

УДК 629.113.011

**Л.И. Соустова, ассистент**

*Севастопольский национальный технический университет  
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053*

## **ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАРКАСОВ БЕЗОПАСНОСТИ СПОРТИВНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Предложена методика оценки эксплуатационных свойств каркасов безопасности спортивных автомобилей, моделирующая экстремальные условия эксплуатации. Методика основана на конечноэлементном анализе пространственных стержневых систем. Приводятся численные результаты.*

**Ключевые слова:** *каркас безопасности, стержневая система, напряжения в стержнях*

**Постановка проблемы.** Каркас безопасности (КБ) спортивного автомобиля - пространственная конструкция, предназначенная для повышения безопасности экипажа в экстремальных условиях. Согласно требованиям FIA современный КБ должен представлять собой единое целое с кузовом автомобиля и существенно повышать его жесткость. Постоянное совершенствование конструкции КБ, повышающей вес автомобиля и, следовательно, влияющей на основные эксплуатационные свойства автомобиля в целом, требует непрерывного совершенствования методики оценки таких конструкций, используя для этого последние достижения современных информационных технологий, что отражено также в требованиях Международного Спортивного Кодекса FIA.

**Цель и постановка задачи.** Целью настоящей работы является разработка методики оценки эксплуатационных свойств КБ в экстремальных условиях эксплуатации, основанной на последних достижениях современных информационных технологий. Для достижения этой цели необходимо решить ряд задач механики стержневых систем, первой из которых, является задача анализа напряженно-деформированного состояния конструкции в экстремальных условиях.

**Анализ публикаций.** Каркасы безопасности современных спортивных автомобилей широко представлены в периодических и электронных изданиях, рисунок 1, [1].



Рисунок 1 – Каркасы безопасности современных спортивных автомобилей

Конструктивно КБ представляет собой пространственную стержневую систему, рисунок 2, которая по классификации [2], имеет геометрически неизменяемую и удовлетворяющую условиям Коши структуру.



Рисунок 2 – Общий вид стержневой системы КБ

Основные свойства и поведение под нагрузкой таких систем рассмотрено в [2]. В [3] приводятся методы анализа упругой устойчивости стержневых систем. Методы расчета таких систем, аналогичные методам расчета несущих систем автомобиля в целом подробно изложены в [4]. В монографии [5] приводится методика оптимизации стержневой конструкции по критерию минимального веса с учетом прочностных ограничений. В работе [6] предлагается методика расчета кузовных конструкций с помощью метода конечных элементов. Распространение этой методики на анализ состояния КБ требует дальнейших исследований.

**Материалы и результаты исследования.** В качестве основной модели состояния конструкции КБ принимаем систему уравнений теории упругости, позволяющей моделировать все явления, происходящие в упругой системе. Равновесное состояние напряжений в стержнях системы представлены уравнениями

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + X &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + Y &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$  - компоненты напряженного состояния,  $X, Y, Z$  - объемные силы, а перемещения  $U_x, U_y, U_z$  системой уравнений

$$\begin{aligned} (\lambda + G) \frac{\partial \theta}{\partial x} + G \nabla^2 U_x + X &= 0, \\ (\lambda + G) \frac{\partial \theta}{\partial y} + G \nabla^2 U_y + Y &= 0, \\ (\lambda + G) \frac{\partial \theta}{\partial z} + G \nabla^2 U_z + Z &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ,  $\theta = \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z}$ ,  $\lambda = \frac{Ev}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ ,  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  - параметры Ляме,  $E$ ,  $\nu$  - свойства материала каркаса.

Система уравнений в зависимости от конфигурации КБ дополняется граничными условиями.

Решение задачи традиционным методом сил [2] связано с рядом упрощений геометрического характера, что значительно снижает точность результатов, в связи с чем рассмотрим возможность численного решения задачи современными методами. Для этого представим систему уравнений (1)-(2) в виде единого уравнения

$$\iiint_V \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} dV - \iiint_V f_i \delta u_i dV - \iint_s T_i \delta u_i ds = 0, \tag{3}$$

где  $\sigma_{ij}$  – тензор напряжений,  $\delta \epsilon_{ij}$  – виртуальные деформации,  $\delta u_i$  – виртуальные перемещения,  $f_i$  – объемные силы,  $T_i$  – граничные условия. Рассмотрим решение задачи методом конечных элементов по методике, разработанной в [6]. Исследуемая экстремальная ситуация представлена на рисунке 3.

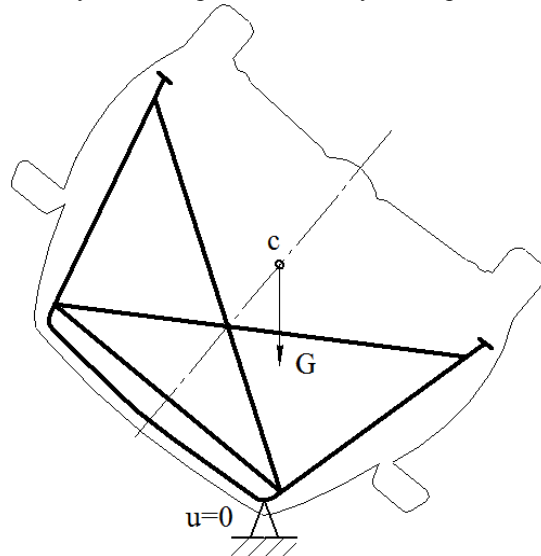


Рисунок 3 – Схема экстремальной ситуации для КБ

Распределение напряжений в стержнях КБ выглядит следующим образом, рисунок 4

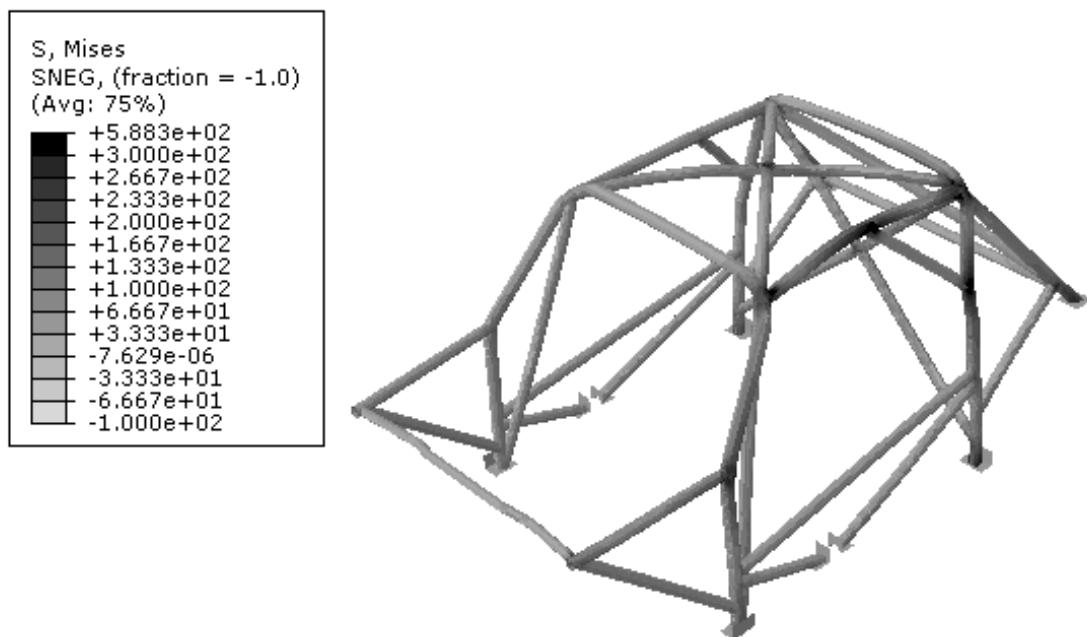


Рисунок 4 – Распределение напряжений в стержнях КБ

Варьируя ситуацию нагружения и анализируя возникающие в стержнях напряжения, можно оценить основные эксплуатационные свойства конструкции КБ, а также выявить лишние стержни и тем самым частично решить задачу минимизации веса конструкции.

**Выводы.**

1. Разработанная методика позволяет осуществлять оценку эксплуатационных свойств КБ в экстремальных условиях эксплуатации.

2. Применение метода конечных элементов при анализе пространственных стержневых систем позволяет повысить точность результатов по сравнению с традиционными аналитическими методами сил.

**Направления дальнейших исследований.** Для решения рассмотренной задачи можно применить математические методы исследования операций – линейное и нелинейное программирование. Разработанная методика в дальнейшем будет проверена экспериментально.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Ralli Sport. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ralli-sport.ru/product\\_info.php/info/p210\\_Karkas-bezopasnosti.html](http://www.ralli-sport.ru/product_info.php/info/p210_Karkas-bezopasnosti.html).
2. Рабинович И.М. Основы строительной механики стержневых систем / И.М. Рабинович. – М.: Изд. ГОССТРОЙ, 1984. – 524 с.
3. Винокуров Л.П. Строительная механика стержневых систем / Л.П. Винокуров. – Харьков: Изд. ХГУ, 1975. – 268с.
4. Дж. Фентон. Несущий каркас кузова автомобиля и его расчёт / Дж. Фентон. ; пер. с англ. К.Г. Бомштейна. ; под ред. чл.-корр. АН СССР Э.И. Григолюка. – М. : Машиностроение, 1984. – 200 с.
5. Виноградов А.И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике / А.И. Виноградов. – Харьков: Вища школа, 1973. – 167 с.
6. Торлин В.Н. Конечноеэлементный анализ энергопоглощающей способности кузова автомобиля / В.Н. Торлин, А.А. Ветрогон, Е.А. Яковенко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – 2006. – №7(101). – С.115-119.

*Поступила в редакцию 27.05.2013 г.*

**Соустова Л.І. Оцінка експлуатаційні властивості каркасів безпеки спортивних автомобілів у екстремальних умовах**

Запропоновано методику оцінки експлуатаційних властивостей каркасів безпеки спортивних автомобілів, що моделює екстремальні умови експлуатації. Методика заснована на конечноэлементном аналізі просторових стержневих систем. Приводяться чисельні результати.

**Ключові слова:** каркас безпеки, стержнева система, напруження в стержнях

**Soustova L.I. Performance evaluation of properties of safety cage sports cars in extreme conditions**

The method for evaluation of operational properties of scaffolds safety of sports cars, which simulates extreme conditions. The technique is based on the finite element analysis of spatial rod systems. The adductor numerical results.

**Keywords:** roll cage, bar system, tension in the rods.