

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. (343) 228-93-26



**СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВРЕМЕНИ ЦИКЛОВ ПЕРЕНОСА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ
ДВУХЗВЕННЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ
С РАЗЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЕГО ЗВЕНЬЕВ**

Рассмотрены три способа организации движения звеньев манипулятора при переносе лесоматериалов. Дано сравнение способов для оценки экономической эффективности параметрической оптимизации и совершенствования системы управления манипулятора.

Ключевые слова: манипулятор, траектория, время, цикл, статистика, моделирование.

Движение звеньев двухзвенного (шарнирно-рычажного) манипулятора при переносе лесоматериалов, например в обрабатывающей установке ЛО-15А, может быть организовано тремя способами. Первый способ заключается в раздельном по времени (друг за другом) движении звеньев. В этом случае манипулятор работает в угловой (ангулярной) системе координат. На рис. 1 представлена траектория движения звеньев C_1FC_2 .

При втором способе траектория перемещения центра захвата из некоторой начальной точки C_1 в конечную точку C_2 выполняется двухзвенным манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма. При этом 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 отрезков окружностей с центром на оси опорного шарнира A стрелы, проходящих через начальную C_1 и конечную C_2 точки (траектория C_1DGC_2 на рис. 1).

Третий способ заключается в совместном движении звеньев на всей траектории переноса лесоматериалов из начальной точки C_1 в конечную точку C_2 (траектория C_1EC_2 на рис. 1).

на обрабатывающую установку до точки захвата их в пачке и обратно осуществлялся раздельным во времени (друг за другом) движением звеньев.

Получены статистические характеристики времени цикла: среднее арифметическое $\bar{Y} = 26,129$ с, среднее квадратическое $s = 15,848$ с. По результатам обработки экспериментов установлен сводный коэффициент корреляции между временем цикла переноса лесоматериалов и угловыми путями звеньев манипулятора $R = 0,91$.

С учетом найденных коэффициентов уравнение (1) принимает вид

$$Y = 17,679X_1 + 10,371X_2 - 0,599. \quad (2)$$

Оно является регрессионной моделью времени цикла переноса лесоматериалов манипулятором ЛО-15А.10.

Проверка регрессионной модели. Пары значений X_1, X_2 подставляли в уравнение (2), получено 280 значений времени цикла. Статистические характеристики времени цикла: среднее арифметическое $\bar{Y}_1 = 26,119$ с, среднее квадратическое $s_1 = 14,433$ с.

Для решения вопроса о случайном или неслучайном расхождении дисперсий циклов подачи хлыста манипулятором ЛО-15А.10, вычисленных по регрессионной модели и полученных в эксперименте, рассмотрено отношение большей эмпирической дисперсии к меньшей [3]:

$$s^2/s_1^2 = F. \quad (3)$$

Сравнение дисперсий по формуле (3) дало $F = 1,21$.

При заданной надежности вывода $P = 0,99$ по табл. 19.5-6 [2] найдено критическое значение отношения $F = 1,28$, соответствующее числам степеней свободы для большей и меньшей дисперсии $k = k_1 = 280 - 1 = 279$.

Поскольку отношение F , подсчитанное по формуле (3), меньше критического значения, то дисперсии различаются несущественно, их можно считать одинаковыми.

Для решения вопроса о случайном или неслучайном расхождении среднего значения циклов подачи хлыста манипулятором ЛО-15А.10, вычисленного по регрессионной модели и полученного в эксперименте, подсчитано отношение [3]

$$t = \frac{\bar{Y} - \bar{Y}_1}{s^* \sqrt{1/n + 1/n_1}}, \quad (4)$$

где

$$s^* = \sqrt{\frac{(n-1)\bar{s}^2 + (n_1-1)\bar{s}_1^2}{(n-1) + (n_1-1)}}.$$

Здесь n, n_1 – число циклов соответственно в эксперименте и полученное по регрессионной модели.

$$\text{Вычисленное отношение (4) } t = \frac{26,129 - 26,119}{1,281} = 0,008.$$

По табл. IV [3] при заданной надежности $P = 0,99$ и числе степеней свободы $k = n + n_1 - 2 = 558$ найдено значение $t(0,99; 558) = 2,585$. Поскольку вычисленное отношение оказалось меньше этого числа, то расхождение средних нельзя считать значимым.

Таким образом, можно сделать вывод, что регрессионная модель вида (2) позволяет с большой точностью прогнозировать время цикла подачи хлыста манипулятором по известным значениям угловых путей его звеньев.

Статистическое моделирование времени цикла подачи хлыста манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма. Вместо X_1 в формулу (2) подставляли значения углового пути полярного радиуса центра C зева захвата манипулятора, X_2 были приняты прежними. Смоделировано 280 значений времени цикла переноса лесоматериалов манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма. Получены статистические характеристики времени цикла подачи хлыста: среднее значение $\bar{Y}_2 = 19,949$ с; среднее квадратическое отклонение $s_2 = 10,428$ с.

Проведено сравнение средних значений циклов подачи хлыстов, вычисленных по регрессионной модели для манипулятора ЛО-15А.10, работающего в угловой системе координат и на основе прямолинейно направляющего механизма. Для этого подсчитано отношение

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{s^* \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}, \quad (5)$$

где

$$s^* = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \bar{s}_1^2 + (n_2 - 1) \bar{s}_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}}.$$

Здесь n_1, n_2 – число циклов, полученное по регрессионной модели, $n_1 = n_2 = 280$.

Подсчитанное отношение (5) $t = \frac{26,119 - 19,949}{0,09} = 68,56$. Поскольку оно оказалось больше табличного $t(0,99; 558) = 2,585$, то расхождение средних можно считать значимым.

Статистическое моделирование времени цикла подачи хлыста манипулятором со строго синхронным движением звеньев. Поскольку в этом случае время движения одного звена входит во время движения другого, то в уравнение регрессии (2) сначала подставляли значения X_1 , а X_2 принимали равными нулю. Затем, наоборот, подставляли X_2 , а X_1 принимали равными нулю. Из полученных значений времени цикла выбирали большие. Так было смоделировано 280 значений времени цикла переноса лесоматериалов манипулятором со строго синхронным движением звеньев. Получены статистические характеристики времени цикла подачи

хлыста: среднее значение $\bar{Y}_{3\max} = 16,195$ с; среднее квадратическое отклонение $s_3 = 9,164$ с.

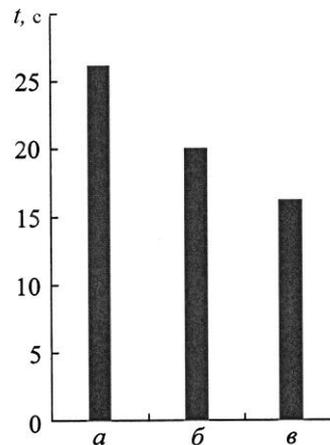
Проведено сравнение средних значений циклов, вычисленных по регрессионной модели для манипулятора ЛО-15А.10, работающего в угловой системе координат и со строго синхронным движением звеньев. Для этого подсчитано отношение

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_{3\max}}{s^* \sqrt{1/n_1 + 1/n_3}}, \quad (6)$$

где

$$s^* = \sqrt{\frac{C_1 - 1 \overline{s_1^2} + C_3 - 1 \overline{s_3^2}}{C_1 - 1 + C_3 - 1}}.$$

Рис. 2. Распределение времени циклов при движении звеньев манипулятора: *a* – раздельном; *б* – на основе прямолинейно направляющего механизма; *в* – строго синхронном



Здесь n_3 – число циклов, полученное по регрессионной модели, $n_3 = 280$.

Подсчитанное отношение (6) $t = \frac{26,119 - 16,195}{0,087} = 114,069$. Так как

оно больше табличного $t(0,99; 558) = 2,585$, то расхождение средних значимо.

На рис. 2 представлена диаграмма распределения времени циклов в зависимости от организации движения звеньев манипулятора.

Снижение времени цикла манипулятора на основе прямолинейно направляющего механизма по сравнению с раздельным по времени движением звеньев составляет 24 %, со строго синхронным – 38 %. Наши данные совпадают с результатами работы [1], где показано, что технико-экономические показатели проектируемых технических систем на уровне параметрической оптимизации улучшаются в среднем на 10...15, а в отдельных случаях до 30 %.

Проведенное имитационное моделирование процесса подачи хлыстов в раскрывочную установку (РУ) ЛО-15С показало, что увеличение производительности при загрузке РУ манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма составляет 2,4 % по сравнению с загрузкой хлыстов манипулятором с отдельным последовательным во времени движением звеньев. При этом экономический эффект достигается без капитальных вложений, только за счет параметрической оптимизации манипулятора. Годовой экономический эффект от использования манипулятора на основе прямолинейно направляющего механизма составляет 35 958 р. Экономика эксплуатационных затрат составляет 29 504 р., капитальных – 80 321,5 р.

Увеличение производительности РУ при загрузке манипулятором со строго синхронным движением звеньев составляет 4,3 % по сравнению с загрузкой хлыстов манипулятором с отдельным последовательным во времени движением звеньев. В этом случае оценить экономический эффект затруднительно, поскольку синхронное движение звеньев может быть достигнуто следящей системой управления или системой управления на базе микропроцессора, требующих капитальных вложений. К тому же в лесной промышленности пока нет аналогов таких систем управления.

Полученные данные позволяют наметить две стадии совершенствования двухзвенных (шарнирно-рычажных) манипуляторов. На первой стадии предлагается проектировать манипуляторы на основе прямолинейно направляющих механизмов, управляемых оператором. На второй стадии следует переходить к автоматизированному управлению манипуляторами, используя средства вычисления параметров траекторий при строго синхронном движении звеньев. Можно также проектировать манипуляторы на основе прямолинейно направляющих механизмов, что позволит оптимально управлять манипуляторами в случае выхода из строя автоматизированных систем управления. Экономическая целесообразность использования автоматизированных систем управления должна обосновываться соответствующими расчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмы оптимизации проектных решений/ А.И. Половинкин [и др.]; под. ред. А.И. Половинкина. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике: для науч. работников и инженеров. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
3. Румицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: справ. руковод. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

Поступила 24.08.09

S.P. Dorokhov
JS Company «Start» (Ekterinburg)

Statistical Time Simulation of Timber Transfer Cycles by Two-arm Manipulator with Different Organization of its Arms' Motion

Three methods of organization of manipulator arms motion are considered when transferring timber. The comparison of methods is provided for the economic efficiency assessment of parameter optimization and improvement of manipulator system control.

Keywords: manipulator, trajectory, time, cycle, statistics, simulation.
