АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ХОЛОСТЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ТРЕХКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Докторант Негманов Г.Ф.

В современном машиностроении обработка деталей сложной геометрической формы на станках с числовым программным управлением требует постоянного повышения производительности и сокращения временных затрат [1]. Особую актуальность приобретает оптимизация технологических процессов чистового фрезерования, поскольку при обработке сложных поверхностей значительная часть времени расходуется не только на основной процесс резания, но и на вспомогательные операции, связанные с холостыми перемещениями инструмента [2].

Оперативное время обработки включает основное и вспомогательное время и определяется зависимостью:

$$t_{op} = \sum_{k=1}^{p} t_{ok} + \sum_{i=1}^{q} t_{vi} \quad (1)$$

где t_{ok} — основное время k-го технологического перехода; t_{vi}— вспомогательное время i-го перехода; p — число технологических переходов; q — число вспомогательных переходов.

Одним из эффективных способов повышения производительности является минимизация холостых перемещений инструмента между отдельными участками обработки, а также снижение количества смен инструмента в процессе выполнения технологических операций [3].

При смене режущего инструмента вспомогательное время определяется по формуле:

$$t_{vi} = t_c + t_{fi} + \frac{l_{i0}+l_{0i}}{v} \quad (2)$$

гдеt_c — постоянное время смены инструмента; t_{fi} — время индексации инструментального магазина; l_{i0}— длина перемещения от участка к точке смены инструмента; l_{0i} — длина перемещения от точки смены к новому участку обработки; v — скорость холостого перемещения.

При переходе между участками без смены инструмента вспомогательное время рассчитывается по зависимости:

$$t_{vi} = \frac{l_i}{v} \quad (3)$$

где l_i — длина холостого перемещения между двумя последовательными участками обработки.

Целью исследования является разработка алгоритма и программного модуля оптимизации холостых перемещений инструмента при фрезеровании сложных поверхностей на трехкоординатных станках с ЧПУ. Основная задача заключается в определении рациональной последовательности обработки участков поверхности с учетом минимизации длины холостых перемещений и обеспечения эффективного использования режущего инструмента.

Предлагаемый подход основывается на предварительном разделении сложной поверхности детали на конструктивно-технологические участки. Каждый участок характеризуется определённой геометрией и технологическими параметрами обработки. Далее участки объединяются в группы в зависимости от типа и размера применяемого инструмента [2].

Суммарное вспомогательное время процесса определяется выражением:

$$t_v = \sum_{i=1}^{q} t_{vi} = \sum_{j=1}^{n}(t_c + t_{fi} + \frac{l_{i0}+l_{0i}}{v}) + \sum_{i=1}^{m} \frac{l_i}{v} \quad (4)$$

где n — количество переходов со сменой инструмента; m — количество переходов между участками без смены инструмента.

Разработанный алгоритм реализуется в два этапа. На первом этапе осуществляется формирование матрицы длин холостых перемещений между всеми участками одной технологической группы. На втором этапе на основе полученной матрицы определяется оптимальная последовательность обработки участков с учетом стойкости инструмента и минимального числа его замен .

Особенностью предложенного метода является учет эксплуатационной стойкости фрез. Это позволяет не только минимизировать путь перемещения инструмента, но и рационально организовать технологический процесс, исключая преждевременные или избыточные замены инструмента [4].

Разработанный программный модуль позволяет автоматизировать процесс расчета оптимальных маршрутов перемещения инструмента и интегрировать результаты в систему технологической подготовки производства. Практическое применение программного модуля обеспечивает сокращение вспомогательного времени обработки, уменьшение общей длительности технологического цикла и повышение производительности оборудования [1].

Таким образом, разработанный алгоритм оптимизации холостых перемещений инструмента позволяет существенно повысить эффективность работы трехкоординатных станков с ЧПУ, сократить непроизводительные временные затраты и повысить качество обработки сложнопрофильных деталей.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. — Москва: Машиностроение, 2019.
2. Технология машиностроения. — Москва: Машиностроение, 2020.
3. Программирование обработки на станках с ЧПУ. — Москва: Высшая школа, 2021.
4. Режущий инструмент. — Москва: Машиностроение, 2018.
5. OpenAI. ChatGPT — интеллектуальная система генерации и обработки текстовой информации. 2026.