

# Загальні питання

УДК 621.86

В.Ф. Греков, С.В. Орлов, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба

## МЕТОДИКА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ СТІЛИ МАНІПУЛЯТОРА

У статті розглядається компоновка механізмів маніпулятора транспортного модуля, що забезпечує можливість переміщення вантажу за схемою борт - борт. Запропонована методика вибору координат вузлів кріплення домкрата на стрілі і рамі агрегату, яка дозволяє забезпечити працездатність системи підйому в усьому діапазоні переміщення стріли. Приведена конструктивно-компоновальна схема підйомно-перевантажувального устаткування транспортно-заряджаючої машини.

**Ключові слова:** механізм підйому, стріла маніпулятора, транспортно-заряджаюча машина (ТЗМ), конструктивно-компоновальна схема (ККС).

### Вступ

**Постановка проблеми.** Існують різні типи підйомно-перевантажувального устаткування ТЗМ з довгомірними вантажами. В основному це крани або маніпулятори кранів. Розміщення на ТЗМ цього підйомного устаткування має ряд недоліків, таких як велика маса. Кран-маніпулятор без канатної системи підйому потребує поєднання декількох рухів, що неприпустимо за "Правилами і заходами безпеки при роботі з вантажопідйомними пристроями". Виникають труднощі компоновки вантажопідйомного устаткування на шасі транспортного модуля (ТМ) ТЗМ, пов'язані з тим, що при великих вільотах стріли підйом вантажу масою 5 - 6 тонн вимагає установки устаткування крану з вантажопідйомністю 20 - 25 тонн. Великі габарити устаткування крану складно вписати в залізничний габарит. Утримання вантажу через його розгойдування вимагає наявності як мінімум чотирьох стропальників.

**Аналіз літератури** [1 – 6] показує, що методика розрахунку параметрів стрілового маніпулятора, які забезпечують ефективну роботу прийнятої схеми транспортного маніпулятора потребує розробки.

**Метою статті** є розробка ККС підйомно-перевантажувального устаткування ТЗМ з довгомірними вантажами, на основі проведеного аналізу існуючих зразків техніки і розробка методики, яка дозволять розрахувати параметри, що забезпечують ефективну роботу прийнятої схеми.

### Основна частина

Пропонується схема маніпулятора ТЗМ, призначеного: для підйому довгомірного вантажу з підлоги приміщення або ґрунту; для розміщення довгомірного вантажу на ТЗМ або транспортному засобі; для переміщення довгомірного вантажу з ТЗМ на рухомий агрегат.

Маніпулятор ТЗМ складається з двох телескопічних стріл, встановлених на рамі 1 ТМ так, щоб довгомірний вантаж 5 або пакет довгомірних вантажів знаходилися між стрілами (рис. 1). Кожна стріла телескопічна (СТ) має можливість обертатися навколо шарнірів, осі яких спрямовані вздовж рами в площині, що перпендикулярна подовжньої осі рами ТМ. Шарнір повороту СТ зміщений до правого борту ТМ ТЗМ. Поворот СТ здійснюється гідроциліндрами (ГЦ) 4, які закріплені шарнірно на СТ і на рамі ТМ. Управління гідроциліндрами спільне синхронне.

Підйом вантажу здійснюється за допомогою поліспастиної системи. Вантаж підвішується до вантажозахватних пристосувань за допомогою універсальної траверси 6. СТ (3) складається з основи і висувної секції (ВС), її розміри забезпечують переміщення траверси з вантажем в межах ТЗМ і сусіднього агрегату. Гілки поліспасти 8 і закріплена на них універсальна траверса 6 з вантажем 5, утворюють трапецію. Така конфігурація підвіски істотно зменшує коливання вантажу в подовжній площині, і швидко гасить обертання вантажу відносно вертикальної осі.

Маніпулятор ТЗМ, виконаний за запропонованою схемою, має ряд переваг перед крановим:

- він вписується в транспортний габарит;
- він має істотно меншу вагу;
- він має менше розгойдування вантажу;
- скорочується час розгортання і згортання;
- потребує мінімальну кількість обслуговуючого персоналу.

### 1. Схема повороту стріли маніпулятора при експлуатації ТЗМ

Обертання обох СТ маніпулятора здійснюється синхронно, тому досить розглянути кінематику однієї з них. Схема повороту СТ маніпулятора в процесі експлуатації приведена на рис. 2.

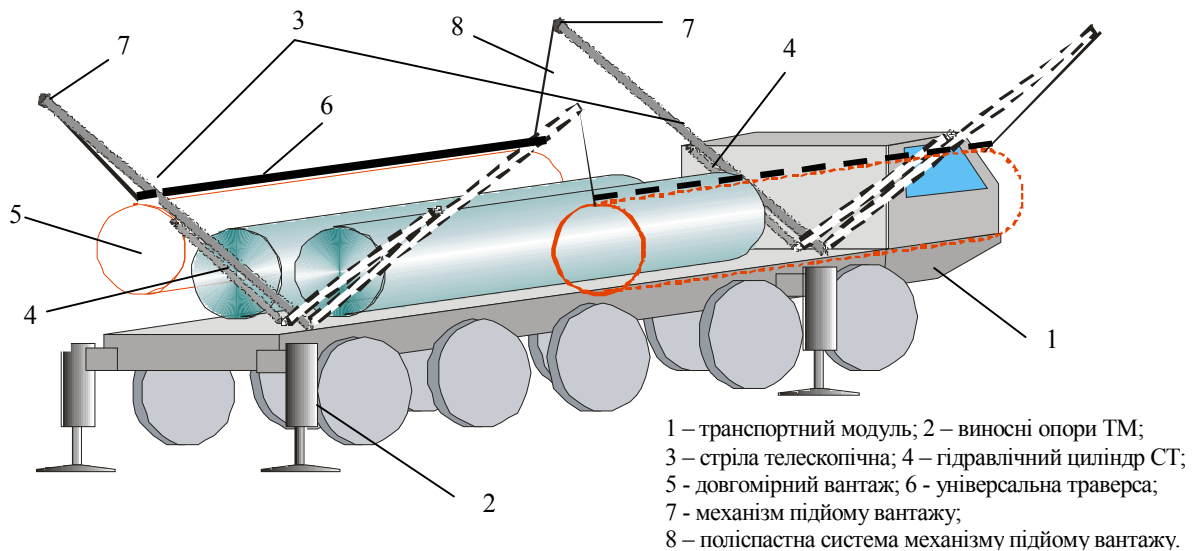


Рис. 1. Схема розміщення маніпулятора на ТЗМ

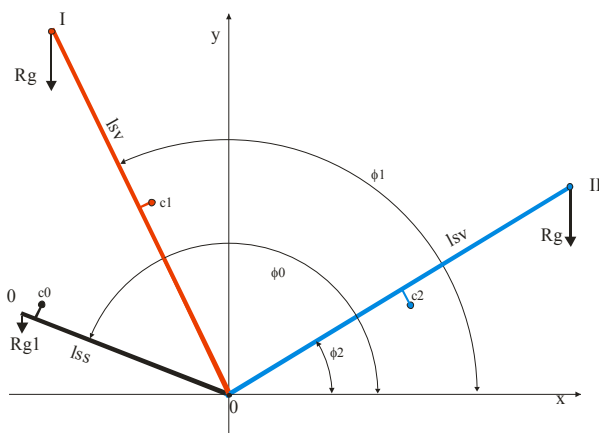


Рис. 2. Схема СТ в транспортному положенні і кути її поворотів при переміщенні вантажу

На рисунку прийняті наступні позначення. Вага вантажу -  $R_g$ . Транспортне положення (ТП) стріли маніпулятора – 0. Робочі положення (РП) стріли маніпулятора при роботі з вантажем над ТЗМ – I; при роботі з вантажем над агрегатом, розташованому по правому борту ТЗМ - II. Вісь повороту СТ, пов'язана з початком прямокутної системи координат  $XOY$ . Кут повороту стріли відлічується від осі  $OX$  проти годинникової стрілки. Позиція 0 відповідає ТП СТ кут повороту СТ дорівнює  $\phi_0$ . У цьому положенні СТ не являються визначальними для габаритів ТЗМ. Гідроциліндр забезпечує повороти СТ в діапазоні кутів  $\phi_0 - \phi_2$ , який в процесі експлуатації може бути більше  $90^\circ$ . Завдання вибору параметрів ГЦ і місць його кріплення на СТ і на рамі ТМ сформуємо таким чином:

- діаметр ГЦ задається з умови компонування системи повороту СТ;
- в діапазоні кутів  $\phi_0 - \phi_2$  ГЦ повинен долати момент від ваги системи  $R_g$ ;
- кінематичні параметри системи повинні забезпечувати її праяздатність.

Розрахункова схема приведена на рис.3. На схемі зображено три положення СТ з діапазону кутів повороту  $\phi_0 - \phi_2$ , кожному з яких відповідає момент від сили ваги. Величина моменту утримуючого СТ визначається плечем сили, що розвивається ГЦ відносно осі повороту СТ. Сила ваги від стріли зі складеною секцією -  $R_{g1}$ . Точки кріплення ГЦ до стріли -  $c_0, c_1, c_2$ ; до рами агрегату -  $e_{10}, e_{12}, e_{23}$ . Плечі ГЦ -  $h_0, h_1, h_2$ .

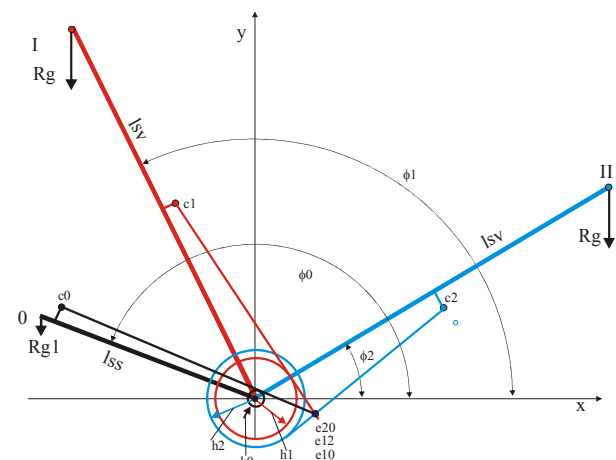


Рис. 3. Розрахункова схема вибору параметрів ГЦ і місць його кріплення на СТ і на рамі ТМ

Обґрунтований вибір робочого тиску в гідросистемі, плеча і ходу штока ГЦ дозволить отримати мінімальну вагу ГЦ. Це завдання є суперечливим: чим більше плече домкрата, тим менше його потрібний діаметр при максимальному тиску і більше хід штока ГЦ і довжина ГЦ. При вибраному діаметрі ГЦ необхідно забезпечити необхідне плече сили в усіх робочих положеннях СТ.

Припустимо, що визначені робочі положення СТ і потрібні величини плечей для кожного з них. Плече ГЦ на рис. 3 зображується у вигляді кола, радіус якого дорівнює потрібному плечу ГЦ, а лінія

дії сили ГЦ - променем, що виходить з точки кріплення ГЦ до СТ і дотичних до кола.

Слід мати на увазі, що три і більше лінії дії сил не перетинаються в одній точці - точці кріплення шарніру ГЦ. Тому необхідно забезпечити плече ГЦ не менше за задане.

## 2. Методика вибору компоновання ГЦ приводу СТ маніпулятора ТЗМ

Розглянемо методику вибору компоновання на прикладі схеми маніпулятора, приведеної на рис. 3.

**Задавання початкових масово-геометричних даних системи:**  $l_{ss} = 2,6$  м - довжина складеної СТ;  $l_{sv} = 4$  м - довжина СТ з ВС;  $y_{ss} = 1,2$  м - висота складеної СТ в ТП;  $x_{2sv} = 3$  м - плече СТ з ВС в РП 2;  $x_{1sv} = -2$  м - плече СТ з ВС в РП 1;  $R_g = 30000$  Н - сила ваги вантажу;  $R_{g0} = 900$  Н - сила ваги вантажу в ТП;  $d_p = 0,15$  м - діаметр поршневої порожнини ГЦ;  $p_n = 20$  МПа - робочий тиск в ГЦ;  $\Delta = 0,15$  м - відстань точки кріплення шарніра штока ГЦ від осі СТ;  $l_0 = 1,56$  м - відстань по осі стріли від шарніра до точки кріплення домкрата.

**Визначення потрібного діапазону кутів  $\phi_0 - \phi_2$ :**  
 $\phi_0 = \pi - \arcsin(y_{ss}/l_{ss}) = 2,662$  рад;  $x_{0sv} = l_{ss} \cdot \cos(\phi_0) = -2,307$  м - плече в ТП 0;  $\phi_1 = \arccos(x_{1sv}/l_{sv}) = 2,094$  рад - кут повороту СТ в РП 1;  $\phi_2 = \arccos(x_{2sv}/l_{sv}) = 0,723$  рад - кут повороту СТ в РП 2,

**Визначення моментів СТ з вантажем відносно осі її повороту в заданому діапазоні кутів:**

$$M_0 = R_{g0} \cdot x_{0sv} = -2076 \text{ Нм} - \text{момент в ТП 0};$$

$$M_1 = R_g \cdot x_{1sv} = -6 \cdot 10^4 \text{ Нм} - \text{момент в РП 1};$$

$$M_2 = R_g \cdot x_{2sv} = 9 \cdot 10^4 \text{ Нм} - \text{момент в РП 2}.$$

**Визначення зміни моментів від ваги вантажу в процесі повороту СТ:**

$$M_{1g} = R_g \cdot l_{sv} \cdot \cos(\phi); \quad M_{2g} = R_{g0} \cdot l_{ss} \cdot \cos(\phi).$$

Залежність моменту ваги системи  $M(\phi)$ , що піднімається, від кута повороту СТ показана на рис. 4.

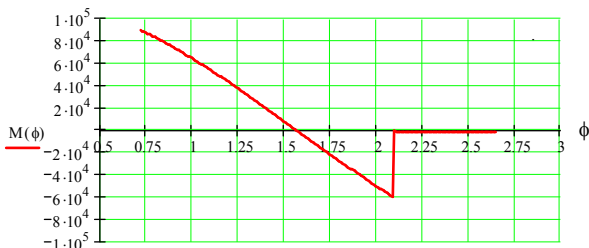


Рис. 4. Зміна моменту при повороті СТ

Негативні значення моменту відповідають розтягуючому зусиллю в ГЦ.

**Визначення необхідних плечей для різного положення ГЦ :**  $f_p = \pi \cdot d_p^2 / 4 = 0,018$  м<sup>2</sup> - площа поршневої порожнини ГЦ;  $f_s = 0,85 \cdot f_p = 0,015$  м<sup>2</sup> - площа штокової порожнини ГЦ;  $h_0 = M_0 / (p_n \cdot f_s) =$

$$= 6,91 \cdot 10^3 \text{ м} - \text{потрібне плече ГЦ в ТП}; \quad h_n = M_1 / (p_n \cdot f_s) = 0,2 \text{ м} - \text{потрібне плече ГЦ в РП 1};$$

$$h_k = M_2 / (p_n \cdot f_n) = 0,255 \text{ м} - \text{потрібне плече ГЦ в РП 2};$$

$$R_{d0} = M_0 / h_0 = -3,004 \cdot 10^5 \text{ Н} - \text{потрібна сила ГЦ в ТП};$$

$$R_{d1} = M_1 / h_n = 3,004 \cdot 10^5 \text{ Н} - \text{потрібна сила ГЦ в РП 1};$$

$$R_{d2} = M_2 / h_k = 3,354 \cdot 10^5 \text{ Н} - \text{потрібна сила ГЦ в РП 2}.$$

**Визначення геометричних параметрів:**

$r_c = \sqrt{\Delta^2 + l_0^2} = 1,567$  м - радіус вектор точки кріплення шарніра ГЦ до СТ;  $\gamma_0 = \arctg(\Delta / l_0) = 0,096$  рад - кут нахилу радіус-вектора до СТ. Координати точки 3 в транспортному положенні СТ:

$$x_{c0} = r_c \cdot \cos(\phi_0 - \gamma_0) = -1,315 \text{ м};$$

$$y_{c0} = r_c \cdot \sin(\phi_0 - \gamma_0) = 0,853 \text{ м}.$$

Координати точки 3 СТ в РП 1:

$$x_{c1} = r_c \cdot \cos(\phi_1 - \gamma_0) = -0,65 \text{ м};$$

$$y_{c1} = r_c \cdot \sin(\phi_1 - \gamma_0) = 1,426 \text{ м}.$$

Координати точки 3 СТ в РП 2:

$$x_{c2} = r_c \cdot \cos(\phi_2 - \gamma_0) = 1,269 \text{ м};$$

$$y_{c2} = r_c \cdot \sin(\phi_2 - \gamma_0) = 0,919 \text{ м}.$$

**Визначення рівнянь, які описують лінії дії сил ГЦ в характерних точках**

Рівняння прямої, дотичній до кола радіусом R має вигляд:

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

де  $x, y$  - координати точки;  $\psi$  - кут між радіусом в точці дотику прямої до кола і віссю абсцис.

Оскільки лінія дії сили ГЦ торкається кола радіусу, рівного плечу ГЦ, то можна знайти кут між плечем і віссю абсцис.

Рівняння лінії дії сили ГЦ для похідного положення СТ має вигляд:

$$x_{c0} \cdot \cos(\phi_0) + y_{c0} \cdot \sin(\phi_0) = h_0,$$

де  $x_{c0}, y_{c0}$  - координати точки кріплення шарніра ГЦ до СТ в положенні 0;  $\phi_0$  - кут між радіусом в точці дотику прямої до кола і віссю абсцис.

Розв'язавши це рівняння, отримаємо  $\phi_0 = 1$ .

Рівняння лінії дії сили ГЦ для положення 1 має вигляд:

$$x_{c1} \cdot \cos(\phi_1) + y_{c1} \cdot \sin(\phi_1) = h_n,$$

де  $x_{c1}, y_{c1}$  - координати точки кріплення шарніра ГЦ до СТ в положенні 1;  $\phi_1$  - кут між радіусом в точці дотику прямої до кола і віссю абсцис.

Розв'язав це рівняння, отримаємо  $\phi_1 = 0,556$ .

Рівняння лінії дії сили ГЦ для положення 2 має вигляд:

$$x_{c2} \cdot \cos(\phi_2) + y_{c2} \cdot \sin(\phi_2) = h_k,$$

де  $x_{c2}, y_{c2}$  - координати місця кріплення шарніра ГЦ до СТ в положенні 2;  $\phi_2$  - кут між радіусом в точці дотику прямої до кола і віссю абсцис.

Розв'язав це рівняння, отримаємо  $\psi_2 = -0,781$ .

Таблиця 2

**Визначення координат точки кріплення шарніра ГЦ до рами ТМ.** Запишемо систему рівнянь, які описують лінії дії сил ГЦ в точках 1 і 2.

$$x_e \cdot \cos(\phi_1) + y_e \cdot \sin(\phi_1) = hn,$$

$$x_e \cdot \cos(\phi_2) + y_e \cdot \sin(\phi_2) = hk,$$

де  $x_e$ ,  $y_e$  - координати точки, в якій перетинаються лінії дії сил ГЦ. Розв'язав це рівняння отримаємо координати точки кріплення шарніра Е до рами:

$$x_e = 0,283 \text{ м}; \quad y_e = -0,077 \text{ м}.$$

Координати точки кріплення шарніра ГЦ.

Зміни плеча ГЦ від кута повороту СТ приведемо на рис. 5 визначається за рівнянням:

$$h(\phi) = x_e \cdot \cos(\phi) + y_e \cdot \sin(\phi).$$

Отримані і необхідні значення плечей ГЦ приведені в табл. 1.

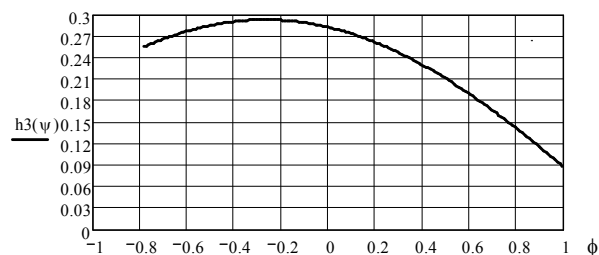


Рис. 5. Залежність зміни плеча ГЦ від кута повороту СТ

Плечі ГЦ в робочих точках 1 і 2 співпали з потрібними. У робочій точці 0, отримане плече більше за потрібне, отже, система працездатна.

Таблиця 1

Отримані і необхідні значення плечей ГЦ

Параметр	0	1	2
Отримане плече, м	0,088	0,2	0,255
Необхідне плече, м	0,007	0,2	0,255

**Визначення розмірів домкрата і його маси.**

Визначення відстаней між точками е і с<sub>0</sub>, с<sub>1</sub> і с<sub>2</sub> ГЦ при висуненому штоку для всіх положень:

$$lec_0 = \sqrt{(xc_0 - x_e)^2 + (yc_0 - y_e)^2} = 1,848 \text{ м};$$

$$lec_1 = \sqrt{(xc_1 - x_e)^2 + (yc_1 - y_e)^2} = 1,768 \text{ м};$$

$$lec_2 = \sqrt{(xc_2 - x_e)^2 + (yc_2 - y_e)^2} = 1,402 \text{ м}.$$

Хід штоку:

$$ldc_1 = lec_0 - lec_1 = 0,08 \text{ м};$$

$$ldc_2 = lec_0 - lec_2 = 0,446 \text{ м}.$$

У похідному положенні шток ГЦ повністю висунений, а в робочому положенні 2 шток ГЦ повністю втягнутий. Повний хід штока ГЦ складає 0,446 м. За отриманими даними був проведений розрахунок ГЦ. Результати розрахунку приведені в табл. 2.

Параметри домкрата

Параметр	Обозн.	Величина
Кількість домкратів	nd	2
Напруга того, що зім'яло сталі 45Х, Н/м.кв	σt	6·10 <sup>8</sup>
К-т запасу на динамич. навантаження	β1	1.6
Давл. у прямій порожнині ГЦ, МПа	pn	20
К-т запасу при розтягуванні	m1	1.65
Допустима напруга в стінці циліндра, Па	σ1	3.636·10 <sup>8</sup>
Діаметр циліндра внутрішній, м	d2	0.124
Діаметр циліндра зовнішній, м	d4	0.13
Діаметр штока зовнішній, м	d1	0.047
Діаметр штока внутрішній, м	d3	0.038
Товщина стінки штока, м	δ1	4.724·10 <sup>-3</sup>
Хід домкрата, м	xd	0.446
Максимальний об'єм рідини в поршневій порожнині ГЦ, л	Wd	5.362
Максимальний об'єм рідини в штоковій порожнині ГЦ, л	Wd1	4,58
Довжина одноступ. ГЦ, м	L1	0.791
Довжина наставки одноступ. ГЦ, м	Ln	0.611
Маса ГЦ, кг	m	38

## Висновки

Методика дозволяє вибрати параметри і компонування маніпулятора, що забезпечують нормальну роботу ТЗМ. При цьому компонуванні Гц повороту СТ має малу вагу і габарити. Малий хід штока ГЦ забезпечує роботу маніпулятора в заданому діапазоні кутів 1,939 рад (111,1 град), що дозволяє переміщати довгомірний вантаж з ТЗМ на рухливий агрегат.

## Список літератури

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: Машгиз, 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. Комисарик, 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. – ОГИЗ-Гостехиздат, 1948. – 556 с.

Надійшла до редколегії 6.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА СТРЕЛЫ МАНИПУЛЯТОРА

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

В статье рассматривается компоновка механизмов манипулятора транспортного модуля, обеспечивающая возможность перемещения груза по схеме борт – борт. Предложена методика выбора координат узлов крепления

домкрата на стреле и раме агрегата, которая позволяет обеспечить работоспособность системы подъема во всем диапазоне перемещения стрелы. Приведена конструктивно-компоновочная схема подъемно-перегрузочного оборудования транспортно-заряжающей машины.

**Ключевые слова:** механизм подъема, стрела манипулятора, транспортно-заряжающая машина, конструктивно-компоновочная схема.

#### **METHOD OF SELECTION OF PARAMETERS BOOM ROCKER MECHANISM**

V.F. Grekov, S.V. Orlov, A.A. P'yankov, Y.A. Tkachenko

*The arrangement of the transport module manipulator mechanisms that ensure the ability to move cargo on board scheme overboard considered in this article. A method for selecting the node coordinates jacking on the boom and the skid, which allows operation of the system throughout the lifting range of the boom. Constructive – layout scheme of lifting and handling equipment transport and loading vehicle are offered.*

**Keywords:** *lifting mechanism , boom arm , freight -loading machine, constructively - layout scheme.*