

По графику определены точки консоли с максимальным перемещением, по которым в дальнейшем ведется анализ поведения ШУ под воздействием внешней нагрузки. Прикладывая различные силы в исследуемом интервале, определена зависимость максимального перемещения оси от величины внешней нагрузки, которая приведена на рисунке 4. Зависимость имеет линейный характер, что очевидно, исходя из условия выполнения закона Гука, т.к. при работе станка в допустимых режимах на ШУ не действуют усилия, приводящие к пластическим деформациям элементов узла. Наклон графика зависит от жесткости ШУ и для каждого типа станка будет иметь свое значение, зависящее от конструкции станка.

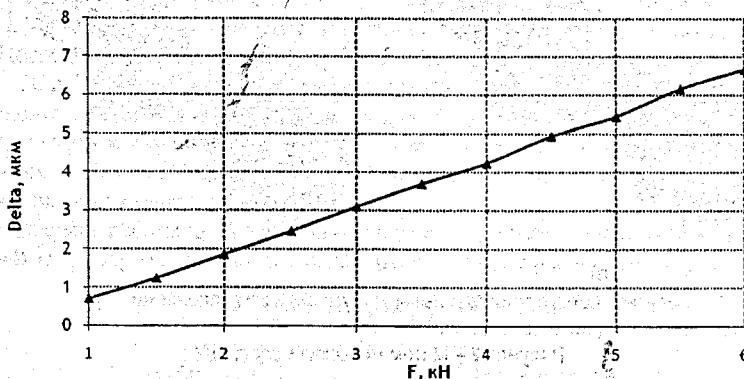


Рисунок 4 – Зависимость прогиба шпинделя от величины нагрузки

Для конкретного вида обработки известны режимы резания, а как следствие и сила резания, значение составляющих которой можно определить аналитически либо экспериментально. Полученные моделированием теоретические исследования позволяют по значению силы резания и полученным характеристикам смещения оси от внешней нагрузки спрогнозировать смещение шпинделя и установленного в нем инструмента и внести корректировку в максимально достижимую точность.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник: в 3-х т. / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов [и др.]; под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана: Машиностроение, 1994 – Т. 1. Проектирование станков – 444 с.
2. Пуш, А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.

УДК 621.9.06- 192:620.1

**Касьян Л.В.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Горбунов В.П.*

#### АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Нагрев станка сопровождается температурными деформациями его деталей, изменением формы их поверхностей, нарушением точности взаимного положения узлов. Ис-

точники теплоты могут быть внешние (солнечные лучи, близко расположенное оборудование с мощными системами нагрева и охлаждения, воздушные потоки, фундамент станка) и внутренние (процесс резания, электродвигатели, гидроагрегаты, пары трения). Процесс переноса тепла осуществляется при помощи элементарных процессов: теплопроводности, конвекции и теплового излучения, которые трудно описать функционально и детерминировать.

Аналитический расчет температурных деформаций составляет определенную трудность, т.к. связан со сложными функциональными зависимостями процессов теплообмена и их четырехмерным направлением протекания (3 координаты пространства и время).

Использование метода конечных элементов на основе термоупругой модели для исследования тепловых деформаций станка при помощи ЭВМ позволяет упростить и ускорить процесс теплового расчета и анализа полученных выходных параметров [1].

Для оценки теплового воздействия методом конечных элементов в приложении SW Simulation была построена математическая модель горизонтально-фрезерного станка Орша Ф32Ш. В качестве тепловой нагрузки выбран процесс переноса тепла в результате теплопроводности из-за нагрева подшипников качения. Исходя из класса точности станка – Н, определен допустимый интервал исходных данных – максимальная избыточная температура в  $30^{\circ}$ , основание станка, контактирующее с фундаментом, принимается термokonстантным (рис. 1).

В результате температурного нагружения происходит деформация элементов станка, перемещение которых рассчитывается по трем координатам, а затем и суммарное перемещение. Для удобства восприятия градиентной эпюры необходимо преобразовать ее в числовую зависимость, используя значения перемещения в контрольных точках.

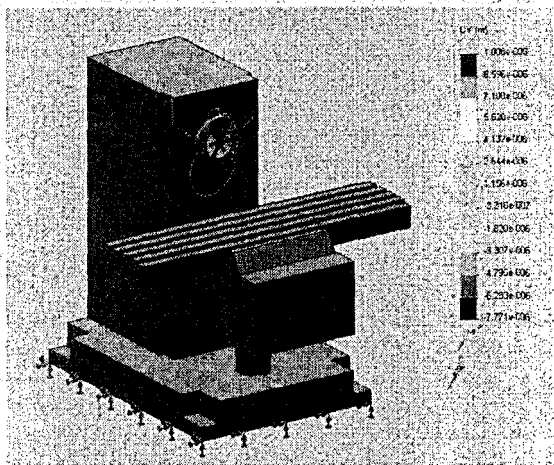


Рисунок 1 – Термоупругая модель станка с наложенной эпюрой перемещения

В данном случае расположение контрольных точек выбрано по внутренней круговой поверхности опорной части поверхности отверстия под подшипники шпинделя.

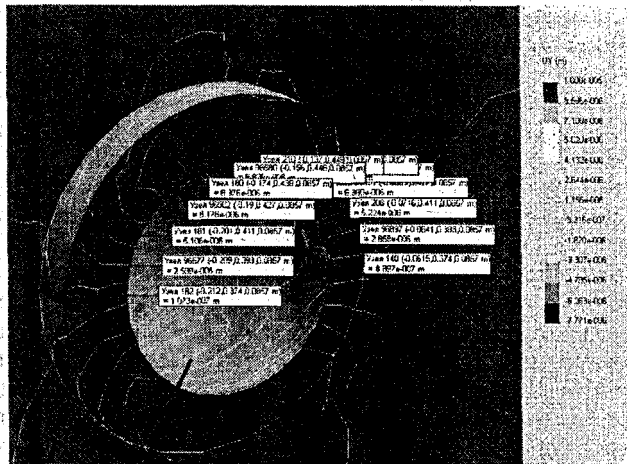


Рисунок 2 – Расположение контрольных точек на опорных поверхностях

Прикладывая избыточную температурную нагрузку в диапазоне от 0 до 30°C получим зависимости перемещения контрольных точек опорных поверхностей подшипников шпинделя. Наибольший интерес с точки зрения достижения максимальной точности представляет перемещение по осям X и Y, т.к. деформация опорных поверхностей в этих направлениях оказывает наибольшее влияние на получаемую геометрическую точность детали. Перемещение по оси Z компенсируется тепловым зазором в опорах и в достижении точности при фрезерной обработке существенного значения не имеет [2]. По результатам моделирования построены графики перемещения контрольных точек (рис. 3).

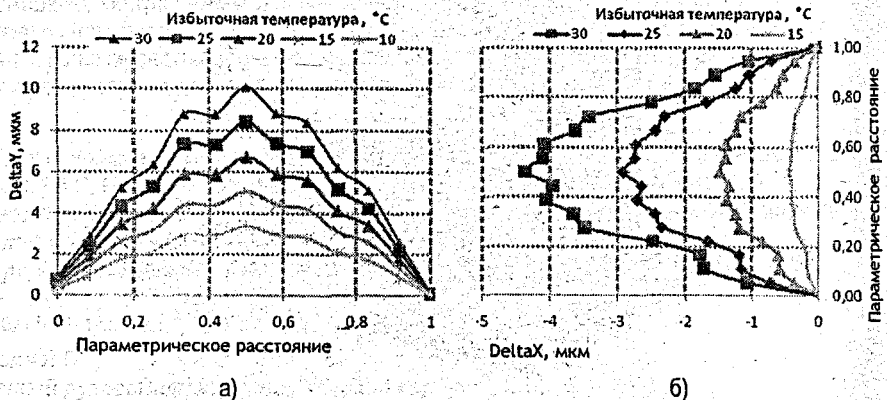


Рисунок 3 – Графики зависимостей перемещения по осям от избыточной температуры

По результатам моделирования можно сделать выводы о том, что избыточная температура в области шпиндельного узла приводит к деформации стойки, не затрагивая остальные узлы станка, которые можно исключить из моделирования, сохранив адекватность модели.

Полученные зависимости перемещений контрольных точек опорных поверхностей подшипников свидетельствуют о неравномерной деформации в направлении осей Y и X (температурные деформации в направлении оси Y ориентировочно в 2 раза больше, чем по оси X). Неравномерные деформации опорных поверхностей приведут к нарушению посадок опор подшипников шпиндельного узла, что выразится в возникновении прецессии шпинделя и, как следствие, к дополнительной погрешности в обработке.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Решетов, Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Кочергин, А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1991. – 382 с.

УДК 681.5

*Козлович К.А.*

*Научный руководитель: доцент Прокопеня О.Н.*

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ НА ДИНАМИКУ САР С ОБЪЕКТАМИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

Системы автоматического регулирования (САР) широко применяются в промышленности для управления технологическими параметрами процессов и установок. При этом многие реальные объекты могут быть представлены типовыми динамическими звеньями второго и даже – первого порядка. К таковым относятся, например, установки для тепловой обработки. В то же время датчики для измерения технологических параметров, как правило, обладают значительной инерционностью. В первую очередь это относится к датчикам температуры – термопарам и термометрам сопротивления. Постоянная времени этих датчиков зависит от конструктивного исполнения и может достигать нескольких минут [1].

В связи с этим становится актуальной задача оценки влияния инерционности датчика на свойства и качество работы САР. Решение данной задачи дает ответы на следующие вопросы:

- 1) в каких случаях можно пренебречь инерционностью датчика (считать его идеальным), а в каких она должна учитываться при расчете САР;
- 2) в какой степени изменение постоянной времени датчика (вследствие его замены или изменения условий расположения) может повлиять на качество работы САР при неизменной настройке регулятора;
- 3) как необходимо корректировать параметры регулятора при изменении постоянной времени датчика.

Ответы на данные вопросы имеют практическое значение, так как позволяют более эффективно использовать САР.

Для решения поставленной задачи был проведен анализ влияния на переходные характеристики САР с объектами первого и второго порядка постоянной времени датчика при использовании ПИД-регулятора. Анализ проводился путем математического моделирования в среде программирования MATLAB. Структурная схема САР с объектом первого порядка приведена на рисунке 1.