

Игрицкая А.Ю.,

студент 5 курса

кафедра "Стартовые ракетные комплексы"

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, г. Москва

Зверев В.А.,

доцент кафедры "Стартовые ракетные комплексы"

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, г. Москва

Игрицкий В.А.,

кандидат технических наук,

доцент кафедры "Стартовые ракетные комплексы"

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, г. Москва

МЕТОДИКА ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПРИВОДОВ ПОДЪЕМА РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация: В статье предложена методика графоаналитического расчета оптимальных геометрических параметров гидравлического привода механизма подъема ракет космического назначения, позволяющая при заданных параметрах гидроцилиндра подъема в большинстве практически важных случаев получать значения оптимального начального углового положения гидроцилиндра без применения методов перебора и спуска.

Ключевые слова: гидроприводы подъема, вертикализация ракет космического назначения, гидроцилиндр, параметры гидропривода.

THE METHODS OF GRAPHO-ANALYTICAL CALCULATION OF OPTIMAL GEOMETRICAL PARAMETERS OF VERTICALIZATION HYDRAULIC DRIVES FOR LAUNCH VEHICLES

Annotation: The article proposes a grapho-analytical calculation technique of the optimal geometric parameters of the launch vehicles jacking mechanism hydraulic drive, which allows to obtain the values of the optimal initial angular position of the specified hydraulic cylinder without the use of descent methods for the majority of practically important cases.

Key words: verticalization hydraulic drives, space rocket verticalization, hydraulic cylinder, hydraulic drive parameters

В настоящее время подъем ракет космического назначения (РКН) в вертикальное положение для пуска в подавляющем большинстве случаев проводится с использованием гидроприводов, где в качестве исполнительного механизма выступают один или несколько многоступенчатых гидроцилиндров. Зачастую оптимизация геометрических параметров гидроприводов подъема (в частности, задача определения оптимального положения гидроцилиндров подъема) проводится методами спуска или перебора [1, 2], требующими больших временных затрат и преодоления трудностей, связанных с наличием более, чем одного экстремума целевой функции. Учитывая это обстоятельство, а также то, что одной из задач государственной политики России в области космической деятельности является развитие существующих и создание новых ракетных комплексов[3], разработка улучшенных методик определения геометрических параметров гидроприводов установочных агрегатов является актуальной. В данной статье будет рассматриваться только наиболее распространенная схема механизма подъема, включающая только один или несколько установленных параллельно гидроцилиндров, непосредственно, без

дополнительных рычагов, соединяющих неподвижную и поворотную части установщика РКН, как показано на рисунке 1.

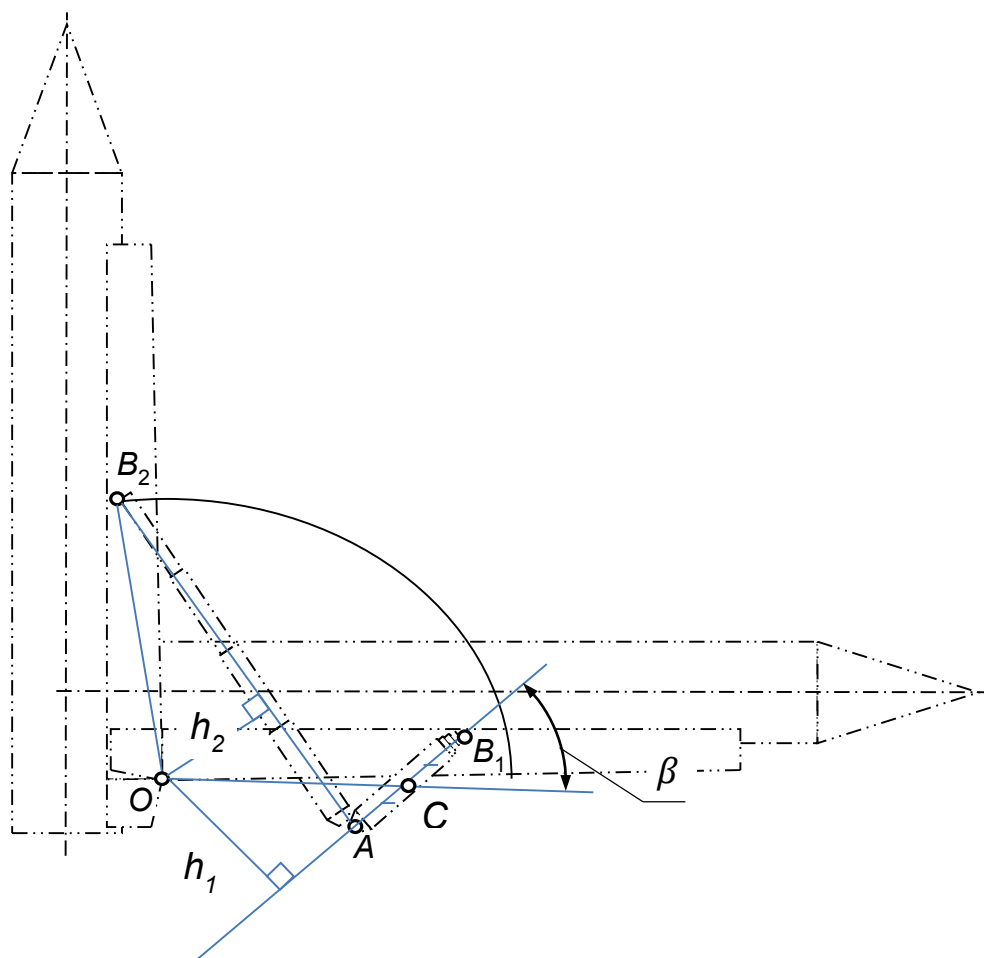


Рисунок 1. Расчетная схема механизма подъема

При подъеме РКН нагрузка, действующая на механизм подъема, определяется в основном весом поднимаемой конструкции (рисунок 2), а также ветровой нагрузкой (рисунок 3), действующей на нее. Остальные нагрузки пренебрежимо малы по сравнению с перечисленными выше, поэтому в работе не рассматриваются.

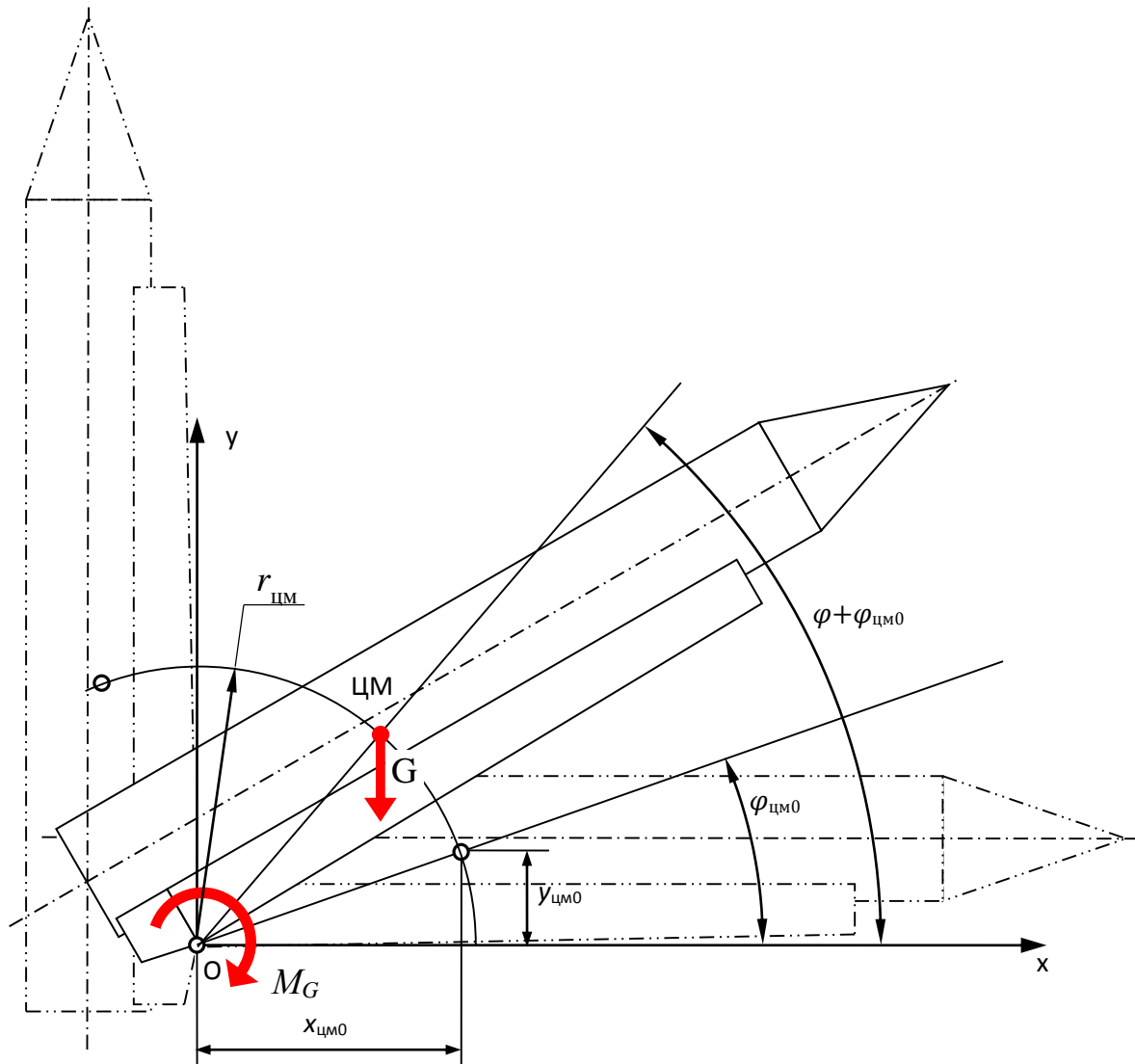


Рисунок 2. К расчету весовой нагрузки на механизм подъема

В общем случае ветровая нагрузка зависит от угла подъема, а также направления и скорости ветра, которые при расчете принимаются наихудшими из возможных, что соответствует максимальной скорости ветра в направлении подъема РКН [4].

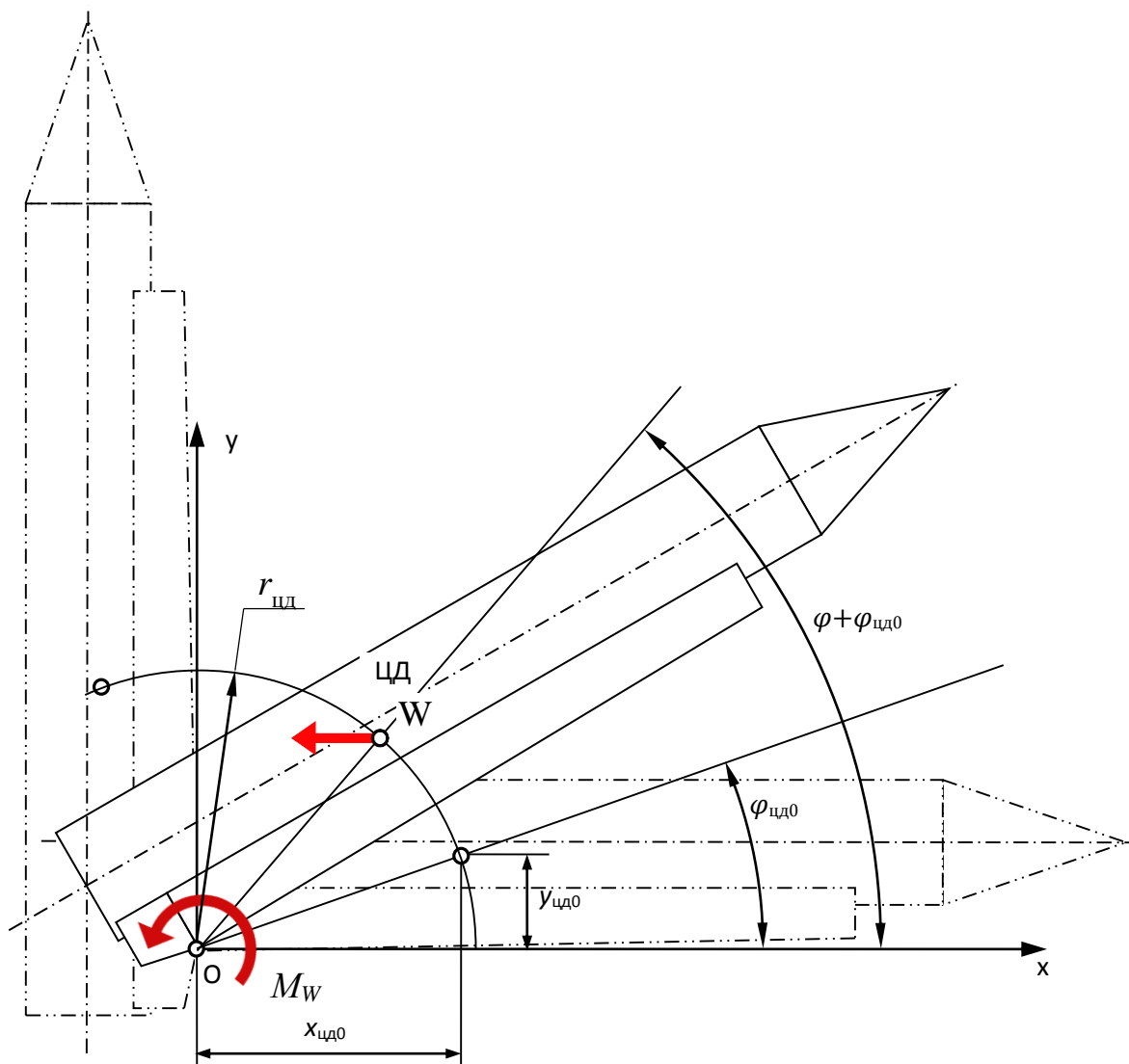


Рисунок 3. К расчету ветровой нагрузки на механизм подъема

В начале подъема РКН суммарный момент, воспринимаемый механизмом подъема (рисунок 4), принимает максимальное значение, а затем уменьшается по мере увеличения угла подъема. В конце подъема суммарный момент, воспринимаемый механизмом подъема, принимает экстремальные отрицательные значения, а сам угол подъема для РКН всегда составляет 90° . Также в большинстве практически важных случаев ограничения на геометрические параметры механизма подъема обусловлены только нагрузками в моменты начала и окончания подъема, а нагрузка на отдельный гидроцилиндр

должна определяться с учетом количества гидроцилиндров в механизме подъема и возможной неравномерности распределения нагрузок между ними.

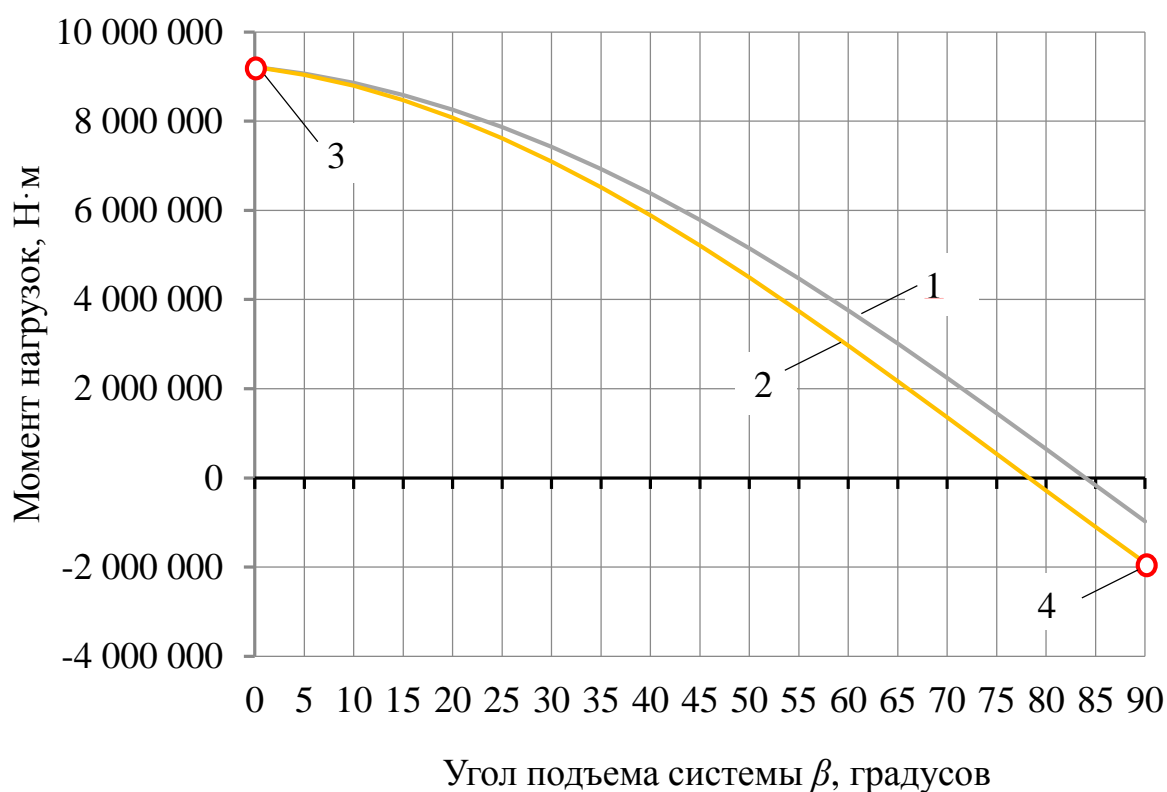


Рисунок 4. Типичный график зависимости момента нагрузок на систему от угла подъема системы

1; 2 – максимальные и минимальные значения момента нагрузок соответственно в зависимости от направления ветра; 3; 4 – точки, определяющие максимальное и минимальное значение момента нагрузок на механизм подъема M_1 и M_2 соответственно.

В качестве целевой функции при оптимизации геометрических параметров гидроприводов подъема в случае заранее заданных параметров гидроцилиндра принимается максимальное рабочее давление, которое потребуется при подъеме с помощью заданного гидроцилиндра.

Проведенный анализ геометрии гидропривода подъема показал, что наиболее рациональным является выбор в качестве варьируемого параметра угла между осью гидроцилиндра и линией, соединяющей геометрический центр

гидроцилиндра с осью вращения стрелы установщика в начальном положении механизма (см. рисунок 1), далее обозначаемого как β . Это связано с выявленным фактом зеркальной симметричности целевой функции от этого угла относительно значения $\beta = 90^\circ$, что объясняется равенством плеч действия силы в соответствующим образом симметрично расположенных гидроцилиндрах в любом положении механизма, как показано на рисунке 5. Из этого, с учетом бесконечных значений целевой функции на границах диапазона допустимых изменений варьируемого параметра (0° и 180°), следует, что в системе существуют либо два зеркально-симметричных оптимальных положения гидроцилиндра, либо одно оптимальное положение, находящееся на линии симметрии.

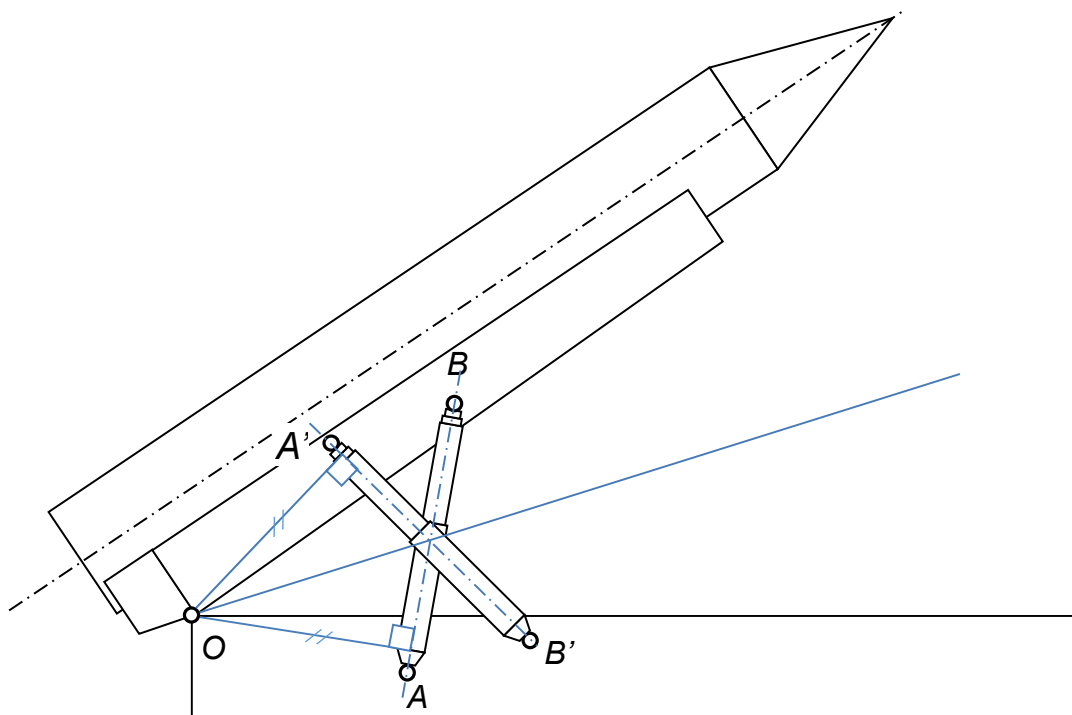


Рисунок 5. Равенство плеч действия сил в симметрично расположенных гидроцилиндрах при произвольном положении механизма

Проведенный в анализ характера целевой функции при реальных значениях ветрового и весового моментов показал, что оптимальное значение

варьируемого параметра в подавляющем большинстве случаев соответствует ситуации, когда требуемое давление в поршневой полости первой ступени гидроцилиндра в начале подъема РКН должно совпадать с требуемым давлением в камере противодействия в конце подъема. Очевидно, что в этом случае возможности гидроцилиндра в начале и в конце подъема используются наиболее полно.

Исходя из этих соображений, можно записать следующие равенства, имеющие место при оптимальных значениях угла β :

$$M_1 = F_1 h_1 p;$$

$$M_2 = F_{\text{кпд}} h_2 p;$$

где M_1 , M_2 – максимальный и минимальный моменты нагрузки на привод подъема, определяемые как показано на рисунке 4; $F_1, F_{\text{кпд}}$ – рабочие площади первой ступени и камеры противодействия гидроцилиндра (или суммы соответствующих площадей параллельно работающих гидроцилиндров), определяемые как показано на рисунке 6; h_1, h_2 – плечи действия сил гидроцилиндра в начальном и конечном положениях механизма соответственно; p – рабочее давление в гидроцилиндре.

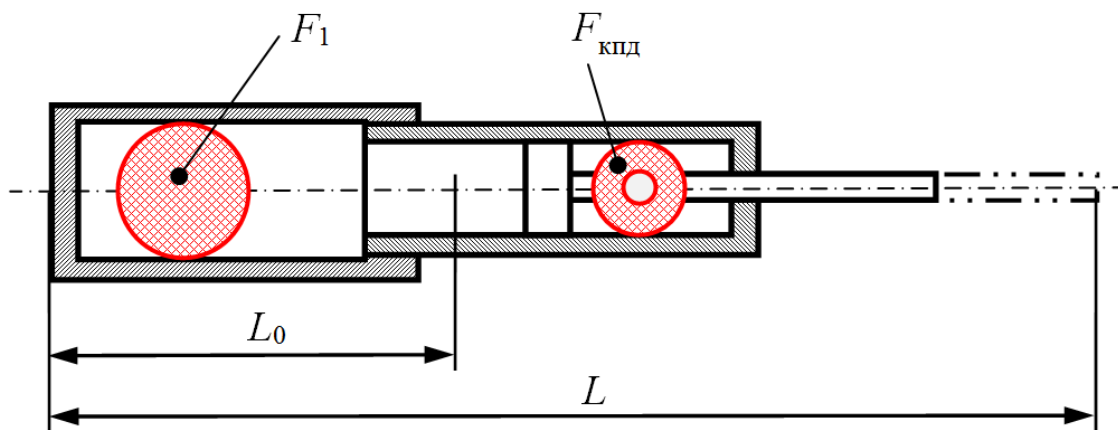


Рисунок 6. Основные параметры гидроцилиндра

Отсюда следует, что:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{F_{\text{кпд}}}{F_1} \cdot \frac{M_1}{M_2},$$

где параметры M_1 и M_2 известны из условий расчета, а соотношение площадей известно при заданном виде гидроцилиндров.

В то же время соотношение плеч действия силы в гидроцилиндре в начале и в конце подъема может быть определено также исходя из геометрических соотношений механизма в зависимости от угла β :

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{2 \sin \beta \cdot \frac{L}{L_0} \cdot \left(-\frac{\sin \beta}{2} + \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{L}{L_0} \right)^2 + \frac{\sin^2 \beta}{4} - \frac{1}{4}} \right)}{\left(\frac{L}{L_0} \right)^2 - \cos \beta \cdot \left(-\frac{\sin \beta}{2} + \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{L}{L_0} \right)^2 + \frac{\sin^2 \beta}{4} - \frac{1}{4}} \right)}.$$

Приравнивая полученные зависимости для h_1/h_2 и, зная соотношение максимального и минимального межосевых расстояний для заданного гидроцилиндра L/L_0 (рисунок 6), можно определить оптимальные значения угла β , по которым не представляет труда определить остальные геометрические параметры механизма подъема. Тем не менее, сами получившиеся уравнения достаточно сложны, в связи с чем для инженерных расчетов более удобным может быть графо-аналитический метод их решения. Суть данного метода – поиск точек пересечения соответствующих графиков на диаграмме $\beta - h_1/h_2$, как показано на рисунке 7 для случая $\frac{h_1}{h_2} = 1,5$; $L/L_0 = 2,4$. Как видно из рисунка, оптимальные углы установки гидроцилиндра β в этом случае составляют около 44° и 136° .

Соотношение плеч действия силы гидроцилиндра в начале и в конце подъёма

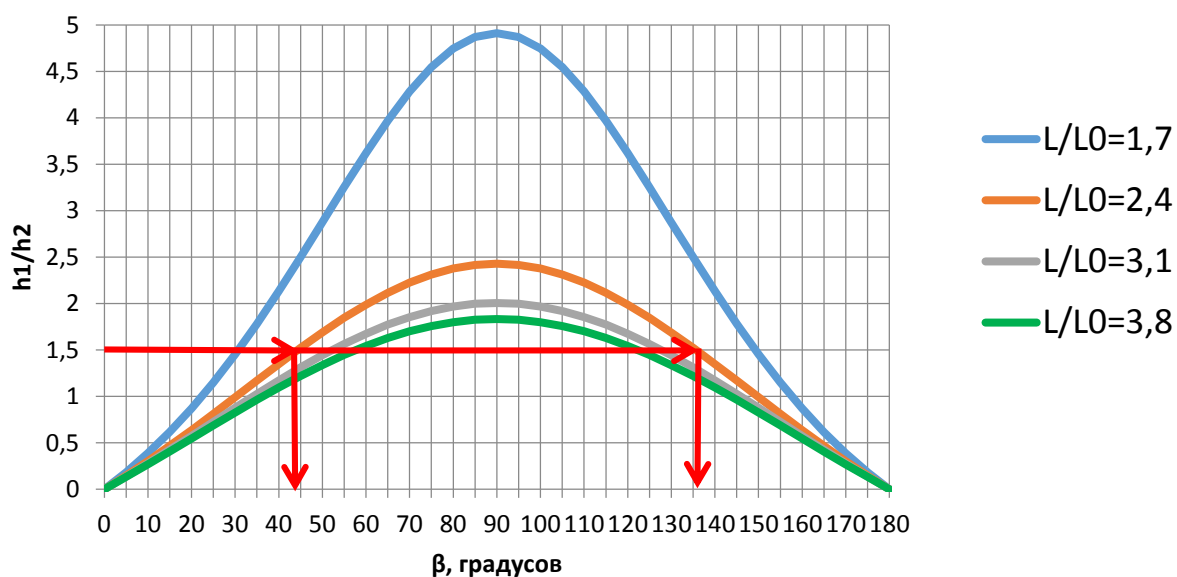


Рисунок 7. Пример определения оптимального угла установки β гидроцилиндра подъема

Предложенная методика позволяет существенно упростить решение задачи выбора геометрических параметров гидропривода механизмов подъема РКН при известных параметрах гидроцилиндра, обеспечивая при этом минимальные значения требуемого давления в гидроцилиндре. В дальнейшем авторы предполагают доработать методику с целью обеспечения возможности ее применения для выбора геометрии самого гидроцилиндра подъема при отсутствии прочих ограничений на его установку.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Аттетков А.В., Галкин С. В., Зарубин В. С. Методы оптимизации: Учебник для вузов / Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 440 с.
2. Новожилов Б.М. Гидравлические механизмы подъема для установочных агрегатов// Аэрокосмический научный журнал. Электронный журнал. # 06, ноябрь 2016. DOI: 10.7463/aersp.0616.0851796

3. Основные положения ОСНОВ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу, утвержденные Президентом Российской Федерации от 19 апреля 2013 г. № Пр-906 // URL: http://www.roscosmos.ru/media/files/docs/3/osnovi_do_2030.doc. – (дата обращения 24.09.2018).
4. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В. Т. Элементы гидропривода. (Справочник). 2-е изд., перераб. и доп. – Киев, «Техника», 1977. – 320 с.