

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 поліспасти 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.

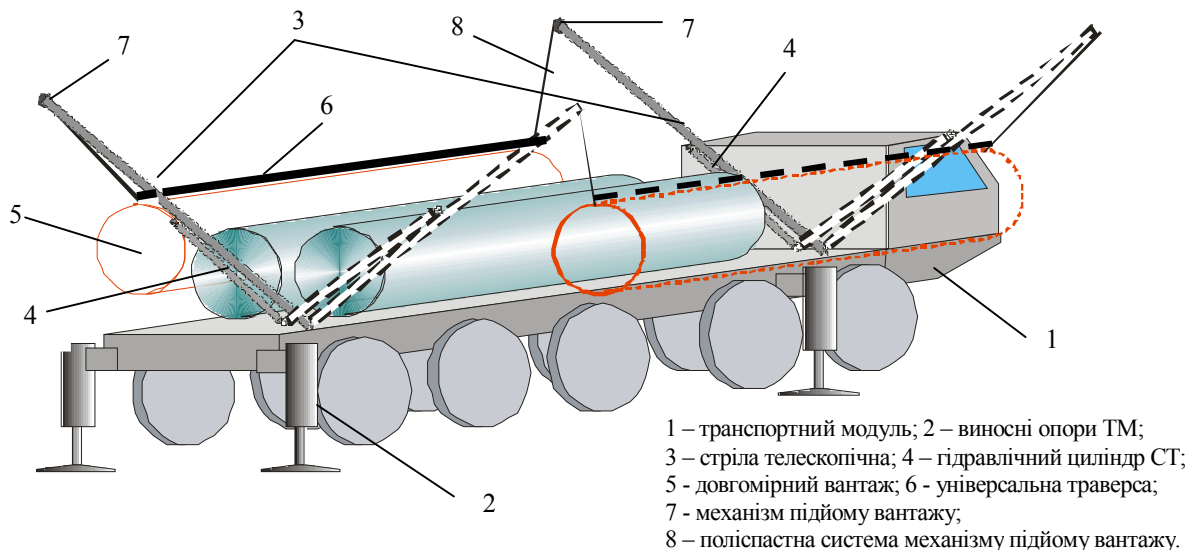


Рис. 1. Схема розміщення маніпулятора на ТЗМ

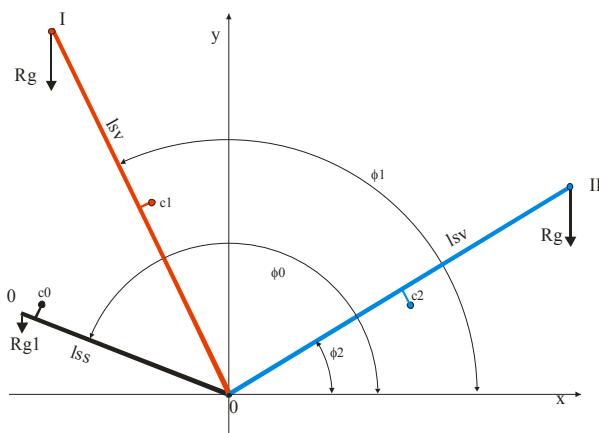


Рис. 2. Схема СТ в транспортному положенні і кути її поворотів при переміщенні вантажу

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 X0Y. Кут повороту стріли відлічується від осі OX проти годинникової стрілки. Позиція 0 відповідає ТП СТ кут повороту СТ дорівнює ϕ_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° . 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 .

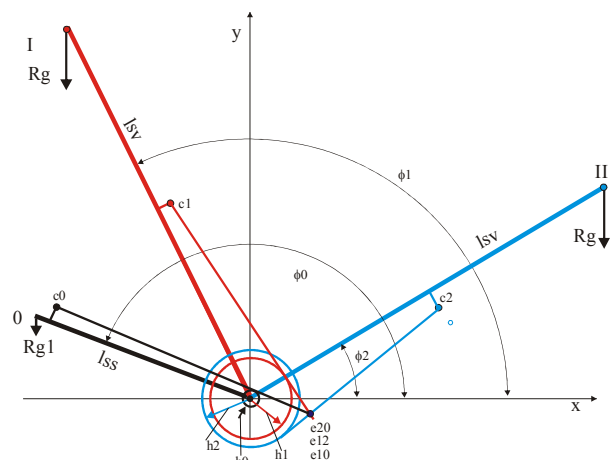


Рис. 3. Розрахункова схема вибору параметрів ГЦ і місць його кріплення на СТ і на рамі ТМ

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.

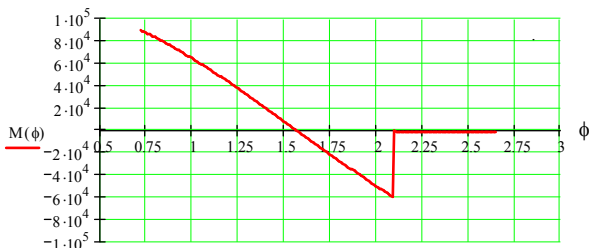


Рис. 4. Зміна моменту при повороті СТ

Негативні значення моменту відповідають розтягуючому зусиллю в ГЦ.

Визначення необхідних плечей для різного положення ГЦ : $f_p = \pi \cdot d_p^2 / 4 = 0,018$ м² - площа поршневої порожнини ГЦ; $f_s = 0,85 \cdot f_p = 0,015$ м² - 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; ψ - 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; ϕ_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; ϕ_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; ϕ_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.

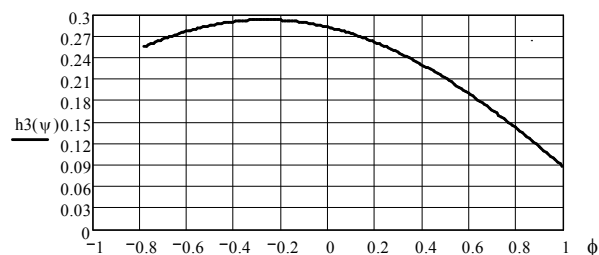


Рис. 5. Залежність зміни плеча ГЦ від кута повороту СТ

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 с₀, с₁ і с₂ 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 ⁸
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 ⁸
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 ⁻³
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.*