

УДК 621.86
УНИВЕРСАЛЬНАЯ МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ
КРАНО-МАНИПУЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

И. А. ЛАГЕРЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. Г. ПЕТРОВСКОГО»
Брянск, Россия

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук №МК-92.2014.8.

В настоящее время для решения задач динамики манипуляторов разработаны различные вычислительные алгоритмы [1]:

- Ньютона-Эйлера (RNEA – Recursive Newton-Euler Algorithm);
- составного твердого тела (CRBA – Composite Rigid Body Algorithm);
- Шарнирно-сочлененного тела (ABA – Articulated Body Algorithm).

Эти алгоритмы рассматривают манипулятор как систему абсолютно твердых тел, соединенных шарнирами. Элементы стрелы гидравлических кранов-манипуляторов соединяются с помощью петлевых (вращательных) и призматических (поступательных) шарниров. Алгоритм RNEA позволяет решать обратную задачу динамики манипулятора, а алгоритмы CRBA и ABA используются для решения прямой задачи.

В расчетах кинематические схемы кранов-манипуляторов представляют собой разомкнутую кинематическую цепь, не имеющую ответвлений. Для подобных задач вычислительная сложность алгоритмов RNEA и ABA является линейной. В то же время решение прямой задачи динамики на основе алгоритма CRBA требует $O(n^3)$ вычислительных операций (где n – число степеней свободы манипулятора).

Исходными данными для решения обратной задачи динамики являются перемещения, скорости и ускорения в шарнирах. Найти требуется усилия в шарнирах τ , развиваемые приводами манипулятора для выполнения данного движения.

Алгоритм Ньютона-Эйлера предполагает, что основание крана-манипулятора зафиксировано. Идея метода состоит в том, чтобы, передвигаясь от основания к грузозахватному устройству, определить скорости и ускорения звеньев на основе перемещений, скоростей и ускорений в шарнирах. Эта процедура носит название прямого хода или прямой рекурсии. За ней следует обратная рекурсия: передвигаясь от грузозахватного органа к первому звену, на основе уравнений Ньютона-Эйлера определяют неизвестные внутренние силовые факторы.

Исходными данными для решения прямой задачи динамики являются перемещения и скорости в шарнирах, а также усилия τ , развиваемые приводами в сочленениях крана-манипулятора. Требуется найти ускорения в шарнирах.

Для кранов-манипуляторов с малым числом степеней свободы решение прямой задачи динамики на основе алгоритма CRBA оказывается эффективнее решения с использованием алгоритма АВА.

Уравнение динамики крана-манипулятора, записанное в матричной форме [2], имеет вид:

$$\{\tau\} = [H]\{\ddot{q}\} + \{C\},$$

где $\{\tau\}$ – вектор усилий, развиваемых приводами манипулятора в сочленениях; $[H]$ – матрица инерции манипулятора; $\{\ddot{q}\}$ – вектор ускорений в шарнирах; $\{C\}$ – вектор, включающий действие внешней нагрузки, кориолисовых и центробежных сил.

Развиваемое гидроцилиндром усилие $F_{зи}$ представляется в виде аналитической зависимости вида $\tau = f(q, F_{зи})$.

В рамках исследования был разработан программный комплекс для выполнения динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов. Программный комплекс реализует следующие функции:

- решение обратной задачи динамики на основе алгоритма RNEA;
- решение прямой задачи динамики с использованием алгоритма CRBA;
- решение гибридной задачи динамики;
- учет силовых факторов: силы тяжести, усилий гидроцилиндров, трения в шарнирах, сосредоточенных сил и моментов, заданных пользователем;
- загрузка пользовательских 3D-моделей твердых тел и расчет их инерциальных характеристик;
- численное интегрирование уравнений движения методами Эйлера, Ньюмарка, Рунге-Кутты четвертого порядка.

С использованием разработанного программного комплекса выполнен динамический анализ крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов АСТ-4-А, крана-манипулятора общего назначения UNIC на базе шасси КАМАЗ-65117. Полученные результаты согласуются с данными [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лагерев, А. В.** Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов / А. В. Лагерев, А. А. Мильто, И. А. Лагерев // Вестн. БГТУ. – 2013. – № 3. – С. 24–31.
2. **Лагерев, И. А.** Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов: монография / И. А. Лагерев, А. В. Лагерев. – Брянск : БГТУ, 2012. – 196 с.