

УДК 630*38

С.П. Дорохов

ОАО НПП «Старт» (г. Екатеринбург)

Дорохов Сергей Петрович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Уральский лесотехнический институт, начальник конструкторской бригады ОАО НПП «Старт» (г. Екатеринбург). Имеет более 20 печатных работ по оптимизации процесса переноса груза манипуляторами.
Тел. 8 (343) 228-93-26



СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЦИКЛОВ ДВУХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЕГО ЗВЕНЬЕВ

Показано, что минимальное время циклов переноса лесоматериалов имеет двухзвенный манипулятор с совместным движением звеньев.

Ключевые слова: манипулятор, траектория, время, цикл.

Наибольшее распространение в лесной промышленности получили дистанционно-управляемые двухзвенные шарнирно-рычажные манипуляторы с операторным управлением с помощью кнопочных пультов или рукояток. При этом в манипуляторах широко используются гидравлические и электрогидравлические приводы управления.

Проектирование дистанционно-управляемых манипуляторов связано с решением ряда научно-технических проблем, среди которых отмечаются следующие [3].

1. Разработка принципов построения дистанционно-управляемых манипуляторов.

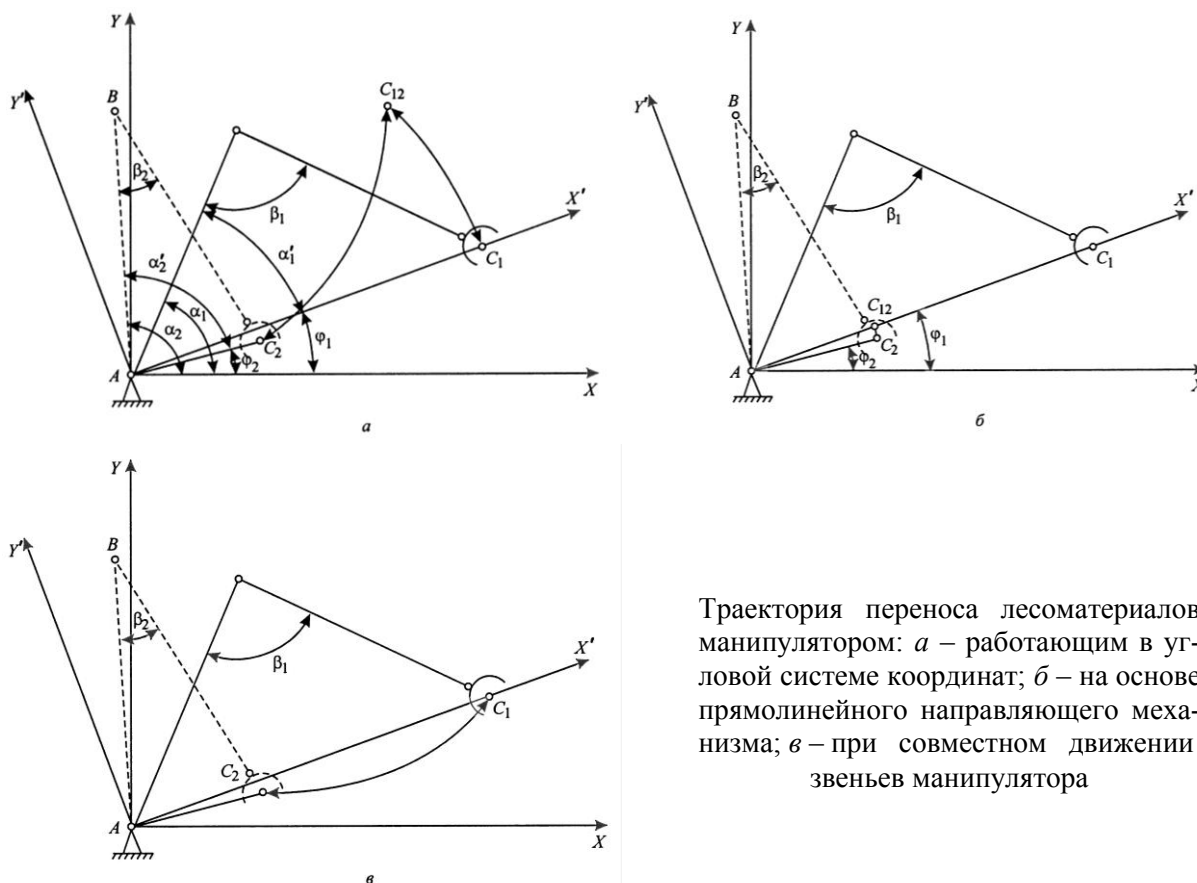
2. Формирование критериев, позволяющих проводить сравнительный кинематический анализ различных манипуляторов.

В нашей работе рассмотрена указанная проблема применительно к манипуляторам, используемым в лесной промышленности. Сравняется время циклов переноса лесоматериалов двухзвенным манипулятором при различной организации движения его звеньев, т. е. фактически решается задача оптимизации движения звеньев манипулятора.

Как отмечалось ранее [4], модели манипуляторов, построенные на базе динамических уравнений, приводят к необходимости выполнения громоздких вычислений даже при решении сравнительно простых оптимизационных задач. В то же время оценки предельных возможностей могут быть получены на основе кинематических уравнений.

О.Г. Озол и З.Э. Радзинь в работе [5] изложили результаты исследования движения стрелы гидравлического погрузчика и показали, что учет динамических нагрузок приводит к увеличению времени подъема стрелы всего на 2 % по сравнению с расчетным случаем, при котором учитываются только статические нагрузки. Поэтому нами используется кинематическая модель манипулятора.

Принято, что предварительно выполнен динамический расчет манипулятора и угловые скорости звеньев позволяют соблюдать условия прочности и устойчивости. Угловые скорости звеньев постоянны в среднем во всех рассматриваемых случаях организации движения звеньев манипулятора, а сам процесс переноса груза считается квазистатическим [2].



Траектория переноса лесоматериалов манипулятором: *а* – работающим в угловой системе координат; *б* – на основе прямолинейного направляющего механизма; *в* – при совместном движении звеньев манипулятора

На рис. *а* показана траектория перемещения центра захвата из некоторой начальной точки C_1 в конечную точку C_2 и обратно, выполняемая двухзвённым манипулятором, работающим в угловой (ангулярной) системе координат. Его звенья движутся раздельно во времени (друг за другом).

Время цикла для такого манипулятора ($T_{цил}$) можно записать как

$$T_{цил} = T_{c1} + T_p + T_3 + 8t_{п}. \quad (1)$$

Здесь

$$T_{c1} = T'_{c1} + T''_{c1}; T_p = T'_p + T''_p; T_3 = T_{3.0} + T_{3.3},$$

где T'_{c1}, T''_{c1} – время подъема и опускания стрелы;

T'_p, T''_p – время подъема и опускания рукояти;

$T_{3.0}, T_{3.3}$ – время открытия и закрытия захвата;

$t_{п}$ – время переключения управляющей аппаратуры в точке траектории.

Выразим составляющие времени цикла через углы поворота и угловые скорости звеньев манипулятора. Имеем

$$T'_{c1} = \frac{|\alpha_2 - \alpha_1|}{\omega'_c}; T''_{c1} = \frac{|\alpha_2 - \alpha_1|}{\omega''_c};$$

$$T'_p = \frac{|\beta_2 - \beta_1|}{\omega'_p}; T''_p = \frac{|\beta_2 - \beta_1|}{\omega''_p},$$

где ω'_c, ω''_c – угловые скорости подъема и опускания стрелы;

ω'_p, ω''_p – угловые скорости подъема и опускания рукояти;

α_1, α_2 – углы поворота стрелы в начальном и конечном положениях;

β_1, β_2 – углы поворота рукояти в начальном и конечном положениях манипулятора.

После подстановки полученных значений в формулу (1) получим

$$T_{ц1} = |\alpha_2 - \alpha_1| \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) +$$

$$+ |\beta_2 - \beta_1| \left(\frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 8t_n$$

или

$$T_{ц1} = |\alpha'_2 - \alpha'_1 + \varphi_2 - \varphi_1| \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) +$$

$$+ |\beta_2 - \beta_1| \left(\frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 8t_n,$$

где α'_2, α'_1 – углы, дополняющие φ_2, φ_1 до углов α_2 и α_1 .

На рис. б показана траектория перемещения центра захвата из некоторой точки C_1 в конечную точку C_2 и обратно, выполняемая двухзвенным манипулятором на основе прямолинейного направляющего механизма. Манипулятор работает в полярной системе координат. Его звенья движутся так, что центр захвата перемещается по траектории, состоящей из отрезка прямой радиальной линии, проходящей через ось опорного шарнира A стрелы, и отрезка окружности с центром на этой оси, проходящей через конечную точку C_2 .

Время цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма ($T_{ц2}$) запишется следующим образом:

$$T_{ц2} = T_{c2} + T_p + T_3 + 8t_n.$$

Здесь

$$T_{c2} = T'_{c2} + T''_{c2},$$

где T'_{c2}, T''_{c2} – время подъема и опускания стрелы.

Время движения рукояти T_p , захвата T_3 и переключения аппаратуры t_n принято одинаковым для рассматриваемых случаев движения звеньев.

Составляющие времени движения стрелы в цикле манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма равны

$$T'_{c2} = \frac{|\varphi_2 - \varphi_1|}{\omega'_c}; T''_{c2} = \frac{|\varphi_2 - \varphi_1|}{\omega''_c}.$$

Выражая составляющие времени цикла через углы поворота и угловые скорости звеньев, получим время цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма:

$$T_{ц2} = |\varphi_2 - \varphi_1| \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) +$$

$$+ |\beta_2 - \beta_1| \left(\frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 8t_n.$$

Найдем разность циклов $T_{ц1}$ и $T_{ц2}$. Имеем

$$\Delta T_{ц12} = T_{ц1} - T_{ц2} = \left(|\alpha'_2 - \alpha'_1 + \varphi_2 - \varphi_1| - |\varphi_2 - \varphi_1| \right) \times$$

$$\times \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right).$$

Из свойств абсолютных величин следует

$$\Delta T_{ц12} = \left(|\alpha'_2 - \alpha'_1 + \varphi_2 - \varphi_1| - |\varphi_2 - \varphi_1| \right) \times$$

$$\times \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) \leq |\alpha'_2 - \alpha'_1| \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right).$$

На рис. в представлена траектория перемещения центра захвата из начальной точки в конечную и обратно при совместном (синхронном) движении звеньев манипулятора. Для этого случая время цикла манипулятора ($T_{ц3}$) можно записать так:

$$T_{ц3} = T_p + T_3 + 4t_n.$$

После подстановки значений составляющих времени цикла получим

$$T_{ц3} = |\beta_2 - \beta_1| \left(\frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 4t_n.$$

Найдем разность циклов $T_{ц1}$ и $T_{ц3}$:

$$T_{ц1} - T_{ц3} = |\alpha_2 - \alpha_1| \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) + 4t_n$$

и разность циклов $T_{ц2}$ и $T_{ц3}$:

$$T_{ц2} - T_{ц3} = |\varphi_2 - \varphi_1| \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) + 4t_n.$$

Проведенное ранее статистическое моделирование [1] показало, что среднее время цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма на 24 % меньше, чем с раздельным по времени движением звеньев. Снижение среднего времени цикла манипулятора с совместным (синхронным) движением звеньев по сравнению с раздельным по времени составляет 38 %.

Выводы

Минимальное время цикла имеет манипулятор с совместным движением звеньев. Это обусловлено тем, что стрела движется синхронно с рукоятью, т. е. время движения стрелы входит во время движения рукояти. Кроме того, у такого манипулятора меньше затраты времени на переключение управляющей аппаратуры.

Время отдельного единичного цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма меньше или равно времени цикла манипулятора, работающего в угловой системе координат с раздельным во времени движением звеньев.

Максимальная разница во времени цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма и манипулятора, работающего в угловой системе координат, составляет

$$\Delta T_{ц12} = |\alpha'_2 - \alpha'_1| \left(\frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right),$$

а минимальная

$$\Delta T_{ц12} = 0.$$

Очевидно, что обеспечение частично синхронного движения звеньев на основе прямолинейного направляющего механизма, а еще предпочтительнее строго синхронного, приводит к значительному увеличению производительности манипулятора.

Проведенное исследование позволяет наметить следующий путь построения дистанционно-управляемых манипуляторов для лесной промышленности, а именно переход от манипуляторов с раздельным во времени движением звеньев к манипуляторам на основе прямолинейно-направляющих механизмов, управляемых с помощью кнопок или рукояток, и затем с совместным (синхронным) движением звеньев, реализующим непрерывные траектории: копирующие, с астатическим управлением, с использованием биоэлектрического кода и в дальнейшем с автоматическим управлением от автономного программного устройства или ЦВМ. При этом экономическая целесообразность использования той или иной системы управления должна обосновываться соответствующими расчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорохов С.П. Статистическое моделирование времени циклов переноса лесоматериалов двухзвенным манипулятором с различной организацией движения звеньев // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 53–58. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Жавнер В.Л., Крамской Э.И. Погрузочные манипуляторы. Л.: Машиностроение, 1975. 160 с.
3. Кулешов В.С., Лакота Н.А. Динамика систем управления манипуляторами. М.: Энергия, 1971. 304 с.
4. Об оптимальных движениях двухзвенного манипулятора / Носов В.Н., Троицкий А.В., Троицкий В.А.; ЛПИ им. М.И. Ка-

линина. Л., 1981. 17 с. Библиогр.: с. 17. Деп. во ВНИИТЭМР 20.02.87, № 8653–87.

5. Озол О.Г., Радзинь З.Э. Исследование движения стрелы гидравлического погрузчика // Тр. Латв. с.-х. академии. Рига, 1963. Вып. 13. С. 3–29.

Поступила 06.10.10

S.P. Dorokhov

JSC Company “Start” (Ekaterinburg)

Comparative Study of Two-link Manipulator Cycle Time under Different Organization of Its Links Motion

It is shown that a two-link manipulator with joint links' motion has minimal cycle time of sawn timber transfer.

Keywords: manipulator, trajectory, time, cycle.
