

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПЕРЕГРУЗКИ

Воюш Н.В., Германович А.П., Данильчик А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Применение робототехнических комплексов в технологических процессах, к которым предъявляются высокие требования к точности и плавности движения, например, гравировка, дозирование или фрезерование, становится всё более популярным на современных производствах. Для создания управляющих программ для сложных операций применяются САМ-системы [1], которые представляют траекторию движения в виде дискретного набора точек, передаваемых в систему управления промышленного робота. Параметры дискретизации траектории напрямую влияют на динамику движения звеньев манипулятора. При недостаточно мелкой дискретизации возникают резкие изменения скорости и ускорения, что приводит к снижению качества обработки, росту вибраций, увеличению износа механических узлов. При чрезмерно высокой плотности точек наблюдается увеличение объема управляющих данных и вычислительной нагрузки на систему управления, на которое система может быть не рассчитана. В связи с этим актуальным вопросом становится задача влияния шага дискретизации траектории на динамические перегрузки и выработка рекомендаций по выбору оптимальных параметров траектории при подготовке управляющих программ. Рассмотрим идеализированную модель движения без учета внешних силовых возмущений, таких как сила резания или сопротивление материала. Траектория движения рабочего органа задается в виде последовательности пространственных точек, где шаг дискретизации определяется расстоянием между соседними точками:

$$\Delta s_i = \| p_{i+1} - p_i \| = \Delta s = \text{const}$$

Ключевым показателем плавности движения является рывок, который характеризует скорость изменения ускорения. Он напрямую связан с возбуждением вибраций в механической системе робота:

$$j_i = (a_{t+1} - a_t) / \Delta t$$

При увеличении шага дискретизации траектории разность между векторами скорости в соседних точках возрастает, что приводит к скачкообразному изменению ускорения и увеличению рывка. Наиболее заметно это явление на участках с высокой кривизной. Для

количественной оценки динамических перегрузок может быть использован среднеквадратичный показатель рывка [2]:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|j_i\|^2}$$

Таким образом, при уменьшении дискретизации значение I_{rms} существенно снижается, что свидетельствует о более плавном движении и снижении динамических нагрузок. Далее этот параметр необходимо подстраивать под требования конкретных технологических операций. На примере файла с пространственными точками траектории строим график изменения модуля рывка рабочего органа в зависимости от изменения шага, где во время второго испытания увеличиваем плотность точек в 5 раз (рисунок 1).

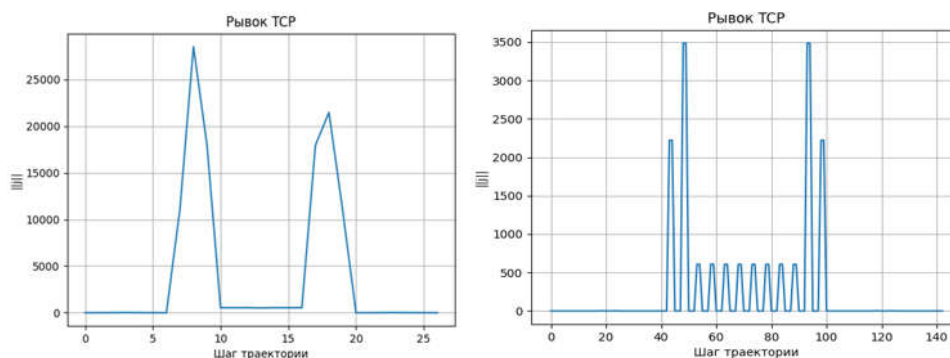


Рисунок 1 – Итоговые графики зависимостей

Проведенный анализ показал, что дискретизация траектории существенно влияет на динамические характеристики движения TCP. При малом числе точек возникают завышенные пиковые значения рывка, тогда как увеличение плотности точек снижает динамические перегрузки и позволяет выявить реальную структуру изменения рывка вдоль траектории. Корректный анализ динамики движения невозможен без достаточной дискретизации и сглаживания траектории. Далее, опираясь на полученные графики, можно делать выводы об оптимальной плотности точек, удовлетворяющей критериям точности перемещений робота, а также объеме полученной управляющей программы.

1. Groover, M. P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing / M. P. Groover. – 4th ed. – Boston : Pearson Education, 2016. – 816 p.
2. Siciliano, B. Robotics: Modelling, Planning and Control / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. – London : Springer, 2010. – 632 p