

Аэрокосмический научный журнал

Сетевое научное издание
МГТУ им. Н.Э. Баумана
<http://aerospjournal.ru>

Ссылка на статью:

// Аэрокосмический научный журнал.
МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016.
№ 03. С. 1–10.
DOI: **10.7463/aersp.0316.0843104**

Представлена в редакцию: 06.04.2016
Исправлена: 20.04.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 629.7.085

Определение жесткости подвески груза в транспортно-установочных агрегатах

Зверев В. А.^{1,*}, Ломакин В. В.¹

* zverev_vadim@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Работа посвящена определению жесткости подвески груза в агрегатах, предназначенных для выполнения транспортно-установочных технологических операций на стартовых комплексах различного назначения. В работе приведены конструктивные схемы и динамические модели подвески груза, а так же алгоритм определения ее жесткости. Основное внимание в работе уделено определению жесткости полиспастного механизма подвески груза. Оценка жесткости полиспастного механизма проводилось путем формирования его конечноэлементной модели и определения перемещения ее характерных точек под действием тестовой нагрузки. Предложенный алгоритм определения жесткости подвески груза позволит упростить модель системы агрегат-груз для исследования динамических процессов, возникающих в процессе опускания и экстренного торможения груза, и корректно определить перегрузки, возникающие в системе.

Ключевые слова: стартовый комплекс, транспортно-установочный агрегат, жесткость, полиспастный механизм, программный комплекс "Зенит-95"

Одними из важнейших агрегатов стартовых комплексов являются агрегаты, предназначенные для выполнения транспортно-установочных технологических операций с грузами различного назначения [1]. При проектировании несущих конструкций данных агрегатов одним из расчетных случаев является случай опускания груза. Расчет несущих конструкций агрегатов невозможен без исследования динамических процессов, возникающих в процессе опускания и экстренного торможения груза. Итогом таких исследований в частности может стать определение параметров движения груза и перегрузок, возникающих в динамической системе агрегат-груз. Эти параметры во многом определяют характеристики несущих конструкций ТУА и его конструктивный облик в целом. Поэтому расчет данных параметров необходимо проводить максимально корректно.

Одним из необходимых факторов корректного определения параметров движения груза при его опускании и экстренном торможении является учет жесткости системы агрегат-груз. Жесткость системы агрегат-груз определяется как жесткостью несущих конструкций агрегата, так и жесткостью подвески груза. Жесткость несущих конструкций не

требует специального расчета, т.к. она может быть получена в результате создания их конечноэлементных моделей [2], необходимых для динамического расчета. Получение таких моделей в настоящее время не является очень сложной задачей при наличии соответствующего программного обеспечения.

Подвеска груза, как правило, состоит из нескольких элементов - исполнительного механизма опускания груза, полиспастного механизма, каната, траверсы и тяг. Прямой учет всех этих элементов в динамической конечноэлементной модели агрегат-груз весьма затруднителен и ведет к значительному усложнению модели. Представляется, что удобнее определять жесткость подвески отдельно, а затем вставлять в модель системы агрегат-груз элемент эквивалентной жесткости.

В качестве примера рассмотрим подвеску груза, которая состоит из гидроцилиндра подъема/опускания груза, полиспастного механизма, двух ветвей каната, траверсы и тяг подвески груза (рис.1).

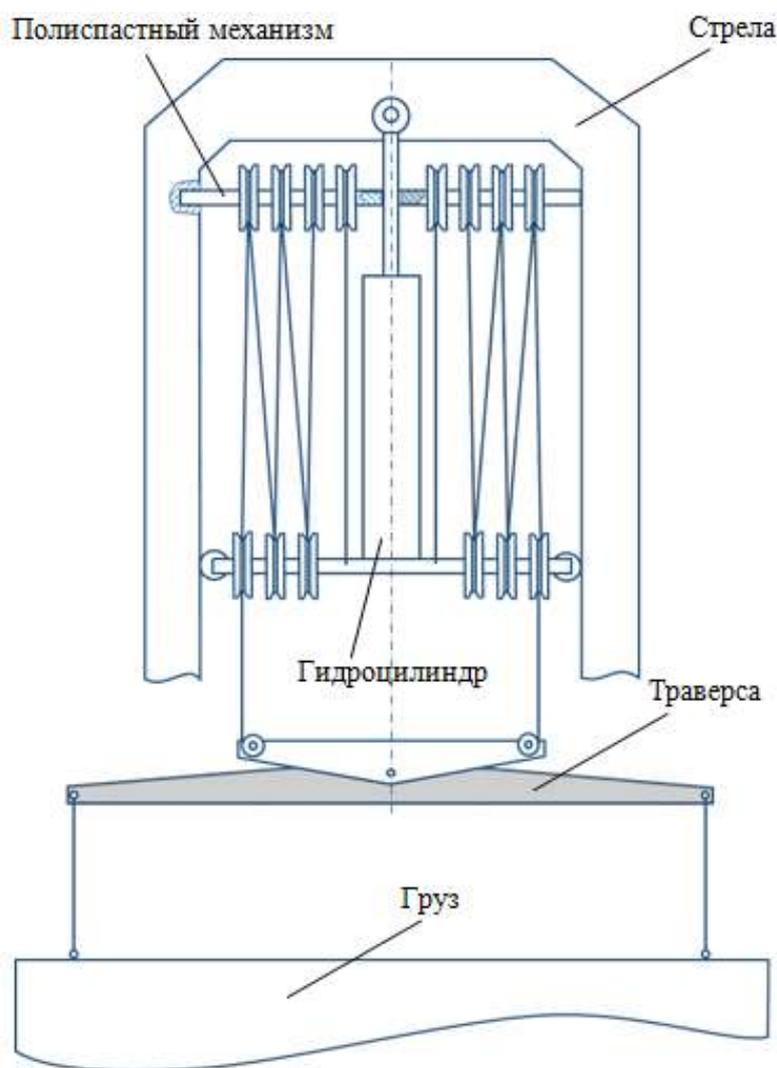


Рис. 1. Конструктивная схема подвески груза

Динамическая модель подвески груза может быть представлена в виде, показанном на рис. 2.

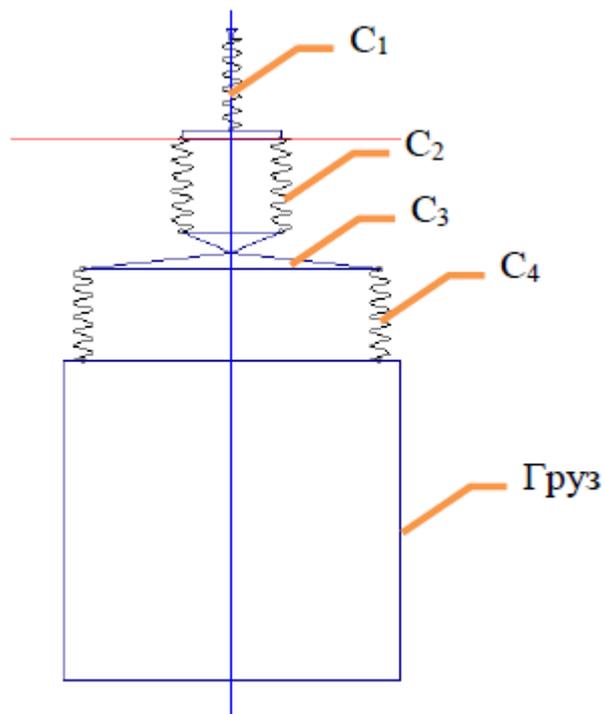


Рис. 2. Динамическая схема подвески груза

На рис.2 показаны жесткости следующих элементов:

- C_1 – гидроцилиндра подъема/опускания груза;
- C_2 – каната и полиспаста;
- C_3 – траверса;
- C_4 – тяги подвески груза.

Общая жесткость подвески изделия (C) может быть рассчитана по формуле:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{2 \cdot C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}. \quad (1)$$

Учитывая, что жесткость гидроцилиндра подъема/опускания изделия, а также тяг подвески изделия существенно больше всех остальных рассматриваемых жесткостей, жесткостью C_1 и C_4 можно пренебречь. Тогда формула (1) примет вид:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{2 \cdot C_2} + \frac{1}{C_3}. \quad (2)$$

Так как канат и полиспаст включены последовательно, то их общая жесткость будет вычисляться по формуле:

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_{\text{полиспаст}}} + \frac{1}{C_{\text{канат}}},$$

где $C_{\text{полиспаст}}$ - жесткость полиспаста,

$C_{\text{канат}}$ - жесткость каната,

Жесткость каната можно получить, используя зависимость:

$$C_{\text{канат}} = \frac{E \cdot F}{L},$$

где E – модуль упругости каната,

F – расчетная площадь всех проволок каната,

L – длина одной ветви каната.

Для определения жесткости полиспастного механизма необходимо определить смещение его характерных точек под заданной нагрузкой. В качестве примера на рис.3 приведена конструктивная схема 8-ми кратного полиспастного механизма.

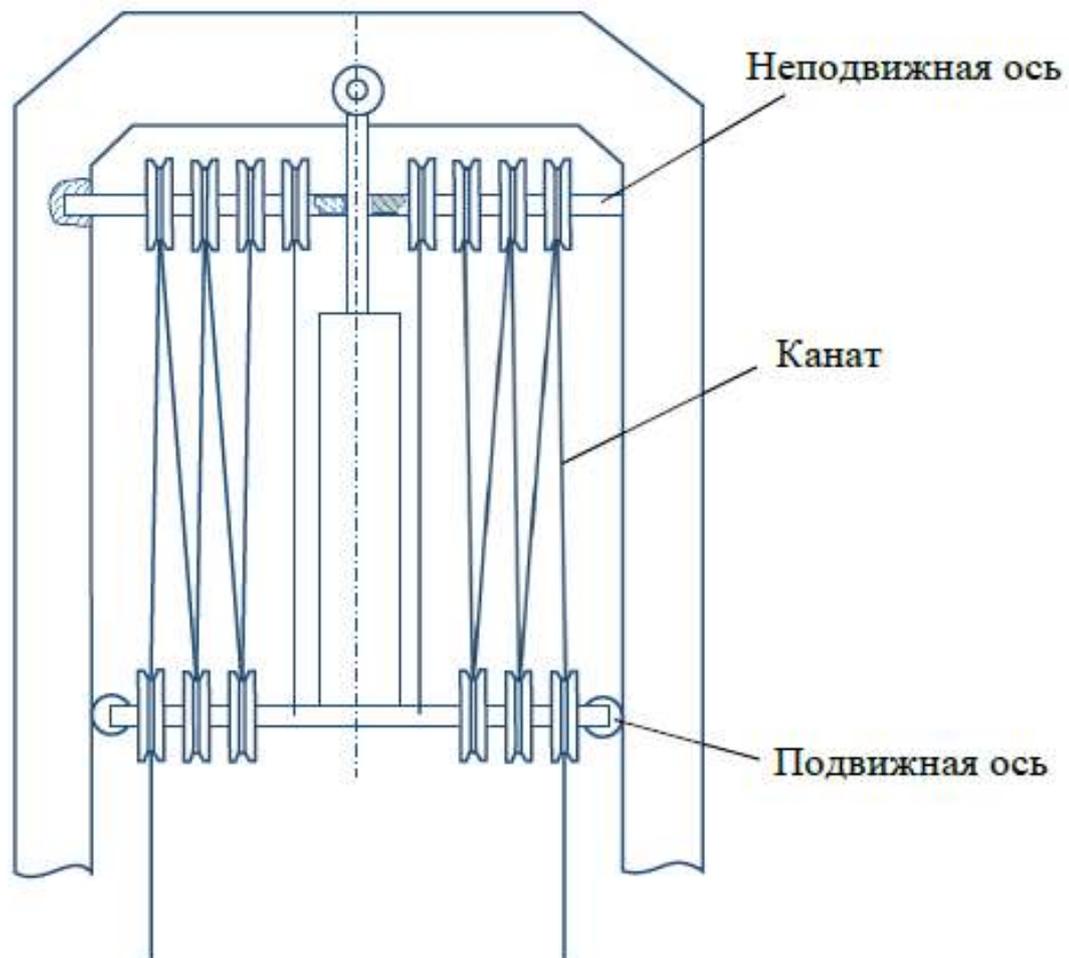


Рис. 3. Конструктивная схема 8-ми кратного полиспастного механизма

На рис. 4 расчетная модель одной ветви полиспастного механизма (поскольку он является симметричным). Модель создана при помощи программного комплекса «Зенит-95» [3], [4].

Верхний набор стержневых элементов моделирует верхнюю подвижную ось полиспаста, а нижний – соответственно нижнюю неподвижную.

Принимаются следующие способы закрепления: узлы слева - жесткая заделка; узел справа сверху – закрепление по горизонтальной оси, так как на этом конце в механизме установлен ролик; узел справа внизу – жесткая заделка.

Стрелками на рис. 4 показаны нагрузки от натяжения каната, действующие на оси полиспаста. Таким образом посчитав смещение точек приложения усилий каната можно будет определить на сколько сместиться вниз изделие.

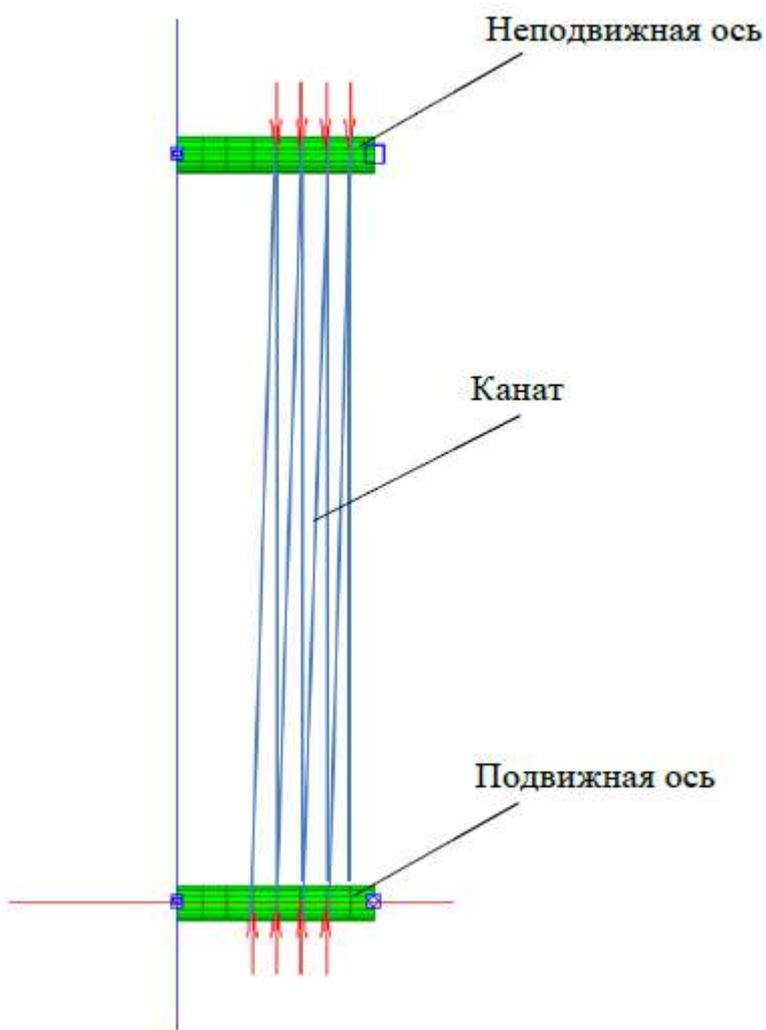


Рис. 4. Расчетная схема для определения жесткости полиспастного механизма

На рисунке 5, 6 показана нумерация узлов расчетной схемы полиспастного механизма.

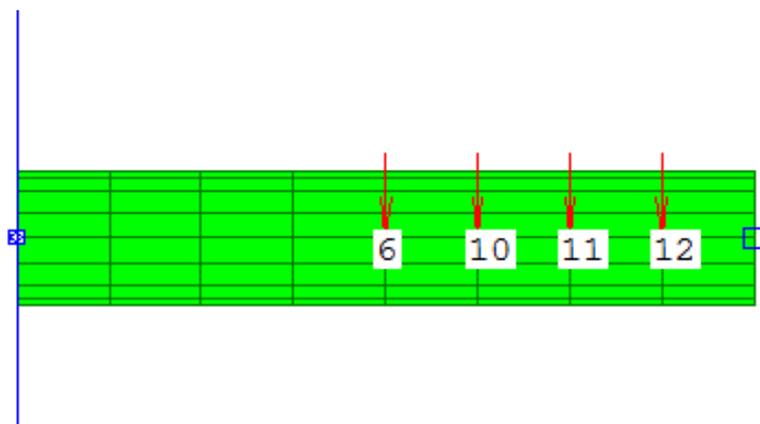


Рис. 5. Нумерация узлов модели верхней (подвижной) оси полиспаста

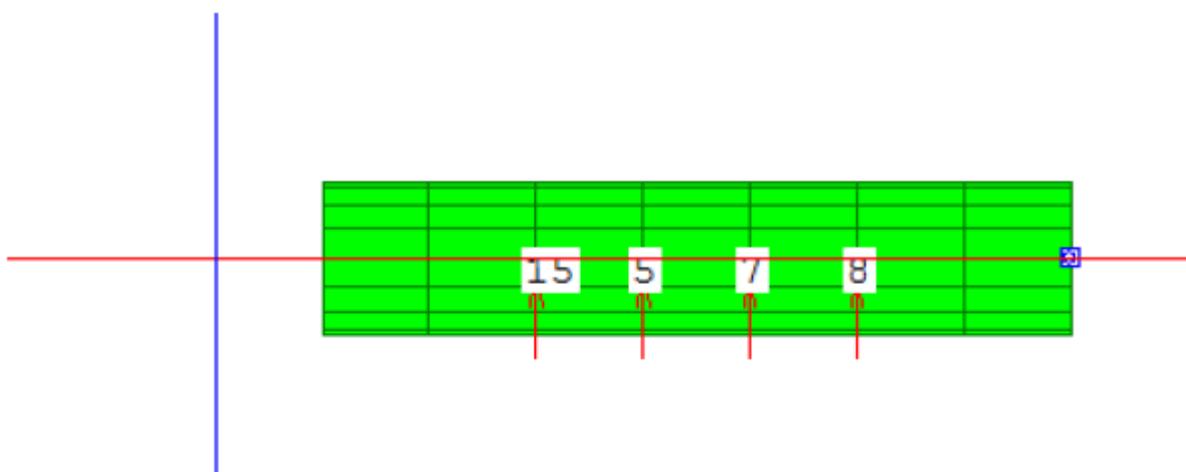


Рис. 6. Нумерация узлов модели нижней (неподвижной) оси полиспаста

Задавая тестовые нагрузки на оси полиспаста, равными 1 Н (т.е. принимается, что вес опускаемого груза равен 1 Н) можно получить перемещения характерных точек расчетной схемы, приведенной на рис.4...6.

Общее смещение точки подвеса груза Δ_{1H} при его весе 1 Н можно рассчитать по формуле:

$$\Delta_{1H} = 2 \cdot q_6 + 2 \cdot q_{10} + 2 \cdot q_{11} + 2 \cdot q_{12} - q_{15} - 2 \cdot q_5 - 2 \cdot q_7 - 2 \cdot q_8,$$

где $q_6, q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{15}, q_5, q_7, q_8$ – перемещения характерных точек расчетной схемы, приведенной на рис.4...6.

Зная общее смещение подвеса груза можно определить жесткость полиспастного механизма:

$$C_{\text{полиспаст}} = \frac{I}{\Delta_{IH}}$$

Для определения жесткости траверсы C_3 достаточно создать ее конечноэлементную модель и рассчитать перемещение характерной точки под действием тестовой нагрузки.

В качестве примера рассмотрим модель траверсы, созданную на основе пластинчатых конечных элементов при помощи ПК «Зенит-95» (см. рис.7). Поскольку траверса симметрична и нагрузка на нее также симметрична возможно использование условия симметрии и моделировать лишь половину траверсы.

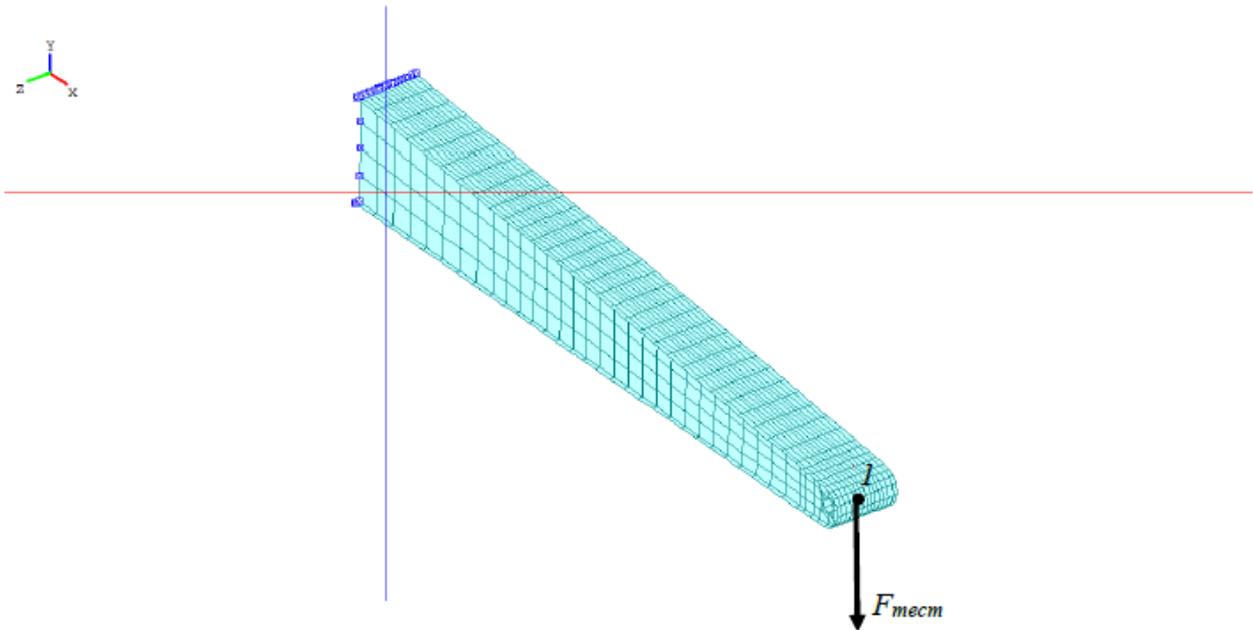


Рис. 7. Модель траверсы

Прикладывая тестовую нагрузку $F_{\text{тест}} = 1$ Н, получим смещение точки 1. Жесткость траверсы C_3 будет равна :

$$C_3 = \frac{I}{|q_{1Y}|},$$

где q_{1Y} – вертикальное перемещение точки 1 модели траверсы под действием тестовой нагрузки.

Зная жесткости полиспастного механизма (с канатом) и траверсы, общую жесткость подвески груза можно определить по формуле (1).

Автономный расчет жесткости подвески груза позволит в дальнейшем упростить динамическую модель системы агрегат-груз, т.к. позволит заменить рассмотренную схему подвески груза на простой элемент эквивалентной жесткости. При этом учет жесткости подвески груза позволит корректно определить параметры движения груза при его опус-

кании или подъеме с учетом возможного экстренного торможения, а, следовательно, позволит корректно определить перегрузки, возникающие в системе агрегат-груз.

Список литературы

1. Бирюков Г.П., Манаенков Е.Н., Левин Б.К. Технологическое оборудование отечественных ракетных комплексов: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.С. Фадеева, А.В. Торпачева. М.: 2012. 600 с.
2. Батэ К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Озон, 2012. 445 с.
3. Зенит-95: Официальный сайт производителя. Режим доступа: <http://www.mmf.spbstu.ru/zenit/> (дата обращения 15.01.2016).
4. Курков С.В. Метод конечных элементов в задачах динамики механизмов и приводов. СПб.: Политехника, 1991. 224 с.

Determination of Weight Suspension Rigidity in the Transport-Erector Aggregates

V.A. Zverev^{1,*}, V.V. Lomakin¹

[*zverev_vadim@mail.ru](mailto:zverev_vadim@mail.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: launch complex, transport-erector aggregate, rigidity, polyspast mechanism, software complex "Zenith 95"

The aim is to determine weight suspension rigidity in aggregates designed to perform technological transport-erector operations at the miscellaneous launch complexes.

We consider the weight suspension comprising the following distinctive structural components: the executive weight-lowering mechanism, polyspast mechanism, rope, traverse, and rods. A created structural dynamic model of suspension allowed us to define weight suspension rigidity. Within the framework of design analysis of a dynamic model we determined the rigidity of its structural units, i.e. traverse, rope, and polyspast.

Known analytical relationships were used to calculate the rope rigidity. To determine rigidity of polyspast and traverse have been created special models based on the finite element method. For each model deformation in the specific points under the test load have been defined. Data obtained were used to determine rigidity of traverses and polyspast, and also rigidity of suspension in total. The rigidity models of polispast mechanism and traverse have been developed and calculated using the software complex "Zenit-95".

As the research results, the paper presents a dynamic model of the weight suspension of the transport-erector aggregate, the finite element models of the polispast mechanism and traverse, an algorithm for determining the weight suspension rigidity and relevant analytical relationships.

Independent calculation of weight suspension rigidity enables us to simplify further dynamic calculation of the aggregate-weight system because it allows attaining a simpler model of the aggregate-weight system that uses the weight suspension model as an element of equivalent rigidity. Despite this simplification the model allows us to determine correctly weight movement parameters and overloads in the aggregate-weight system in the process of technical operations.

References

1. Biryukov G.P., Manaenkov E.N., Levin B.K. *Tekhnologicheskoe oborudovanie otechestvennykh raketnykh kompleksov* [Technological equipment of Russian missile complexes]. Moscow, 2012. 600 p. (in Russian).

2. Bate K., Vilson E. *Chislennye metody analiza i metod konechnykh elementov*. [Numerical methods of analysis and finite element method]. Moscow, Ozon Publ., 2012. 445 p. (in Russian).
3. Zenit-95: website. Available at: <http://www.mmf.spbstu.ru/zenit/>, accessed 15.01.2016. (in Russian).
4. Kurkov S.V. *Metod konechnykh elementov v zadachakh dinamiki mekhanizmov i privodov*. [Finite element method in problems of dynamics of mechanisms and drives]. SPb., Politekhnik Publ., 1991. 224 p. (in Russian).