

УДК 621.873

Сагиров Ю.Г.¹, Суглобов В.В.², Лоза Е.А.³

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Разработаны пространственные модели металлоконструкции мостового крана. Выполнен анализ напряженного состояния с учетом фактического состояния (наличие дефектов, ремонтных накладок и т.п.). Предложена методика определения долговечности элементов металлоконструкции с учетом их напряженного состояния и материала конструкции.

Ключевые слова: мостовой кран, металлоконструкция, пространственная модель, метод конечных элементов, SolidWorks, Cosmos Works, долговечность.

Сагиров Ю.Г., Суглобов В.В., Лоза О.А. Просторове моделювання і аналіз напруженого стану металоконострукції мостових кранів. Розроблені просторові моделі металоконострукції мостового крана. Виконаний аналіз напруженого стану з урахуванням фактичного стану (наявність дефектів, ремонтних накладок і т.п.). Запропонована методика визначення довговічності елементів металоконострукції з урахуванням їх напруженого стану і матеріалу конострукції.

Ключові слова: мостовий кран, металоконострукція, просторова модель, метод кінцевих елементів, SolidWorks, Cosmos Works, довговічність.

Yu.G. Sagirov, V.V. Souglobov, O.A. Loza. Spatial design and analysis of the tense state of metaloconstrouctsii of travelling cranes. The developed spatial models of metaloconstrouctsii of travelling crane. The executed analysis of the tense state taking into account the actual state (presence of defects, repair protective straps and etc.). The offered method of determination of longevity of elements of metaloconstrouctsii taking into account their tense state and material of construction.

Keywords: travelling crane, metaloconstrouctsiya, spatial model, method of eventual elements, SolidWorks, Cosmos Works, longevity.

Постановка проблемы. Уточнение методов расчета долговечности крановых металлоконструкций – важная научно-техническая задача, решение которой позволит повысить безопасность эксплуатации грузоподъемных кранов, в частности мостовых.

Анализ последних исследований и публикаций. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) значительно преуспели в работе с трехмерными моделями и позволяют создавать и анализировать объемные твердотельно-деформируемые модели. Современному инженеру доступны различные программы для работы и анализа объемных моделей.

Цель статьи – на примере мостового крана, эксплуатируемого на МК «Азовсталь», показать основные возможности САПР SolidWorks и приложения Cosmos Works, проанализировать напряженно-деформированное состояние, предложить методику и определить долговечность металлоконструкции мостового крана.

Изложение основного материала. Металлоконструкция - коробчатого сечения. С целью сокращения времени на создание стержневого аналога (сетки) для реализации метода конечных элементов (далее МКЭ) на ЭВМ и времени на расчет модель несколько упрощена – созданы только основные несущие металлоконструкции (концевые и пролетные балки с установленными диафрагмами, узлы крепления ходовых колес крана). Модель создана в среде SolidWorks 2009. Метод конечных элементов реализован в среде COSMOSWorks 2009. Средствами COSMOSWorks 2009 создана сетка (рис. 1): количество элементов – 155681, количество узлов – 269062, назначен материал сталь 09Г2С.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

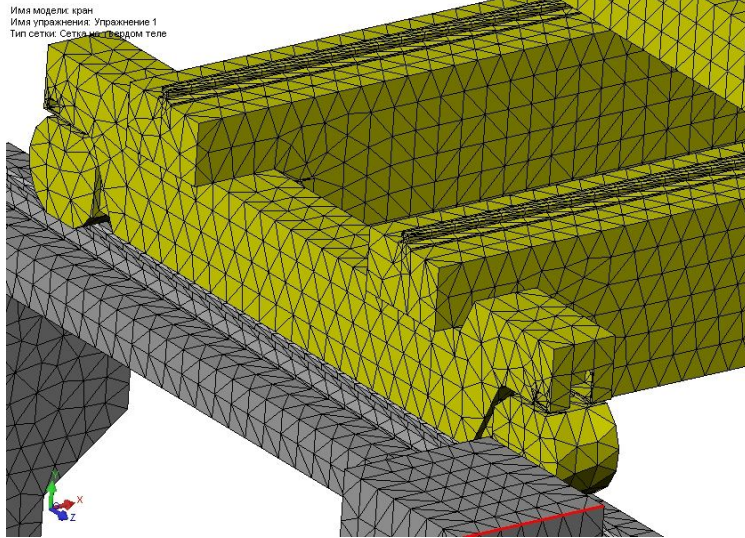


Рис. 1 - Сетка на твердом теле для реализации МКЭ

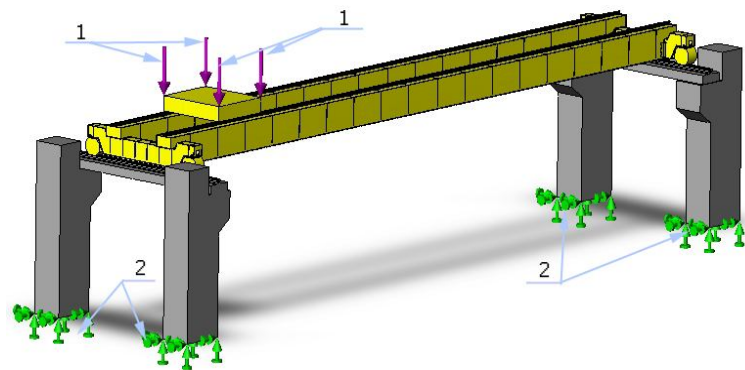


Рис. 2 - Места приложения нагрузки (1) и места закрепления (2) модели

В COSMOS Works выполнено следующее: изображен и создан перечень перемещений, сил реакций, контактного давления, нагрузок и напряжений в разных направлениях. Построены эпюры напряжений в модели и выполнены сечения для просмотра результатов внутри модели. Используются инструменты для плоского, цилиндрического и сферического разрезов.

При моделировании нагружения металлоконструкции крана нагрузка прикладывалась к тележке (рис. 2), кран опирался на рельсовый путь, закрепление осуществлялось за основания колонн.

С использованием инструментов COSMOS Works построены эпюры распределения коэффициента запаса прочности (рис. 3) и распределения напряжений в модели (рис. 4).

Также для более детального анализа нагруженного состояния отдельных участков металлоконструкции крана рассмотрены сечения (рис. 5), на которых можно проследить распределение напряжений в скрытых участках металлоконструкции крана: внутренние полости коробчатых балок, ребра жесткости.

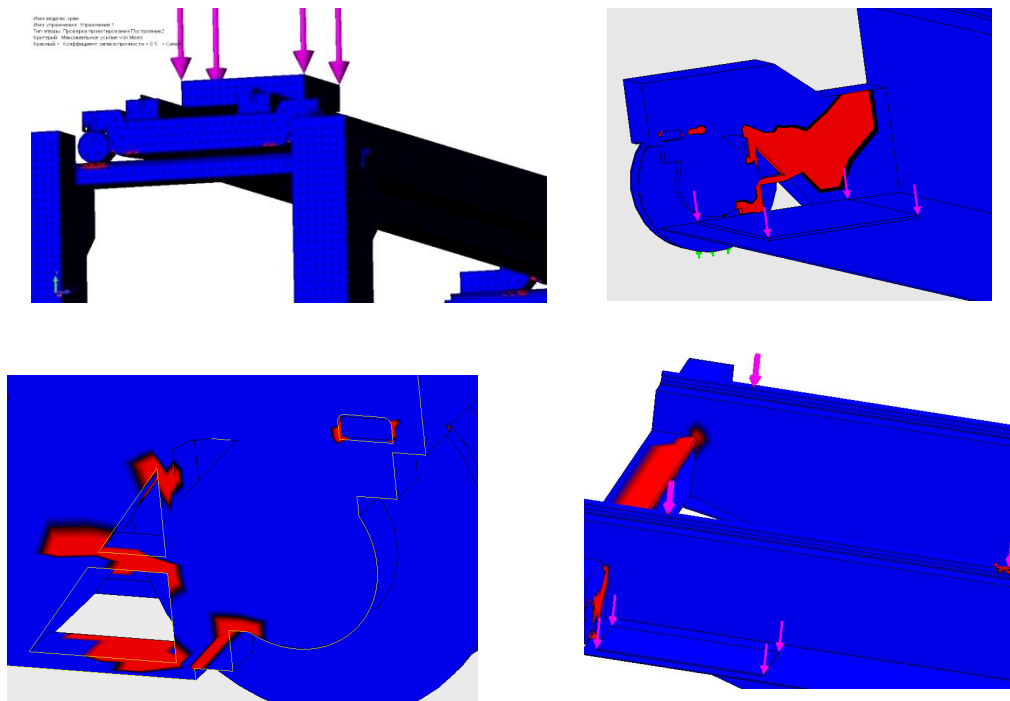


Рис. 3. - Распределение значений коэффициента запаса прочности в модели

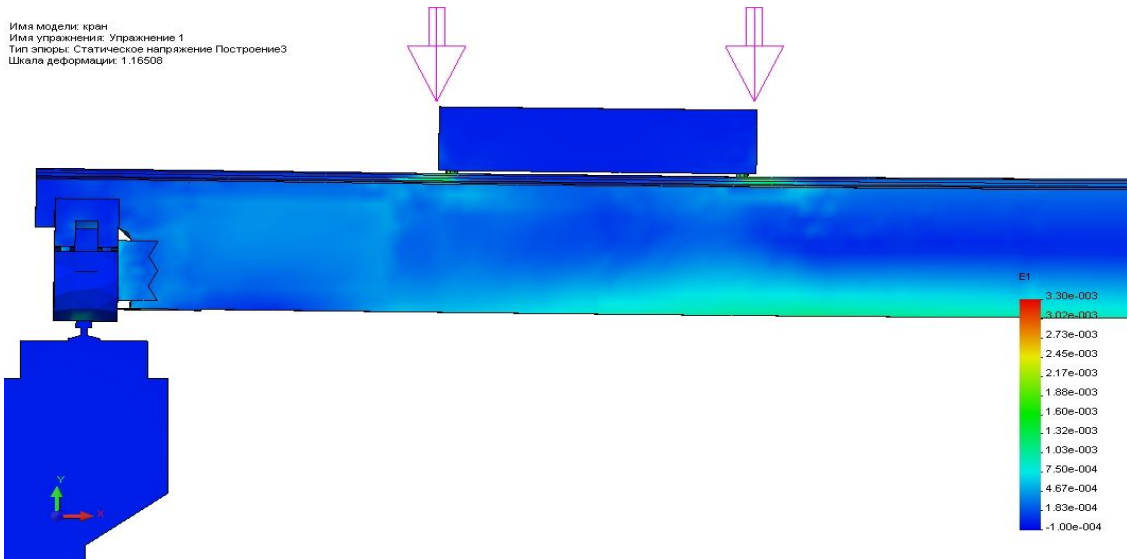


Рис. 4 - Распределение эквивалентных напряжений в модели

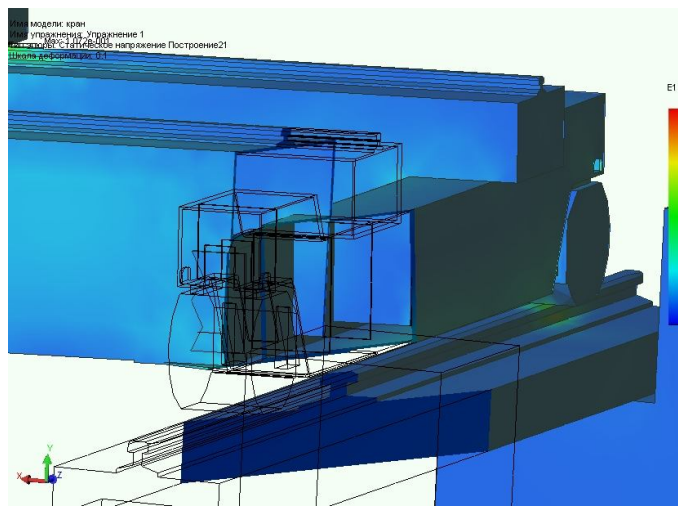


Рис. 5 - Распределение эквивалентных напряжений в скрытых участках модели

При проведении анализа поврежденной металлоконструкции крана большое внимание уделялось наиболее нагруженным участкам и участкам, имеющим минимальные коэффициенты запаса прочности по результатам моделирования, а именно – места крепления ходовых колес крана, места соединения главных и концевых балок.

В результате установлено, что наиболее нагруженными участками являются: опорная часть крана и узел сопряжения главной и торцевой балок. Это наглядно видно на эпюре распределения коэффициента запаса прочности (рис. 3 или 5): красным цветом выделены наиболее нагруженные участки.

Для созданной модели существует возможность определить значения напряжений (эквивалентных) в любой точке (рис. 6).

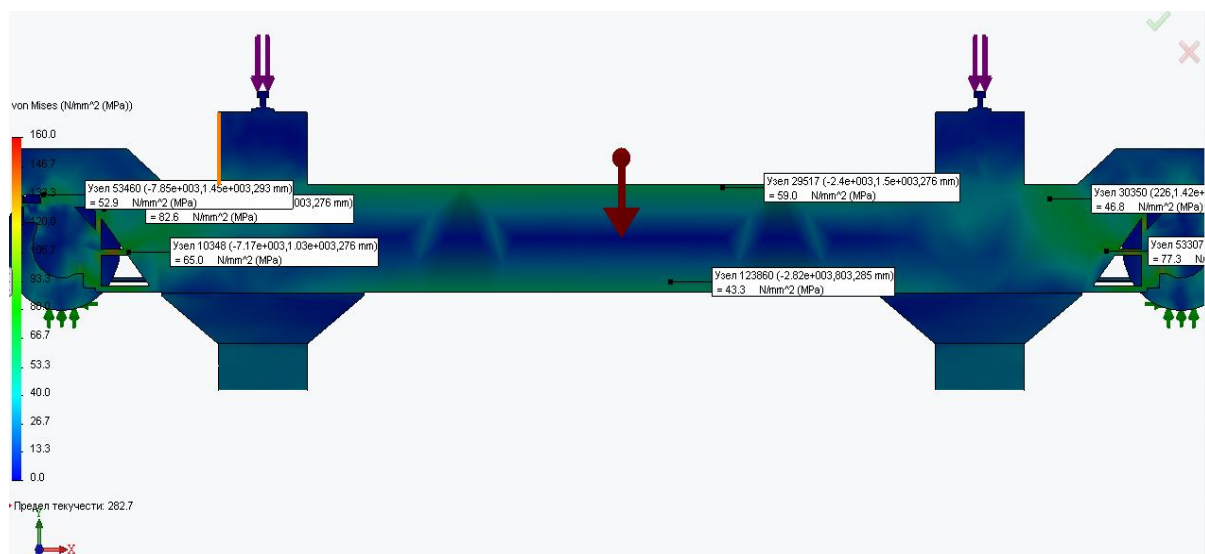


Рис. 6 - Определение напряжений в модели

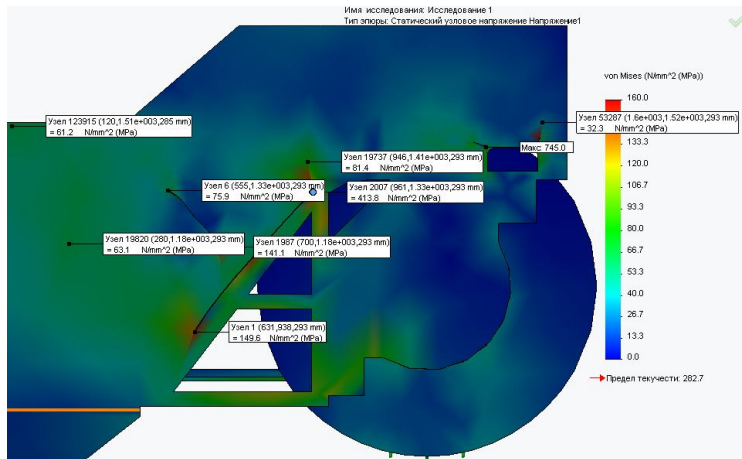


Рис. 7 - Напряжения в модели после «появления» трещин

позволяют утверждать, что после установки накладок значения напряжений уменьшилось, как со стороны трещин (внешняя сторона торцевой балки), так и с внутренней стороны. Например, у узла 9145 напряжения уменьшились с 101,7 МПа (рис. 7) до 64,8 МПа (рис. 8).

На основе выполненного моделирования выполнен расчет долговечности элементов металлоконструкции. Если для материала известны предел ограниченной выносливости (σ_n) при числе циклов n и напряжение (σ_N), вызывающее разрушение после N циклов, то определить число циклов до разрушения становится возможным по формуле:

$$(\sigma_n)^k \cdot n = (\sigma_N)^k \cdot N. \quad (1)$$

Для сталей предел ограниченной выносливости, определенный на базе $N_0=10^7$ циклов можно принять за предел выносливости, так как если стальной образец выдержал 10^7 циклов, то он может выдержать практически неограниченное число циклов.

Предел ограниченной выносливости для стали можно принять (при отсутствии экспериментальных данных для данного материала) 140 МПа.

k – тангенс угла наклона кривой Велера, построенной в логарифмических координатах. Для металлов $k = 5-10$.

Возможное число циклов N нагружения при известном, превышающем предел выносливости, максимальном напряжении (σ_N) цикла:

$$N = \frac{(\sigma_n)^k \cdot n}{(\sigma_N)^k} = n \cdot \left(\frac{(\sigma_n)}{(\sigma_N)} \right)^k. \quad (2)$$

На рисунке 9 представлен график зависимости (2) числа циклов N до разрушения от напряжений (σ_N). Для построения графика подставлены значения напряжений, определенные по пространственной модели (45-710 МПа).

Используя моделирование напряженного состояния металлоконструкции крана, зависимость (2), сведения о физических свойствах материала металлоконструкции, а также инфор-

На следующем этапе моделирования были рассмотрены модели с трещинами в стенках характерных участков конструкции и определены напряжения с их учетом (рис. 7). Установлено, что наличие трещин привело к увеличению напряжений в опорной части крана с 77 МПа до 745 МПа. Значения напряжений в других точках также увеличились (рис. 7).

В местах образования трещин на кране выполнена установка ремонтных накладок, которая также была смоделирована с последующим определением напряжений. Построенные эпюры (рис. 8)

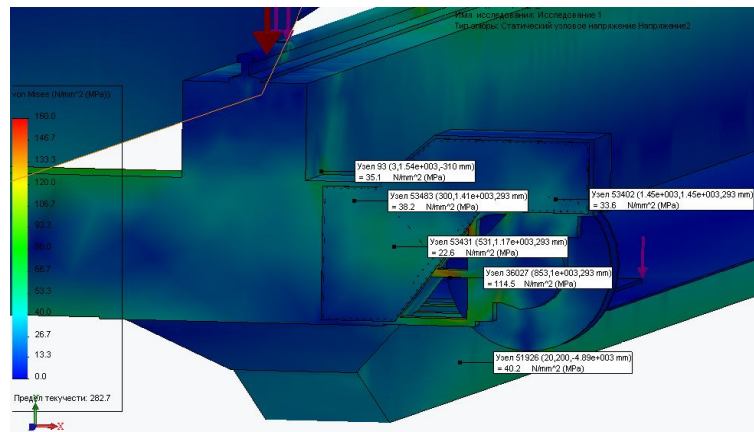


Рис. 8 - Напряжения в модели после установки накладки

мацию о нагруженности металлоконструкции в процессе эксплуатации можно определять остаточный ресурс металлоконструкции/

Зная число циклов нагружения крана в сутки (год) и используя методику [4], можно определить срок службы крана в днях (годах).

Выводы

1. Предложена методика определения долговечности наиболее нагруженных элементов металлоконструкции мостовых кранов (места крепления ходовых колес крана и соединения главных и концевых балок) с учетом их фактического состояния (наличие трещин, ремонтных накладок и т.п.) и значений напряжений в них.

2. Определено напряженное состояние элементов конструкции крана, построены эпюры распределения коэффициента запаса прочности.

3. С использованием модели выполнен анализ напряженного состояния металлоконструкции крана в опасных сечениях до и после установки ремонтных накладок.

4. Дальнейшее совершенствование предложенной методики определения долговечности металлоконструкции может быть направлено на учет большего числа факторов, влияющих на изменение физических и механических свойств металла и нагруженность конструкции; на уточнение зависимости (2) и входящих в нее величин.

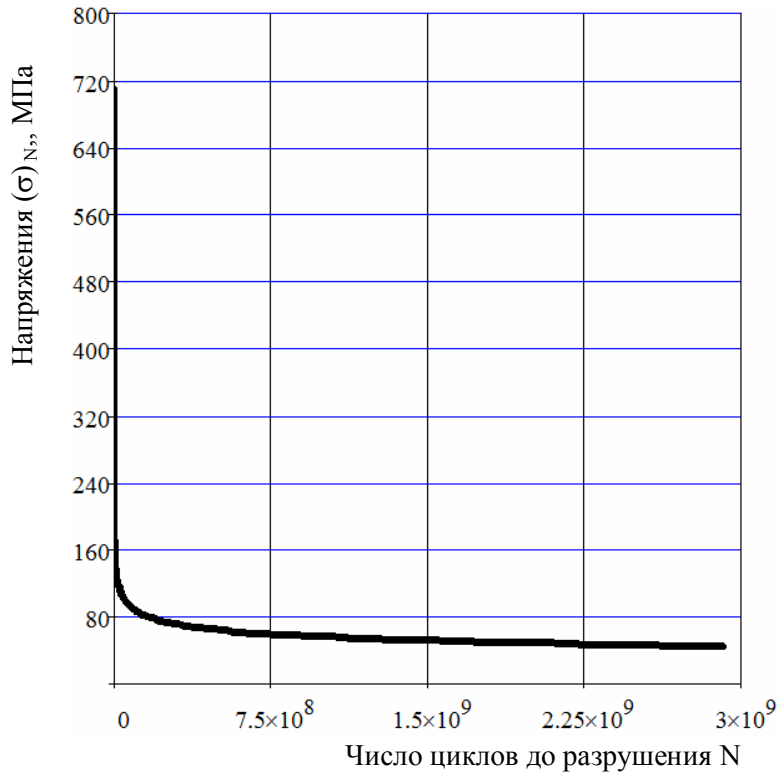


Рис. 9 -График зависимости числа циклов до разрушения от напряжений

Список использованных источников:

1. Алямовский А.А. Solid Works/ Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов.– СПб.: БВХ-Петербург.– 2005. – 800 с.
2. Сагиров Ю.Г. Средства уменьшения коэффициента динамичности при передвижении мостового крана с учетом неровностей рельсового пути: Дисс. канд. техн. наук: 05.05.05; – Защищена 27.11.2009; Утв. 08.03.2010. – Одесса, 2009. – 182 с.–Библиогр.: с. 150–162.
3. Концевой Е.М. Ремонт крановых металлоконструкций / Е.М. Концевой, Б.М. Розенштейн. – Л.: Машиностроение, 1979. – 206 с.
4. Циклическая прочность металлов. Сборник: материалы Второго совещания по усталости металлов, АН СССР.– 1962.

Рецензент: А.А. Ищенко
 д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 26.03.2011