

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СТАНКИН»



Цифровая лазерная коррекция объёмной геометрической точности многокоординатных киберфизических систем

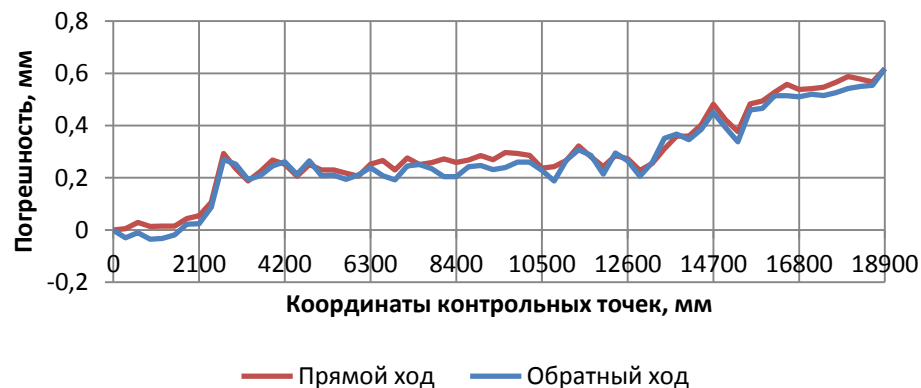
*Телешевский В. И., д.т.н., проф., ФГБОУ ВО МГТУ «Станкин»,
Соколов В. А., ФГБОУ ВО МГТУ «Станкин»*

Традиционный подход

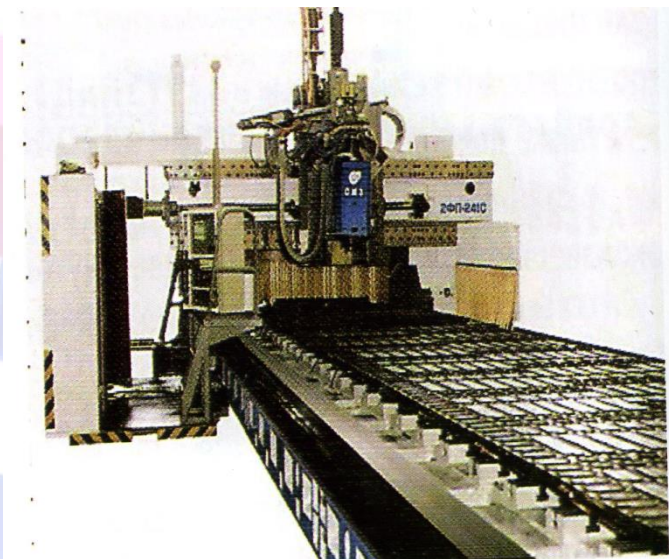
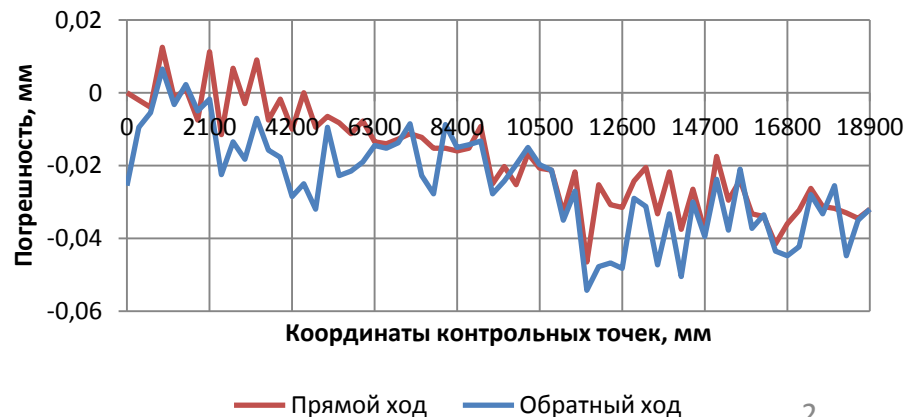


Точность позиционирования обрабатывающего центра 2ФП-241С с подвижным порталом. Размер стола 2060x35240 мм

Погрешность позиционирования портала по оси X до коррекции



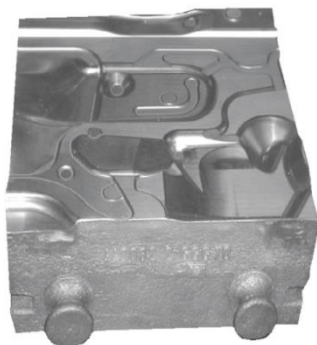
Погрешность позиционирования портала по оси X после коррекции



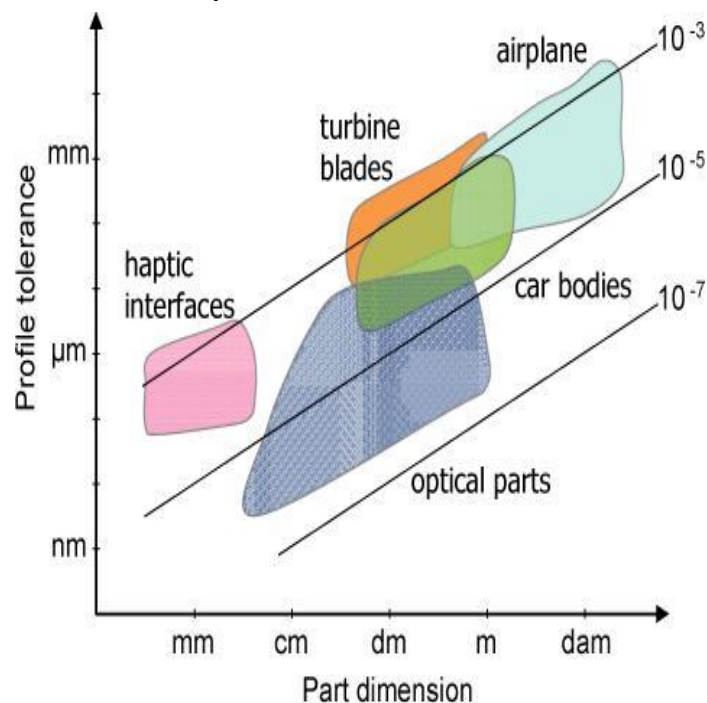
Применение деталей со сложными пространственными поверхностями



- Примеры деталей со сложными поверхностями



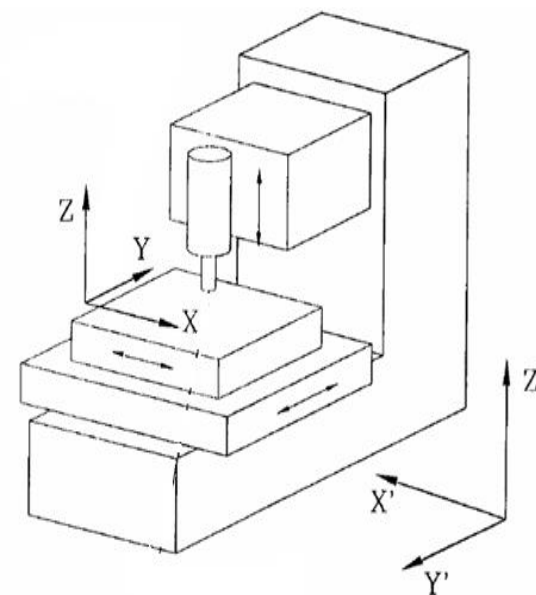
- Соотношение между размерами и допусками деталей со сложными поверхностями



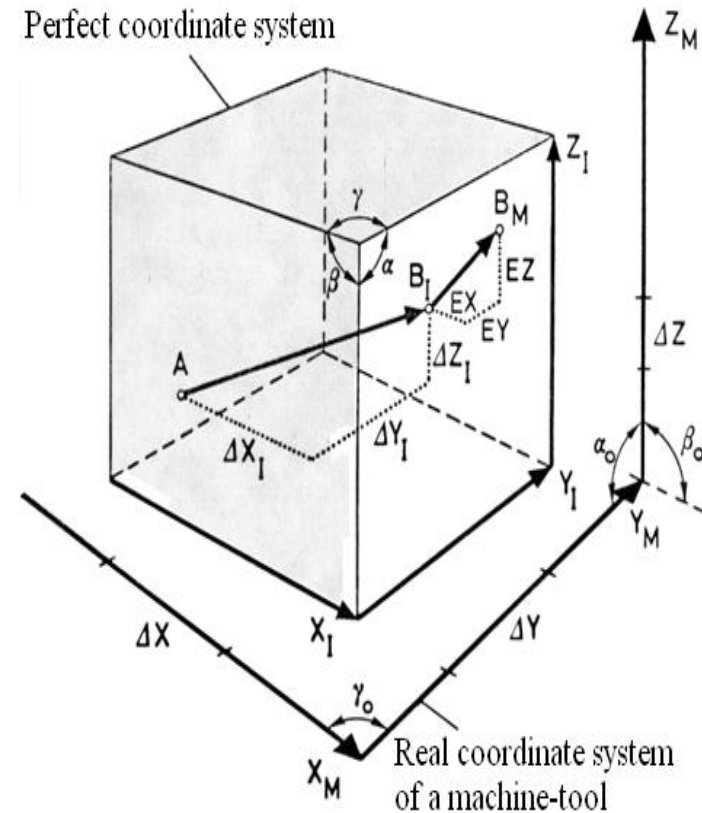
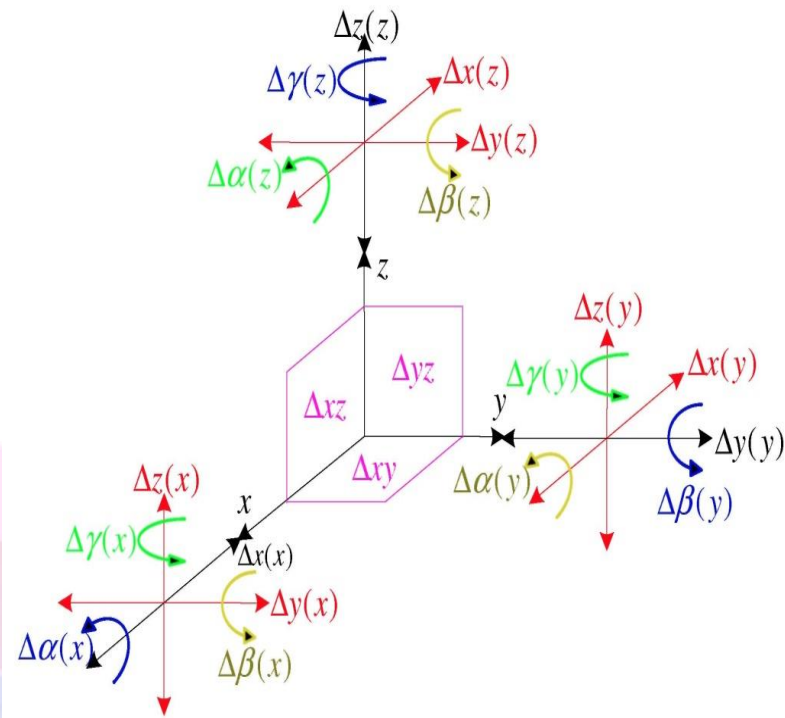
Программная коррекция погрешностей



Внешний вид обрабатывающего центра Kondia A-10



Объёмные погрешности многокоординатных машин



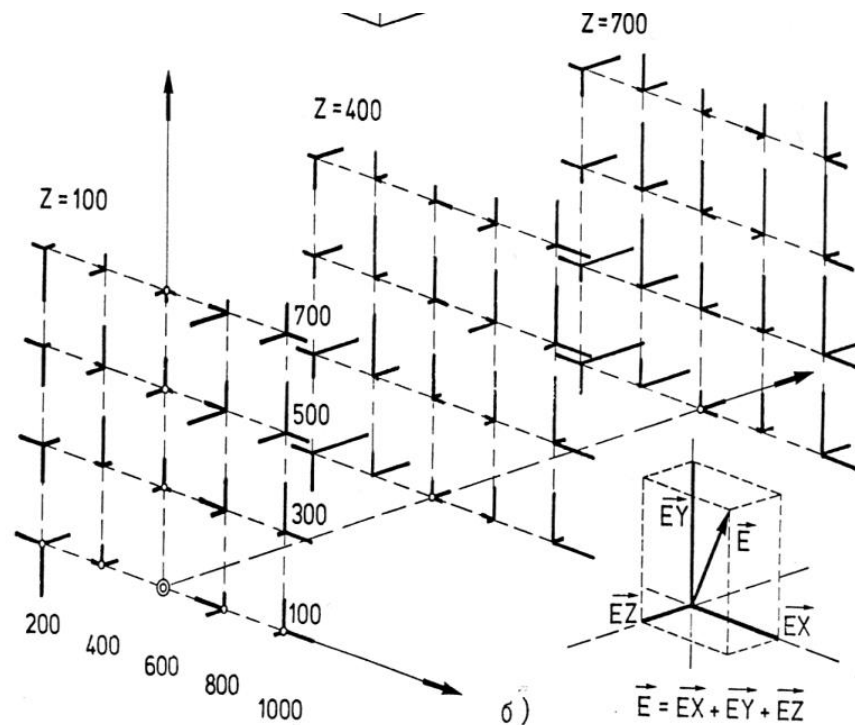
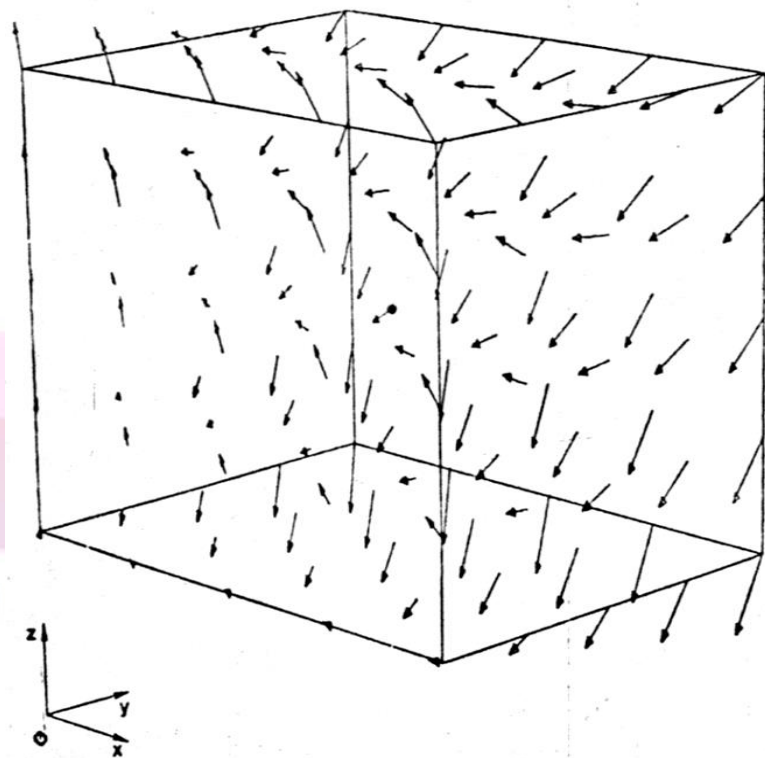
Источник: Geometric error compensation software system for CNC machine tools based on NC program reconstructing. Gangwei Cui & Yong Lu & Jianguang Li & Dong Gao & Yingxue Yao, Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s00170-011-3895-0

Параметрические функции объёмной точности



| № п/п | Наименование | Обозначение | Средство измерения |
|-------|---|-----------------------|---|
| 1 | перемещение по оси Oх | $\delta_{xx}(X)$ | линейный интерферометр |
| 2 | прямолинейность оси Oх в направлении оси Oу | $\delta_{yx}(X)$ | интерферометр для измерения прямолинейности |
| 3 | прямолинейность оси Oх в направлении оси Oz | $\delta_{zx}(X)$ | интерферометр для измерения прямолинейности |
| 4 | крен оси Oх | $\varepsilon_{xx}(X)$ | электронные уровни (нивелиры) |
| 5 | тангаж оси Oх | $\varepsilon_{yx}(X)$ | угловой интерферометр |
| 6 | рыскание оси Oх | $\varepsilon_{zx}(X)$ | угловой интерферометр |
| 7 | перемещение по оси Oу | $\delta_{yy}(Y)$ | линейный интерферометр |
| 8 | прямолинейность оси Oу в направлении оси Oх | $\delta_{xy}(Y)$ | интерферометр для измерения прямолинейности |
| 9 | прямолинейность оси Oу в направлении оси Oz | $\delta_{zy}(Y)$ | интерферометр для измерения прямолинейности |
| 10 | крен оси Oу | $\varepsilon_{yy}(Y)$ | электронные уровни (нивелиры) |
| 11 | тангаж оси Oу | $\varepsilon_{xy}(Y)$ | угловой интерферометр |
| 12 | рыскание оси Oу | $\varepsilon_{zy}(Y)$ | угловой интерферометр |
| 13 | Перемещение по оси Oz | $\delta_{zz}(Z)$ | линейный интерферометр |
| 14 | прямолинейность оси Oz в направлении оси Oх | $\delta_{xz}(Z)$ | интерферометр для измерения прямолинейности |
| 15 | прямолинейность оси Oz в направлении оси Oу | $\delta_{yz}(Z)$ | интерферометр для измерения прямолинейности |
| 16 | крен оси Oz | $\varepsilon_{zz}(Z)$ | электронные уровни (нивелиры) |
| 17 | тангаж оси Oz | $\varepsilon_{xz}(Z)$ | угловой интерферометр |
| 18 | рыскание оси Oz | $\varepsilon_{yz}(Z)$ | угловой интерферометр |
| 19 | перпендикулярность осей Oх и Oу | α_{xy} | линейный интерферометр |
| 20 | перпендикулярность осей Oу и Oz | α_{yz} | линейный интерферометр |
| 21 | перпендикулярность осей Oz и Oх | α_{zx} | линейный интерферометр |

Объёмные погрешности в рабочем пространстве машины



Компоненты объёмных погрешностей



$$\mathbf{XYZ} = R_X \left[{}^Y R_Z^{-1} \mathbf{T} + \mathbf{Z} - \mathbf{Y} \right] - \mathbf{X},$$

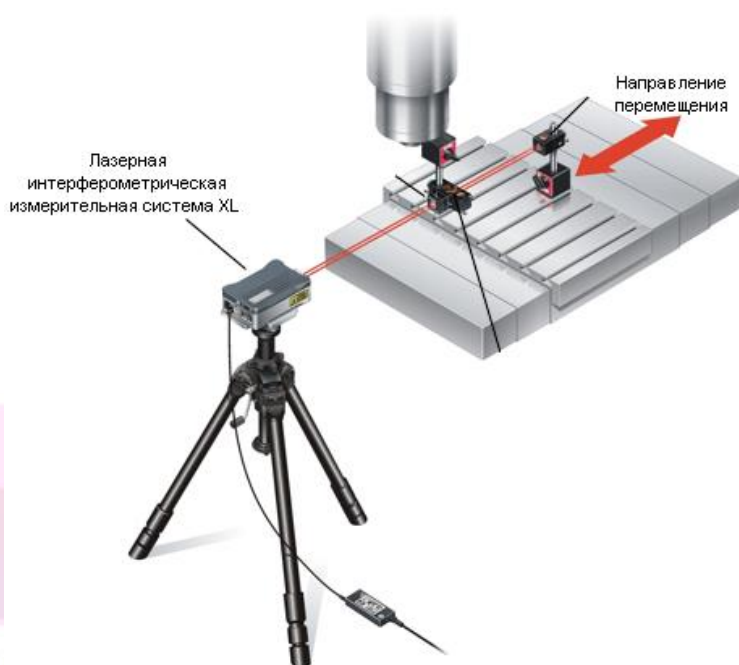
$$\begin{aligned} \Delta X = & \delta_{XX}(X) + \delta_{XZ}(Z) + \delta_{XY}(Y) + Y[\varepsilon_{ZY}(Y) + \varepsilon_{ZX}(X)] + Y\alpha_{YX} - Z[\varepsilon_{YY}(Y) + \varepsilon_{YX}(X)] - \\ & - Z\alpha_{ZX} + X_T - Y_T[\varepsilon_{ZX}(X) + \varepsilon_{ZY}(Y)] - Z_T[\varepsilon_{YZ}(Z) + \varepsilon_{YY}(Y) + \varepsilon_{YX}(X)]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Y = & \delta_{YY}(Y) + \delta_{YX}(X) + \delta_{YZ}(Z) - X\varepsilon_{ZX}(X) - Z[\varepsilon_{XY}(Y) + \varepsilon_{XX}(X)] - Z\alpha_{ZY} + \\ & + X_T[\varepsilon_{ZY}(Y) + \varepsilon_{ZX}(X)] + Y_T - Z_T[\varepsilon_{XY}(Y) + \varepsilon_{XX}(X) + \varepsilon_{XZ}(Z)]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Z = & \delta_{ZZ}(Z) + \delta_{ZX}(X) + \delta_{ZY}(Y) - X\varepsilon_{YX}(X) - Y[\varepsilon_{XY}(Y) + \varepsilon_{XX}(X)] + \\ & + X_T[\varepsilon_{YX}(X) + \varepsilon_{YZ}(Z) + \varepsilon_{YY}(Y)] + Y_T[\varepsilon_{XY}(Y) + \varepsilon_{XZ}(Z) + \varepsilon_{XX}(X)] + Z_T, \end{aligned}$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

Многофункциональное средство измерения

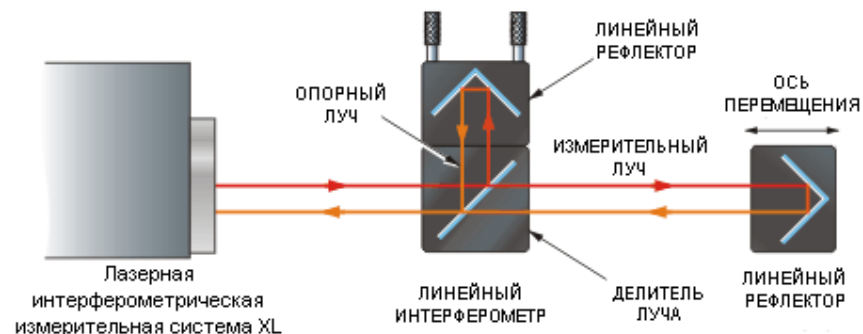


Линейные измерения

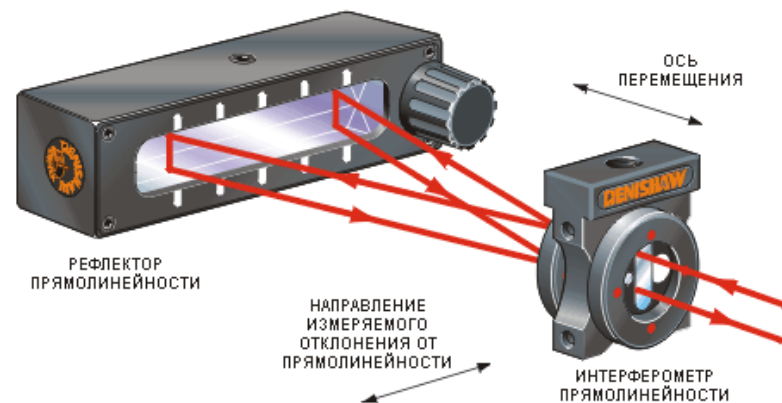
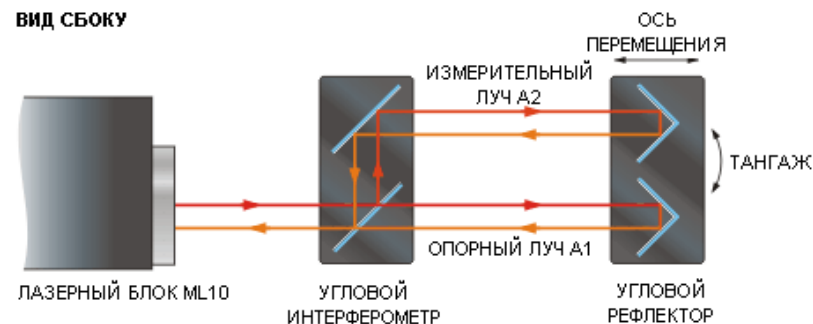
Угловые измерения

Измерение отклонений от прямолинейности

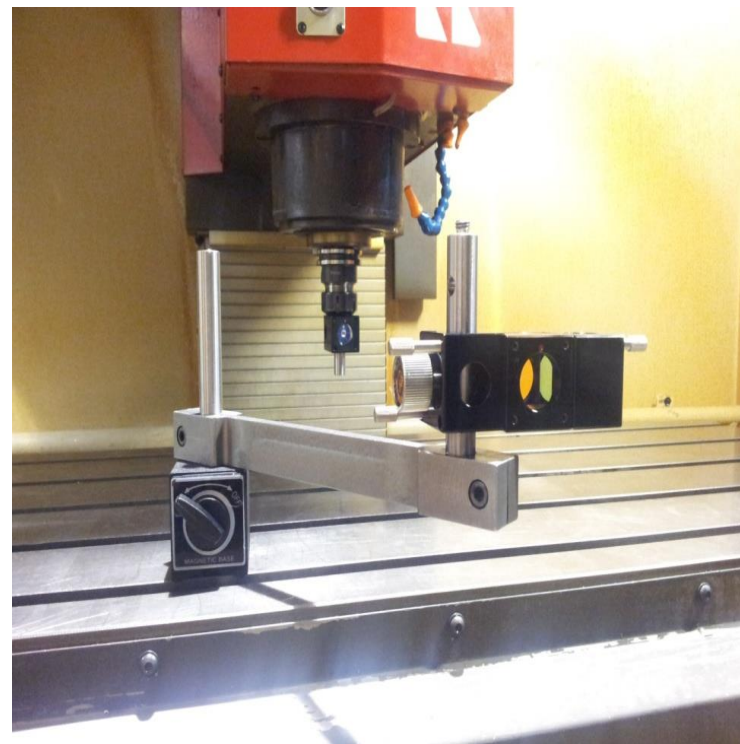
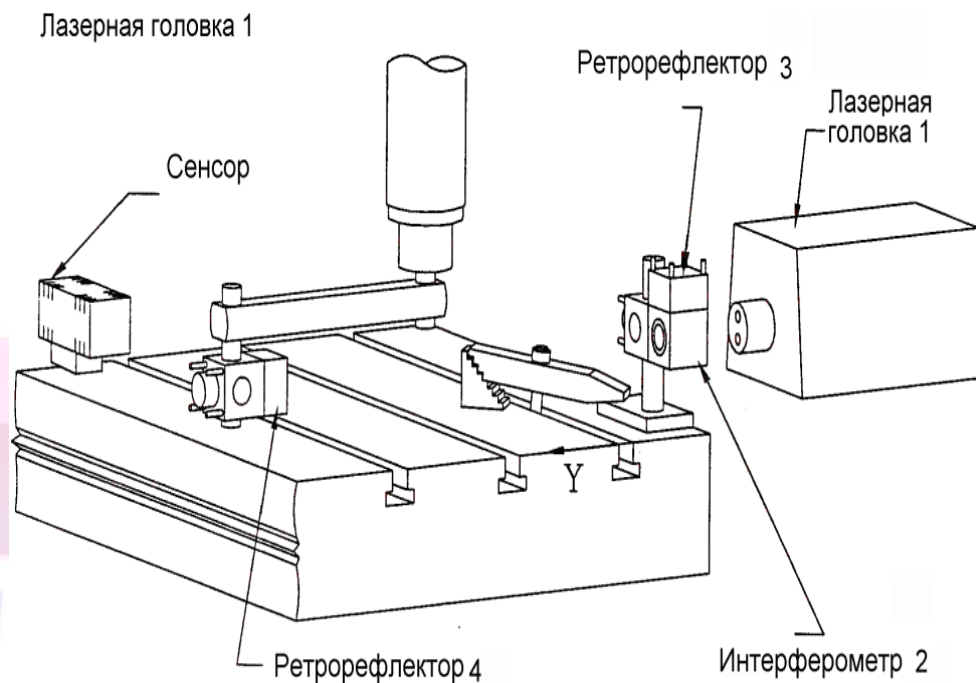
ВИД СБОКУ



ВИД СБОКУ



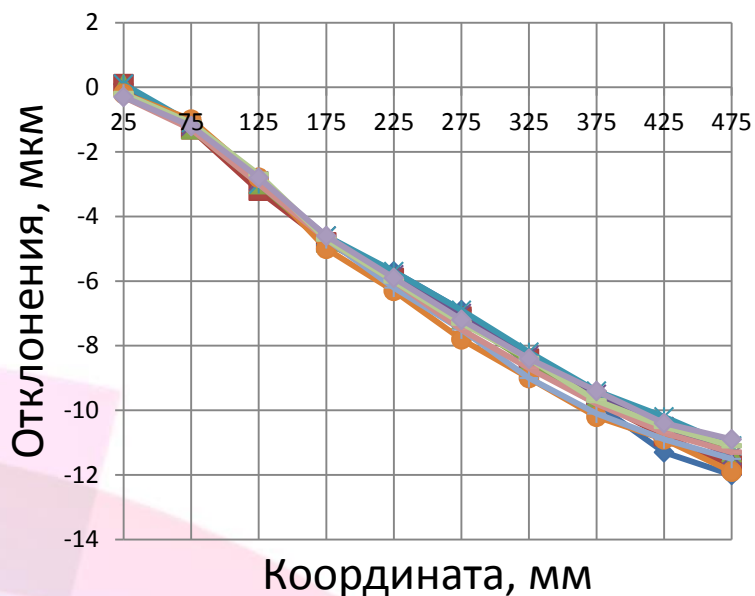
Измерение функций погрешности



Измерение функций погрешности

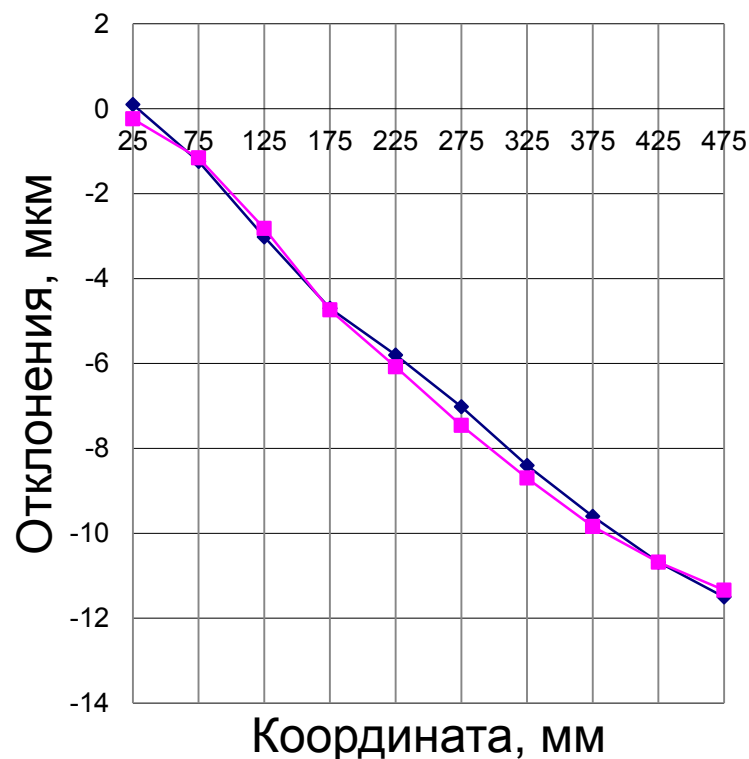


Отклонения
позиционирования оси Y



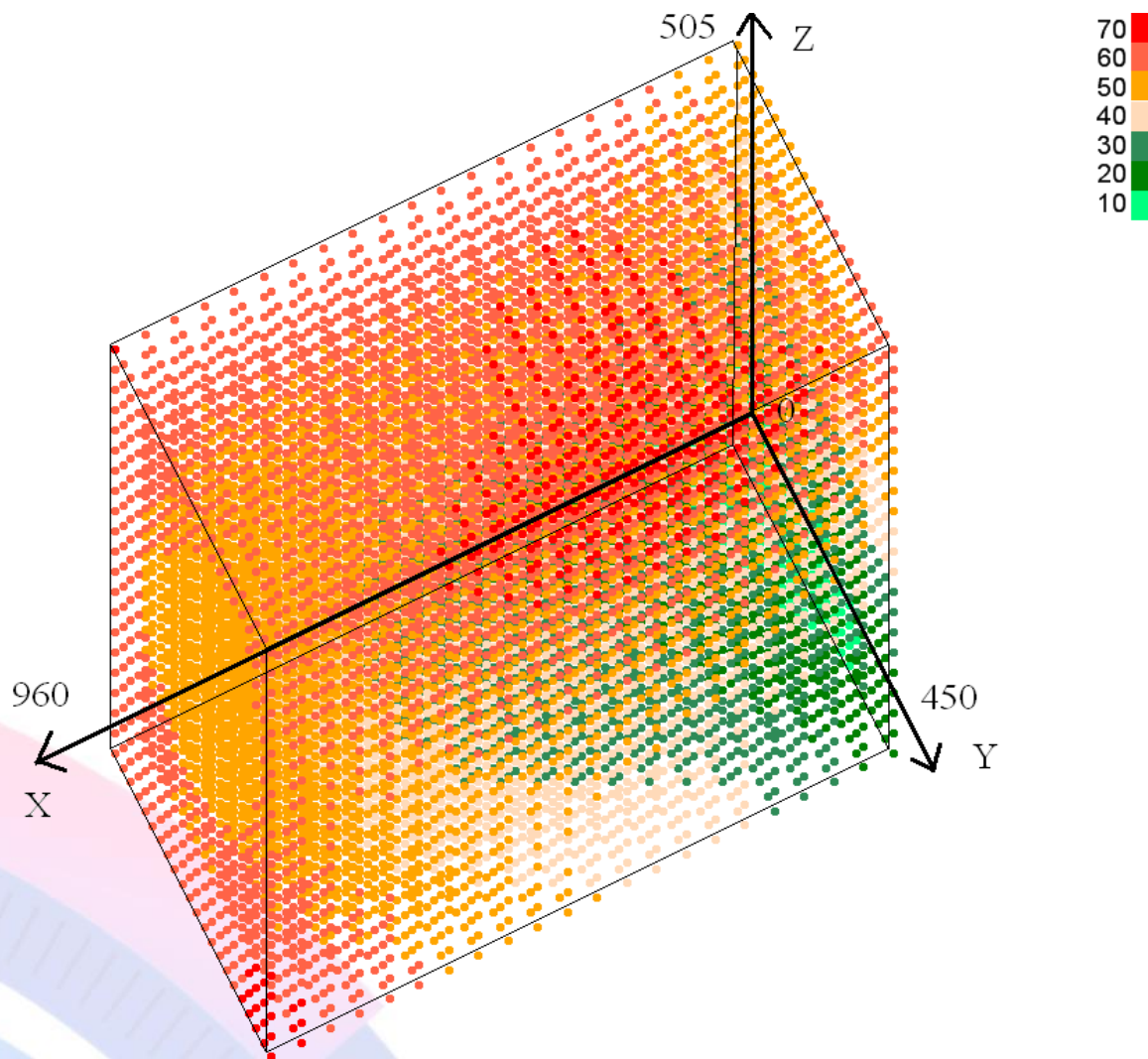
- ♦— Прямой ход - 1
- ▲— Прямой ход - 3
- *— Прямой ход - 5
- +— Обратный ход - 2
- Обратный ход - 4
- Прямой ход - 2
- x— Прямой ход - 4
- Обратный ход - 1
- Обратный ход - 3
- ◇— Обратный ход - 5

Отклонения
позиционирования оси Y
обработанные данные

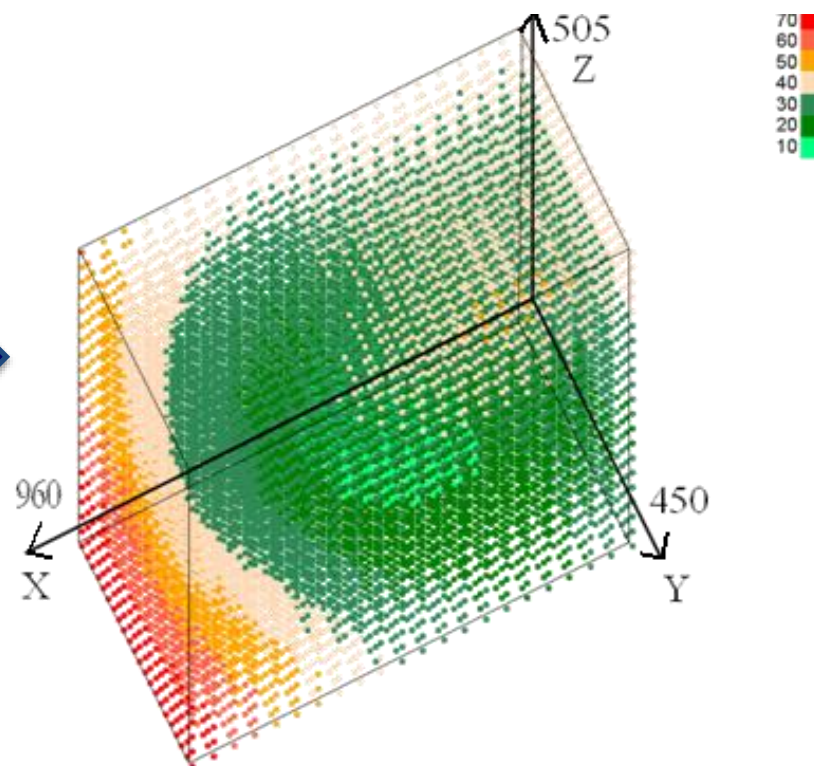
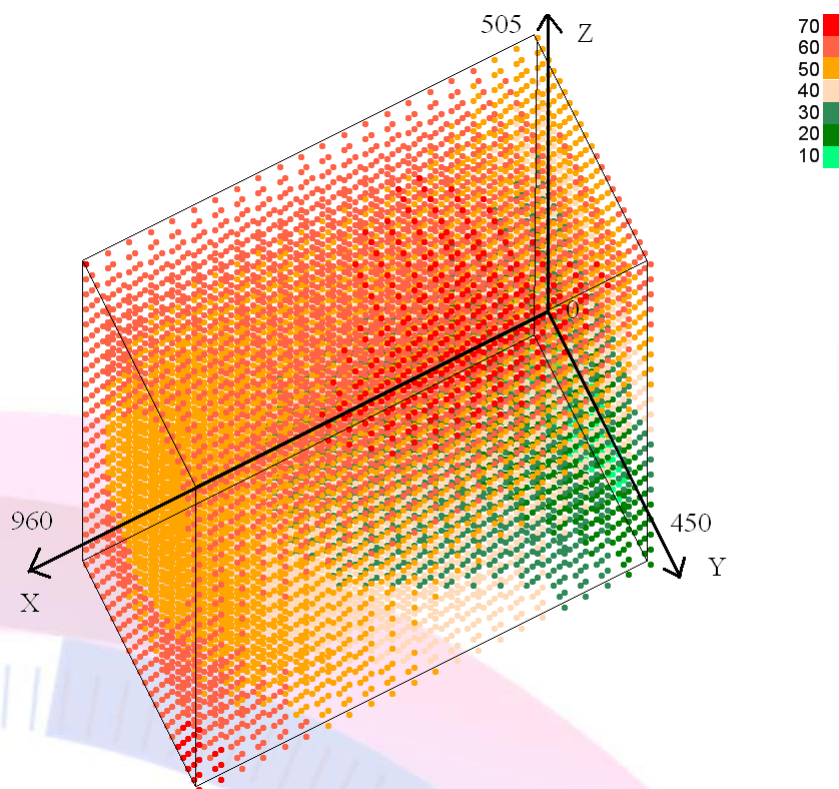


- ♦— Прямой ход
- Обратный ход

Визуализация карты погрешностей



Визуализация карты погрешностей



Коррекция объёмных погрешностей



- **Коррекция объёмных погрешностей** может осуществляться средствами систем ЧПУ, САМ-систем, измерительных систем и программного обеспечения;
- **Оптимальная коррекция погрешностей** позволяет добиться минимальных значений погрешности в максимальном объёме рабочего пространства машины;
- Разработанные принципы могут использоваться с различными системами ЧПУ, САМ и измерительными системами.



Заключение

Система обеспечения качества:

- - становится многоуровневой иерархической структурой получения, обработки и накопления измерительной информации со сложными межуровневыми связями;
- - приобретает активный характер, поскольку измерительная информация, получаемая на любом иерархическом уровне наблюдения, используется для управления;
- - имеет распределенный характер во времени и пространстве, охватывая различные участки производственного процесса и подсистемы;
- - чрезвычайно разнообразна по свойствам и характеристикам наблюдаемых величин (перемещения и размеры до десятков метров, измеряемые с точностью до сотых долей микрометра и десятых долей угловой секунды, скорости до сотен м/с и тысяч об/мин, усилия до сотен и тысяч Н и др.);
- - требует обеспечения высокой надежности своего функционирования, что предопределяет принципы построения;
- - существенно усложняется по содержанию измерительной информации, переходя от простейшей функции обнаружения события и оценке параметров (например, размерных) к построению модели состояния процесса или объекта, проверке различных гипотез о свойствах модели и т.д.