

Ульяненко Александр Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Стартовые ракетные комплексы», Московский государственный

технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Ужовская Ксения Васильевна, студент кафедры «Стартовые ракетные комплексы», Московский государственный технический университет им. Н.Э.

Баумана, г. Москва

E-mail: vstrechnica@mail.ru

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ НАЗНАЧЕНИИ КООРДИНАТ УЗЛОВ КРЕПЛЕНИЯ ГИДРОЦИЛИНДРОВ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА АГРЕГАТОВ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация: Исторически сложилось, что западный и советский (а сейчас и российский) подходы к развитию космической отрасли порой принципиально отличаются друг от друга, что породило множество нестандартных инженерных решений, давших в итоге толчок в развитии не только космонавтики в целом, но и других инженерных отраслей. Например, в Советском Союзе, а теперь и в России, в отличие от западных коллег, ракеты традиционно собирались и испытывались в горизонтальном положении. Транспортировка ракеты на стартовую позицию осуществлялась силами транспортного или транспортно-установочного агрегата, где ракета переводилась в вертикальное положение и устанавливалась на опоры пускового устройства. Основным устройством, осуществляющим подъем изделия и его перевод из горизонтального в вертикальное положения, является механизм подъема в виде одного или нескольких гидроцилиндров. На этапе проектирования транспортно-установочного агрегата неизбежно встает вопрос о расположении узлов крепления гидроцилиндра. В данной работе рассматривается задача определения рационального положения гидроцилиндров на раме и стреле при заданной

внешней нагрузке в виде ракеты и стрелы установочного агрегата и минимальном количестве исходных данных.

Ключевые слова: установочный агрегат, механизм подъема, гидроцилиндр.

Annotation: Historically, Western and Soviet (and now Russian) approaches to the development of the space industry sometimes differ fundamentally from each other, which gave rise to many non-standard engineering solutions, that eventually gave impetus to the development of not only cosmonautics in general, but also other engineering industries. For example, in the Soviet Union, and now in Russia, unlike Western colleagues, missiles were traditionally assembled and tested in a horizontal position. The rocket was transported to the launch site by the forces of the transport or transport and installation unit, where the rocket was transferred to a vertical position and installed on the launcher legs. The main device that lifts the rocket and transfers it from a horizontal to a vertical position is a lifting mechanism in the form of one or more hydraulic cylinders. The question of the hydraulic cylinder location attachment points inevitably arises at the transport and installation unit design stage. This article considers the problem of determining the rational position of hydraulic cylinders on the frame and boom at a given external load in the form of a rocket and installation unit boom and a minimum amount of initial data.

Keywords: installation unit, verticalization mechanism, hydraulic cylinder.

В отечественной практике ракету из технического комплекса на стартовую позицию принято доставлять в горизонтальном положении [1, 2, 3, 4]. Для этих целей используют либо транспортную тележку, либо транспортно-установочный агрегат. В любом из этих случаев для установки ракеты на пусковое устройство требуется перевести ее из горизонтального в вертикальное положение. Для этой цели, чаще всего, используются механизмы подъема, состоящие из одного или нескольких телескопических гидроцилиндров. Гидроцилиндры (ГЦ) представляют собой достаточно сложные и дорогие конструкции. От места их установки зависит как параметры механизма подъема

(количество ГЦ, их размеры, количество ступеней) так и конструкция других составных элементов транспортно-установочных (ТУА) или подъемно-установочных агрегатов (ПУА). Это объясняется тем, что узлы крепления гидроцилиндров испытывают большие нагрузки при своей работе.

Ввиду важности определения координат установки узлов гидроцилиндров этому вопросу посвящены работы [6, 7, 8, 9, 10]. В представленной работе предлагается методика выбора координат узлов крепления ГЦ исключительно с геометрической точки зрения. А именно, будем исходить из того, что ГЦ механизма подъема должны обеспечивать подъем ракеты из горизонтального в вертикальное положение с минимальными параметрами отдельного ГЦ. Под такими параметрами понимаются количество ступеней, а также продольные и поперечные размеры конструкции. Решение этой задачи во многом определяется грузовым моментом поднимаемой конструкции, а также конструктивными возможностями размещения узлов крепления.

В работе [6] показано, что грузовой момент изменяется в зависимости от угла подъема. А именно, его значение максимально в начале подъема и меняет свой знак в конце подъема. Это означает, что гидроцилиндр должен иметь возможность создавать момент, превышающий грузовой момент в начале подъема, а также удерживающий момент в конце подъема. И желательно соблюсти указанные требования с минимальными параметрами конструкции ГЦ такими как количество ступеней, начальная длина и наружный диаметр.

Представляется разумным начинать проектирование ТУА и ПУА именно с решения вопроса с местами установки узлов крепления ГЦ. Но на этом этапе значение грузового момента точно определить невозможно, т.к. нет ясности с параметрами поднимаемой конструкции. Поэтому предлагается значения этого момента назначать, в первом приближении, в долях момента от ракеты горизонтальном положении относительно оси вращения. Его можно определить по следующей формуле:

$$M_{гр} = m_{рн} \cdot X_{цм} \cdot g, \quad (1)$$

где $m_{рн}$ — масса ракеты;

$X_{\text{цм}}$ – положение центра масс ракеты относительно оси вращения;

g – ускорение свободного падения.

Тогда грузовой момент в начале подъема приближенно можно принять

$$M_{\text{гр}} = k \cdot m_{\text{ракета}} \cdot X_{\text{цм}} \cdot g, \quad (2)$$

где $k = 2 \dots 4$ для ТУА и $3 \dots 5$ для ПУА.

В последствии это значение может быть уточнено при назначении параметров конструкции поднимаемой конструкции.

Для определения необходимых параметров ГЦ, способных начать подъем ракеты нужно знать величину усилия в ГЦ и его плечо относительно оси вращения. Указанные значения зависят от расположения узлов крепления ГЦ.

Для выявления этих зависимостей воспользуемся расчетной схемой на рис.

1.

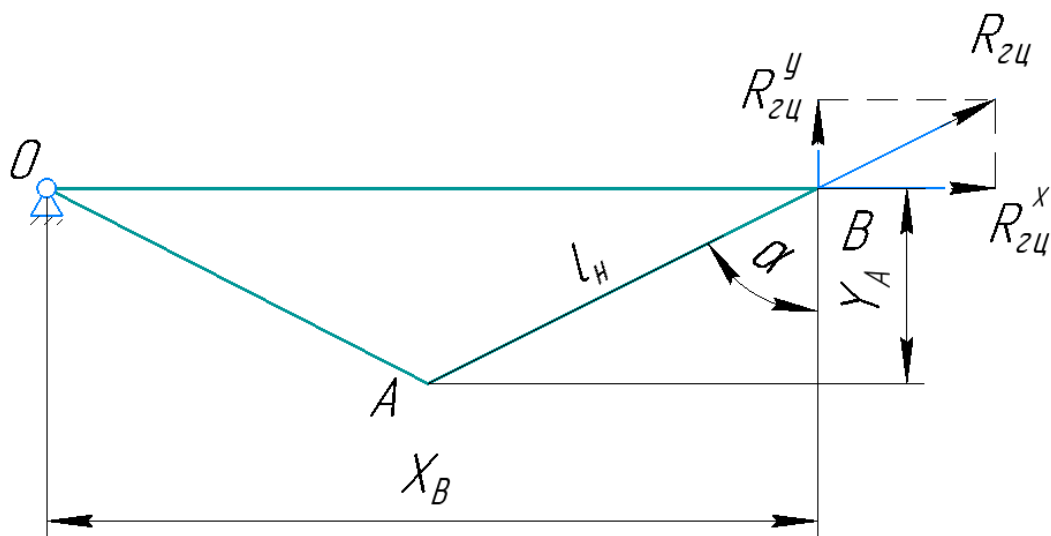


Рисунок 1 – Расчетная схема в горизонтальном положении

На рисунке нижняя точка ГЦ А имеет координаты X_A и Y_A , верхняя точка ГЦ имеет координату X_B , а $Y_B=0$, т.к. предполагаем, что она лежит на оси стрелы, проходящей через ось вращения.

Тогда величину начальной длины ГЦ и плечо усилия ГЦ относительно оси вращения можно определить по следующим формулам:

$$l_H = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + Y_A^2} \quad (3)$$

$$h_{\text{ГЦ}} = \frac{y_A}{l_H} \cdot X_B \quad (4)$$

Для того, чтобы определиться с количеством ступеней ГЦ нужно также знать и его конечную длину. На рис. 2 приведена схема поясняющая расчет конечной длины ГЦ.

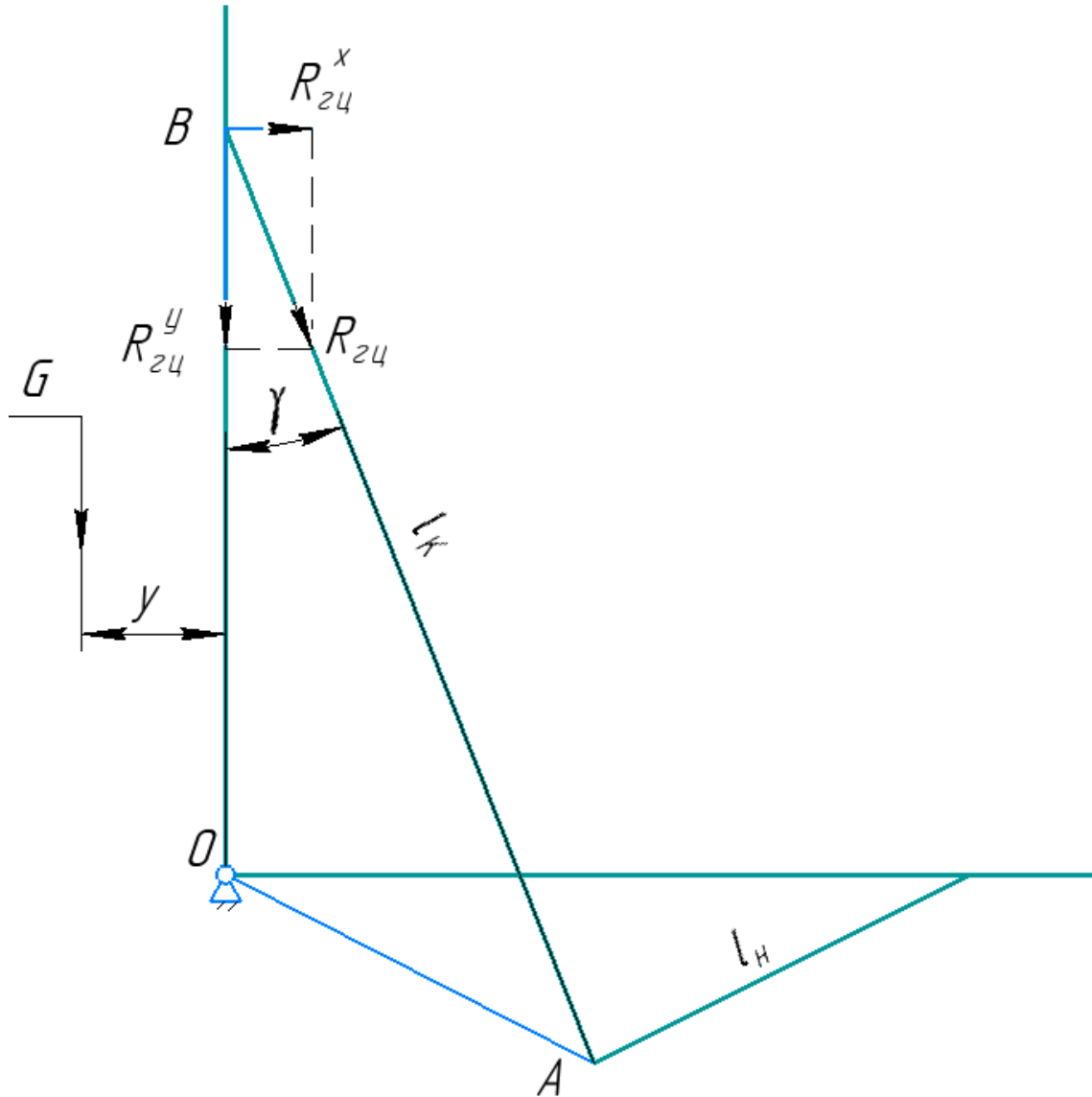


Рисунок 2 – Расчетная схема в вертикальном положении

Тогда конечная длина ГЦ будет

$$l_K = \sqrt{(X_B + Y_A)^2 + X_A^2} \quad (5)$$

От соотношения конечной и начальной длин ГЦ зависит количество его ступеней. А именно, при отношении меньше 1.8 можно применить одноступенчатый ГЦ, от 1.8 до 2.5 – двухступенчатый и от 2.5 до 3.4 –

трехступенчатый /5/.

Определим теперь зависимость усилия, создаваемого ГЦ от его начальной длины. Это усилие определяется по формуле

$$N_{max_{гор.}} = \frac{\pi D_{п}^2}{4} \eta P, \quad (6)$$

где $D_{п}$ – диаметр поршня;

η – механический к.п.д. гидроцилиндра;

P – давление в гидросистеме.

Исходя из статистических данных соотношений конструктивных размеров, применяемых в ГЦ, можно принять, что $D_{п} = \frac{l_{н}}{8...10}$. В запас расчете можно принять в знаменателе 10. Давление в гидросистемах подобного типа могут составлять 20...25 МПа. В запас расчета можно принять $p=20$ МПа. Тогда график искомой зависимости будет иметь вид, приведенный на рис. 3.

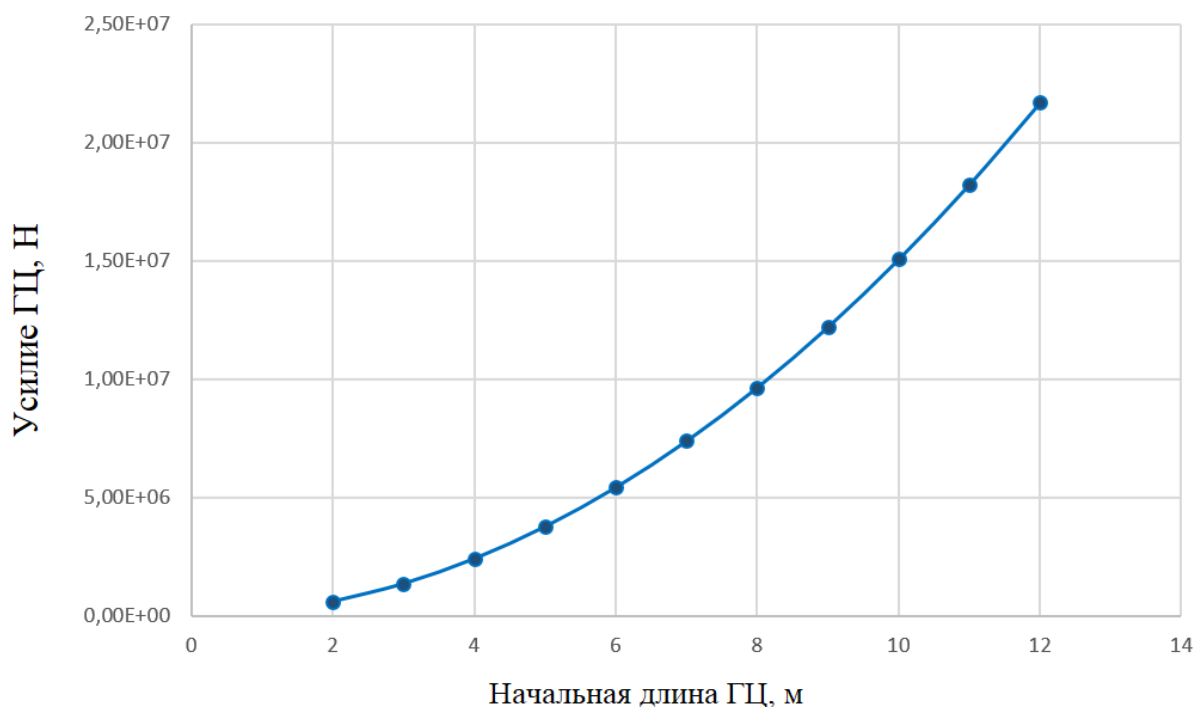


Рисунок 3 – Зависимость усилия ГЦ от его начальной длины

Для того, чтобы параметры требуемого ГЦ были минимальными, нужно из возможных вариантов координат узлов выбирать такие, при которых усилие от ГЦ в горизонтальном положении будет иметь максимальное плечо.

Таким образом, можно установить зависимость максимального плеча ГЦ от начальной длины по следующему алгоритму, заложенному в вычислительную программу:

- Задаются исходные данные. В качестве исходных данных задаются пределы изменения координат узлов крепления ГЦ и шаг их изменения, а также количество ступеней ГЦ и его предельная начальная длина.

- Организуется перебор всех возможных комбинаций координат узлов ГЦ. Для каждой комбинации по формуле (3) определяется величина начальной длины ГЦ. Если полученная начальная длина больше указанного в исходных данных значения, то дальнейшие расчеты для этой комбинации не проводятся.

- Вычисляется конечная длина ГЦ по формуле (5).

- Определяется отношение конечной длины к начальной. Если полученная величина больше значения соответствующего заданному количеству ступеней, то эта комбинация также в дальнейшем расчете не участвует.

- Для комбинаций координат узлов ГЦ, прошедших описанные выше условия, определяется значение плеча усилия ГЦ относительно оси вращения по формуле (4).

- Из всех полученных значений плеч ГЦ в горизонтальном положении выбирается максимальное.

Таким образом, можно получить зависимость плеча ГЦ в начале подъема от его начальной длины. Характер такой зависимости приведен на рис. 4.

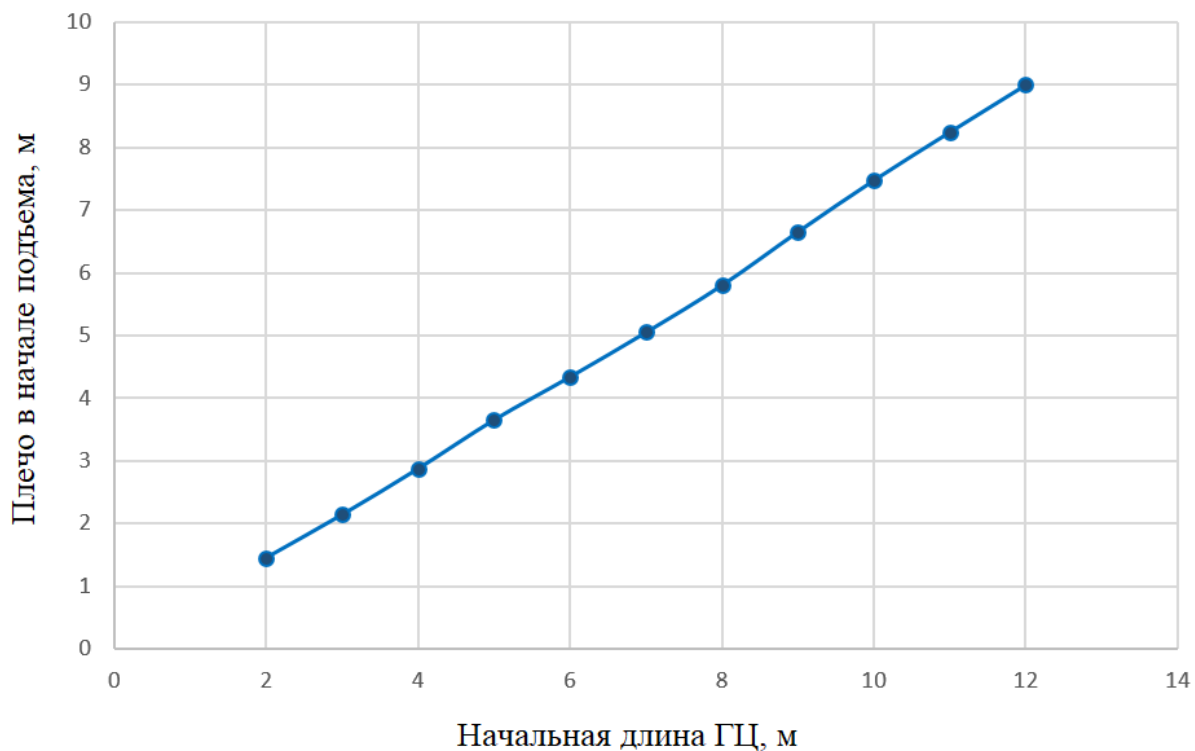


Рисунок 4 – Зависимость плеча ГЦ от его начальной длины

Данные рис. 3 и рис. 4 позволяют получить и график зависимости момента, создаваемого ГЦ от его начальной длины. Примерный вид такой зависимости приведен на рис. 5.

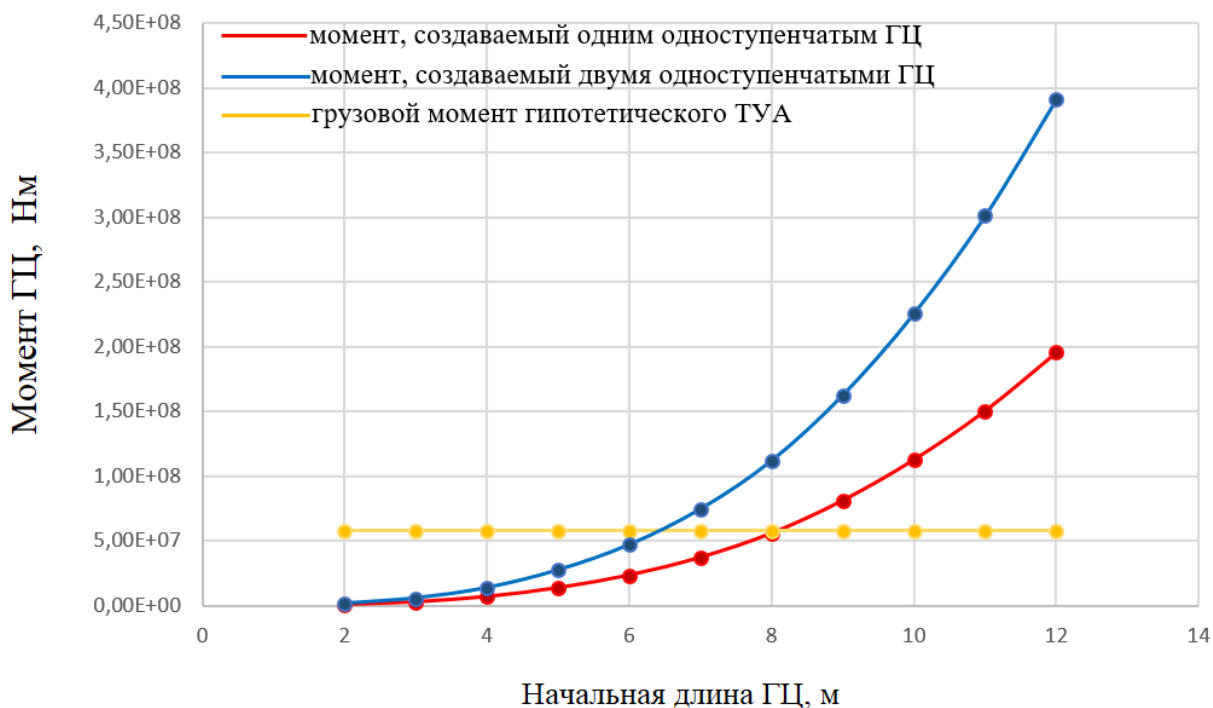


Рисунок 5 – Зависимость момента усилия ГЦ от его начальной длины

На этом рисунке также отмечен уровень грузового момента поднимаемой конструкции гипотетического ТУА.

Приведенные графики позволяют сделать следующие выводы:

- при использовании в качестве МП одного одноступенчатого ГЦ, его начальная длина должна быть более 8 м,
- для двух одноступенчатых ГЦ, его начальная длина должна быть более 6 м.

Такой подход к определению нижней границы начальной длины можно применить и для любого количества ГЦ в составе МП ТУА, а также и для любого количества двух/трехступенчатых ГЦ.

По мнению авторов, такой подход можно применять в качестве первого приближения при назначении узлов крепления ГЦ. Это помогает более обосновано разрабатывать конструкцию стрелы и рамы ТУА с учетом рекомендаций по креплению на них узлов ГЦ. Приведенный алгоритм удобен тем, что его несложно автоматизировать, благодаря минимальному числу входных данных.

При окончательной проработке несущей конструкции стрелы ТУА целесообразно уточнить величину грузового момента поднимаемой конструкции и, при необходимости, скорректировать координаты узлов крепления ТУА.

Библиографический список:

1. Бармин И.В., и др. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. Книга 1. М.: Изд-во Полиграфик РПК, 2005. 416 с.

2. Бармин И.В., и др. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. Книга 2. М.: Изд-во Полиграфик РПК, 2006. 375 с.

3. Бармин И.В., и др. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. Книга 3. М.: Изд-во Полиграфик РПК, 2012. 251с.

4. Бирюков Г.П., Манаенков Е.Н., Левин Б.К. Технологическое оборудование отечественных ракетно-космических комплексов: учеб. пособие для вузов; под ред. А.С. Фадеева, А.В. Торпачева. М.: Изд-во Рестарт, 2012. 600 с.
5. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин. М.: Машиностроение. 1983, 301 с.
6. Игрицкий В.А. Оптимизационный расчет параметров гидромеханического механизма подъема: методические указания к выполнению домашнего задания по дисциплине Проектирование мобильных установок. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 21 с.
7. Игрицкий В.А., Игрицкая А.Ю., Зверев В.А. МЕТОДИКА ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПРИВОДОВ ПОДЪЕМА РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. М.: Инженерный журнал Наука и инновации. 2020, 11 с.
8. Мелик-Гайказов В.И., Подгорный Ю.П., Самусенко М.Ф., Фалалеев П.П. Гидропривод тяжелых грузоподъемных машин и самоходных агрегатов. М.: Машиностроение, 1968. 264 с.
9. Новожилов Б.М. Гидравлические механизмы подъема для установочных агрегатов. М.: Изд-во Аэрокосмический научный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016, №6. С. 15-25.
10. Новожилов Б.М. Расчет гидравлического привода механизма подъема стрелы с грузом: метод. указания к выполнению домаш. задания по курсу Стационар. системы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1985. 20 с.