



Рис. 1. Компьютерная модель атомного спектроскопа

#### Литература

1. Domnin, Yu.; Baryshev, V.; Boyko, A.; Elkin, G.; Novoselov, A.; Kopylov, L.; Kupalov, D., “The MTsR-F2 fountain-type cesium frequency standard”, *Measurement Techniques*. 2013. – Vol. 55. – № 10. – P. 1155–1162.
2. Бюджет неопределенностей цезиевого репера частоты фонтанного типа / И. Ю. Блинов [и др.] // *Измерительная техника*. – 2017. – № 1. – С. 23–27.
3. Хранительшь единиц времени и частоты на основе «фонтана» атомов рубидия / Д. С. Купалов [и др.] // *Альманах современной метрологии*. – 2018. – № 15. – С. 31–41.

УДК006.91

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Студент гр. 11305119 Кухарчук М. С.

Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наиболее распространенными измерительно-вычислительных системами, гарантирующими высокое качество измерений, являются машины типа ATOS и КИМ.

Общий принцип действия координатно-измерительных машин состоит в том, что объект измерения сканируется по точкам щупом со сферическим наконечником. При каждом касании щупа измерительным элементом считывается смещение на координатных осях.

Преимуществами КИМ являются высокая точность, автоматизация процесса и то, что контролируемый объект не требует предварительной подготовки. Однако из-за специфики устройства и способа получения данных, данная система обладает рядом существенных недостатков: отсутствие числовых данных о размере объекта, необходимых для проведения процесса измерения, требуется квалифицированный исполнитель, требуется дорогостоящая оснастка.

Бесконтактный метод измерения характеризуется отсутствием измерительного контакта прибора с проверяемым объектом. В последнее время получил большое распространение такой бесконтактный метод, как оптическое сканирование.

В основе действия оптической системы ATOS лежит принцип TripleScan. В процессе получения цифрового изображения на поверхность измеряемого объекта проецируются интерференционные полосы, после чего камеры фиксируют полученные изображения. В процессе калибровки и наладки определяется положение и угол этих камер. Из огромного числа полученных точек по принципу триангуляции вычисляются трехмерные координаты. Законченное измерение состоит из нескольких отдельных видов, которые с помощью самоклеящихся точечных маркеров система ATOS преобразует каждый отдельный вид в систему координат объекта, распознавая расположение точечных маркеров.

Системы оптической оцифровки находят следующее применение: оцифровка и измерение объектов, контроль качества в процессе изготовления деталей, контроль оснастки. Также система позволяет обмениваться данными напрямую со станками с ЧПУ и выполнять обратный инжиниринг в соответствии с полученными данными. Это позволяет существенно ускорить и удешевить производство изделий с частой сменяемостью формы.

Рассматриваемые автоматизированные средства контроля позволяют получить с высокой точностью информацию о проверяемых параметрах объекта, тем не менее, система оптического сканирования ATOS дает наиболее полные и к тому же легко воспринимаемые результаты измерения.

Технологические измерения являются существенной частью информационных технологий, используемых в машиностроении и приборостроении. Связь технологии и информатики и их влияние на проектирование процедур контроля особенно ярко проявляется в отношении измерения геометрических параметров деталей в связи с тем, что:

– методика проведения измерений любых геометрических параметров позволяет использовать общую информационную базу об интересующем нас объекте – координатах отдельных точек поверхностей деталей, на основе которых создаются метрологические модели размерных элементов поверхностей;

– в качестве средства измерения используются координатно-измерительные системы различной конфигурации, производительности, точности и степени автоматизации;

– универсальность использования, родство используемых метрологических моделей для контроля деталей с информационно-программными пакетами, применяемых в CAD/CAM технологиях, способствуют развитию и распространению измерительно-вычислительных систем.

УДК 621.382

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ЕГО СТРУКТУРЫ

Студентка гр. 11305122 Лужинская А. И.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бумай Ю. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Метод основан на исследовании переходных электрических процессов при пропускании через мощный полупроводниковый прибор прямоугольных импульсов тока, обеспечивающих его разогрев. Измеряется прямое напряжение смещения на переходе (металл–полупроводник, полупроводник–полупроводник). Затем напряжение с помощью заранее определенного температурного коэффициента напряжения пересчитывается в зависимость температуры от времени. Данная зависимость определяется прохождением теплового потока через всю структуру прибора, поэтому дает возможность получения информации о тепловых сопротивлениях составляющих прибор слоев. Из зависимости температуры перехода времени предварительно находится дифференциальный спектр теплового сопротивления  $R_{th}$  прибора, значения тепловой емкости  $C_{th}$  и постоянной времени тепловой релаксации  $\tau$  для элементов структуры прибора. Дифференциальный спектр определяется на основе производных высшего порядка динамического (зависящего от времени) теплового импеданса и соответствует модели Фостера. Затем он перестраивается в дискретный спектр, соответствующий модели Кауера. Непрерывный спектр используется для уточнения компонентов теплового сопротивления и остальных параметров рамках электротепловой модели Фостера и дискретный – более физически точной модели Кауера. Метод также позволяет оценить также сечение теплового потока при прохождении через элементы структуры прибора. Метод наиболее эффективен при анализе слоя посадки полупроводникового кристалла (с помощью эвтектики, припоя, с термокомпенсатором или без) на теплоотводящее основание, а также всего термодизайна, включая радиатор. Изменение теплового сопротивления связано с развитием дефектов пайки – пустот и неприпаянных областей, которые анализируются при помощи термоударов (циклических изменений температуры от высоких до низких) при которых происходит развитие дефектов посадки.