametric и ANSYS Workbench. Элементы конструкции рамы имитировались объемными адаптивными конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле (рисунок 3). Параметры сетки конечных элементов для моделей в Creo Parametric и ANSYS Workbench составили соответственно: характерный размер конечного элемента 25 и 50 мм, количество узлов – 1996816 и 1480394, число конечных элементов – 987057 и 453578.

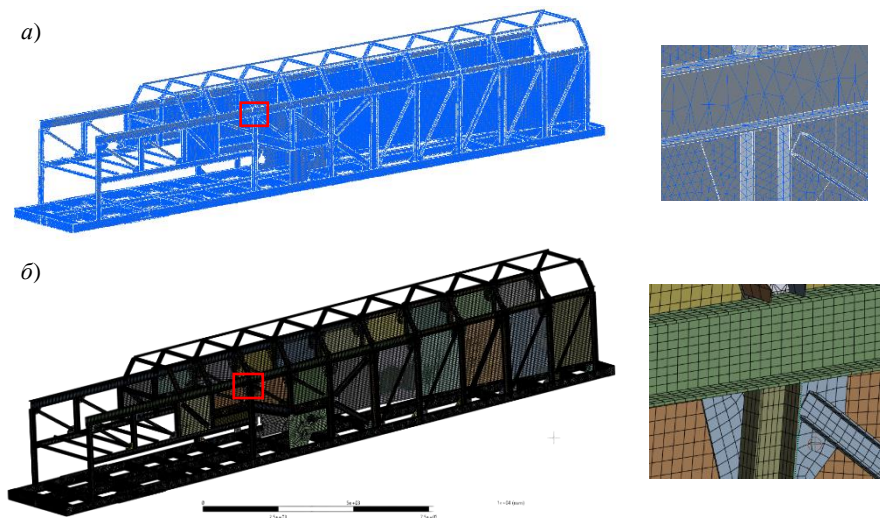


Рисунок 3 – Конечно-элементные модели в среде программы:  
*a* – Creo Parametric; *б* – ANSYS Workbench

Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах крепления упоров автосцепного устройства и пятников. Разработанная модель предназначена для оценки несущей способности полувагона и построена с учетом возможности приложения любого сочетания и вида эксплуатационных нагрузок.

Выполнен расчет напряженно-деформированного состояния конструкции под действием сил тяжести ее элементов. На рисунке 4 приведены схемы распределения эквивалентных по Мизесу напряжений, МПа, полученные в двух названных выше программных продуктах. Максимальные эквивалентные по Мизесу напряжения при расчете в программе ANSYS Workbench в области присоединения шкворневой балки к хребтовой составили 136,53 МПа. На противоположной стороне той же области в Creo Parametric максимальные эквивалентные напряжения достигли 298,98 МПа (при допусках для заданного материала 250 МПа). Такое расхождение результатов связано с тем, что данное место представляет собой концентратор напряжений, и поэтому в нем для получения точных результатов следует точно учитывать геометрию конструкции, а также принимать во внимание нелинейно упругие и пластические деформации. Для интерпретации результатов в таких областях целесообразно использовать инженерную оценку. В остальных местах напряжения не превышают 50 МПа, что значительно меньше допусковых значений.

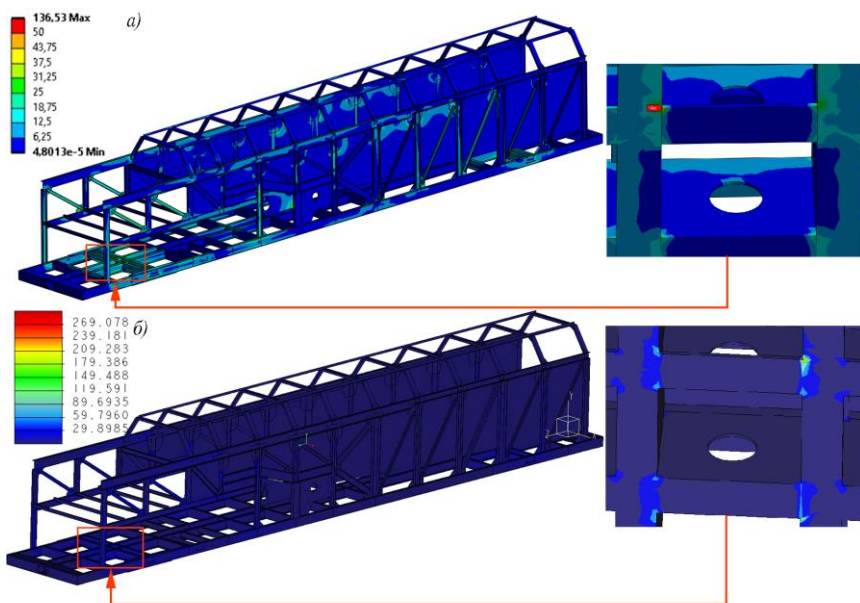


Рисунок 4 – Схема распределения эквивалентных напряжений, МПа, при расчете:  
*a* – в ANSYS Workbench; *б* – Creo Parametric

Схема распределения перемещений под действием сил тяжести элементов приведена на рисунке 5. Максимальные прогибы в моделях возникают в месте установки электродвигателя с редуктором транспортера-накопителя и по расчету в ANSYS Workbench составляют 4,81 мм; в Creo Parametric – 4,78 мм (при допускаемых 25 мм [12]). Следовательно, расхождение результатов не превышает 1 %.

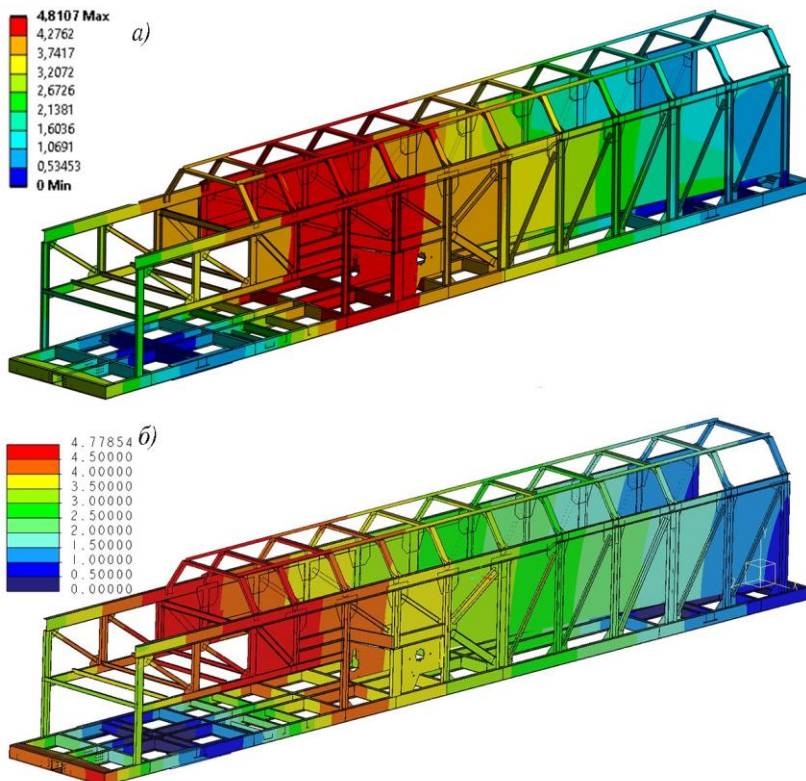


Рисунок 5 – Схема распределения перемещений при расчете:  
*a* – в ANSYS Workbench; *б* – Creo Parametric

Полученные результаты показывают, что разработанные модели адекватно описывают напряженно-деформированное состояние концевого вагона снегоуборочного поезда СМ-2. Они могут быть использованы для расчетов конструкции под действием нормативных нагрузок и оценке ее остаточного ресурса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Максимчик, К. В. Снегоуборочный поезд СМ-2. Анализ текущего состояния парка техники в Республике Беларусь / К. В. Максимчик, В. Л. Моисеенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 52–54.

2 **Жарова, Е. А.** Прогнозирование остаточного ресурса и продление срока службы двухъярусных платформ для перевозки автомобилей / Е. А. Жарова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2007. – № 3 (12). – С. 47–52.

3 **Афанасьев, А. Е.** Разработка методики расчетно-экспериментального обоснования продления срока службы полувагонов / А. Е. Афанасьев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2008. – № 2 (15). – С. 36–45.

4 **Макеев, С. В.** Моделирование напряженного состояния кузова пассажирского вагона, вызванного коррозионным износом / С. В. Макеев // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2011. – Вып. 5. – С. 83–90.

5 **Афанаськов, П. М.** Несущая способность кузова вагона-самосвала для перевозки сыпучих грузов после длительной эксплуатации / П. М. Афанаськов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 202–210.

6 **Kassner, M.** Fatigue strength analysis of a welded railway vehicle structure by different methods / M. Kassner // International Journal of Fatigue. – 2012. – Vol. 34, is. 1. – P. 103–111.

7 Evaluation of railway vehicle car body fatigue life and durability using a multi-disciplinary analysis method / B. Miao [et al.] // International Journal of Vehicle Structures and Systems. – 2009. – Vol. 1, no. 4. – P. 85–92.

8 Развитие методов анализа прочности и надежности несущих конструкций подвижного состава с использованием методов математического моделирования / В. В. Кобищанов [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. – № 3 (88). – С. 29–37.

9 **Балтабаев, А. С.** Оценка остаточного срока службы снегоуборочной техники / А. С. Балтабаев // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 3 (34). – С. 76–78.

10 **Балтабаев, А. С.** Оценка прочности вагонов-снегоочистителей при коррозионном утонении их базовых узлов / А. С. Балтабаев, М. В. Зимакова, А. С. Сараев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 3 (28). – С. 34–39.

11 Альбом чертежей снегоуборочного поезда ПТКБ ЦП. Т. III. – М. : Главное управление пути МПС, 1973. – 250 с.

12 РК.СМ-2.31.001–2022. Руководство по капитальному ремонту снегоуборочной машины СМ-2 и ее модификаций. – Гомель, 2022. – 276 с.

*K. V. MAKSIMCHYK, A. O. SHIMANOVSKY*  
*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

## **FINITE ELEMENT MODELING OF THE FRAME STRUCTURE DEFORMATION FOR THE SM-2 SNOW REMOVAL TRAIN CAR**

Geometric and finite element models of the frame structure of the SM-2 snow removal train end car are developed in the environment of the Creo Parametric and ANSYS Workbench software systems. The stress-strain state calculation for the structure under the action of gravity is carried out. A comparison of the calculation results obtained using different programs is performed.

**Keywords:** snow removal train, end gondola car, finite element method, static computation.

Получено 14.10.2023