



**ВЕРЕИНА**

Людмила Ивановна  
доцент кафедры  
«Металлорежущие станки»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Исследование динамики узла многоцелевого станка при быстром торможении

**Л.И. Вереина**

*Рассмотрены условия устойчивости поступательного движения узла многоцелевого станка при быстром торможении.*

**Ключевые слова:** многоцелевой станок, динамика торможения, устойчивость движения.

*The article considers the conditions of the combined machine component forward movement stability during rapid deceleration.*

**Keywords:** combined machine, deceleration dynamics, motion stability.

В современных многоцелевых станках [1] скорости быстрых ходов перемещающихся поступательно узлов достигают 60...120 м/мин с ускорениями до 1,5 g [2]. При быстром торможении таких узлов (столов, суппортов) возникающая инерционная сила  $F_{и}$  (рис. 1) стремится опрокинуть движущийся узел относительно вперед идущей точки  $A$  узла.

На перемещающийся узел кроме нормального давления  $N$  действует сила горизонтального сопротивления  $F$  в направлении, противоположном движению узла:

$$F = F_1 + F_2,$$

где  $F_1$  — сила, возникающая в результате упругого деформирования на величину  $\Delta$  направляющих;  $F_2$  — сила трения, которая определяется следующей зависимостью:

$$F_2 = fN = (\mu, \dot{x})N. \quad (1)$$

Здесь  $f$  — коэффициент трения скольжения, зависящий от скорости относительного перемещения  $\dot{x}$  и свойств сопрягаемых поверхностей  $\mu$ ;  $N$  — равнодействующая удельных нормальных сил, действующих со стороны поверхности направляющих на узел.

Закон распределения  $q_i$  неизвестен. Однако можно предположить, что вблизи вперед идущей точки  $A$  узла в силу упругих деформаций поверхности направляющих в зоне I возникают напряжения, дающие горизонтальную  $F_1$  и вертикальную  $N_1$  составляющие реакции связи;

$$F_1 = \left( \int_0^e q_{i1} dx \right) \cos \alpha; \quad (2)$$

$$N_1 = \left( \int_0^e q_{i1} dx \right) \sin \alpha, \quad (3)$$

где  $\alpha$  — угол наклона к оси  $x$  полной реакции связи в зоне I.

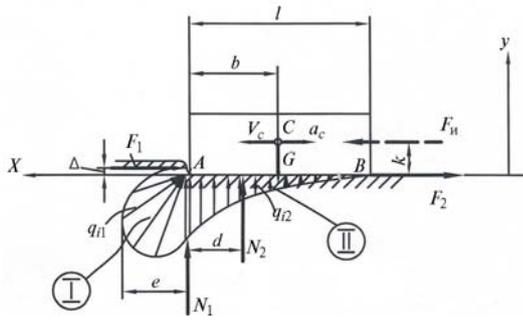


Рис. 1

В зоне II интенсивность давления со стороны связи по мере приближения к точке B будет убывать, так как в этой точке упругие деформации почти полностью восстановились и кроме того точка B все время находится в состоянии расстыковки со связью из-за наличия инерционных сил. В силу этого равнодействующая  $N_2$  удельных давлений со стороны связи в зоне II не проходит через центр тяжести движущегося узла, а будет смещена к точке A:

$$N_2 = \int_0^l q_{i2} dx. \quad (4)$$

Введя инерционную силу  $F_{ин}$ , запишем по принципу Д'Аламбера условия равновесия активных, пассивных и инерционных сил:

$$\sum F_{ix} = F_{ин} - F_1 - F_2 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = N_1 + N_2 - G = 0;$$

$$\sum M_A(\bar{F}_i) = F_{ин}k + N_2d - Gb - F_1\Delta = 0.$$

Полученную систему уравнений перепишем с учетом выражений (1)–(4):

$$ma_c - \cos\alpha \int_0^e q_{i1} dx - f \sin\alpha \int_0^e q_{i1} dx + \int_0^l q_{i2} dx = 0; \quad (5)$$

$$\sin\alpha \int_0^e q_{i1} dx + \int_0^l q_{i2} dx - G = 0; \quad (6)$$

$$ma_c k + d \int_0^l q_{i2} dx - Gd - \cos\alpha \Delta \int_0^e q_{i1} dx = 0. \quad (7)$$

Если не соблюдается равенство (7), узел будет стремиться повернуться относительно точки A. Это станет возможным, когда

$$ma_c k > Gd + \cos\alpha \Delta \int_0^e q_{i1} dx - d \int_0^l q_{i2} dx$$

или когда ускорение центра масс будет удовлетворять неравенству

$$a_c > \frac{qb}{k} + \frac{\Delta \cos\alpha}{mk} \int_0^e q_{i1} dx - \frac{d}{mk} \int_0^l q_{i2} dx. \quad (8)$$

В этом случае узел начинает отрываться от связи, поворачиваясь вокруг точки A. При этом, плечо  $d$  будет уменьшаться и, следовательно, правая часть неравенства (8) будет возрастать — условие неравенства нарушается. Узел вновь начнет скользить по направляющим. Поступательное движение становится неустойчивым.

Поскольку деформация  $\Delta$  пренебрежимо мала по сравнению с размерами узла, то в первом приближении можно, положив ее равной нулю, пренебречь зоной I. Поскольку интенсивность в зоне II изменяется по параболе  $q_{i2} = x^n$ , то можно вычислить равнодействующую  $N_2$  нормального давления со стороны связи (рис. 2) на перемещающийся узел

$$N_2 \int_0^l q_{i2} dx = \int_0^l x^n dx = \left| \frac{x^{n+1}}{n+1} \right|_0^l = q_{2max} \frac{l}{n+1}$$

и ее точку приложения как центр параллельных сил

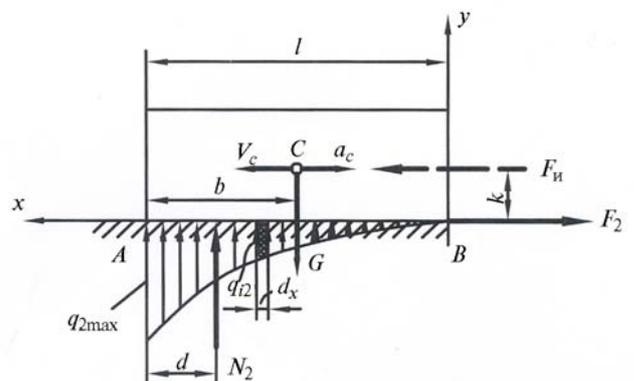


Рис. 2

$$x_{c_2} = \frac{\int_0^l x dN_2}{N_2} = \frac{\int_0^l x q_{i_2} dx}{N_2} = \frac{\int_0^l x x^n dx}{N_2} = \left. \frac{x^{n+2}}{n+2} \right|_0^l = \frac{n+1}{q_{2max} l} = l \frac{n+1}{n+2}.$$

Из полученной зависимости определим плечо равнодействующей  $N_2$  до точки  $A$ :

$$d = l - x_{c_2} = \frac{l}{n+2}. \tag{9}$$

Зависимости (5)–(7) принимают вид

$$ma_c - f q_{2max} \frac{l}{n+1} = 0; \tag{10}$$

$$q_{2max} \frac{l}{n+1} - G = 0; \tag{11}$$

$$kma_c + \frac{l}{n+2} \frac{l}{n+2} q_{2max} - Gb = 0. \tag{12}$$

Из выражения (11) следует, что точка  $A$  испытывает удельное давление в  $n + 1$  раз больше по сравнению с состоянием покоя:

$$q_{2max} = (n+1) \frac{G}{l}. \tag{13}$$

Подставляя в формулу (12) полученное значение максимального удельного давления со стороны связи на узел станка, получим ускорение, при котором может произойти отрыв точки  $B$  от поверхности направляющих:

$$a_{c_{пред}} \geq \frac{g}{k} \left( b - \frac{l}{n+2} \right). \tag{14}$$

При таком значении ускорения узел отрывается от поверхности связи, поворачиваясь вокруг вперед идущей точки. Однако при этом нарушаются неравенства (10)–(12) и узел вновь сопри-

касается с поверхностью связи. Прямолинейное поступательное движение становится неустойчивым.

### Выводы

1. Исследование показало, что при быстром торможении узла его поступательное движение будет устойчивым только в том случае, если

$$a_c < \frac{gb}{k} + \frac{\Delta \cos \alpha}{mk} \int_0^e q_{i1} dx - \frac{d}{mk} \int_0^l q_{i2} dx$$

или в первом приближении (без учета упругих деформаций)

$$a_c < \frac{g}{k} \left( b - \frac{l}{n+2} \right).$$

2. Закон распределения удельных давлений по длине опорной поверхности  $l$  в зоне II (см. рис. 1) не влияет на величину предельно допустимого ускорения, при котором поступательное движение становится неустойчивым.

3. Соотношение размеров  $b$  и  $k$  оказывает существенное влияние на величину предельного ускорения при торможении узла многоцелевого станка.

### Литература

1. Черпаков Б.И., Вереина Л.И. Технологическое оборудование машино-строительного производства. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 416 с.
2. Черпаков Б.И., Кашева М.Я. Концепция развития инновационного станкостроения России до 2010 года // Станкостроение: базовые и информационные технологии: Сб. науч. трудов ЭНИМС; Под ред. Б.И. Черпакова. М.: ОАО «Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков» (ЭНИМС), 2001 г.

Статья поступила в редакцию 03.11.2011