

УДК 621.9

## **ЭФФЕКТИВНЫЕ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЛЬЕФОВ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

***Бувевич О. В., маг., Ковчур А. С., к.т.н., доц., Климентьев А. Л., ст. преп.  
Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь***

Работа промышленного предприятия среди прочего зависит от успешного решения задачи сокращения срока выпуска продукции, снижения её себестоимости и повышения качества. Эти задачи во многом решаются за счёт цифровизации производства в целом и обеспечения сквозного проектирования и подготовки производства продукции, в частности. Современные CAD и CAM-системы являются наиболее продуктивными инструментами для решения задач цифровизации на этапе конструкторско-технологической подготовки производства.

CAD-системы (computer-aided design – компьютерная поддержка проектирования) представляют собой системы автоматизированного проектирования и являются основным компонентом цифровой конструкторской подготовки производства. CAM-системы (computer-aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) представляют собой специализированное программное обеспечение, предназначенное для автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Обеспечение сквозного проектирования и подготовки производства опирается на использовании пространственных геометрических моделей изделий. При этом считается, что CAM-системы являются ключевым компонентом автоматизированной технологической подготовки производства и позволяют автоматизировать проектирование технологических процессов, сгенерировать код управляющей программы и смоделировать процессы обработки на технологическом оборудовании.

Следует отметить, что различные CAM-системы часто функционально сильно отличаются друг от друга – существуют значительные различия в реализуемых стратегиях обработки, системы могут отличаться по затратам на программирование, фактическому времени работы станка, качеству получаемой поверхности и пр.

Основными задачами при подготовке управляющих программ средствами CAM-системы является выбор стратегии обработки, разработка траектории относительных перемещений инструмента и заготовки и генерация кода управляющей программы.

Стратегии обработки можно разделить на 2D-стратегии и 3D-стратегии.

В 2D-стратегиях можно выделить обработку плоскостей, обработку карманов, 2D-обработку контуров, обработку остаточного материала, обработку отверстий, в том числе оптимизацию глубокого сверления и 5D-сверление и др.

В 3D-стратегиях можно выделить черновую обработку, чистовую профильную обработку, чистовую обработку с Z-постоянным шагом, обработку остаточного материала и ряд дополнительных стратегий.

Выбор наиболее эффективных стратегий обработки и генерация соответствующих траекторий относительного перемещения инструмента и заготовки во многом определяют качество получаемых изделий, в том числе точность геометрической

формы и качество поверхности изделия.

В целом нужно заметить, что реализация принципа сквозного проектирования с помощью CAD- и CAM-систем предоставляет возможность снизить объём рутинной работы по программированию станков с ЧПУ, снизить количество возможных ошибок, значительно сократить необходимое для проектирования время и существенно повысить качество получаемых изделий. Использование CAM-систем является необходимым условием для повышения эффективности и конкурентоспособности производства.

УДК 621.7

## **ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЯ «КОЛПАК ДЫМОХОДА»**

***Белов П. П., студ., Климентьев А. Л., ст. преп., Ковчур А. С., к.т.н., доц.***

*Витебский государственный технологический университет,*

*г. Витебск, Республика Беларусь*

Цифровой двойник представляет собой цифровую (виртуальную) модель объекта, системы, или процесса, которая воспроизводит форму или функционирует аналогично оригиналу и синхронизирована с ним.

Считается, что впервые концепцию цифрового двойника представил в 2002 году М. Гривс в работе «Происхождение цифровых двойников». По мнению М. Гривса, «в идеальных условиях вся информация, которую можно получить от изделия, может быть получена от его цифрового двойника» [1].

Цифровые двойники являются одним из направлений Индустрии 4.0, которая характеризуется широким внедрением цифровых технологий в производственный процесс, включая автоматизацию, искусственный интеллект и интернет вещей.

Цифровые двойники делят на следующие виды [1]:

- прототип (DTP) – представляет собой виртуальный аналог реального объекта, который содержит все данные для производства оригинала;
- экземпляр (DTI) – содержит данные обо всех характеристиках и эксплуатации физического объекта, включая трёхмерную модель, и действует параллельно с оригиналом;
- агрегированный двойник (DTA) – вычислительная система из цифровых двойников и реальных объектов, которыми можно управлять из единого центра и обмениваться данными внутри.

Процесс создания цифрового двойника может быть реализован различными способами: на основе пространственной геометрической модели; на основе модели на базе интернета вещей; на базе интегрированных математических моделей (например, при использовании CAE-систем); на основе различных технологий визуализации, в том числе AR и VR-технологий.

При производстве изделия «Колпак дымохода» первичным цифровым двойником выступает пространственная геометрическая модель изделия. Следует отметить, что вследствие специфики изделия модель должна быть представлена в двух вариантах: собственно изделия и в варианте, представляющим собой развертку изделия.