

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Збалансовані маніпулятори»

Розглянуто і схвалено
на засіданні кафедри підйомно-
транспортних машин
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.

Краматорськ 2019

УДК 621.873

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Збалансовані маніпулятори». /Укл. М.Ю.Дорохов. - Краматорськ: ДДМА, 2019. - 19 с.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри підйомно-транспортних машин
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.

Електронне навчальне видання

Укладач: М.Ю. Дорохов, доцент

Збалансовані маніпулятори є ефективним засобом для механізації ручної праці і знаходять широке застосування в ливарних, механічних, складальних та інших виробництвах. В світовій практиці знайшли застосування збалансовані маніпулятори з електромеханічним, пневматичним, гідравлічним та комбінованим приводами. Основою збалансованого маніпулятора використовують шарнірно-важільний механізм пантографа.

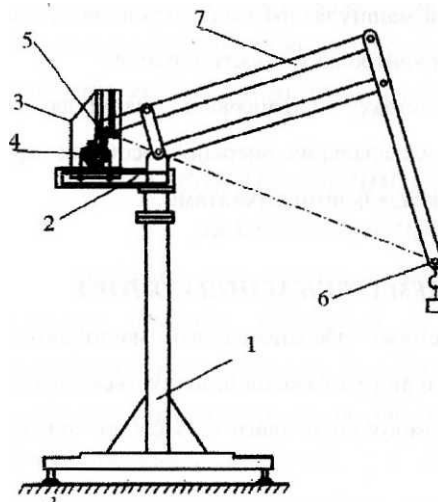


Рисунок 1 – Схема збалансованого маніпулятора

Принципові відмінності збалансованих маніпуляторів від традиційних навантажувальних пристроїв, які застосовуються для механізації технологічних процесів: ручний вплив оператора безпосередньо на вантаж; можливість плавного регулювання швидкості переміщення вантажу; рух по оптимальних траєкторіях, точна зупинка в заданій позиції, швидкість та зручність введення та виведення габаритних виробів до важкодоступних зон обладнання.

Збалансований маніпулятор містить основу 1, установлену на ній платформу 2, що може повертатися навколо вертикальної осі. виконавчий пристрій 3 з вантажним блоком 4 на кінці, привод 5 вертикального переміщення, пристрій зрівноважування, та пристрій керування 6. Стрілову частину маніпулятора складає шарнірно-важільний механізм пантографа 7 (рис. 1). У маніпуляторах з великою вантажопідйомністю можуть бути встановлені ще приводи горизонтального переміщення і повороту навколо вертикальної осі.

Призначення збалансованих маніпуляторів (механізація ручної праці) визначає переважне їх застосування в одиничному та малосерійному виробництві. Полегшуючи ручну працю, збалансовані маніпулятори підвищують її продуктивність. Так, використання маніпуляторів для завантаження та розвантаження заготовок та деталей масою приблизно 80 кг на універсальних фрезерних верстатах, підвищує продуктивність праці фактично в 1,1 ... 1,2 рази.

Збалансовані маніпулятори також можуть бути використані для механізації таких операцій як зачистка поверхонь, свердління, шліфування. В таких випадках на вантажному блоці маніпулятора мотують відповідний інструмент, а коли необхідно - і засоби контролю точності обробки.

На машинобудівних підприємствах збалансовані маніпулятори забезпечують ефективну механізацію складальних операцій, особливо при маніпулюванні важкими деталями та складальними агрегатами.

До складу виконавчого пристрою збалансованого маніпулятора входить важільний механізм. На кінці одного з важелів підвішується вантаж, який може бути зрівноважений за допомогою противаги чи засобом приводу вертикального переміщення.

При переміщенні вантажу вручну в горизонтальній площині виконавчий пристрій маніпулятора повинен забезпечити рух по траєкторії, яка достатньо точно лежить в цій площині. В іншому випадку з'являється складова сили ваги вантажу, яку доводиться долати оператору .

Схема передатного механізму для створення горизонтального прямолінійного руху вантажу повинна забезпечувати зрівноважування важільного механізму, виключаючи можливість самостійного руху вантажного блоку. Окрім того, обрана схема повинна мати мінімальні втрати на тертя в кінематичних парах маніпулятора.

При вертикальному переміщенні вантажу для зручності роботи оператора бажано, щоб траєкторія руху вантажу мало відхилялась від вертикальної прямої. За умови ручного вертикального переміщення кінематична схема мусить забезпечувати постійне навантаження від корисного вантажу на механізм зрівноваження.

В сучасних збалансованих маніпуляторах застосовують різноманітні кінематичні схеми, які повністю чи частково задовольняють вищенаведеним вимогам. Найбільш повно вказаним вимогам відповідають важільні механізми, які побудовані за схемою пантографа, тому студентам машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів потрібно знати методи аналізу та розробки алгоритмів розрахунків такого поширеного класу механізмів, якими є збалансовані маніпулятори .

Маніпулятори призначені для переміщення штучних вантажів при вантажно-розвантажувальних, монтажних, складальних та інших роботах. Пневматичний привід дозволяє застосовувати їх в пожежно- і вибухонебезпечних приміщеннях, а система управління, побудована на базі елементів промислової пневмоавтоматики з використанням новітніх досягнень в області мембранної техніки, має високу надійність і не вимагає установки спеціальних пристроїв для очищення повітря. Маніпулятори можуть бути укомплектовані:

- різними захватними пристосуваннями - механічними, пневматичними, вакуумними, магнітними і т.п.
- пристроєм для візуального контролю маси вантажу;
- автоматикою безперервного балансування вантажу у всьому діапазоні вантажопідйомності;
- пристроєм орієнтації вантажу в будь-якому необхідному просторовому положенні;
- комплектом консольних подовжувачів для збільшення зони обслуговування.

Маніпулятор може монтуватися на стійці, рухомому порталі або мосту, а також вбудовуватися в різне технологічне обладнання.

При виготовленні маніпулятори можуть бути конструктивно змінені під конкретні вимоги експлуатації.

Залежно від виду систем керування розрізняють маніпулятори з ручним і автоматичним управлінням.

У маніпуляторах з ручним управлінням оператор, діючи на ланки механізму керування, приводить у рух ланки виконавчого механізму. У найпростіших випадках передавання руху здійснюється за посередництвом механічних ланок: зубчастих коліс, тросів, важелів тощо. У цьому випадку граничні сили та переміщення виконавчого органа обмежені можливостями оператора. У разі потреби більших потужностей окремі ланки виконавчого механізму приводяться у рух приводами за сигналами, що виробляються оператором через пристрій управління.

У маніпуляторах з автоматичним управлінням ланки виконавчого механізму приводяться у рух сервоприводами, що працюють за попередньо складеною програмою. Маніпулятори з автоматичним управлінням, що застосовуються при автоматизації виробничих процесів називають промисловими роботами.

Маніпулятор-пантограф за принципом дії відноситься до пневматичних пристроїв. Управляється мікропроцесором і поєднують в собі плюси пневматичних і інтелектуальних пристроїв. Також володіє системою балансування ваги, завдяки якій здатний пристосовуватися до зміни маси вантажу протягом технологічного процесу.

Маніпулятор, робочий орган якого виконаний у вигляді механізму пантографа, має антропоморфну структуру, зазвичай утворену чотирма шарнірно з'єднаними важелями. На рисунку 2 представлена схема одного з шарнірно-важільних пантографів.

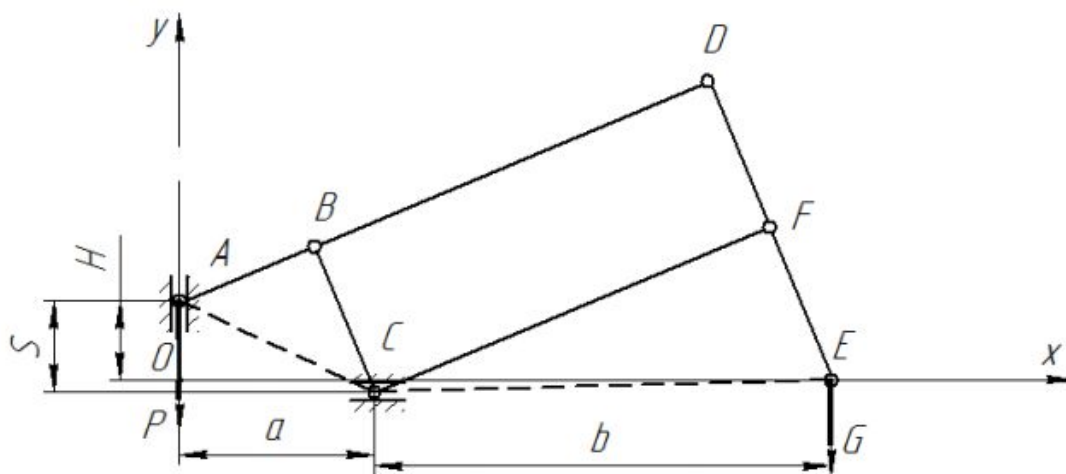


Рисунок 2 - Схема шарнірно-важільного пантографа з двома робочими точками

На рисунку 2 позначено: O - точка відліку декартової системи координат; A - провідна робоча точка; E - ведена робоча точка; C - середня робоча крапка; B, D, F - робочі точки пантографа; H - висота робочої точки E щодо точки A; S -

висота робочої точки А щодо точки С; a , b - відстань від провідної робочої точки до середньої, і середньої робочої точки до відомої відповідно; G - сила тяжіння, обумовлена вагою переміщуваного вантажу; P - зусилля, яке прикладається в точці А, необхідне для компенсації сили G .

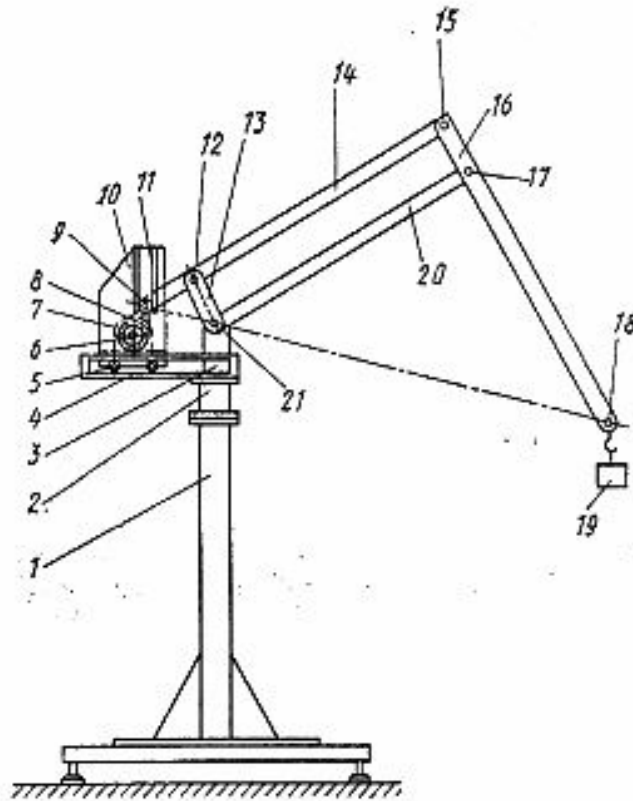


Рисунок 3 - Маніпулятор на основі пантографа з середньою точкою, шарнірно з'єднаною з колоною

Шарнірно з'єднані важелі 13, 14, 16, 20 (рис. 3) становлять механізм пантографа. Вантаж 19 підвішений до вантажного блоку, встановленому в шарнірі 18 на кінці важеля 16. Центр шарніра збігається з однією з крайніх робочих точок пантографа. Середня робоча точка пантографа збігається з центром шарніра приєднання важелів 13 і 20 поворотною колоні 2. Сила, урівноважує вантаж, прикладена до іншої крайньої робочої точки пантографа, що збігається з центром ролика 9. Геометрія механізму пантографа вибирають так, щоб відношення довжин частин важеля 14 між осями шарнірів 12, 15 і 9, 12 дорівнювала відношенню довжин частин важеля 16 між осями шарнірів 17, 18 і 17, 15. За цих умов робочі точки пантографа потрапляють на одну пряму і вантаж незалежно від його положення в робочій зоні врівноважується відстояти силою (без урахування втрат на тертя). Ролик 9, встановлений на кінці важеля 14, поміщений в вертикальний паз 11 каретки 10. Цей же кінець важеля 14 з'єднаний з ланцюгом 8, частина якої намотана на барабан 6. Вал барабана 6 кінематично пов'язаний з валом електродвигуна 7, установленого на каретці 10. Каретка 10 забезпечена роликами 5, які можуть переміщатися в горизонтальній

направляючої, передбаченої в кронштейні 4, жорстко закріпленому на поворотній колоні 3. Остання встановлена в підшипниковому вузлі 2 на стійці 1 і може вільно повертатися навколо вертикальної осі. Для зменшення навантаження на підшипники вузла 2 шарнір 21 розташовується на вертикальній осі колони.

У наведеній конструкції горизонтальне переміщення вантажу відбувається при додатку до нього невеликої сили внаслідок того, що доводиться долати тільки тертя в шарнірах пантографа і опір коченню в роликах каретки 10. Вертикальне переміщення виробляється при намотування або змотування ланцюга з барабана 6.

Недоліком конструкції є те, що при горизонтальному переміщенні доводиться розганяти (гальмувати) досить значні маси-маси вантажу, важелів пантографа і каретки. Крім того, при перенесенні великих мас ланки 14 і 16 пантографа в крайніх положеннях піддаються істотним згинальним навантаженням.

2 Розрахунок основних параметрів маніпулятора

Максимальне значення реакції в шарнірах:

$$\frac{R_{max}}{G_H i_n} = \alpha,$$

де $\alpha=1,85\dots 2,1$ (для більших значень G_H , менш значень α);

$R_{max}=30000\text{Н}$ та $\alpha = 1,9$ (із площі шарніра).

Передаточне число пантографа:

$$i_n = \frac{R_{max}}{G_H \alpha} = \frac{30000}{2200 * 2,025} = 6,7.$$

Хід роликів вертикального та горизонтального пересування:

$$S = \frac{h}{i_n - 1} = \frac{950}{6,7 - 1} = 166,67\text{мм};$$

$$T = \frac{a}{i_n} = \frac{1450}{6,7} = 216,42\text{мм}.$$

Параметри:

$$x = \frac{x_0 + a}{i_n} = \frac{950 + 1450}{6,7} = 358,2 \text{ мм};$$

$$y = \frac{y_0 + h}{i_n - 1} = \frac{550 + 950}{6,7 - 1} = 263,16\text{мм};$$

За максимальну допустиму реакцію в шарнірі приймаємо:

$$(\psi - \varphi)_{max} = 120;$$

$$(\psi - \varphi)_{min} = 30;$$

Визначаємо λ та l_4 :

$$\lambda = \frac{l_1}{l_2}.$$

Із умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\left(\frac{i_n}{i_{n-1}}\right)^2 * y_0^2 + x_0^2} = i_n l_4 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(\psi - \varphi)_{max}} \\ \sqrt{\left(\frac{i_n}{i_{n-1}}\right)^2 * (y_0^2 + h)^2 + (x_0 + a)^2} = i_n l_4 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(\psi - \varphi)_{min}} \end{array} \right. ;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\left(\frac{6,7}{6,7-1}\right)^2 * 550^2 + 950^2} = 6,7 l_4 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 30} \\ \sqrt{\left(\frac{6,7}{6,7-1}\right)^2 * (550 + 950)^2 + (950 + 1450)^2} = 6,7 l_4 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 120} \end{array} \right. ;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1121,6 = 6,7 l_4 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 30} \\ 2899 = 6,7 l_4 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 120} \end{array} \right.$$

Із умови 1, виражаємо:

$$l_4 = \frac{1121,6}{6,7 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 30}};$$

Підставимо в умову 2:

$$2899 = \frac{6,7 * 1121,6 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 120}}{6,7 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 30}}.$$

Отримуємо:

$$\left(\frac{2899}{1121,6}\right)^2 = \frac{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos(-0,5)}{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos 0,866};$$

$$5,68\lambda^2 - 11,57\lambda + 5,68 = 0;$$

$$\lambda_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{11,57 + \sqrt{4,82}}{2 * 0,68} = 1,2;$$

$$\lambda_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-11,57 + \sqrt{4,82}}{2 * 5,68} = 0,825.$$

Приймаємо $\lambda=1,2$.

Звідси:

$$l_4 = \frac{1121,6}{6,7 \sqrt{1 + 1,2^2 - 2 * 1,2 * \cos 30}} = 278,4 \text{ мм};$$

Визначаємо розміри ланки паліографу:

$$l_1 = i_n \lambda l_4 = 6,7 * 1,2 * 278,4 = 2238 \text{ мм};$$

$$l_2 = i_n l_4 = 6,7 * 278,4 = 1865,3 \text{ мм};$$

$$l_3 = (i_{n-1}) \lambda l_4 = (6,7 - 1) 1,2 * 278,4 = 1904,26 \text{ мм}.$$

Мінімальна швидкість:

$$\Delta S = V_n (t_{p.on} + (0.3 \dots 0.5) t_T),$$

V_n - швидкість переміщення вантажу перед початком гальмування;

t - час гальмування. Обираємо 0,2с.

Виражаємо: $V_n = V_s$:

$$V_n = \frac{\Delta S}{(t_{p.on} + (0.3 \dots 0.5)t_T)'} \\ V_n = \frac{2}{(0.2 + 0.3 * 0.2)} = \frac{7,69 \text{ мм}}{\text{сек}}$$

Розглянемо режим підйому для забезпечення якого точка А отримує від гідроциліндра вертикальний рух. За умови $V_A = const; V_B = 0$, з полюса р плану швидкостей проводимо зображуючий вектор швидкості точки А, довжину якого визначаємо за формулою:

$$(pa) = \frac{V_a}{\mu_v},$$

де V_a – швидкість переміщення точки А (штока вертикально встановленого гідроциліндра), м/с;

μ_v - масштабний коефіцієнт плану швидкостей, м*с⁻¹/мм;

$$(pa) = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ мм.}$$

Рух точки Е, яка належить ланкам 3 та 6, відносно точок А і В, опишемо системою векторних рівнянь:

$$\begin{cases} \vec{V}_E = \vec{V}_A + \vec{V}_{EA}; \\ \vec{V}_E = \vec{V}_B + \vec{V}_{EB}; \end{cases}$$

Відповідно цьому рівнянню з точки А проводимо пряму, перпендикулярну до осі АЕ ланки 1, а з точки в, яка знаходиться в полюсі р, проводимо пряму, перпендикулярну до осі ЕВ ланки 4. На перетині цих прямих отримуємо точку е, яку з'єднуємо з полюсом р.

Швидкість точки Е:

$$V_E = (pe) * \mu_v,$$

де (ре)- мм довжина відрізка на плані швидкостей

Враховуючи, що точка D належить ланці 3, швидкості двох точок якої ми вже знаємо (А та Е)ми вже знаємо,, положення точки d на плані швидкостей визначимо із співвідношення $\frac{AE}{(ae)} = \frac{AD}{(ad)}$, звідки:

$$(ad) = ae \frac{AD}{AE},$$

$$(ad) = 2 \frac{223}{33} = 13,5 \text{ мм};$$

$$(ef) = fd \frac{CF}{FD},$$

$$(ef) = 1,1 \frac{160}{26} = 6,8 \text{ мм};$$

$$V_C = (pc) * \psi,$$

$$V_C = 124 * 0,05 = 6,2 \text{ мм};$$

При $V_A = 1 \text{ м/с}$, $V_C = 6,2 \text{ /с}$

Визначаємо швидкість точки А

Приймаємо $AH \approx AE$

Припущення, необхідні для розрахунку:

- всі елементи стріли абсолютно жорсткі;
- з'єднання елементів стріли між собою абсолютно жорсткі;
- для дружності розглядаємо тільки праву частину стріли.

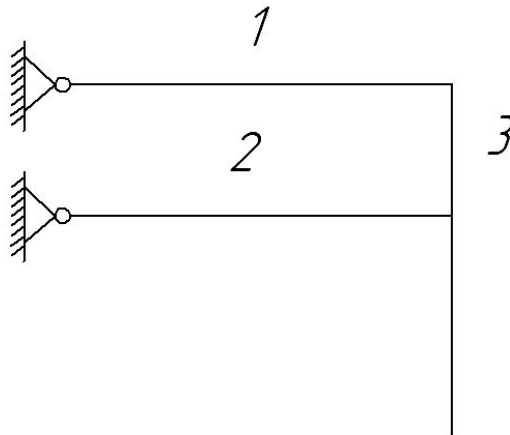
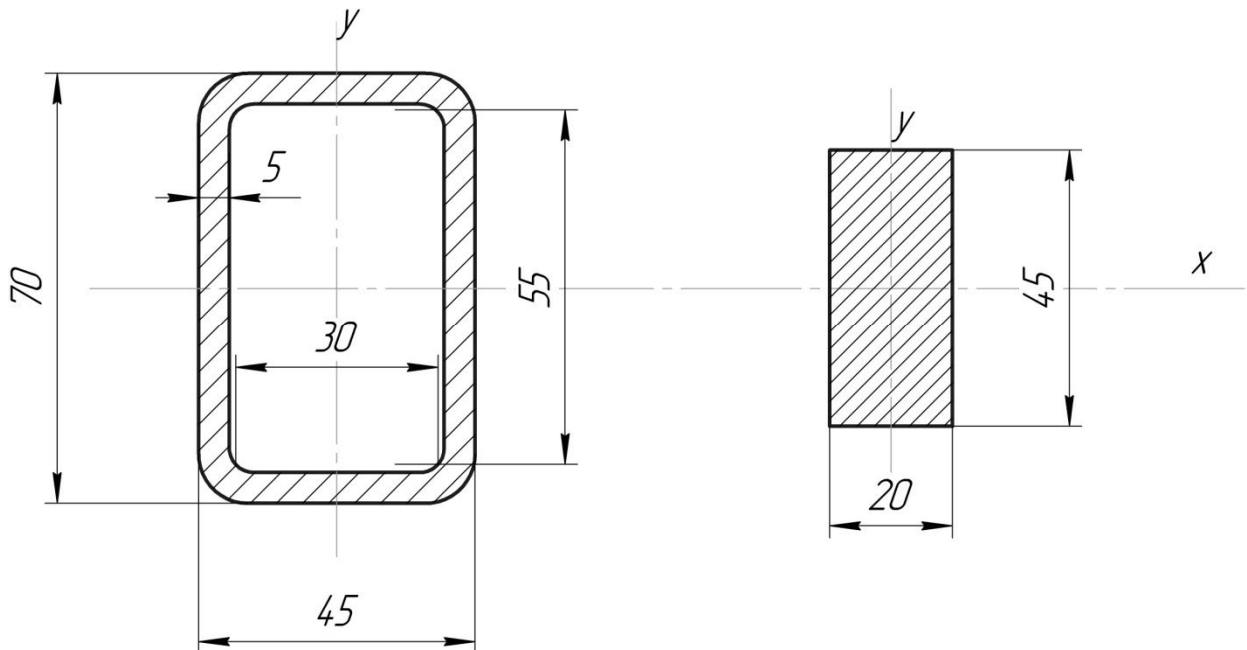


Рисунок 5 - Розрахункова схема стріли

Визначення геометричних характеристик перетинів стріли.

Приймаємо наступні параметри для елементів 1, 2 та 3 стріли маніпулятора.



а - перетин елементів 1 та 3; б - перетин елемента 2

Рисунок 6 - Поперечні перетини елементів стріли.

Визначення площі поперечних перетинів:

$$F_1 = F_3 = 55 \cdot 5 \cdot 2 + 30 \cdot 5 \cdot 2 + 15 \cdot 5 \cdot 4 = 1150 \text{ мм}^2 = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$F_2 = 45 \cdot 20 = 900 \text{ мм}^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Визначення моментів інерції перетинів:

$$J_{x2} = \frac{0.2 \cdot 0.45^3}{12} = 1.52 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2;$$

$$J_{y2} = \frac{0.45 \cdot 0.02^3}{12} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2;$$

$$J_{x1} = J_{x3} = \frac{0.005 \cdot 0.63^3}{12} \cdot 2 + \frac{0.038 \cdot 0.005^3 \cdot 2}{12} + \left(\frac{0.07}{2} - \frac{0.005}{2}\right)^2 \cdot 0.038 \cdot 0.005 = 4.1 \cdot 10^{-7}$$

$$J_{y1} = J_{y3} = \frac{0.063 \cdot 0.005^3}{12} \cdot 2 + \frac{0.005 \cdot 0.038^3}{12} \cdot 2 + \left(\frac{0.045}{2} - \frac{0.005}{2}\right)^2 \cdot 0.005 \cdot 0.063 = 1.73 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4;$$

Визначення мас елементів стріли:

$$M = Fl\rho,$$

де l – довжина елемента;

$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – щільність сталі;

F – площа поперечного перетину.

$$m_1 = 1.15 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot ED;$$

$$m_1 = 1.15 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 1.9 = 17 \text{ кг};$$

$$m_2 = 9 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 \cdot BF;$$

$$m_2 = 9 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 \cdot 1.9 = 13.3 \text{ кг};$$

$$m_3 = 1.15 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot DC;$$

$$m_3 = 1.15 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 1.8 = 16 \text{ кг};$$

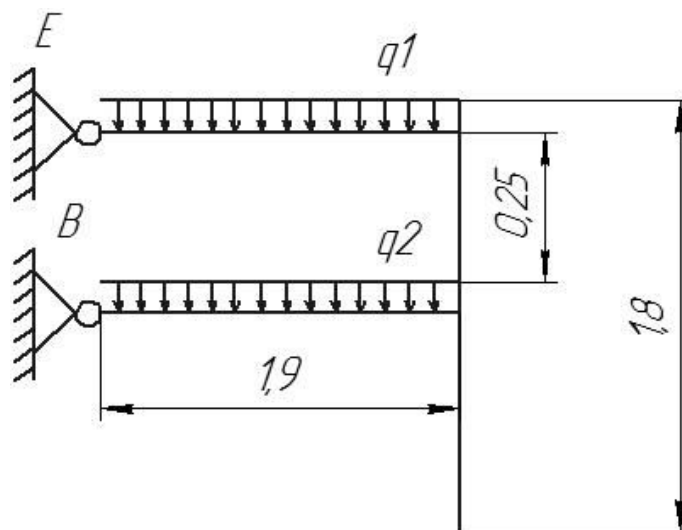


Рисунок 7 - Розрахункова схема стріли

Визначення згинальних моментів:

$$G = G_{гр} + C_a + C_3;$$

$$G_{гр} = G_n = 2200 - \text{вага};$$

G_n – вага вантажозахоплювача;

Вага ланки DC:

$$C_3 = 3,31 \cdot 9,81 = 32,47;$$

$$G = G_{гр} + G_n + C_3;$$

$$G = 2200 + 100 + 32,47 = 2332,47 \text{ Н};$$

$$q_1 = \frac{m_1 * g}{ED};$$

$$q_1 = \frac{17 * 9.81}{3.8} = 43.9 \text{ Н/м};$$

$$q_2 = \frac{m_2 * g}{BF};$$

$$q_2 = \frac{13.3 * 9.81}{3.8} = 34.3 \text{ Н/м}.$$

Ступінь статичної невизначеності системи:

$$n = m - k;$$

$$n = 4 - 3 = 1;$$

$m = 4$ - число зовнішніх зв'язків;

$k = 3$ - число рівнянь статички.

Вибираємо еквівалентну схему:

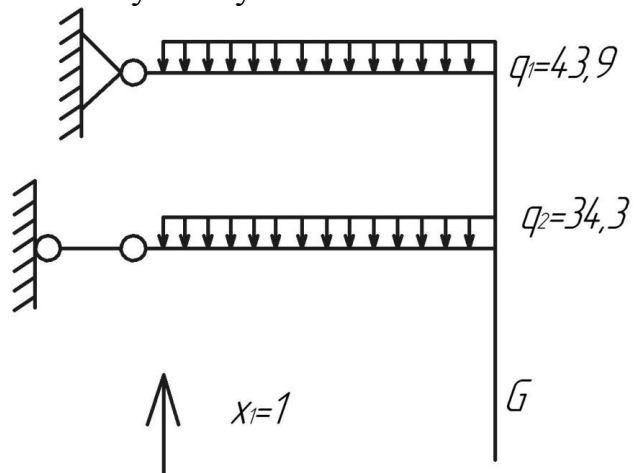


Рисунок 7 - Еквівалентна схема стріли

Одну з реакцій змінюємо одиничною силою $x_1 = 1$.

Запишемо канонічне рівняння:

$$\delta_{11} * x_1 + \delta_{1p} = 0;$$

Визначено переміщення δ_{11} та δ_{1p} .

Побудуємо опори тільки від одиничної сили:

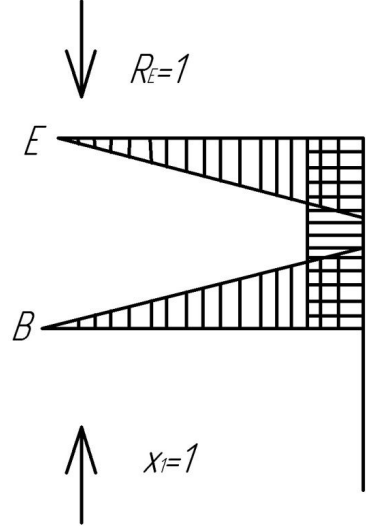


Рисунок 8 – Одиничні сили

Побудуємо опори від заданих сил:

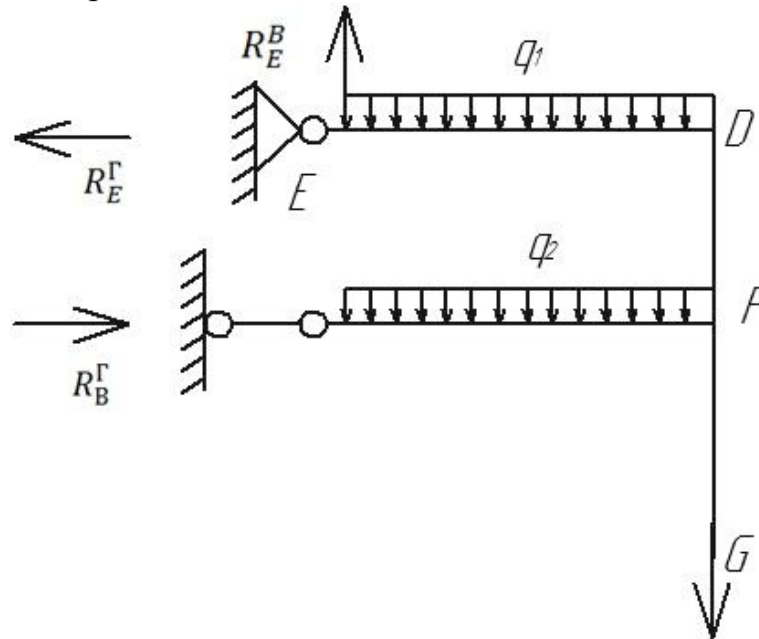


Рисунок 9 – Опори заданих сил

Знайдемо реакції опор:

$$R_E^B = q_1 * (ED) + q_2 * (BF) + G;$$

$$R_E^B = 43.9 * 1.9 + 34.3 * 1.9 = 148.58.$$

$$R_E^Gamma = R_B^Gamma = \frac{\left(\frac{q_1(ED)^2}{2}\right) + \left(\frac{q_2(BF)^2}{2}\right) + G(ED)}{DF};$$

$$R_E^Gamma = R_B^Gamma = \frac{\left(\frac{43.9 * (1.9)^2}{2}\right) + \left(\frac{34.3 * (1.9)^2}{2}\right) + 2332.47 * 1.9}{0.25} = 18291.38.$$

Загальні моменти:

$$M_1 = 0;$$

$$M_2 = R_E^B * (ED) - \left(\frac{q_1(ED)^2}{2}\right);$$

$$M_2 = 148.58 * 1.9 - \left(\frac{43.9 * (1.9)^2}{2}\right) = 203 \text{ кН};$$

$$M_2 = M_3 = 203 \text{ кН};$$

$$M_4 = 0;$$

$$\left(M_5 = \frac{q_2(BF)^2}{2}\right);$$

$$M_5 = \left(\frac{34.3 * (1.9)^2}{2}\right) = 61.9 \text{ кН};$$

$$M_6 = M_3 - R_E^Gamma * (DF);$$

$$M_6 = 203 - 18291.38 * 0.25 = -4369.8 \text{ кН}.$$

Побудуємо епюру загальних моментів:

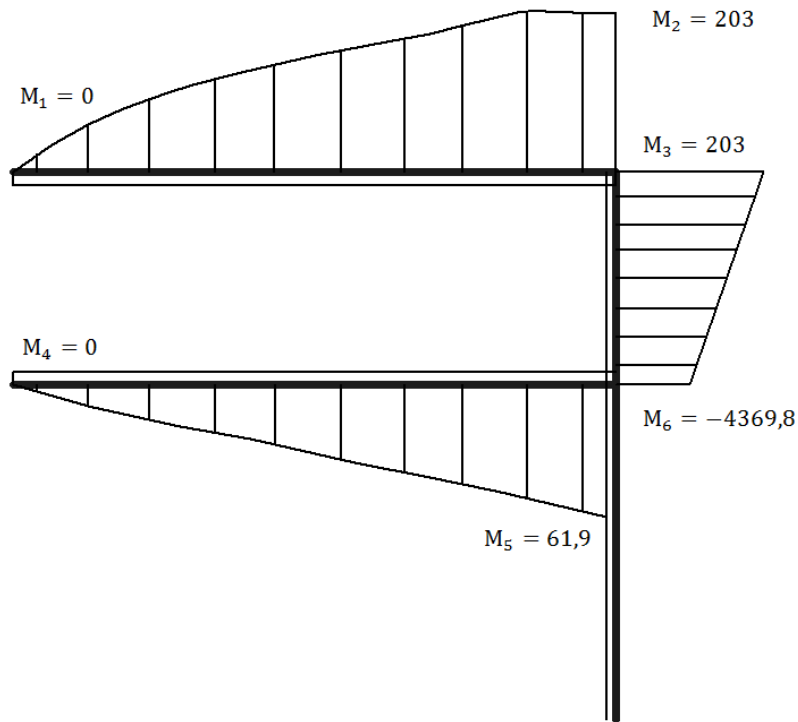


Рисунок 10 – Епюри згинальних моментів

$$\delta_{1p} = \frac{1}{E * J_{x3}} \left(\frac{(ED) * M_2}{4} \right) * 5000 + \left(\frac{(DF) * M_2^2 * 2}{2 * 3} \right) + \frac{1}{E * J_{x2}} * \frac{2 * (ED) * M_5^2}{3};$$

$$\delta_{1p} = \frac{1}{2.1 * 10^5 * 4.1 * 10^{-7}} \left(\frac{1.9 * 203}{4} \right) * 5000 + \left(\frac{0.25 * 203^2 * 2}{2 * 3} \right) + \frac{1}{2.1 * 10^5 * 3 * 10^{-8}} * \frac{2 * 1.9 * 61.9^2}{3} = 602133.5 .$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{E * J_{x3}} \left(\frac{(ED)^3 * 2}{2 * 3} + (DF) + (ED)^2 \right) + \frac{1}{E * J_{x2}} * \frac{(ED)^3}{3};$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{2.1 * 10^5 * 4.1 * 10^{-7}} \left(\frac{1.9^3 * 2}{2 * 3} + 1.9 + 1.9^2 \right) + \frac{1}{2.1 * 10^5 * 3 * 10^{-8}} * \frac{1.9^3}{3};$$

$$\delta_{11} * x_1 + \delta_{1p};$$

$$x_1 = -\frac{\delta_{1p}}{\delta_{11}};$$

Розраховуємо канонічне рівняння:

$$0,46x_1 + 2,02 = 0;$$

$$x_1 = -4,39 \text{ кН.}$$

Тоді канонічна епюра згинаючих моментів отримує вигляд, показаний на рисунку 11.

Перевірка обраних перетинів на згин:

$$G_{\text{расч}} = \frac{M_{\text{max}}}{w_z} \leq [\delta].$$

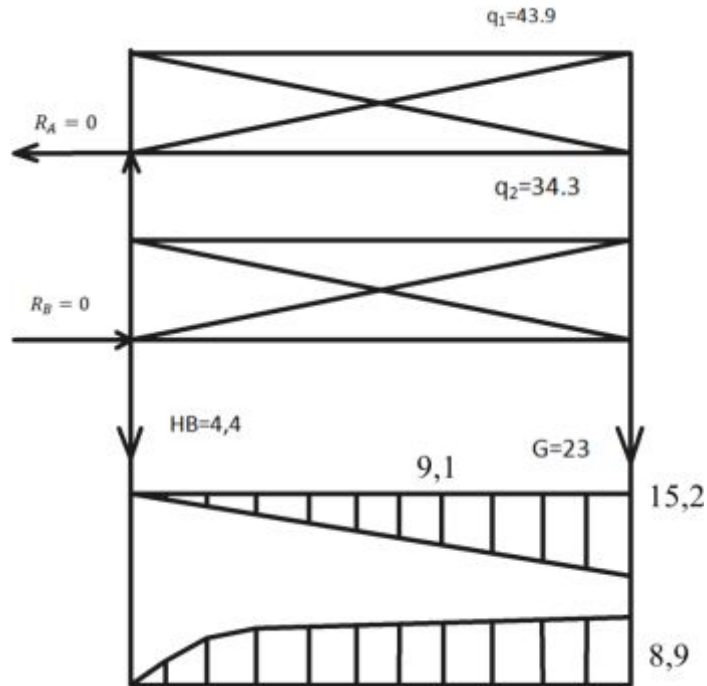


Рисунок 11 - Канонічна еюра згинаючих моментів

Допустимі напруження дорівнюють:

$$[\delta] = \frac{\delta_T}{n};$$

$$[\delta] = \frac{240}{2} = 120 \text{ МПа.}$$

$n=2$ – запас міцності;

w_z - момент опору перетину:

$$W_{12} = \frac{0.02 \cdot 0.045^2}{6} = 6.75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$W_{10} = W_{11} = \frac{\delta_H^2}{3} \left(3 \frac{B}{H} + 1 \right);$$

$$W_{10} = W_{11} = \frac{0.005 \cdot 0.07^2}{3} \left(3 \frac{0.045}{0.07} + 1 \right) = 2.4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3;$$

$$\delta_{p12} = \frac{9.1 \cdot 10^{-3}}{6.75 \cdot 10^{-6}} = 118.1 \text{ МПа} \leq [\delta] = 120 \text{ МПа};$$

$$\delta_{p10} = \delta_{p11} = \frac{15.2 \cdot 10^{-3}}{2.4 \cdot 10^{-5}} = 63.3 \text{ МПа} < [\delta] = 120 \text{ МПа};$$

Умови міцності виконуються.

Рекомендована література

- 1 Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. - М.: Машиностроение, 1988. - 392 с.
- 2 Никитин К.Д. и др. Основы робототехники. - Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1986. - 208 с.
- 3 Сбалансированные манипуляторы/И.Л.Владов, В.Н.Данилевский, П.Б.Ионов и др.; Под ред. П.Н.Белянина, - М.: Машиностроение, 1988. - 264 с.