

УДК 621.9-18

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СИЛОВЫХ СМЕЩЕНИЙ УПРУГО-ФРИКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Андрей Геннадьевич Ширшов

*Аспирант 1 года обучения,  
кафедра «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: П.М. Чернянский,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Задача автоматизации исследований силовых смещений является частью задачи разработки программы для автоматизации расчёта и анализа силовых смещений станков на стадии их проектирования. Данная работа ведётся на базе теории силовых смещений Чернянского П.М. [1]. Согласно этой теории, конструкция сводится к упруго-фрикционной системе (УФС), которая отражает физические свойства изучаемой конструкции. Особенность использования в расчётах смещений УФС состоит в том, что все процессы, все факторы, влияющие на величину силовых смещений вершины инструмента и, следовательно, на силовую составляющую точности станка, представлены в виде системы. В итоге можно сказать, где слабое звено, на что следует конструктору обратить внимание при проектировании станка, когда величина силовых смещений превышает заданные пределы.

Основной работой в процессе автоматизации расчётов является разработка такой математической модели расчёта силовых смещений, чтобы с одной стороны был сохранён системный подход к конструкции, факторам и процессам, и, с другой стороны, полученные алгоритмы решения легко поддавались автоматизации расчёта на компьютере.

Ранее была проведена автоматизация расчёта характеристики силовых смещений (ХСС) для одного модуля упруго-фрикционной системы (УФС). В результате была создана программа Динара для расчёта силовых смещений в УФС. Фактически это была не полноценная программа, а набор авторских модулей, разработанных средствами программы MBTU 3.7 («Моделирование В Технических Устройствах», создана на кафедре Э7 «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, представляет собой бесплатный аналог Simulink). Расчёт смещений проводился программой MBTU 3.7., при этом пользователь задавал структуру УФС, расставляя в окне программы блоки - модули УФС.

Позднее анализ работы программы Динара показал, что, хотя смещения одного модуля УФС программа считала правильно, смещения всей системы считались неверно. Кроме того, оказалось, что программы типа MBTU и Simulink не подходят для расчёта смещений в УФС: необходим совершенно другой подход.

Поиск нового метода для расчёта смещений системы модулей привёл к методу конечных элементов (МКЭ). Согласно работе [2], модули УФС являются уже готовыми конечными элементами (КЭ). И МКЭ здесь оказывается методом математически точным, потому что отсутствует алгоритм разбиения среды на конечные элементы, который и вносит погрешность в расчёты (этот алгоритм носит название «Триангуляция Делоне»). Кроме того оказалось, что МКЭ позволяет решать задачи не только численно, но и аналитически, что окончательно определило выбор этого метода.

Данная работа посвящена описанию моделей и алгоритмов, которые позволяют решать с использованием МКЭ цепочки произвольной длины последовательно соединённых модулей УФС и очень ограниченное количество систем с параллельными связями модулей. При этом имеется возможность использовать практически все модули УФС. Для того, чтобы рассчитывать произвольные одномерные УФС, остаётся научиться определять силовые смещения УФС при наличии последовательного соединения элементов и соединения элементов, которое не является ни последовательным ни параллельным. После решения вышеперечисленных задач можно будет перейти к двумерным и трёхмерным УФС.

Также разработаны модели как нормально, так и тангенциально деформируемого стыка, а также деформируемых деталей с использованием МКЭ. Для полноценного расчёта силовых смещений и анализа доли влияния различных факторов на смещение конечного звена остаётся научиться рассчитывать силовые смещения в стыке, одновременно нагруженном нормальной и тангенциальной силой. Последним этапом в создании алгоритма автоматического расчёта и анализа силовой точности станков на стадии их проектирования является задача разработки программного алгоритма перехода от конструкции к системе, составленной из типовых элементов конструкции. После решения указанной задачи можно будет написать первую программу, которая может самостоятельно выделять факторы в станке, анализировать их влияние на точность обработки, считать силовую составляющую точности станка, а также находить слабое с точки зрения жёсткости звено.

#### **Литература**

1. *Чернянский П.М.* Основы проектирования точных станков. Теория и расчёт. - М.: КНОРУС, 2010. - 240 стр.