

**ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ
СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЪЕМНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ
АВТОМОБИЛЬНОГО ШАССИ**

Бойков В. П.¹, д-р техн. наук, проф., **Поздняков Н. А.**¹, ст. преп.,
Ковалев П. В.², гл. конструктор,

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: *trak_atf@bntu.by*

²ООО «Пожснаб», г. Борисов, Республика Беларусь,
e-mail: *tech@pozhsnab.com*

**SUBSTANTIATION OF THE DESIGN SCHEME
FOR THE STATIC AND DYNAMIC STABILITY
OF LIFTING EQUIPMENT BASED
ON AN AUTOMOBILE CHASSIS**

V. Boykov¹, Doctor of technical Sciences, Professor,
N. Pozdnyakov¹, senior lecturer, **P. Kovalev**², chief designer,
¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus,
e-mail: *trak_atf@bntu.by*

²«Pozhsnab» LLC, Borisov, Republic of Belarus,
e-mail: *tech@pozhsnab.com*

В статье рассматриваются вопросы оценки конструкции подъемного пожарного оборудования на соответствие показателям безопасности, что необходимо на ранних стадиях проектирования. Это касается, прежде всего, показателей статической и динамической устойчивости. Эти показатели определялись на основе предварительно разработанной расчетной схемы 3-D моделирования.

Сформулирована цель выполнения расчетов, состоящая в определении запаса динамической устойчивости (против опрокидывания) мобильного колесного шасси в агрегате с технологическим оборудованием. Выполнены соответствующие расчеты на основе технического задания производителя техники. Приведены результаты расчетов и соответствующие выводы.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, технологическое оборудование, расчетная схема, трехмерная модель, массо-центровочные и геометрические характеристики.

The article discusses the issues of justification and selection of a design model based on three-dimensional modeling. A technique and a model are proposed that ensured the necessary degree of parametrization and imitation of various operating modes of the lifting equipment of fire engines. The characteristics are given that allow the method of three-dimensional modeling to quickly calculate the mass-centering characteristics of such equipment.

In the Conclusion, possible specific results are formulated when conducting research on the developed methodology using a three-dimensional model in the MCS Adams environment.

Key words: fire truck, technological equipment, design scheme, three-dimensional model, mass-centering and geometric characteristics.

Введение

Мобильный пожарный подъемник – это грузоподъемная машина, состоящая из базового автомобильного шасси, подъемного стрелового оборудования и рабочей платформы. Подъемник предназначен для перемещения рабочего персонала с инструментом и материалами, которые располагаются на рабочей платформе при проведении работ на различных высотах в пределах рабочей зоны.

Технике этого назначения предъявляют самые серьезные требования, а ее разработка и эксплуатация строго регламентированы стандартами, в том числе и межгосударственными [1, 2].

При проектировании подъемных пожарных механизмов, наряду с необходимостью получения высоких эксплуатационных свойств, не менее важное значение имеет обеспечение нормируемых показателей безопасности, особую значимость приобретают прочностные

расчеты, расчеты на грузовую и транспортную устойчивость. Крайне важно правильно рассчитать полезную нагрузку, величину опорного контура при различных вариантах выставления опор (ведь машина должна быть устойчивой и работать даже в стесненных условиях, когда места для размещения мало), учесть метеорологические условия (например, скорость ветра).

От точности проведенных расчетов и грамотных технических решений, заложенных еще на стадии проектирования грузоподъемной техники, зависит жизнеспособность изделия и безопасность людей, которые ее эксплуатируют.

Обоснование и выбор параметров расчетной схемы и среды моделирования

Современные средства автоматизированного проектирования с использованием высокопроизводительных САД- и САЕ-систем требуют пересмотра традиционных способов как постановки задачи оценки указанных свойств, так и алгоритмов решения и интерпретации полученных результатов.

Не смотря на широкие возможности средств САПР, в том числе те, при которых в качестве результатов проектирования выступают конструктивные параметры проектируемого механизма, а в качестве заданных (исходных) условий – значения показателей эксплуатационных свойств, при оценке показателей безопасности наиболее рационально пользоваться традиционной схемой. Такая схема предполагает проведение регламентированных испытательных процедур опытного образца проектируемого механизма. Использование при этом САЕ-систем носит характер т. н. виртуальных испытаний (ВИ) [3, 4].

Наиболее существенное условие валидности методов и средств ВИ для подъемного оборудования спасательных машин – обоснование их соответствия действующим техническим регламентам.

В частности, применительно к подъемному оборудованию на базе автомобильного шасси, важно обеспечить его устойчивость при использовании по назначению. Существующие аналитические способы оценки устойчивости сводятся к определению коэффициента устойчивости K_y . Поскольку само понятие устойчивости определяется как способность объекта противодействовать опрокидывающим силам

(моментам), то коэффициент устойчивости определяется как отношение удерживающего (стабилизирующего) момента к опрокидывающему моменту (рисунок 1), т. е.

$$K_y = \frac{M_{уд}}{M_{опр}},$$

где $M_{уд}$ – удерживающий момент; $M_{опр}$ – опрокидывающий момент.

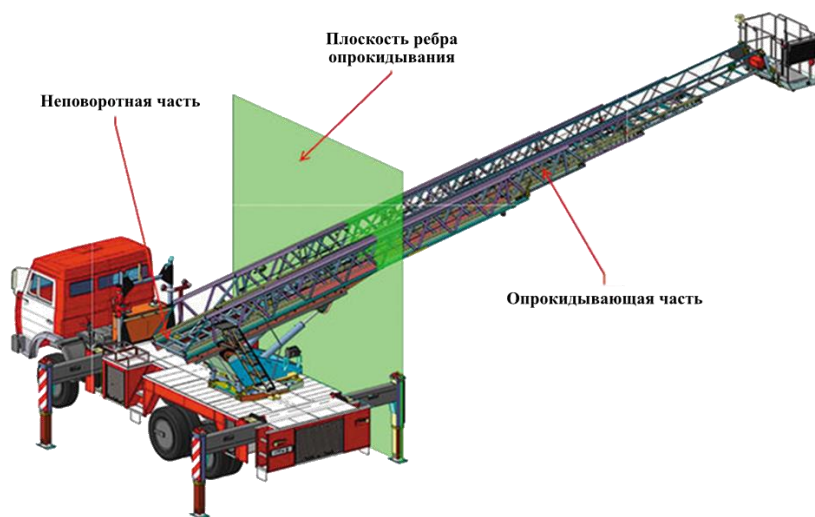


Рисунок 1 – Схема расчетных частей модели автолестницы

Удерживающий момент создается массой неповоротной части $m_{уд}$ с плечом, равным расстоянию от центра тяжести неповоротной части до плоскости ребра опрокидывания $r_{уд}$, а опрокидывающий момент создается помимо массы опрокидывающей части $m_{опр}$ с плечом $r_{опр}$ еще и моментом M_j инерционных сил, возникающих при движении лестницы и моментом M_w аэродинамической силы при наличии ветра. Тогда коэффициент устойчивости

$$K_y = \frac{M_{уд}}{m_{уд} \cdot r_{уд} + M_j + M_w}.$$

Момент сил инерции определяется как

$$M_j = m_{пов} \cdot j \cdot a,$$

где $m_{пов}$ – масса поворотной части; j – угловое ускорение при повороте лестницы; a – радиус положения центра тяжести лестницы.

Момент, создаваемый силами аэродинамического сопротивления

$$M_w = c_x \cdot F_{\Sigma} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot b,$$

где c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления (для трубчатого сечения $c_x = 0,47$); F_{Σ} – площадь проекции машины на вертикальную плоскость, перпендикулярную направлению ветра; v – скорость ветра; b – расстояние от опорной поверхности до центра тяжести проекции машины на вертикальную плоскость.

При проведении аналитических расчетов практически невозможно (из-за высокой трудоемкости) определить текущие значения некоторых геометрических параметров, входящих в выражения для определения моментов из-за сложности формы элементов конструкции и их изменения в зависимости от их рабочего положения и режимов движения.

При использовании виртуальных испытаний в САЕ-системах задачи определения искомых геометрических параметров решаются при помощи испытанных алгоритмов машинным способом, а поставленная цель испытаний достигается с помощью путем создания функциональных виртуальных прототипов компонентов оборудования и систем с использованием конструкторских трехмерных моделей на ранних этапах цикла проектирования и выполнения серии виртуальных тестов.

Наиболее часто применяемой в машиностроении средой моделирования механических систем является пакет прикладных программ MSC Adams [2] как инструмент исследования динамики движущихся

частей под действием нагрузок и сил, распределенных по элементам рассчитываемой системы.

Основой для системы уравнений, используемых в MCS Adams, описывающих динамику системы n твердых тел, находящихся под действием m_a заданных сил и стесненных m голономными связями, послужили уравнения в форме Эйлера-Лагранжа с множителями

$$\begin{aligned} \dot{p}_i &= \frac{\partial L}{\partial q_i} + \sum_{k=1}^{m_a} \bar{F}_j \cdot \frac{\partial \bar{F}_k}{\partial q_i} - \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot \frac{\partial \Phi_j}{\partial q_i}; \\ p_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} &= 0; \\ u_i - \dot{q}_i &= 0; \quad i = 1, \dots, 6n; \\ \Phi_j(\{q_a\}, t) &= 0; \quad j = 1, m; \\ \bar{F}_k - \bar{f}_k(\{q_a\}, \{u_\beta\}, \{\lambda_\gamma\}, t) &= 0; \quad k = \bar{1}, \bar{m}_a. \end{aligned}$$

Для задания движения твердого тела используются инерциальные глобальные координаты его центра масс и углы Эйлера.

Общий вид модели в среде MCS Adams представлены на рисунке 2.

Заключение

Таким образом, при проведении исследований с помощью трехмерной модели в среде MCS Adams можно достичь следующих практических результатов:

- выполнить виртуальные испытания по предварительной оценке показателей статической и динамической устойчивости;
- провести оценку грузовой устойчивости по заданным в техническом задании параметрам;
- выработать рекомендации по компоновке механизмов и систем автолестницы;
- определить диаграмму рабочей зоны автолестницы по критериям устойчивости.

Примером могут послужить результаты определения величин вертикальных реакций опор автолестницы представлены на рисунке 3.

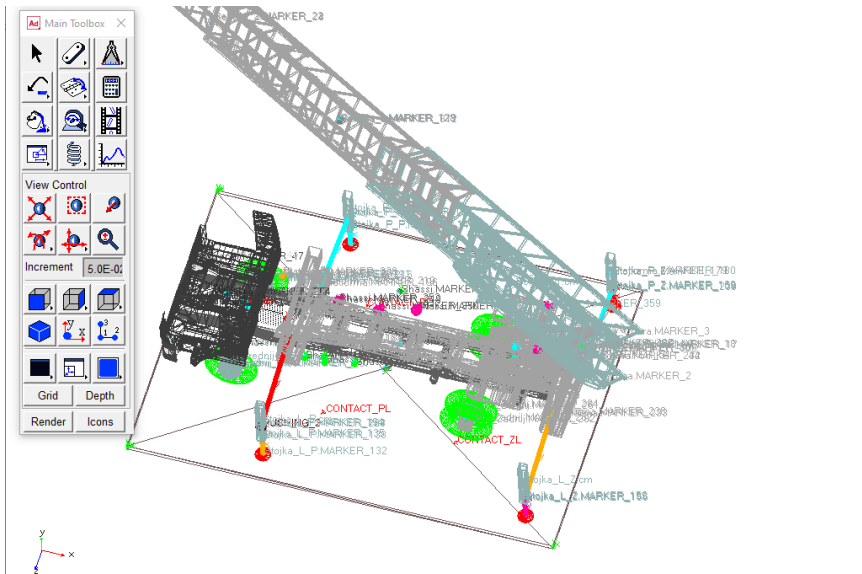


Рисунок 2 – Схема модели в среде MCS Adams

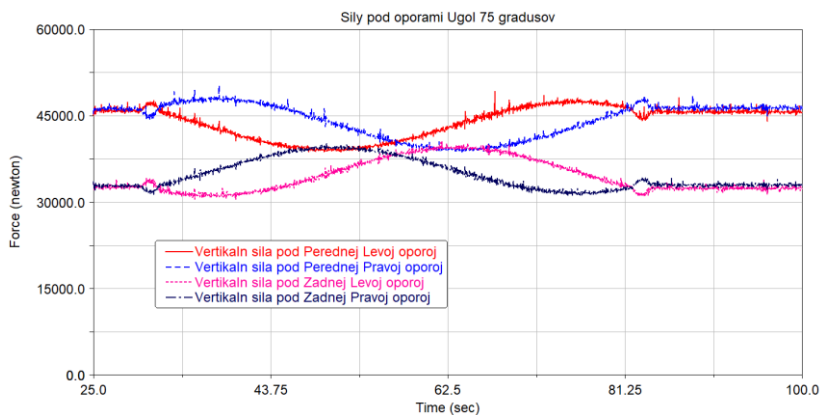


Рисунок 3 – Изменение величин вертикальных реакций опор при повороте платформы (скорость поворота 1 °/с)

Максимальное значение коэффициента устойчивости составило $K_{y\max} = 2,9$, а минимальное $K_{y\min} = 1,6$.

Литература

1. Богомолов, М. В. Виртуальные испытания изделий [Электронный ресурс] // Труды МАИ : сетевое научное издание. 2010. – № 38. URL : <http://trudymai.ru/upload/iblock/552/virtualnye-ispytaniya-izdeliy.pdf> (дата обращения : 31.08.2021).
2. Сайт компании HEXAGON [Электронный ресурс] // Adams. The Gold Standard in MultiBody Dynamics Simulation URL : <https://www.mscsoftware.com/product/adams> (дата обращения : 31.08.2021).
3. Дмитриченко, А. С. и др. Компьютерный расчет устойчивости пожарной автолестницы с установленным на ней УКТП «Пурга» // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, № 2 (10), 2009.
4. Фурунжиев, Р. И., Гурский, Н. Н. Применение математических методов и ЭВМ: Программное моделирование систем. – Минск. : Выш. шк., 1991. – 250 с.
5. Горобцов, А. С. Численное интегрирование уравнений движения систем тел произвольной структуры / Матер. междунар. конф. «Проблемы и перспективы прецизионной механики и управления в машиностроении». – Саратов, 2002. – С. 16–20.
6. Погорелов, В. И. Система и ее жизненный цикл: введение в CALS-технологии: учебное пособие. – СПб : Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2010. – 182 с.
7. Lansinger, E. Software support for telematics // Automotive engineering international. – 2002. Oct. – P. 32–34.
8. Pfister, F., Reitze, C, Shmidt, A. Hardware in the Loop – the Technology for Development and Test of Vehicle Control Systems // MDI ADAMS Conference. – Berlin, 1999.

Статья поступила 25.11.2021