

СИНТЕЗ ДВИЖИТЕЛЕЙ ШАГАЮЩИХ МАШИН

Умнов Н.В., ИМАШ АН РАН, Москва

При синтезе рычажных механизмов движителей шагающих систем проектанты обычно ограничиваются четырехзвенными схемами механизмов. Речь идет конечно только о траекторнообразующей его части, а не о тех дополнительных системах, связанных, например, с пассивными звеньями для поддержания положения лыж и т. п. Однако, как это уже неоднократно доказано практикой проектирования и методами теории механизмов, качество получаемой траектории довольно низко. Здесь имеются в виду оценка по трем фундаментальным свойствам траектории движителя — прямолинейности, равномерности и длительности. Каждое из перечисленных свойств влияет на общую характеристику машины. Так общеизвестно, что прямолинейность влияет на паразитный подъем-опускание центра масс машины, неравномерность приводит к дополнительному проскальзыванию ног, а недостаточная длительность траектории также вызывает затраты на подъем центра масс в момент смены опор, что вынуждает увеличивать количество опорных ног. Получить приемлемые значения одновременно всех трех характеристик в рамках одного механизма обычно не удается. В результате получающиеся машины не показывают всех принципиально заложенных в них положительных свойств, поскольку являются результатом некоторого компромисса. Выход из этого достаточно очевиден — усложнение схемы, переход, например, на шестизвенные или даже на восьмизвенные схемы движителей.

Здесь возможны по крайней мере два подхода. С одной стороны можно «впрямую» искать новые схемы шестизвенных механизмов, «прямолинейный» участок траектории которых описывается уравнением более высокой степени, чем у четырехзвенников. Известно, что таких схем всего 12 и при таком подходе удалось найти параметры нескольких новых механизмов, существенно превосходящих известные четырехзвенные схемы. Однако найденные механизмы достаточно далеко от идеала главным образом из-за неравномерности движения по траектории. С другой стороны, шестизвенник можно получить добавляя к кривошипу четырехзвенника дополнительную диаду, образующую с ним некий передаточный механизм. В этом случае траекторнообразующим механизмом остается четырехзвенник, прямолинейность траектории определяется им, а равномерность и особенно длительность определяются свойствами добавленного передаточного механизма. При

таком подходе используется меньший отрезок траектории, что может улучшить прямолинейность при несомненном увеличении длительности. На этом пути также удалось спроектировать несколько схем, превосходящих известные четырехзвенные движители. Сравнительный анализ этих двух принципиальных подходов не входит сейчас в нашу задачу, тем более, что накоплено еще слишком мало реализованных конструкций для достоверных обобщений.

Трудности геометрического синтеза шестизвенных механизмов связаны в первую очередь с большим числом параметров, описывающих механизм (12 — при заранее неориентированном прямолинейном участке траектории и 15 — при заданном его положении). При интерполяционных методах можно задавать до 7 точек, через которые будущая траектория пройдет точно. Однако, и это также хорошо известно, от выбора взаимного положения заданных точек в значительной мере зависят все параметры будущего механизма. Более того, неудачный выбор, например, равномерное их распределение на прямой, вообще не позволит получить механизм с приемлемыми параметрами, и при этом, что немаловажно, нет никакой гарантии, что *между* заданными точками траектория будет мало уклоняться от прямой.

Более современный подход связан с заданием существенно большего числа точек, лежащих на траектории, выработке некоторого критерия оценки полученной траектории, например, среднеквадратичного отклонения полученной траектории от заданных точек, и использование традиционных оптимизационных методов изменения параметров механизма, минимизирующих выбранный критерий. Поскольку аналитическое выражение траектории опорной точки слишком громоздко, то обычно прибегают к косвенным оценкам точности, размыкая какое-либо звено и сравнивая расстояние между разомкнутыми шарнирами с длиной отброшенного звена. Основная трудность здесь заключается в выборе начального приближения, т.е. начального набора параметров. Дело в том, что траектория описывается полиномом высокой степени (10 в общем случае). Получаемая из нее целевая функция имеет еще более высокую степень и, следовательно, значительное число максимумов и минимумов и избежать попадания в локальные минимумы не удастся. Заметим, что прямой последовательный перебор параметров невозможен из-за огромного числа комбинаций, и не гарантирующий кстати положения начального приближения вблизи глобального минимума. Методы случайного поиска также не дают уверенности, что найденные варианты действительно наилучшие. И действительно, достаточно длительный счет не привел пока к получению большого числа новых хороших механизмов.

В последние годы в теории механизмов при синтезе направляющих механизмов начинают применять новые методы получения корней полиномов, так называемые методы континуума или методы гомотопии. Идея метода чрезвычайно проста. Если имеется нелинейный полином или система полиномов H общей степени k , который необходимо решить, т.е. найти *все* его корни (целевой полином), и если известен другой полином G также степени k , решение которого известно (стартовый полином), можно сформировать функцию $F = G*(1 - t) + H*t = 0$.

Теперь, если задаться каким-либо набором решений полинома G и плавно изменять значение t от 0 до 1, численно решая F последовательно для всех промежуточных значений t , мы придем к корням полинома H (при $t = 1$) для данного набора решений полинома G . Перебирая все решения полинома G мы в конце концов получим *все* решения полинома H , включая комплексные. Еще раз подчеркнем, что будут найдены *все* решения полинома H , поскольку степени и число решений у G и у H одинаковы. Трудности метода связаны главным образом с тем, что целевая функция H представляет собой полином достаточно высокой степени, что при «прямолинейном» подходе порождает несколько тысяч решений, среди которых будет только очень незначительное число действительных, т.е. имеющих физический смысл. Более того, после проверки всех этих решений на обычные «дефекты» аналитического синтеза — дефект сборки, дефект ветвления, дефект порядка и т.п. число найденных механизмов существенно уменьшится. Но при этом хотя бы будет гарантия, что найдены *все* механизмы и других больше нет.

Уменьшить вариативность получаемых решений можно путем рационального выбора параметров, разделения их на независимые группы, и понижением степени системы за счет исключения однородных переменных, что иллюстрируется на примере синтеза четырехзвенного механизма движителя с дополнительным двухкривошипным передаточным механизмом (второй метод синтеза шестизвенного механизма, по терминологии указанной выше).