

УДК 621.865.8

## МЕТОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПОНОВОК РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

И. Э. ИЛЮШИН<sup>1</sup>, И. Ю. БОБРОВ<sup>1</sup>, А. В. ГОСПОД<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусско-Российский университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий  
Могилев, Беларусь

Предлагаемая работа посвящена задачам синтеза оптимальных компоновок роботизированных технологических комплексов (РТК); такие задачи возникают при модернизации автоматизированных производств в машиностроении с применением роботов-манипуляторов (РМ). Предложенный метод предполагает синтез компоновки РТК в два этапа. На первом этапе выделяется область возможных координат положения базы РМ, после чего выделенная область дискретизируется с заданным шагом с целью получения дискретного множества возможных положений. На втором этапе для каждого из элементов полученного множества осуществляется поиск оптимальной траектории перемещения режущего технологического инструмента; поиск траектории выполняется в конфигурационном пространстве РМ – пространстве, в котором в качестве условных координат выступают углы поворота звеньев и ориентации режущего инструмента. Это пространство конфигураций разбито на два подпространства: в первое входят все конфигурации, достижимые для промышленного робота (оно же – свободное пространство), во второе – конфигурации, недостижимые для манипулятора (занятое пространство). Невозможность достижения какого-либо положения РМ обусловлена как конструктивными особенностями (угол в каждом сочленении ограничен допустимым диапазоном значений), так и возможными столкновениями робота с препятствиями. Конфигурация робота задается в виде вектора  $q = [q_i]^T$  ( $q_i$  – угол в  $i$ -м сочленении манипулятора), а критерием оптимальности при поиске траектории является минимальный объем движений РМ в конфигурационном пространстве

$$\sum_{m=1}^{g-1} (q_{m+1} - q_m) \rightarrow \min,$$

где  $q_1$  и  $q_g$  – начальное и конечное положение манипулятора в процессе обхода режущим инструментом контура резки.

Кроме того, найденная траектория должна удовлетворять ограничениям, обусловленным технологией лазерной резки: в процессе обхода лазер должен быть ориентирован строго перпендикулярно к обрабатываемой поверхности (рис. 1), при этом он изменяет свое положение за счет скоординированного изменения углов в сочленениях робота  $q_i$ , а также вращения инструмента относительно нормали к детали в диапазоне углов  $\gamma \in (-\pi, \pi]$ .

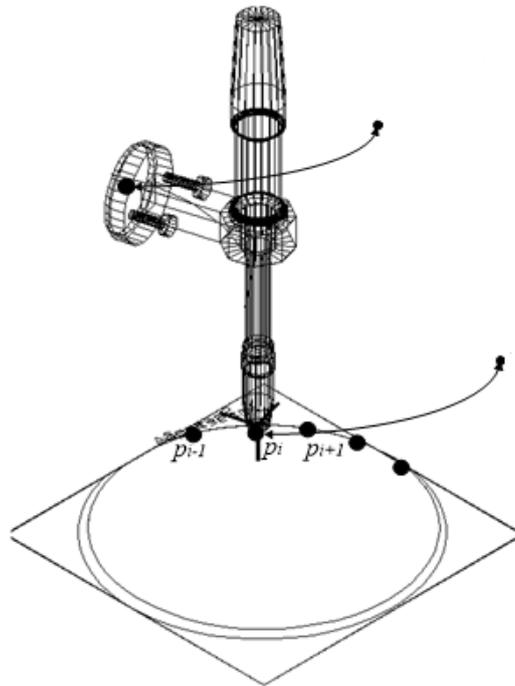


Рис. 1. Перпендикулярная ориентация лазера

Для поиска оптимальных траекторий модель свободного конфигурационного пространства представлена как неориентированный граф, для которого свободные от столкновений положения робота (свободные конфигурации) соответствуют вершинам графа. Ребра графа формируются как простейшие участки, соединяющие свободные конфигурации робота, вдоль которых режущий технологический инструмент перемещается без столкновения с препятствиями: в качестве препятствий выступает как обрабатываемая деталь, так и сам манипулятор с оснасткой. Таким образом, в процессе формирования графа важную роль играет проведение теста на столкновение. Он заключается в проверке векторных моделей препятствий  $B$  и векторной модели робота  $M(q)$  в текущей конфигурации  $q$  на пересечение с учетом точности позиционирования  $\delta$ , т. е.  $\|M(q) - B\| \leq \delta$ . Основная часть конфигурационного пространства дискретизируется случайным образом, а зона, в которой определено большое количество препятствий, имеет упорядоченную структуру с заданным шагом. Ребрам графа соответствуют весовые коэффициенты, характеризующие объем движений манипулятора. На сформированном взвешенном графе осуществляется поиск кратчайшего пути.

Исследование эффективности разработанного метода синтеза проведено на модельном примере трехмерного робота Fanuc M-710iC/50. Показано, что предложенный подход позволяет эффективно учесть геометрические характеристики роботизированных комплексов лазерной резки, технологические ограничения, накладываемые на ориентацию режущего технологического инструмента, а также позволяет определить положение робота, при котором режущий инструмент будет перемещаться по контуру резки с минимальным объемом движений.