

УДК 629.7.08

## **Моделирование отвода крупногабаритных высотных конструкций стартового комплекса**

*Сафаров А.В., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Стартовые ракетные комплексы»*

*Научный руководитель: Золин А.В., ассистент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[sm8@sm8.bmstu.ru](mailto:sm8@sm8.bmstu.ru)*

Целью данного исследования являлось моделирование отвода высотных конструкций и расчётное определение возникающих при этом усилий.

На стартовых комплексах отводимые конструкции применяются для подведения к ракете-носителю различных коммуникаций и отведения их непосредственно перед стартом ракеты.

Особенностью конструкции является гарантированный ее отвод от ракеты-носителя перед пуском ракеты и обеспечения достаточной прочности конструкции при воздействии силовых факторов. Решение данной задачи позволяет определить нагрузку действующую на конструкцию при изменении ее положения по ходу отвода.

Традиционными методами данная задача считается с разделением на 2 модели. Это приводит к более продолжительному времени создания моделей и вычисления. Преимущество метода представленного в статье заключается в том, что разбиение не проводится и существенно сокращается время создания модели и вычисления. Для решения поставленной задачи мы используем программный комплекс "Зенит-95" реализующий МКЭ на больших перемещениях.

В качестве приведем пример расчет кабель-заправочной мачты. КЗМ предназначена для подвода к верхним блокам ракеты-носителя (РН) и космической головной части (КГЧ) различных коммуникаций и кабелей, отстыковка которых от РН и КГЧ производится непосредственно перед пуском РН.

КЗМ состоит из (рис 1):

- правой фермы и левой фермы;
- правого и левого основания;
- фермы мачты;
- верхней мачты;
- кронштейна;
- гидропривода;
- буферного устройства;
- ловителей;
- электрооборудования.

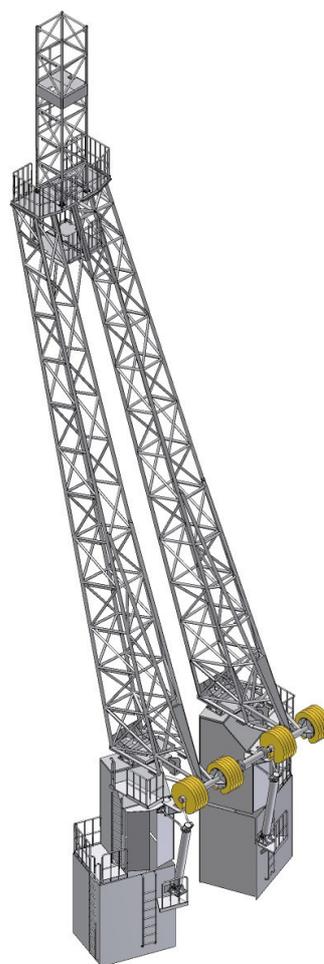


Рис. 1. Общий вид КЗМ

Расчетная схема представлена на рис.2.

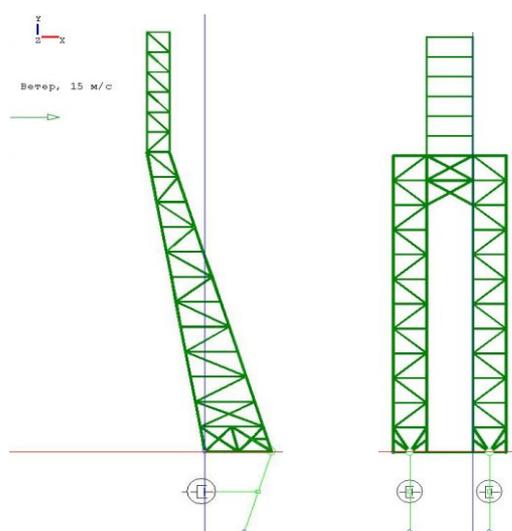


Рис. 2 Расчетная схема КЗМ

Модель воспринимает усилия от собственного веса конструкции, силу от тормозного устройства при отводе и ветровое воздействие. Направление ветра выбрано в сторону отвода конструкции, и его скорость равна 15 м/с. Данную расчётную схему выберем для демонстрации метода и сравнения результатов вычислений с экспериментальными данными.

Выполним вычисление перемещений при динамическом нагружении.

Модель состоит из 160 узлов, стержневых элементов - 436, время затраченное на расчет - 10 минут с шагом интегрирования 0,001.

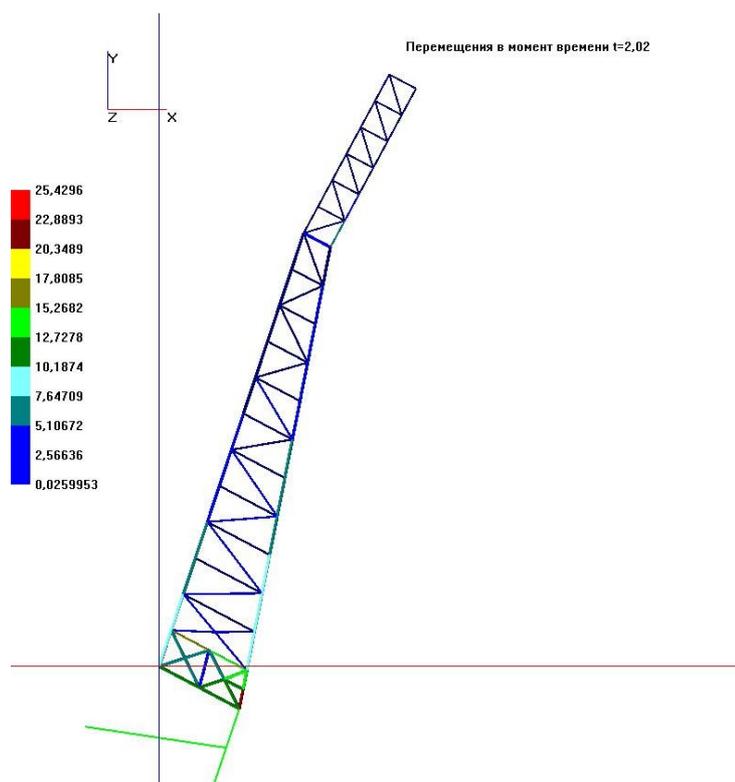


Рис. 3. Эквивалентное напряжение и перемещение в момент времени  $t=2,02$  с

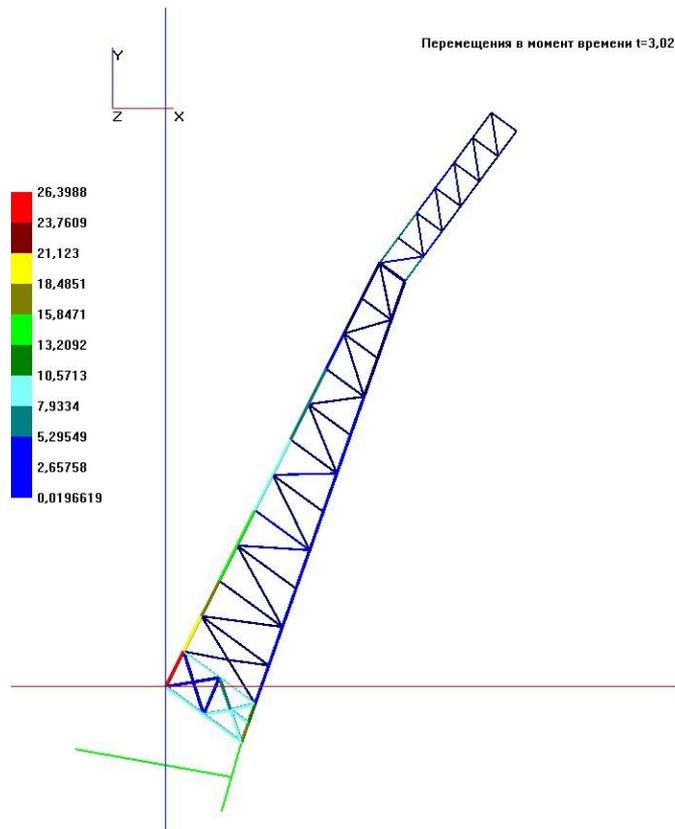


Рис. 4. Эквивалентное напряжение и перемещение в момент времени  $t=3,02$  с

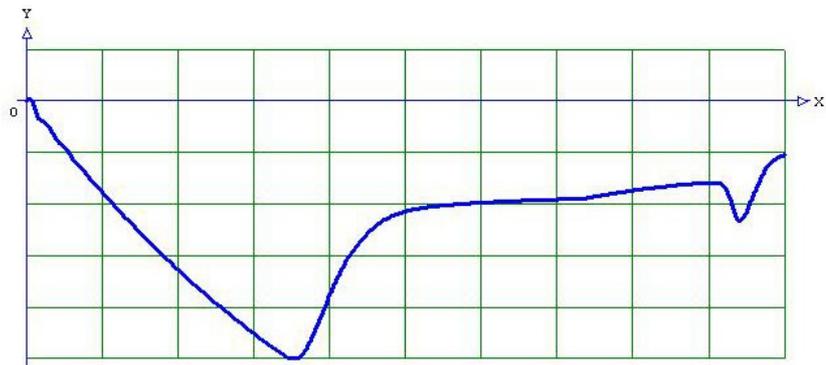
График усилия в гидравлическом буфере представлен на рис.5. Максимальное значение 6,96 кН.



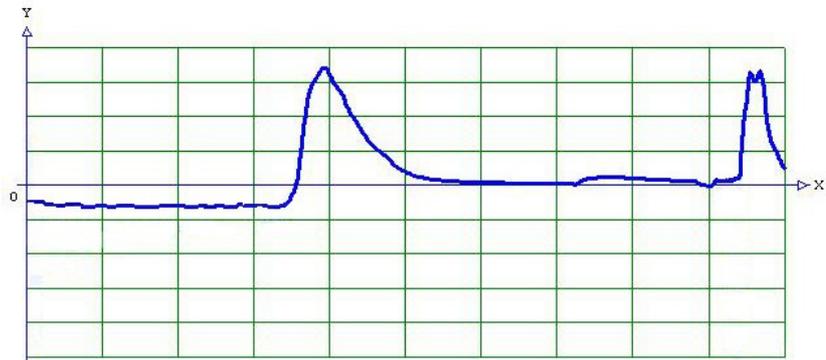
Рис. 5. График усилия в гидравлическом буфере

Скорость и ускорение узла контактирующего с гидравлическим буфером представлены на рис.6.

Аргумент: время  $t$  (с)  
 $t_{\min}=0, t_{\max}=4$



$Y = U_Z$  - угловая скорость (1/с) вокруг оси  $OZ$  в узле 30  
 $Y_{\min}=-0,351028 \quad Y_{\max}=0,00194426$



$Y = W_Z$  - угловое ускорение (1/с<sup>2</sup>) вокруг оси  $OZ$  в узле 30  
 $Y_{\min}=-0,948988 \quad Y_{\max}=0,647081$

Рис. 6. Скорость и ускорение узла контактирующего с гидравлическим буфером  
Минимальный коэффициент запаса конструкции по возникающим напряжениям  
 $K=1,89$ .

График экспериментальных значений усилия в гидравлическом буфере  
представлен на рис.5.

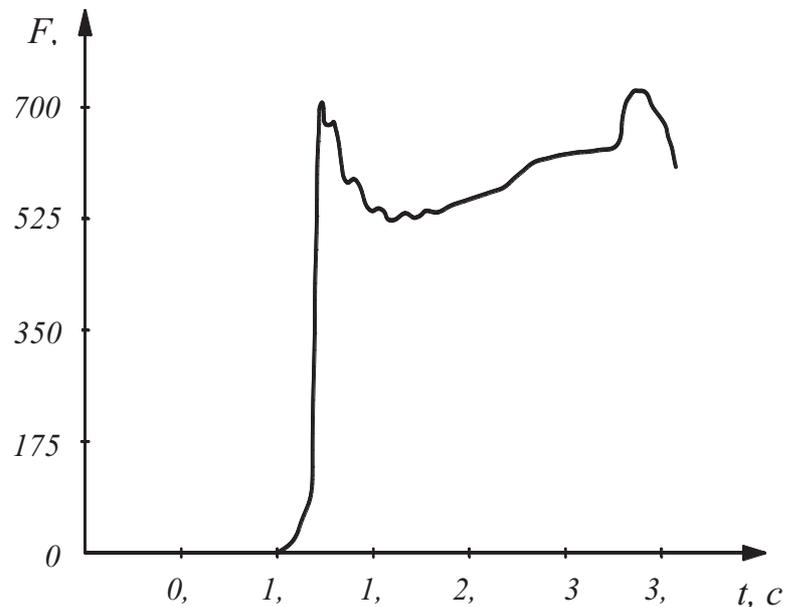


Рис. 5. График экспериментальных значений усилия в  
гидравлическом буфере

Вывод:

В данном исследовании провели моделирование отвода КЗМ. Расчётная модель адекватно отображает упруго массовую структуру и инерциальную характеристику реальной конструкции. Получены напряжения в конструкции и усилия в гидробуфере.

### Список литературы

1. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975. 318 с.
2. Метод суперэлементов в расчетах инженерных сооружений./ Постнов В.А. [и др.] Л.: Судостроение, 1979. 288 с.
3. Курков С.В. Метод конечных элементов в задачах динамики механизмов и приводов. - СПб.: Политехника, 1991. 224с.