

УДК 621.86

В.Ф. Греков, А.А. Пьянков, Ю.А. Ткаченко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА СТРЕЛЫ МАНИПУЛЯТОРА

Приведены разработанная авторами конструктивно-компоновочная схема подъемно-перегрузочного оборудования транспортно-заряжающей машины и методика, позволяющая выбрать параметры, обеспечивающие ее нормальную работу.

**Ключевые слова:** подъемно-перегрузочное оборудование, транспортно-заряжающая машина.

### Введение

**Постановка проблемы.** Существуют различные типы подъемно-перегрузочного оборудования транспортно-заряжающих машин (ТЗМ), работающих с длинномерными грузами. В основном это краны или крановые манипуляторы. Размещение на ТЗМ подъемного оборудования такого типа имеет ряд недостатков. Большая масса кранового оборудования. Кран-манипулятор без канатной системы подъема требует совмещения нескольких движений, что недопустимо по «Правилам и мерам безопасности при работе с грузоподъемными устройствами». Возникают трудности компоновки грузоподъемного оборудования на шасси транспортного модуля ТЗМ, связанные с тем, что при больших вылетах стрелы подъем груза массой 5 – 6 тонн требует установки кранового оборудования с грузоподъемностью 20 – 25 тонн. Большие габариты кранового оборудования сложно вписать в железнодорожный габарит. Удержание на весу груза из-за его раскачивания требует наличия как минимум четырех стропальщиков.

**Целью исследований** является поиск конструктивно-компоновочной схемы (ККС) подъемно-перегрузочного оборудования ТЗМ лишенной указанных недостатков и создание методики, которая позволит рассчитать параметры, обеспечивающие эффективную работу принятой схемы. **Анализ литературы** [1 – 6] и других источников информации, имеющейся в распоряжении авторов, показывает, что решение поставленных задач отсутствует.

**Цель статьи.** Представить вновь разработанную ККС подъемно-перегрузочного оборудования ТЗМ, работающих с длинномерными грузами, на основе проведенного анализа существующих образцов техники. Изложить методику, которая позволит рассчитать параметры, обеспечивающие эффективную работу принятой схемы.

### Результаты исследований

Предлагается схема манипулятора ТЗМ.

Манипулятор транспортно-заряжающей машины (ТЗМ) предназначен:

- для подъема длинномерного груза с пола помещения или грунта;
- для размещения длинномерного груза на ТЗМ или транспортном средстве;
- для перемещения длинномерного груза с ТЗМ на подвижный агрегат, находящейся с правого или левого борта транспортно-заряжающей машины.

Манипулятор ТЗМ состоит из двух стрел телескопических, установленных на раме 1 транспортного модуля (ТМ) так, чтобы длинномерный груз 5 или пакет длинномерных грузов находились между стрелами (рис. 1).

Каждая стрела телескопическая (СТ) имеет возможность поворачиваться вокруг шарниров, оси которых направлены вдоль рамы. Это позволяет СТ вращаться в плоскости перпендикулярной продольной оси рамы ТМ.

Шарнир поворота СТ смещен к одному из бортов ТМ ТЗМ.

Поворот СТ осуществляется гидроцилиндрами (ГЦ) 4, закрепленными шарнирно на СТ и на раме ТМ. Управление гидроцилиндрами совместное. Вращение ГЦ синхронное.

Подъем груза осуществляется с помощью полиспастной системы. Груз подвешивается к грузозахватным приспособлениям полиспастной системы при помощи универсальной траверсы 6. ТС 3 состоит из основания и выдвижной секции. Размеры СТ выбраны таким образом, чтобы обеспечить перемещение траверсы с грузом как в пределах ТЗМ, так и в пределах соседнего агрегата. Сходящие с блоков 7 СТ ветви полиспастов 8 и закрепленная на них универсальная траверса 6 с грузом 5, образуют трапецию. Такая конфигурация подвески груза существенно уменьшает его колебания в продольной плоскости, и быстро гасит вращения груза относительно вертикальной оси.

Манипулятор ТЗМ, выполненный по предложенной схеме, имеет ряд преимуществ перед крановыми манипуляторами:

- манипулятор вписывается в транспортный габарит;

– вес манипулятора существенно меньше веса манипулятора кранового типа;  
– раскачивание груза при перегрузках существенно меньше, чем при крановой перегрузке;

– сокращается время развертывания и свертывания;  
– требуется минимальное количество обслуживающего персонала.

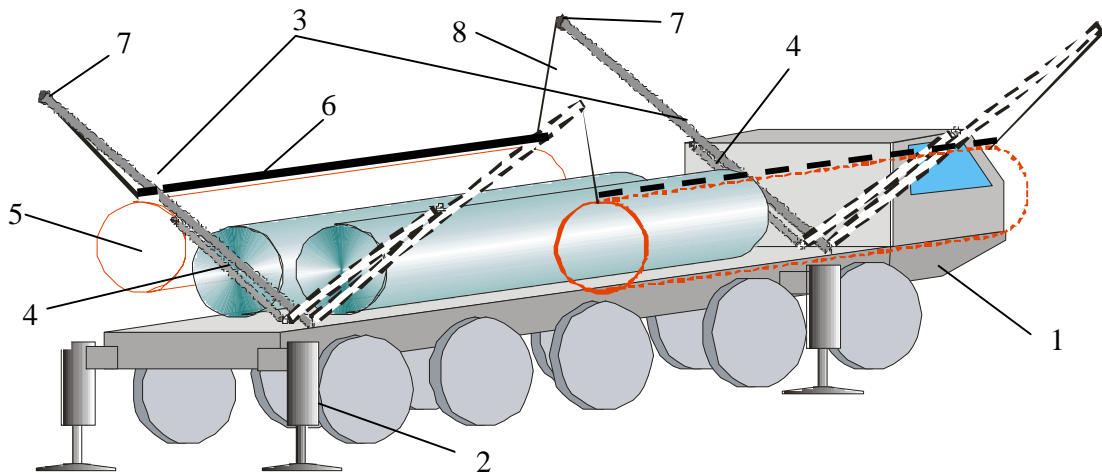


Рис. 1. Схема размещения манипулятора на ТЗМ:

1 – транспортный модуль (ТМ); 2 – выносные опоры ТМ; 3 – стрелы телескопические;  
4 – гидравлический цилиндр стрелы телескопической; 5 – длиномерный груз; 6 – универсальная траверса;  
7 – механизм подъема груза; 8 – полиспастная система механизма подъема груза

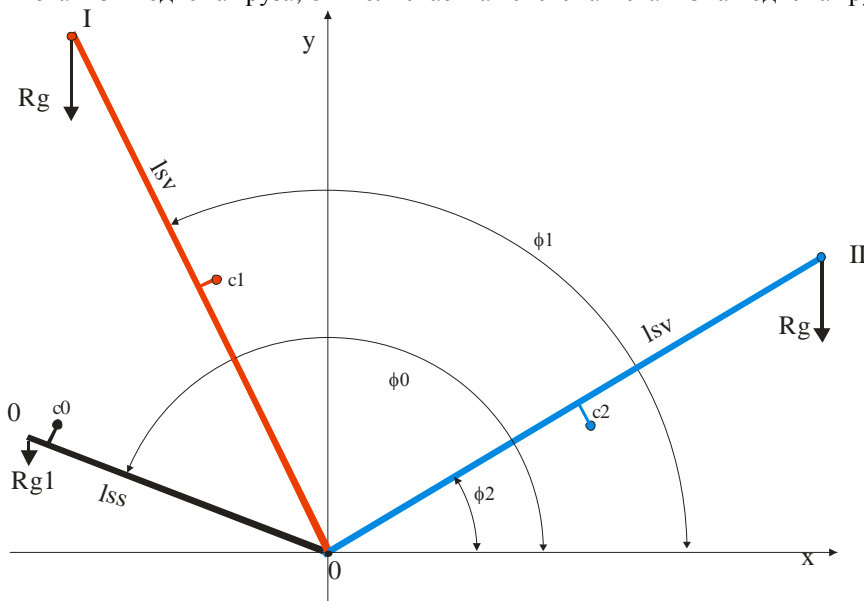


Рис. 2. Схема положения СТ в транспортном положении и углов ее поворотов при перемещении груза с ТЗМ на подвижный агрегат, расположенном по правому борту ТЗМ

**1. Схема поворота стрелы манипулятора при эксплуатации ТЗМ.** Вращение обеих СТ манипулятора осуществляется синхронно, поэтому достаточно рассмотреть кинематику одной из них. Схема поворота СТ манипулятора в процессе эксплуатации приведена на рис. 2.

Ось поворота СТ связана с началом прямоугольной системой координат  $XOY$ . Угол поворота стрелы отсчитывается от оси  $OX$  против часовой стрелки. Позиция 0 соответствует транспортному положению СТ – угол поворота СТ равен  $\phi_0$ . В этом положении СТ не являются определяющими для габаритов ТЗМ. Гидроцилиндр обеспечивает пово-

роты СТ в диапазоне углов  $\phi_0 - \phi_2$ , который в процессе эксплуатации может быть больше 90 градусов.

$R_g$  – вес груза. Положения СТ: 0 – транспортное положение стрелы манипулятора, I – положение стрелы манипулятора при работе с грузом над ТЗМ, II – положение стрелы манипулятора при работе с грузом над агрегатом, расположенном по правому борту ТЗМ.

Задачу выбора параметров ГЦ и мест его крепления на СТ и на раме ТМ сформулируем следующим образом:

– диаметр ГЦ задается из условия компоновки системы поворота СТ;

- в диапазоне углов  $\phi_0 - \phi_2$  ГЦ должен преодолевать момент от веса системы  $R_g$ ;
- кинематические параметры системы должны

обеспечивать ее работоспособность.

Расчетная схема, для решения поставленной задачи приведена на рис.3.

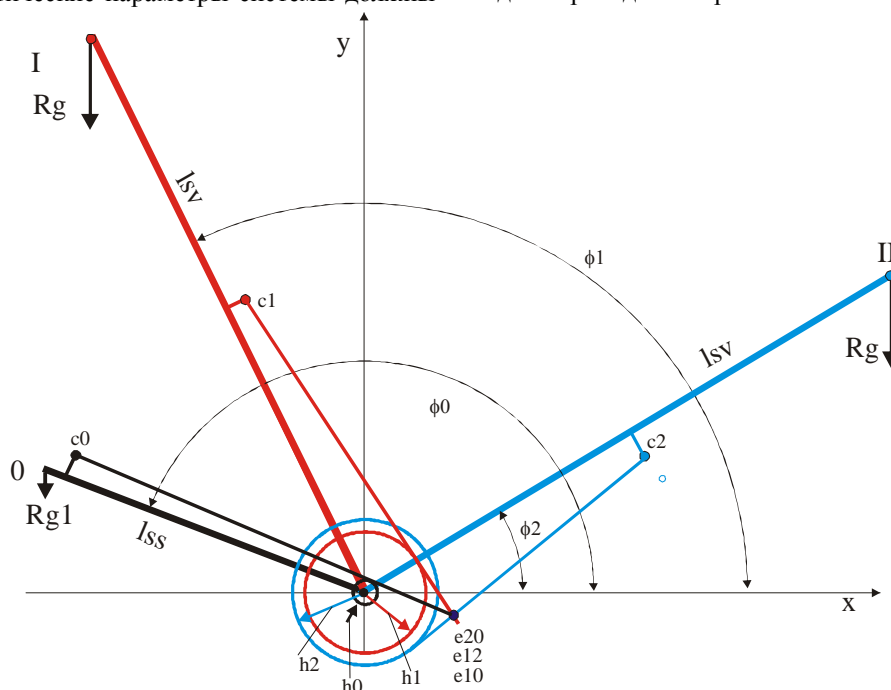


Рис. 3. Расчетная схема выбора параметров ГЦ и мест его крепления на СТ и на раме ТМ:  $R_g$  – вес груза;  $R_{g1}$  – сила веса от стрелы с вдвинутой секцией;  $c_0, c_1, c_2$  – точки крепления гидравлического домкрата к стреле;  $e_{10}, e_{12}, e_{23}$  – точки крепления гидравлического домкрата к раме агрегата;  $h_0, h_1, h_2$  – плечи гидравлического домкрата в положениях 0, I, II. Положения СТ: 0 – транспортное положение стрелы манипулятора, I – положение стрелы манипулятора при работе с грузом над ТЗМ, II – положение стрелы манипулятора при работе с грузом над подвижным агрегатом

На схеме изображены три положения СТ из диапазона углов поворота  $\phi_0 - \phi_2$ , которые может принимать СТ в процессе эксплуатации. Каждому положению СТ соответствует момент от силы веса, который должен воспринять ГЦ. Величина момента, удерживающего СТ, определяется плечом силы, развиваемой ГЦ, относительно оси поворота СТ.

Достичь минимального веса ГЦ возможно путем соответствующего выбора рабочего давления в гидросистеме, плеча ГЦ относительно оси поворота СТ и хода штока ГЦ. Задача эта противоречива. Чем больше плечо домкрата, тем меньше его потребный диаметр при максимальном давлении и больше ход штока ГЦ и, как следствие, длина ГЦ. В зависимости от положения СТ момент нагрузки существенно изменяется. При выбранном диаметре ГЦ необходимо обеспечить необходимое плечо силы, развиваемой ГЦ. Поэтому при выборе компоновки ГЦ относительно СТ и рамы ТМ необходимо стремиться к обеспечению потребной величины плеча ГЦ во всех рабочих положениях СТ.

Допустим, что в соответствии с принятой конструктивной схемой определены рабочие положения СТ и потребные величины плеч для каждого из них. Плечо ГЦ на рис. 3 изображается в виде окружности, радиус которой численно равен потребному плечу

ГЦ, а линия действия силы ГЦ – лучом, исходящим из точки крепления ГЦ к СТ и касательным к окружности соответствующей заданному плечу.

Точка пересечения линий действия сил ГЦ, находящегося в различных положениях, и будет искомой точкой крепления шарнира ГЦ к раме ТМ. Следует иметь в виду, что ожидать пересечения трех и более линий действия сил в одной точке не приходится. Поэтому после определения точки, в которой пересекаются линии действия сил ГЦ, находящегося в двух различных положениях, необходимо убедиться, что реальное плечо третьего положения ГЦ не меньше заданного.

**2. Методика выбора компоновки ГЦ привода СТ манипулятора ТЗМ.** Методика выбора компоновки ГЦ включает:

- 2.1. Задание исходных массово-геометрических данных системы.
- 2.2. Определение потребного диапазона углов  $\phi_0 - \phi_2$  положения СТ.
- 2.3. Определение моментов СТ с грузом относительно оси ее поворота в заданном диапазоне углов.
- 2.4. Определение требуемых плеч для различного положения ГЦ
- 2.5. Определение геометрических параметров системы.

2.6. Определение уравнений, которые описывают линии действия сил ГЦ в характерных точках.

2.7. Определение координат точки крепления шарнира ГЦ к раме ТМ.

2.8. Определение размеров домкрата и его массы.

Рассмотрим методику на примере выбора компоновки ГЦ для схемы манипулятора, приведенной на рис. 3.

**2.1. Задание исходных массово-геометрических данных системы:**

$l_{ss} = 2,6$  м – длина сложенной СТ;

$l_{sv} = 4$  м – длина СТ с выдвинутой секцией;

$y_{ss} = 1,2$  м – высота сложенной СТ в транспортном положении;

$x_{2sv} = 3$  м – плечо СТ с выдвинутой секцией в рабочем положении 2;

$x_{1sv} = -2$  м – плечо СТ с выдвинутой секцией в рабочем положении 1;

$R_g = 30000$  Н – сила веса поднимаемого груза;

$R_{g0} = 900$  Н – сила веса поднимаемого груза с

СТ в транспортном положении;

$d_p = 0,15$  м – диаметр поршневой полости ГЦ;

$p_n = 20$  МПа – рабочее давление в гидросистеме;

$\Delta = 0,15$  м – расстояние точки крепления шарнира штока ГЦ от оси СТ;

$l_0 = 1,56$  м – расстояние по оси стрелы от шарнира до точки крепления домкрата.

**2.2. Определение требуемого диапазона углов  $\phi_0 - \phi_2$  положения СТ:**

$$\phi_0 = \pi - \arcsin\left(\frac{y_{ss}}{l_{ss}}\right), \phi_0 = 2,662 \text{ рад} - \text{угол поворота СТ в транспортном положении};$$

$x_{0sv} = l_{ss} \cdot \cos(\phi_0)$ ,  $x_{0sv} = -2,307$  м – плечо сложенной стрелы в транспортном положении 0;

$$\phi_1 = \arccos\left(\frac{x_{1sv}}{l_{sv}}\right), \phi_1 = 2,094 \text{ м} - \text{угол поворота СТ в рабочем положении 1};$$

$$\phi_2 = \arccos\left(\frac{x_{2sv}}{l_{sv}}\right), \phi_2 = 2,094 \text{ м} - \text{угол поворота СТ в рабочем положении 2}.$$

СТ в рабочем положении 1;

СТ в рабочем положении 2.

**2.3. Определение моментов СТ с грузом относительно оси ее поворота в заданном диапазоне углов:**

$M_0 = R_{g0} \cdot x_{0sv}$ ,  $M_0 = -2076$  Нм – момент от веса поднимаемого груза в транспортном положении СТ (положение 0);

$M_1 = R_g \cdot x_{1sv}$ ,  $M_1 = -6 \cdot 10^4$  Нм – момент от веса поднимаемого груза в рабочем положении СТ (положение 1);

$M_2 = R_g \cdot x_{2sv}$ ,  $M_2 = 9 \cdot 10^4$  Нм – момент от веса поднимаемого груза в рабочем положении СТ (положение 2);

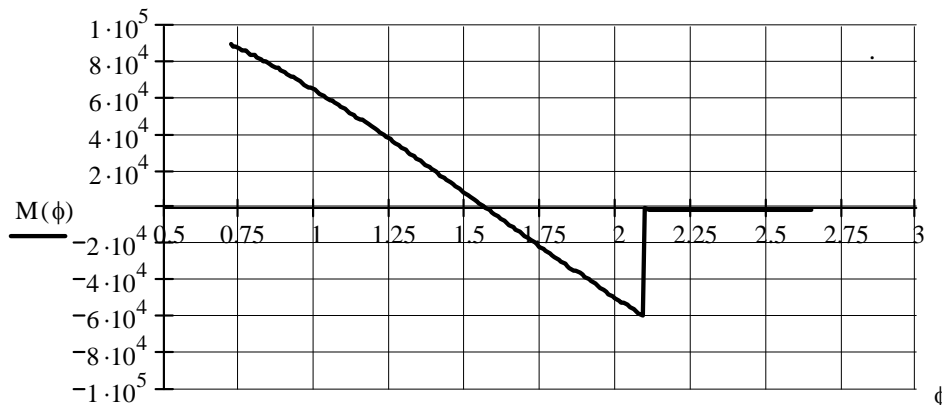


Рис. 4. Изменение момента от веса поднимаемой системы при повороте СТ:  
 $M(\phi)$  Нм – момент от веса поднимаемой системы;  $\phi$  рад – угол поворота СТ

Определение изменения момента от веса груза в процессе поворота СТ:

$M_{1g} = R_g \cdot l_{sv} \cdot \cos(\phi)$  – изменение момента от веса груза в процессе поворота СТ;

$M_{2g} = R_{g0} \cdot l_{ss} \cdot \cos(\phi)$  – изменение момента от веса СТ с оборудованием груза в процессе поворота.

Отрицательные значения момента соответствуют растягивающему усилию в ГЦ.

**2.4. Определение требуемых плеч для различного положения ГЦ:**

$f_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}$ ,  $f_p = 0,018$  м<sup>2</sup> – площадь поршневой полости ГЦ;

$f_s = 0,85 \cdot f_p$ ,  $f_s = 0,015$  м<sup>2</sup> – площадь штоковой полости ГЦ;

$$h_0 = \frac{M_0}{p_n \cdot f_s}, h_0 = 6,91 \cdot 10^{-3} \text{ м} - \text{требуемое плечо ГЦ в транспортном положении};$$

ГЦ в транспортном положении;

$$h_n = \frac{M_1}{p_n \cdot f_s}, h_n = 0,2 \text{ м} - \text{требуемое плечо ГЦ в рабочем положении 1};$$

ГЦ в рабочем положении 1;

$$h_k = \frac{M_2}{p_n \cdot f_n}, h_k = 0,255 \text{ м} - \text{требуемое плечо ГЦ в рабочем положении 2};$$

ГЦ в рабочем положении 2;

$$R_{d0} = \frac{M_0}{h_0}, R_{d0} = -3,004 \cdot 10^5 \text{ Н} - \text{требуемая сила}$$

ла ГЦ в транспортном положении;

$$Rd1 = \frac{M1}{hn}, \quad Rd1 = 3,004 \cdot 10^5 \text{ Н} - \text{потребная сила}$$

ГЦ в рабочем положении 1;

$$Rd2 = \frac{M2}{hk}, \quad Rd2 = 3,354 \cdot 10^5 \text{ Н} - \text{потребная сила}$$

ГЦ в рабочем положении 2.

## 2.5. Определение геометрических параметров системы:

$rc = \sqrt{\Delta^2 + 10^2}$ ,  $rc = 1,567 \text{ м}$  – радиус-вектор точки крепления шарнира ГЦ к СТ;

$\gamma_0 = \arctg\left(\frac{\Delta}{10}\right)$ ,  $\gamma_0 = 0,096 \text{ рад}$  – угол наклона радиус-вектора к СТ;

координаты точки С в транспортном положении СТ:

$$xc0 = rc \cdot \cos(\phi_0 - \gamma_0), \quad xc0 = -1,315 \text{ м},$$

$$yc0 = rc \cdot \sin(\phi_0 - \gamma_0), \quad yc0 = 0,853 \text{ м};$$

координаты точки С СТ в рабочем положении 1:

$$xc1 = rc \cdot \cos(\phi_1 - \gamma_0), \quad xc1 = -0,65 \text{ м},$$

$$yc1 = rc \cdot \sin(\phi_1 - \gamma_0), \quad yc1 = 1,426 \text{ м};$$

координаты точки С СТ в рабочем положении 2:

$$xc2 = rc \cdot \cos(\phi_2 - \gamma_0), \quad xc2 = 1,269 \text{ м},$$

$$yc2 = rc \cdot \sin(\phi_2 - \gamma_0), \quad yc2 = 0,919 \text{ м}.$$

## 2.6. Определение уравнений, которые описывают линии действия сил ГЦ в характерных точках.

Уравнение прямой, касательной к окружности радиусы R имеет вид

$$x \cdot \cos(\phi) + y \cdot \sin(\phi) = R,$$

где x, y – координаты точки, лежащей на этой прямой;  $\phi$  – угол между радиусом в точке касания прямой к окружности и осью абсцисс.

Так как линия действия силы ГЦ касается окружности радиуса, равного плечу ГЦ, то можно найти угол между плечом и осью абсцисс.

Уравнение линии действия силы ГЦ для пологого положения СТ имеет вид

$$xc0 \cdot \cos(\phi_0) + yc0 \cdot \sin(\phi_0) = h_0,$$

где  $xc0$ ,  $yc0$  – координаты точки крепления шарнира ГЦ к СТ в положении 0;  $\phi_0$  – угол между радиусом в точке касания прямой к окружности и осью абсцисс.

Решив уравнение, получим  $\phi_0 = 1$ .

Уравнение линии действия силы ГЦ для положения 1 имеет вид

$$xc1 \cdot \cos(\phi_1) + yc1 \cdot \sin(\phi_1) = hn,$$

где  $xc1$ ,  $yc1$  – координаты точки крепления шарнира ГЦ к СТ в положении 1;  $\phi_1$  – угол между радиусом в точке касания прямой к окружности и осью абсцисс

Решив уравнение, получим  $\phi_1 = 0,556$ .

Уравнение линии действия силы ГЦ для положения 1 имеет вид

$$xc2 \cdot \cos(\phi_2) + yc2 \cdot \sin(\phi_2) = hk,$$

где  $xc2$ ,  $yc2$  – координаты места крепления шарнира ГЦ к СТ в положении 1;  $\phi_2$  – угол между радиусом в точке касания прямой к окружности и осью абсцисс. Решив уравнение, получим  $\phi_2 = -0,781$ .

## 2.7. Определение координат точки крепления шарнира ГЦ к раме ТМ.

Запишем систему уравнений, которые описывают линии действия сил ГЦ в точках 1 и 2:

$$xe \cdot \cos(\phi_1) + ye \cdot \sin(\phi_1) = hn,$$

$$xe \cdot \cos(\phi_2) + ye \cdot \sin(\phi_2) = hk.$$

Здесь  $xe$ ,  $ye$  – координаты точки, в которой пересекаются линии действия сил ГЦ.

Решив уравнение получим искомые координаты точки Е, которая и является точкой крепления шарнира ГЦ к раме ТМ. В результате решения получены координаты точки Е:

$$xe = 0,283 \text{ м} - \text{абсцисса точки Е};$$

$$ye = -0,77 \text{ м} - \text{ордината точки Е}.$$

Таким образом, найдены координаты точки крепления шарнира ГЦ.

Зависимость изменения плеча ГЦ от угла поворота СТ определяется уравнением

$$h(\psi) = xe \cdot \cos(\psi) + ye \cdot \sin(\psi)$$

и приведена на рис. 5.

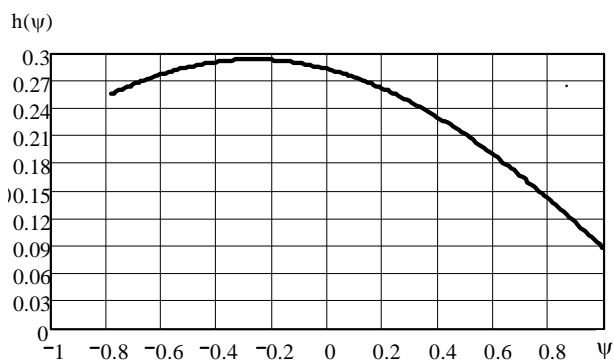


Рис. 5. Зависимость изменения плеча ГЦ от угла поворота СТ

Полученные и требуемые значения плеч ГЦ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Полученные и требуемые значения плеч ГЦ

	0	1	2
Полученное плечо, м	0,088	0,2	0,255
Требуемое плечо, м	0,007	0,2	0,255

Плечи ГЦ в рабочих точках 1 и 2 совпали с требуемыми. В рабочей точке 0, полученное плечо больше требуемого, следовательно, система работоспособна.

### 2.8. Определение размеров домкрата и его массы.

Определение расстояний между точками е и с<sub>0</sub>, с<sub>1</sub> и с<sub>2</sub> (длина гидроцилиндра при выдвинутом штоке) для походного, рабочего 1 и рабочего 2 положений:

$lec_0 = \sqrt{(xc_0 - xe)^2 + (yc_0 - ye)^2}$ ,  $lec_0 = 1,848$  м – расстояние между точками крепления ГЦ в положении 0;

$lec_1 = \sqrt{(xc_1 - xe)^2 + (yc_1 - ye)^2}$ ,  $lec_1 = 1,768$  м – расстояние между точками крепления ГЦ в положении 1;

$lec_2 = \sqrt{(xc_2 - xe)^2 + (yc_2 - ye)^2}$ ,  $lec_2 = 1,402$  м – расстояние между точками крепления ГЦ в положении 2;

$ldc_1 = lec_0 - lec_1$ ,  $dc_1 = 0,08$  м – ход штока ГЦ в положении 1;

$ldc_2 = lec_0 - lec_2$ ,  $ldc_2 = 0,446$  м – ход штока ГЦ в положении 1.

В походном положении шток ГЦ полностью выдвинут, а в рабочем положении 2 шток ГЦ полностью втянут. Полный ход штока ГЦ составляет 0,446 м.

По полученным данным был проведен расчет ГЦ. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Параметры домкрата

Обозначение	Величина	Размерность	Параметр
nd	2		количество домкратов
$\sigma_t$	$6 \cdot 10^8$	Н/м.кв	напряжение смятия стали 45Х
$\beta_1$	1,6		коэффициент запаса на динамичность нагрузки
pn	20	МПа	давление в прямой полости домкрата
m1	1,65		коэффициент запаса при растяжении
$\sigma_1$	$3,636 \cdot 10^8$	Па	допустимые напряжения в стенке цилиндра
d2	0,124	м	диаметр цилиндра внутренний
d4	0,13	м	диаметр цилиндра наружный
d1	0,047	м	диаметр штока наружный
d3	0,038	м	диаметр штока внутренний
$\delta_1$	$4,724 \cdot 10^{-3}$	м	толщина стенки штока
xd	0,446	м	ход домкрата
Wd	5,362	л	максимальный объем жидкости в поршневой полости домкрата
L1	0,791	м	длина одноступенчатого домкрата
Ln	0,611	м	длина наставки одноступенчатого домкрата
m	38	кг	масса домкрата

### Выводы

Методика позволяет выбрать параметры и компоновку манипулятора, обеспечивающие нормальную работу ТЗМ.

### Список литературы

1. Гидропривод тяжелых грузоподъемных и самоходных агрегатов / В.И. Мелик-Гайказов, Ю.П. Подгорный, М.Ф. Самусенко, П.П. Фалалеев. – М.: Машиностроение, 1968. – 264 с.
2. Баица Т.М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств / Т.М. Баица. – М.: Оборонгиз, 1961. – 476 с.
3. Богданович Л.Б. Гидравлические приводы в машинах / Л.Б. Богданович. – М-К: Машигиз, 1986. – 222 с.

4. Конофеев Н.Т. Транспортировка ракет / Н.Т. Конофеев. – М.: Воениздат, 1978. – 150 с.

5. Маликов В.Г. Наземное оборудование ракет / В.Г. Маликов, С.Ф. Колисарик, А.М. Коротков. – М.: Воениздат, 1971. – 303 с.

6. Вооружение и техника: Справочник. – М.: Воениздат, 1984. – 376 с.

7. Бронштейн И.Я. Справочник по математике / И.Я. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: ОГИЗ-Гостехиздат, 1948. – 556 с.

Поступила в редколлегию 12.10.2010

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. В.А. Прокопов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### МЕТОДИКА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ СТІЛИ МАНІПУЛЯТОРА

В.П. Греков, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

Приведені розроблена авторами конструктивно-компонувальна схема підйомно-перевантажувального устаткування транспортно-заряджальної машини і методика, що дозволяє вибрати параметри, що забезпечують її нормальну роботу.

**Ключові слова:** підйомно-перевантажувальне устаткування, транспортно-заряджальна машина.

### METHOD OF CHOICE OF PARAMETERS OF MECHANISM OF GETTING UP OF ARROW OF MANIPULATOR

V.F. Grekov, A.A. P'yankov, Yu.A. Tkachenko

The structurally-arrangement chart of lifting-shifting equipment of transport-charging machine and method, allowing to choose parameters, providing its normal work developed authors is resulted.

**Keywords:** lifting-shifting equipment, transport-charging machine.