

Н. Р. ДЖАВАХЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ
НА ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ ПАНТОГРАФНОГО МАНИПУЛЯТОРА

За последнее десятилетие делаются интенсивные шаги по разработке и внедрению ручных манипуляторов (РМ)—новых универсальных средств механизации погрузочно-разгрузочных и складских работ, сборочных операций и обслуживания металлорежущих станков. Основной характеристикой, определяющей качество РМ, является величина требуемого усилия оператора для горизонтального перемещения манипулируемого объекта. Это усилие зависит от степени уравновешенности РМ и совершенства его узлов трения и не должно превышать 50 Н [1].

В настоящей работе предложена методика определения усилия оператора, необходимого для преодоления трения в кинематических парах пантографных РМ, изучено влияние различных факторов на величину этого усилия и выполнено рациональное уравновешивание РМ по условию одновременной минимизации потребных движущих сил.

Для определения требуемого усилия оператора рассмотрим предельное равновесное положение манипулятора. В этом положении для каждого звена линия действия равнодействующей внешних сил и линии действия реакций в двух его шарнирах с учетом сил трения, согласно теореме о трех силах, пересекаются в одной точке (рис. 1), а треугольник сил замкнут. Реакции в шарнирах проходят по касательным к кругам трения [2] радиуса

$$r_p = r_p \sin \varphi_p \approx r_p f_p,$$

где φ_p , f_p и r_p — угол, коэффициент трения и радиус цапфы шарниров; $p = A, D, E, B, H$.

Положение точек касания реакций с соответствующими кругами трения определяется в зависимости от направления относительных угловых скоростей ω_{ij} на возможных перемещениях звеньев так, чтобы моменты реакций R_{ij} относительно центров шарниров были сонаправлены с ω_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4$). Направления ω_{ij} определяются направлением усилия T оператора, которое может быть представлено коэффициентом $n = \pm 1$ ($n = +1$ при $\vec{T} \parallel OX$ и $n = -1$ при $\vec{T} \perp OX$). Решение задачи упрощается особенностью пантографных механизмов, а именно равенством абсолютных угловых скоростей параллельных звеньев, приводящим к равенству модулей относительных скоростей, и осуществляется при следующих допущениях:

—система сил, действующих на звенья пантографа, рассматривается как плоская, приложенная в срединной плоскости РМ, содержащей грузозахватный орган;

—вес звена 4 незначительный и не учитывается.

Второе допущение при заданном направлении искомой силы T однозначно определяет направления реакций R_{41} и R_{34} и сильно упрощает решение задачи силового анализа с учетом трения.

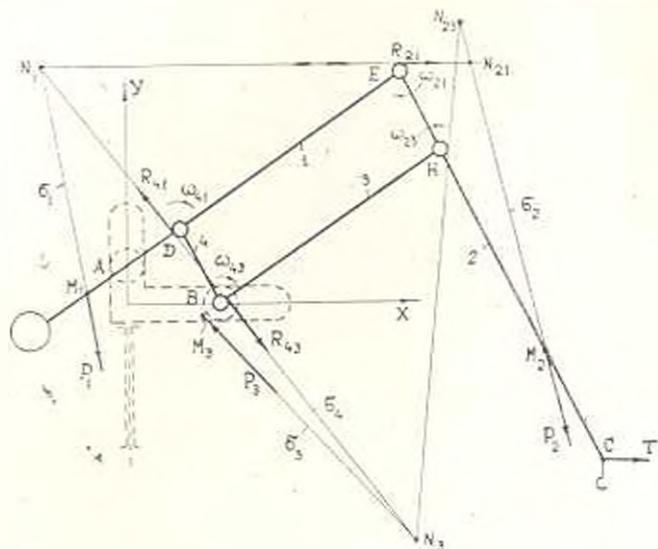


Рис. 1. Схема нагружения звеньев пантографной стрелы манипулятора с учетом трения в его кинематических парах.

Величину требуемого усилия T оператора определим последовательным рассмотрением равновесия звеньев 4, 1, 2 и 4, 3, 2 с использованием теоремы о трех силах. С этой целью сначала для звеньев $i=1, 2, 3$ находим модули P_i линии действия ε_i равнодействующих P_i и точки пересечения M_i последних с продольными осями соответствующих звеньев (рис. 1). По известной линии действия ε_1 реакций R_{41} и R_{13} определяем точки N_1 и N_2 ее пересечения с линиями действия равнодействующих P_1 и P_2 . Затем из точек N_1 и N_2 с учетом направлений ω_{21} и ω_{34} проводим касательные к кругам трения шарниров E и H соответственно, которые пересекутся с линией действия равнодействующей P_2 в точках N_{21} и N_{34} . Задача сводится к определению значения усилия оператора, при котором точки N_{21} и N_{34} совпадут ($Y_{21} = Y_{34}$). Требуемое значение усилия T оператора, при котором в предельном равновесном положении преодолеваются все силы трения покоя, определяем решением нелинейного уравнения

$$\Delta = Y_{21} - Y_{34} = \Delta(T) = 0. \quad (1)$$

Итерационный процесс нахождения искомого значения T осуществляем от начального значения $T_0 > 0$, для которого определяем функцию (1). Если значение Δ превышает заданную точность вычисления

е, продолжаем поиск решения до достижения заданной точности. Для проведения расчетов была составлена программа на языке ФОРТРАН-IV, позволяющая отдельно исследовать влияние различных параметров манипулятора на величину требуемого усилия оператора. Исследования проведены на примере манипулятора УМР со следующими параметрами (рис. 2): вес подвижных частей $G_1 = 4000 \text{ Н}$; грузоподъемность $G = 1000 \text{ Н}$; геометрические параметры: $DB = 210 \text{ мм}$, $q = AE/EC = AD/DB = 1$; коэффициент подобия пантографа $k = AE/AD = 7$; коэффициент трения в кинематических парах $f = 0,1$; $X_0 = 84 \text{ мм}$, $X_1 = 252 \text{ мм}$, $Y_0 = 84 \text{ мм}$, $Y_1 = 252 \text{ мм}$.

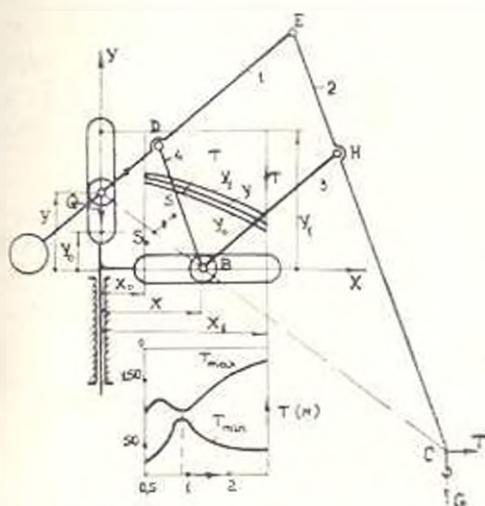


Рис. 2. Расчетная схема манипулятора с графиками изменения усилия оператора.

Результаты расчетов показали, что усилие оператора при работе манипулятора в ненагруженном режиме не превышает допустимого значения $T_{\max} = 50 \text{ Н}$, поэтому было исследовано влияние на величину требуемого усилия оператора при работе манипулятора в нагруженном режиме следующих факторов: k , n , X , Y , q , f , b , a .

Параметры $b = BS_1/BA$ и $a = S_1S$ (рис. 2) определяют положение центра масс S пантографной стрелы РМ [3].

Расчеты показали, что величина усилия оператора в заданной точке зоны обслуживания практически не зависит от коэффициента подобия k пантографа и направления горизонтального перемещения манипулируемого груза, определяемого параметром n .

На рис. 2 представлены графики зависимостей $T(X, Y_k)$, $T_{\max}(q)$ и $T_{\min}(q)$, откуда следует, что усилие T переменнo по зоне обслуживания, определяемой обобщенными координатами X и Y . Оно увеличивается с уменьшением X и с увеличением Y , т. е. с приближением к граничной точке зоны обслуживания ($X = X_0$, $Y = Y_1$). На границы изменения усилия $T \in [T_{\min}, T_{\max}]$ существенно влияет гео-

метрический параметр манипулятора q . Значение $q = 0,8$ для рассматриваемого манипулятора является оптимальным, ибо выравнивает по всей зоне обслуживания величину усилия оператора.

Далее было изучено влияние на T величины коэффициента трения f в трех очагах трения: между роликом и пазом горизонтального перемещения ($f_B = f$), роликом и пазом вертикального перемещения ($f_A = f$) и трение во вращательных парах ($f_{\omega} = f$).

На рис. 3 представлены графики зависимости усилия оператора от коэффициентов трения f в каждом из трех очагов трения при фиксированных значениях f^* коэффициентов трения в двух других очагах, из которых видно, что силы трения, возникающие в поступательной паре вертикального перемещения и во вращательных парах (кривые 2, 3) практически не оказывают влияния на усилие T , в то время, как последнее существенно зависит от силы трения между роликом и пазом горизонтального перемещения (кривая 1).

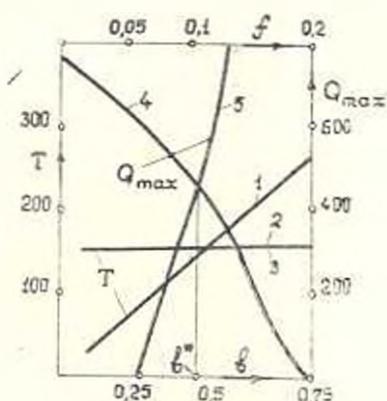


Рис. 3. Графики изменения движущих сил для горизонтального и вертикального перемещений манипулируемого объекта.

Изучение влияния параметров a и b на величину T показало, что T практически не зависит от коэффициента b и увеличивается с ростом a . Поэтому оптимальным следует считать значение $a=0$, при котором центр масс стрелы находится в точке S_2 на шарнирной прямой ABC и при горизонтальном перемещении точки C подвеса манипулируемого объекта перемещается по горизонтальной прямой $Y_S = bY$. При этом значение b может быть найдено из условия минимизации усилия Q вертикального перемещения, развиваемого силовым цилиндром подъема манипулируемого объекта. На рис. 3 представлены графики $Q_{max}(b)$ при работе манипулятора в нагруженном (кривая 4) и ненагруженном (кривая 5) режимах с учетом трения в кинематических парах. Значение b^* , при котором кривые 1 и 2 пересекаются, определяет положение центра масс на шарнирной прямой, оптимальное с точки зрения минимизации движущих сил T и Q . Из этого следует, что полное уравновешивание палтографной стрелы PM ($a=0$, $b=0$), при котором

ее центр массе совмещается с центром шарнира B [3], не является оптимальным. Частичное уравнивание стрелы ($a=0$, $b=b^*$) позволяет значительно уменьшить энергозатраты путем одновременной минимизации движущих сил Q и T .

Ն. Բ. ԶԱՎԻՅԱՆ

**ՏԱՐԵՐ ԳՈՐԾՈՂՆԵՐԻ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՊԱՆՏՈՐԱԶԱՅԻՆ ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐԻ ՇԱՐՔԻԿ ՈՒՅԻՐԻ ՎՐԱ**

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Առաջարկված է տեղափոխվող օբյեկտի հորիզոնական տեղաշարժի ժամանակ ձեռքի կառավարմամբ պանտոգրաֆային մանիպուլյատորի կինեմատիկական զույգերում շփումը հաղթահարելու համար անհրաժեշտ սպերատորի ուժի որոշման մեթոդիկա և ուսումնասիրված է տարբեր զործոնների ազդեցությունը այդ ուժի մեծության վրա: Ճույշ է արված, որ այդ ուժի վրա զերակչող ազդեցություն ունեն պանտոգրաֆի այն օղակների երկարությունների հարաբերությունը, որոնց վրա կիրառվում են շարժիչ ուժերը, և շփումը հորիզոնական շարժման համընթաց զույգում:

Մշակված է ձեռքի կառավարմամբ պանտոգրաֆային մանիպուլյատորի նպատակահամար հավասարակշռման մեթոդ, որը թույլ է տալիս տեղափոխվող օբյեկտի հորիզոնական և ուղղածից տեղաշարժերի համար անհրաժեշտ շարժիչ ուժերը բերել փոքրագույնի:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Полов М. В.* Уsville горизонтальной подачи сбалансированных манипуляторов пантографного типа // Проектирование механизмов и динамика машин: Межвузовский сб. науч. трудов ВЗМН.—М., 1986.—Вып. 20.—С. 111—115.
2. *Кожевников С. И.* Теория механизмов и машин.—М.: Машиностроение, 1973.—591 с.
3. *Саркисян Ю. Л., Джавахан Н. Р.* Рациональное уравнивание неопозитивных механизмов манипулятора // Изв. ВУЗ-ов. Машиностроение.—1988.—№ 7—С. 44—48.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLJ, № 5, 1988

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. В. ХЕЧУМЯН, Г. С. МАРТИРОСЯН, Р. С. МАРТИРОСЯН

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШПИНДЕЛЬНОГО
УЗЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДЕТАЛИ**

Известно, что на шероховатость поверхности влияет большое количество факторов: скорость резания, подача, радиус закругления при вершине реза, главный и вспомогательный углы в плане и др. Однако