

**УДК 621.01****РАЗРАБОТКА ТИПОВОГО РАСЧЕТА ОПТИМИЗАЦИИ КООРДИНАТ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ**

Цзи Шоучэн

*Аспирант 2 года,**кафедра «Металлорежущие станки»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: П.М. Чернянский,**доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки»**Ключевые слова: точность (precision), давление (pressure), оптимизация (optimization).*

Аннотация: Точность системы позиционирования (СП) является одной из наиболее показательных характеристик металлорежущих станков, позволяющих оценить точность обрабатываемых на нем деталей. **Цель данного исследования** – по методике оптимизации эпюры давления направляющих многоцелевых станков повысить точность СП и обработки.

Расчет прямолинейных направляющих можно представить как статически определимую задачу, допуская, что эпюра давлений ограничена прямой или плоскостью [4, 6]. Возможны 2 варианта эпюры давления: а – равномерное давление  $\rho_1 = \rho_2$ ; вариант б – неравномерное давление  $\rho_1 \neq \rho_2$  (рис. 1).

Контактные смещения  $y$  и давления связаны экспериментально установленными зависимостями, полученными для плоских стыков с малой площадью контакта:

$$y = c\rho^m \quad (1)$$

где  $c$  и  $m$  – коэффициенты, зависящие от материала, шероховатости (микрорегеометрии), методов обработки и состояния контактных поверхностей.

По уравнению (1) получим смещения  $y$  и погрешность  $\Delta$  для грани:

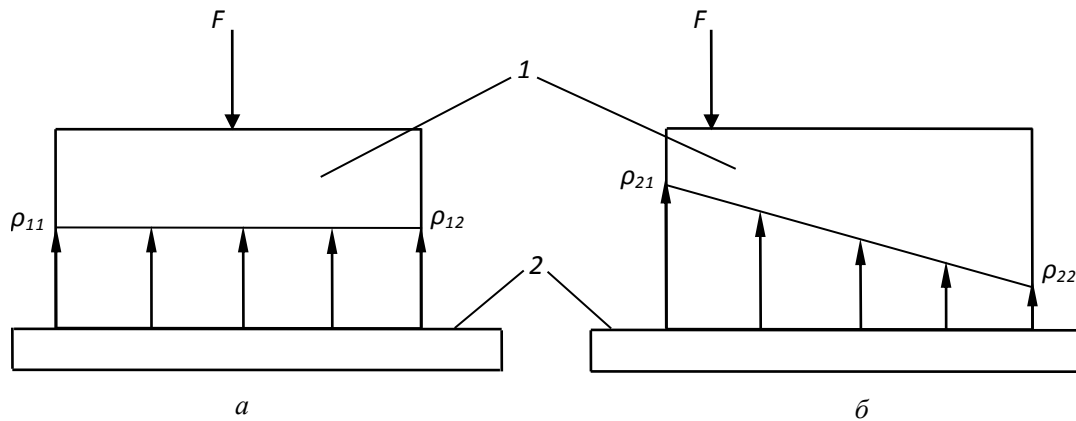
1) вариант 1:

$$y_{11} = c\rho_{11}^m, y_{12} = c\rho_{12}^m, \rho_{11} = \rho_{12} : \\ \Delta_1 = |y_{11} - y_{12}| = 0 ;$$

2) вариант 2:

$$y_{21} = c\rho_{21}^m, y_{22} = c\rho_{22}^m, \rho_{21} \neq \rho_{22} : \\ \Delta_2 = |y_{21} - y_{22}| = |c\rho_{21}^m - c\rho_{22}^m| > 0.$$

Из анализа двух вариантов следует, что при равномерном давлении погрешность в направляющих СП равна нулю и минимальна.



**Рис. 1.** Эпюры давления направляющих:

а – равномерное; б – неравномерное; 1 – салазки, 2 – направляющие

Для расчета давлений в направляющих внешние силы и моменты приравниваются. На рис. 2 по длине направляющих  $l$  выделена область расположения салазок 1 на прямолинейных направляющих 2. Начало координат совмещено с одним из углов салазок. На схеме приведены необходимые для расчета размеры, сосредоточенная сила  $F_z$ , сила веса  $G$ , моменты  $M_x$ ,  $M_y$ .

В результате расчета определяем давления на опорной поверхности:

1) при  $x=0, y=0$ :

$$\rho_1 = D = \frac{1}{l} \left[ \frac{\sum F_z}{d} \left( 4 + \frac{3N^2}{Q} \right) - \frac{6 \sum M_x}{dl} - \frac{6N \sum M_y}{Q} \right], \quad (2)$$

2) при  $x=c, y=0$ :

$$\rho_2 = Ac + D = \frac{12dc}{Ql} \left( -\frac{N \sum F_z}{2d} + \sum M_y \right) + \rho_1, \quad (3)$$

3) при  $x=0, y=l$ :

$$\rho_3 = Bl + D = \frac{12}{dl} \left( -\frac{\sum F_z}{2} + \frac{\sum M_x}{l} \right) + \rho_1, \quad (4)$$

4) при  $x=c, y=l$ :

$$\rho_4 = \rho_2 + \rho_3 - \rho_1. \quad (5)$$

где:  $\sum F_z$  – Сумма проекций внешних сил ,спроектированных на ось  $z$ ;  $\sum M_x$  – Сумма моментов внешних сил относительно оси  $Ox$ ;  $\sum M_y$  – Сумма моментов внешних сил относительно оси  $Oy$ . И обозначим:

$$d = a + b; N = a^2 - b^2 + 2bc; M = a^3 + b^3 + 3bc(c - b); Q = 4M(a + b) - 3N^2.$$

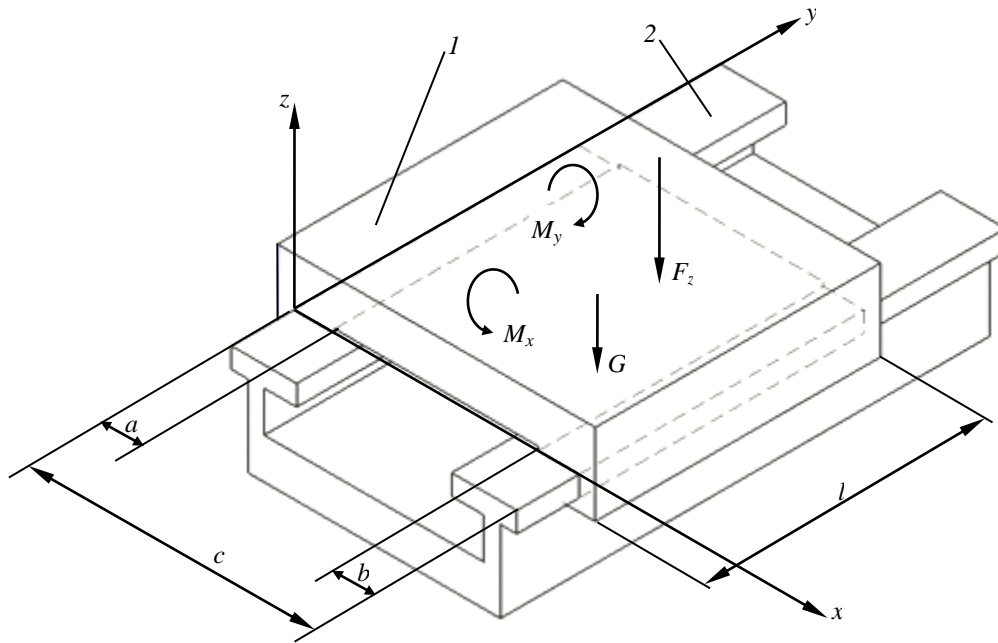


Рис. 2. Схема расчета направляющих прямолинейного движения:  
1 – салазки; 2– прямолинейные направляющие

**А.** При малой ширине опорных поверхностей (узких направляющих), давление по ширине можно принять постоянным, и расчет упростится.

Учитывая также, что:

$$\sum M_y = F_z \cdot \frac{a}{2},$$

$$\sum M_x = F_z \cdot y_z,$$

$$x = c = a = \text{const}, b = 0; d = a, N = a^2, M = a^3, Q = a^4,$$

где  $y_z$  – координата силы  $F_z$  по оси  $oy$ .

Подставив полученные данные в формулы (2) – (5), получим уравнения для расчета давления узких направляющих:

для  $y=0$ :

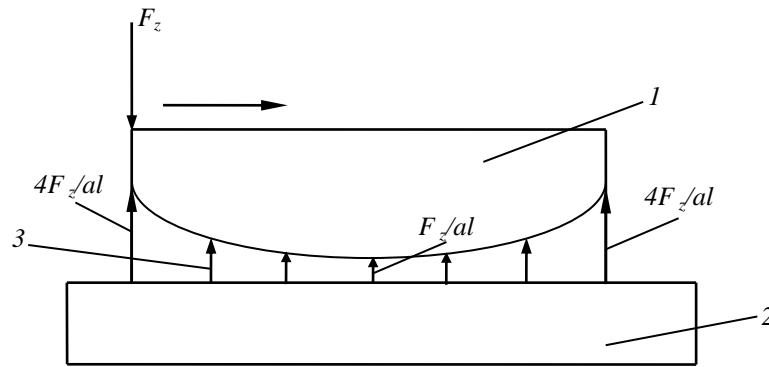
$$\rho_0 = \frac{\sum F_z}{al} (4 - 6\alpha);$$

для  $y=l$ :

$$\rho_l = \frac{\sum F_z}{al} (-2 + 6\alpha).$$

При  $\sum F_z = F_z$  и сечая ее вдоль направляющих, можно рассчитать давления  $\rho_A$  в каждой точке направляющих под точкой приложения силы:

$$\rho_A = \frac{12F_z}{al} \left( \alpha^2 - \alpha + \frac{1}{3} \right), (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (6)$$



**Рис. 3.** эпюра давления по длине направляющих при смещении точки приложения силы  
1—салазки, 2 – направляющие, 3 – эпюра давления

Принимая  $\alpha = 0$  или  $\alpha = 1$ , находим:  $\rho_{Amax} = 4F_{рез}/al$ ; принимая  $\alpha = 0.5$ , находим:  $\rho_{Amin} = F_{рез}/al$ . Получим эпюру давления по длине направляющих на рис. 3.

**Б.** Опорная поверхность непрерывна, но давление по длине и ширине ее принимается переменным. Следовательно, при принятых обозначениях по рис.1,

$$a = c, b = 0, d = a :$$

$$N = a^2, M = a^3, Q = a^4.$$

Тогда расчетные формулы (5) - (8) примут вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 = \frac{1}{al} \left( 7 \sum F_z - \frac{6 \sum M_x}{l} - \frac{6 \sum M_y}{a} \right) \\ \rho_2 = \frac{1}{al} \left( \sum F_z - \frac{6 \sum M_x}{l} + \frac{6 \sum M_y}{a} \right) \\ \rho_3 = \frac{1}{al} \left( \sum F_z + \frac{6 \sum M_x}{l} - \frac{6 \sum M_y}{a} \right) \\ \rho_4 = \frac{1}{al} \left( -5 \sum F_z + \frac{6 \sum M_x}{l} + \frac{6 \sum M_y}{a} \right) \end{array} \right.$$

Для упрощения расчетов принимаем,  $\sum F_z = F$  :

$$\sum M_x = F \cdot y, 0 \leq y \leq l;$$

$$\sum M_y = F \cdot x, 0 \leq x \leq a;$$

где  $x, y$  – координаты силы резания.

Так можно рассчитать давление в каждой точке направляющих от силы резания:

$$\rho_B = \frac{12F}{al} \left[ \frac{(x-a/2)^2}{a^2} + \frac{(y-l/2)^2}{l^2} + 1 \right] \quad (7)$$

Принимая  $x = 0$  или  $x = a$ , и  $y = 0$  или  $y = l$ , находим:  $\rho_{B_{max}} = 18F/al$ ; принимая  $x = a$  или  $x = c - a$ , и  $y = l/2$ , находим:  $\rho_{B_{min}} = 12F/al$ . Давления по опорной поверхности направляющих показана на рис.4.

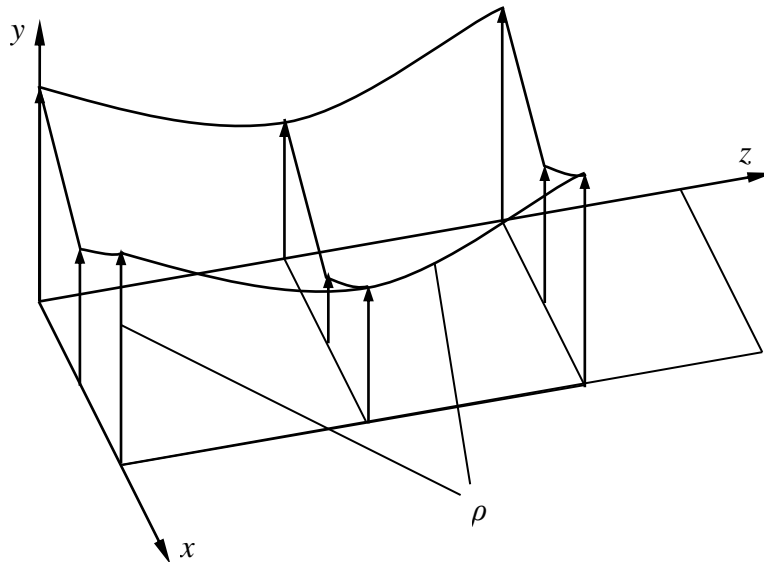


Рис. 4. эпюра давления на опорной поверхности направляющих

И погрешность направляющих СП  $\Delta_B$ :

$$\Delta_B = c\rho_{B_{max}}^m - c\rho_{B_{min}}^m = c\left(\frac{18F}{al}\right)^m - c\left(\frac{12F}{al}\right)^m \quad (8)$$

Для определения оптимальных координат зоны резания можно изменять размеры салазок, величину и координаты приложенных сил, добиваясь выравнивания давления и повышение точности СП в станках.

В качестве примера приведем расчет прямоугольных направляющих токарного станка. Расчетная схема с указанием действующих сил и их координат приведена на рис. 5.

Для данной конструкции станка принимаем:

силы резания:  $P_y = 3.5 \text{ КН}$ ,  $P_z = 1.8 \text{ КН}$ ,  $P_x = 0.8 \text{ КН}$ ;

вес суппорт с фартуком  $G = 3.0 \text{ КН}$ ;

размеры направляющих:  $a = b = 20 \text{ мм}$ ,  $c = 120 \text{ мм}$ ,  $l = 200 \text{ мм}$ ;

координаты силы резания:  $z_P = 10 \text{ мм}$ ,  $x_P = 100 \text{ мм}$ ,  $y_P = 120 \text{ мм}$ ;

координаты тягового усилия:  $z_Q = 50 \text{ мм}$ ,  $x_Q = 180 \text{ мм}$ ,  $y_Q = 50 \text{ мм}$ ;

координаты силы веса:  $z_G = 100 \text{ мм}$ ,  $x_G = 130 \text{ мм}$ ,  $y_G = 30 \text{ мм}$ .

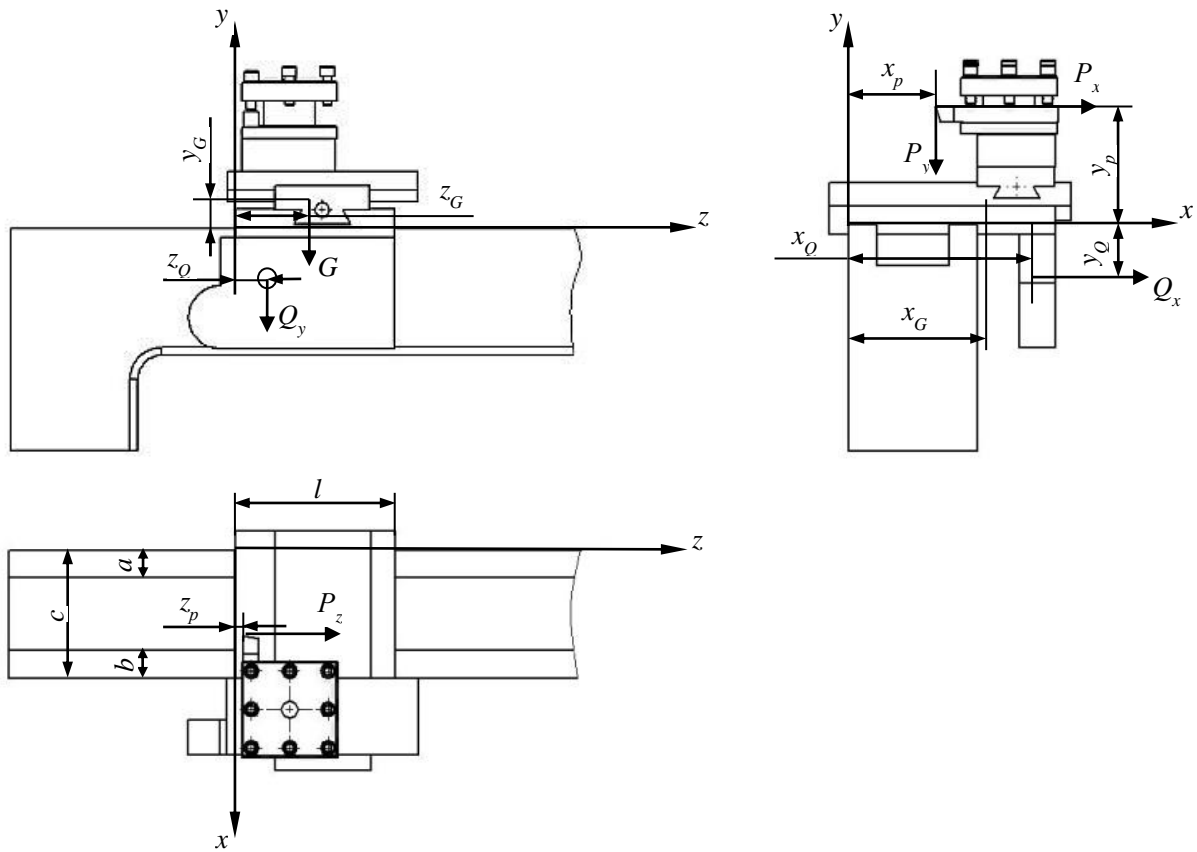


Рис. 5. Схема направляющих для расчета токарного станка

Найдем форму давления направляющих станка для данных координат сил резания:

$$\rho = Ax + Bz + D = 0.0334x - 0.0057y - 0.05 \quad (9)$$

Для данного станка, по уравнению (4) получим эпюру давления направляющих станка, на рис. 6.

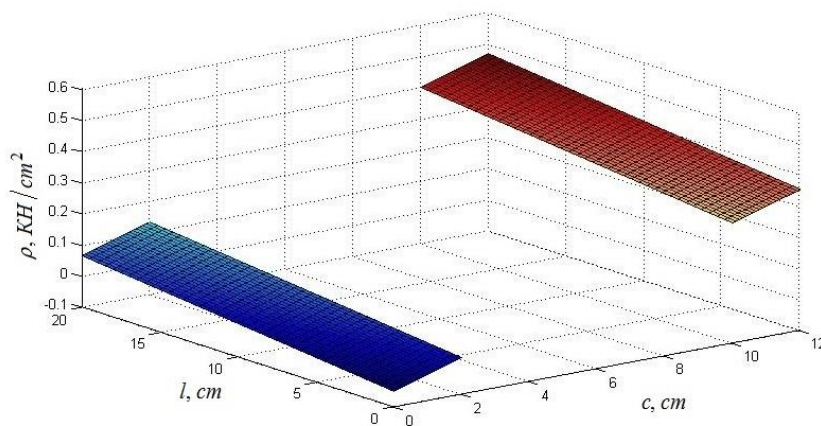


Рис. 6. Эпюра давления на поверхности направляющих станка

Найдем форму эпюры давления в направляющих СП при смещении точки приложения сил резания по осям  $x$  и  $z$ :

$$\rho = Ax + Bz + D$$

$$= 1.727 \cdot 10^{-3} x^2 + 5.749 \cdot 10^{-3} x + 1.313 \cdot 10^{-3} z^2 - 2.008 \cdot 10^{-2} z + 0.0671 \quad (10)$$

Эпюра давления в направляющих СП показана на рис. 7.

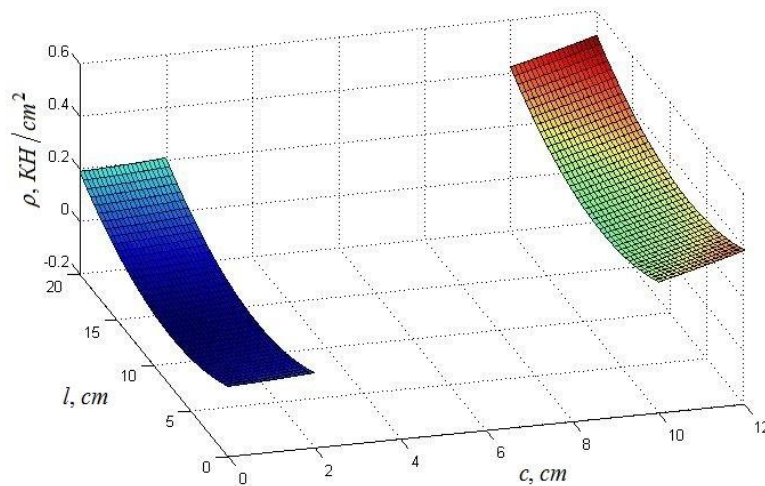


Рис. 7. Эпюра давления координат приложенных сил резания направляющих станка

$$\rho_{\max} = 0.5082 \text{ KH/cm}^2 = 5.082 \text{ H/mm}^2, \quad (11)$$

$$\rho_{\min} = -0.0098 \text{ KH/cm}^2 = -0.098 \text{ H/mm}^2. \quad (12)$$

По рисункам 6 и 7 видно, что давление в направляющих неравномерно. Разница между максимальным и минимальными давлениями более  $0.5 \text{ H/mm}^2$ . Для повышения точности направляющих СП станка изменим: 1) вектор сил резания  $\Sigma P$ , размер салазки и вектор силы веса:

силы резания:  $P_z = 0.4 \text{ KH}$ ,  $c = 220 \text{ mm}$ , координаты сил резания и веса:  $y_P = 35 \text{ mm}$ ,  $z_G = 55 \text{ mm}$ . Другие величины постоянны.

Эпюра давления в направляющих СП по расчету оптимизации показана на рис. 7.

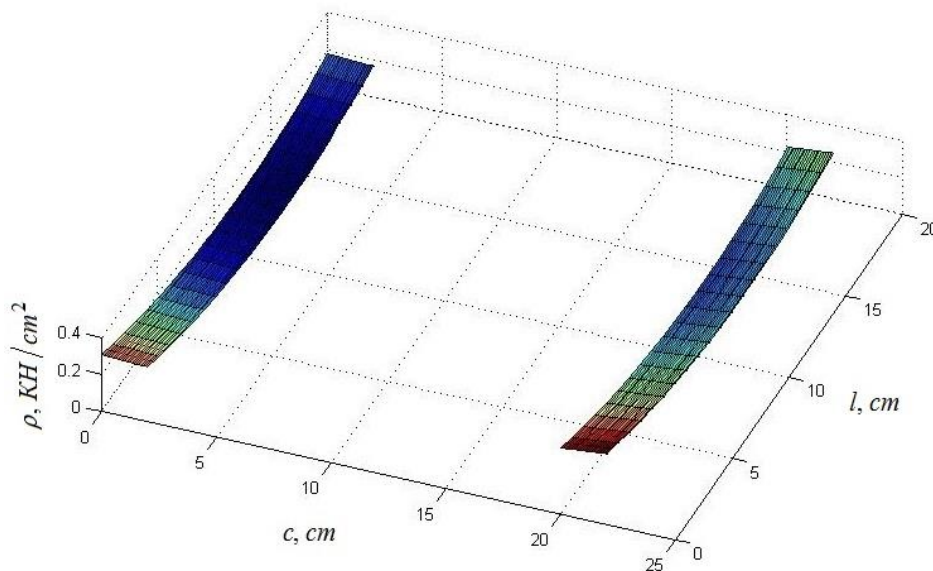


Рис. 7. Эпюра давления координат приложенных сил резания направляющих станка  
По результатам расчета оптимизации:

$$\rho_{\max.op.} = 0.3798 \text{ КН/мм}^2 = 3.798 \text{ Н/мм}^2, \quad (13)$$

$$\rho_{\min.op.} = 0.0799 \text{ КН/мм}^2 = 0.799 \text{ Н/мм}^2. \quad (14)$$

По уравнениям (11) – (14) получим, что разница максимального и минимального направляющих уменьшаются, что позволяет повысить точность обработки.

### *Вывод*

Изложенный расчет можно использовать для оптимизации координат зоны резания в станках, с целью повышения точности СП и обработки станков.

### **Литература**

1. *Врагов Ю.Д.* Анализ компоновок металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
2. *Ершов А.А.* Влияние контактных характеристик соединений корпусных деталей на показатели статической точности станков: дис. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2001. 131 с.
3. *Левина З.М., Решетов Д.Н.* Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.
4. *Чернянский П.М.* Основы проектирования точных станков: теория и расчет. М.: КНОРУС, 2010. 240 с.
5. Проектирование автоматизированных станков и комплексов: в 2 т. Т. 1. / ред. *П.М. Чернянского*. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 331 с.
6. *Цзи Шоучэн, Чернянский П.М.* Методика повышения точности системы позиционирования металлорежущих станков. // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/750300.html> (дата обращения 12.12.2014).