

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН, П. М. ЕСАЯН

К ВОПРОСУ О КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
СУППОРТНОЙ ГРУППЫ ТОКАРНОГО СТАНКА

В [1] рассматривалась задача об апериодической неустойчивости суппортной группы токарного станка с ЧПУ, выражающейся нарастающим отклонением режущего инструмента в тело обрабатываемой заготовки и сопровождающейся снижением качества и производительности обработки. Не менее существенным является вопрос о периодической-колебательной неустойчивости суппортной группы, при которой амплитуда собственных колебаний данной подсистемы не убывает с течением времени, а, наоборот, может получить развитие, приводя ее к неустойчивости. Целью анализа динамики подсистемы суппорта в настоящей статье является определение и прогнозирование условий возникновения в ней периодической неустойчивости в зависимости от пространственной ориентации результирующей силы резания, что весьма существенно для различных компоновок станков с ЧПУ.

В анализе приняты следующие допущения. Подсистема заготовки имеет устойчивое движение, обладает значительной жесткостью, колебательный процесс характеризуется перемещениями режущего инструмента по двум обобщенным координатам ξ и ν , соответствующим главным осям жесткости [2]. Центр жесткости совпадает с центром тяжести суппорта, что исключает инерционную связь, при наличии которой наряду с линейными перемещениями могут иметь место повороты подсистемы суппорта относительно центра жесткости.

Упрощенная расчетная схема упругой системы (УС) суппорта согласно [2] представлена на рис. 1.

Движение данной подсистемы описывается уравнениями:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{\xi} + h_1 \dot{\xi} + C_1 \xi = P \cdot \cos \beta; \\ m_2 \ddot{\nu} + h_2 \dot{\nu} + C_2 \nu = P \cdot \sin \beta, \end{cases} \quad (1)$$

где m_1, m_2 — приведенные массы подсистемы суппорта; h_1, h_2 — коэффициенты сил сопротивления; C_1, C_2 — главные жесткости системы ($C_1 = C_{\max}, C_2 = C_{\min}$); P — действующая сила; β — угол между направлением оси максимальной жесткости и силой.

Уравнения (1) могут быть приведены к виду:

$$\begin{cases} (T_1'^2 p^2 + T_2 p + 1) \zeta = \frac{P}{C_1} \cos \beta; \\ (T_1'^2 p^2 + T_2' p + 1) v = \frac{P}{C_2} \sin \beta, \end{cases} \quad (2)$$

где T_1, T_1' — соответствующие инерционные постоянные времени, с; T_2, T_2' — постоянные времени демпфирования, с; p — оператор Лапласа.

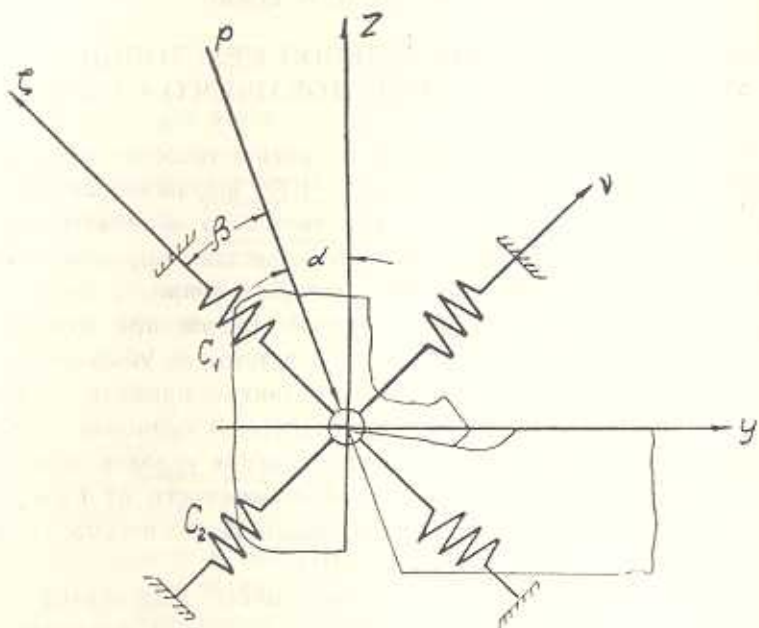


Рис. 1. Расчетная схема УС суппорта.

Динамической характеристикой подсистемы суппорта, как отношение выходной координаты (смещение) к входной (сила), будет:

$$W_{yc} = \frac{\cos(\alpha + \beta) \sin \beta}{C_2(T_1'^2 p^2 + T_2 p + 1)} - \frac{\sin(\alpha + \beta) \cos \beta}{C_1(T_1'^2 p^2 + T_2 p + 1)}. \quad (3)$$

Условие устойчивости рассматриваемой подсистемы по критерию Рауса-Гурвица представляется в виде [2]:

$$(C_1 - C_2)^2 + 2K_p(C_1 - C_2) [\cos \beta \sin(\alpha + \beta) + \sin \beta \cos(\alpha + \beta)] + K_p^2 [\cos \beta \sin(\alpha + \beta) - \sin \beta \cos(\alpha + \beta)]^2 \geq 0, \quad (4)$$

где $K_p = K_{y2} \cdot b$ — коэффициент резания; K_{y2} — удельная сила резания; b — ширина среза; α — угол между результирующей силой резания и ее вертикальной составляющей.

Введенная в (4) величина K_p отражает учет характеристики резания. Представим (4) в виде приведенного квадратного уравнения:

$$K_p^2 + 2K_p \frac{(A+B)(C_1 - C_2)}{(A-B)^2} + \frac{(C_1 - C_2)^2}{(A-B)^2} = 0,$$

где

$$A = \cos \beta \cdot \sin(\alpha + \beta); \quad B = \sin \beta \cdot \cos(\alpha + \beta).$$

Его решением, выраженным через предельную ширину среза, будет:

$$b_{np} = \frac{C_2 - C_1}{K_{yx} \cdot \sin^2 \alpha} \left[\cos \beta \sin(\alpha + \beta) + \sin \beta \cos(\alpha + \beta) + \right. \\ \left. + 2 \sqrt{\cos \beta \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \beta \cos(\alpha + \beta)} \right]. \quad (5)$$

Условие периодической устойчивости может быть дано также связью между отношением $\frac{C_1}{C_2}$ и направлением результирующей силы резания:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\cos \beta \sin(\alpha + \beta) + \sin \beta \cos(\alpha + \beta) + 2 \sqrt{\cos \beta \sin(\alpha + \beta) \sin \beta \cos(\alpha + \beta)}}{\sin^2 \alpha + \cos \beta \sin(\alpha + \beta) + \sin \beta \cos(\alpha + \beta) + 2 \sqrt{\cos \beta \sin(\alpha + \beta) \sin \beta \cos(\alpha + \beta)}}. \quad (6)$$

Зависимость (6) решена на ЭВМ „Наири-2“ при изменении угла β в пределах до 360° с интервалом до 15° . Для каждого значения угла β величина $\frac{C_1}{C_2}$ определялась при изменении α от 0° до 360° через каждые 15° . Полученные зависимости показаны на рис. 2. Здесь же обозначены области, в которых УС суппорта в зависимости от отношения $\frac{C_1}{C_2}$ в периодической трактовке устойчива или неустойчива.

Анализ показывает, что при изменении угла α в различных диапазонах в зависимости от угла β отношение $\frac{C_1}{C_2}$ изменяется в широких пределах, принимая положительные и отрицательные значения. Как видно (рис. 2а), при угле $\alpha = 0^\circ$ $\frac{C_1}{C_2} > 0$ при всех значениях β . В этом случае система устойчива при $\frac{C_1}{C_2} \leq 1$ при любом β , за исключением значений этого угла в 150° , 285° , 330° и 360° .

При увеличении угла α до 75° данная закономерность резко нарушается. На рис. 2а четко выделяются области, в которых при различных значениях α и β УС суппорта устойчива или неустойчива. Наибольшей устойчивостью в этом случае УС суппорта обладает при $\alpha = 15^\circ$ и 30° в диапазоне изменения угла $\beta = 135^\circ \dots 195^\circ$ и $255^\circ \dots 300^\circ$.

Подобный анализ может быть выполнен и для других диапазонов изменения α . Расчеты показали, что в интервале $\alpha = 100^\circ \dots 180^\circ$ при

$\alpha = 180^\circ$ и $\beta = 90^\circ \dots 180^\circ, 270^\circ \dots 360^\circ, \frac{C_1}{C_2} > 0$, и система устойчива почти для всех α . Наибольшей устойчивостью подсистема суппорта обладает при значениях $\alpha = 135^\circ, 150^\circ$ и 165° в диапазоне изменения $\beta = 75^\circ \dots 150^\circ, 180^\circ \dots 210^\circ$ и $255^\circ \dots 300^\circ$. Для значений угла $\alpha = 195^\circ \dots 270^\circ$ и при $\beta = 105^\circ \dots 165^\circ, 285^\circ \dots 345^\circ \frac{C_1}{C_2} > 0$, и система устойчива при $\frac{C_1}{C_2} \leq 1$. В диапазонах $\beta = 45^\circ \dots 105^\circ, 105^\circ \dots 210^\circ$ и $240^\circ \dots 285^\circ$ закономерность изменения $\frac{C_1}{C_2}$ отличается — здесь обозначаются области наибольшей устойчивости при $\alpha = 195^\circ$ и 210° . При $\alpha = 270^\circ$ независимо от значений угла β отношение $\frac{C_1}{C_2} = 0$, и система полностью неустойчива.

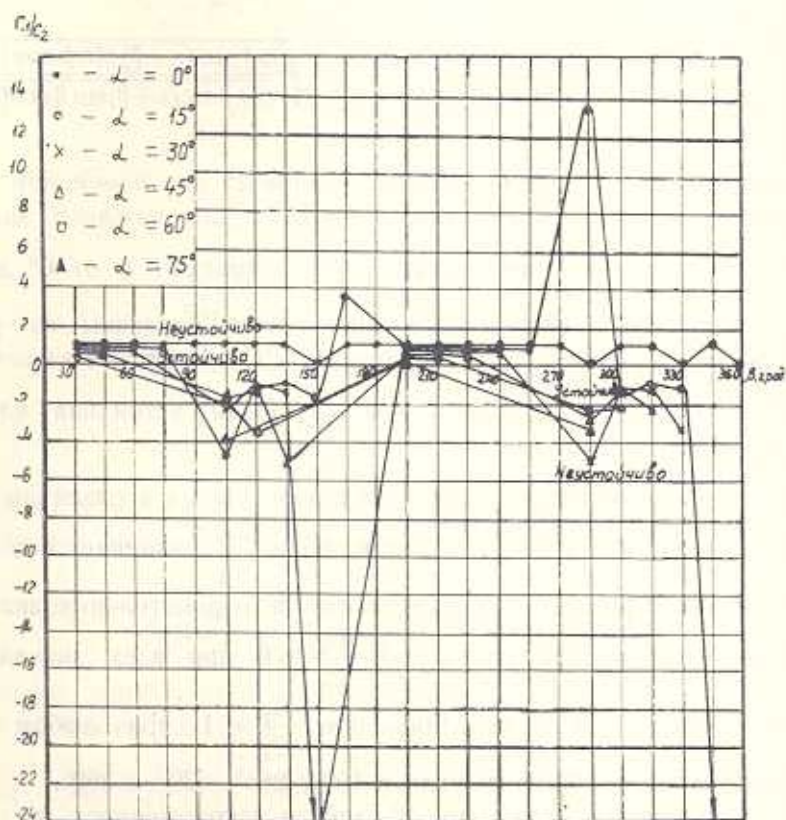


Рис. 2а. Закономерности изменения отношения максимальной жесткости УС суппорта к минимальной в зависимости от направления действия силы резания: при значениях угла $\alpha = 0 \dots 75^\circ$.

На диаграмме (рис. 2б) приведены закономерности изменения $\frac{C_1}{C_2}$ в области $\beta = 0^\circ \dots 360^\circ$ при $\alpha = 280^\circ \dots 360^\circ$. В этом случае при

$\beta = 30^\circ \dots 90^\circ$ и $210^\circ \dots 270^\circ$ отношение $\frac{C_1}{C_2} > 0$ почти для всех α , и при $\frac{C_1}{C_2} = 1$ система устойчива, а наибольшим запасом устойчивости СУ суппорта обладает в диапазонах $\beta = 90^\circ \dots 150^\circ$, $165^\circ \dots 210^\circ$ и $285^\circ \dots 315^\circ$ для $\alpha = 330^\circ$, 345° и 360° .

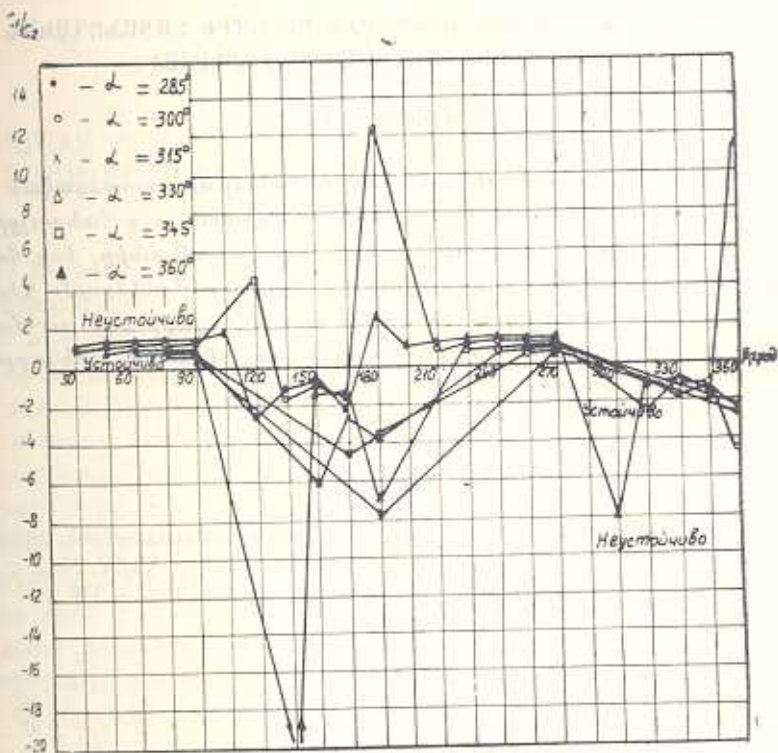


Рис. 26. Закономерности изменения отношения максимальной жесткости УС суппорта к минимальной в зависимости от направления действия силы резания: при значениях угла $\alpha = 280 \dots 360^\circ$.

Выводы

1. Отношение максимальной жесткости УС суппорта к минимальной $\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$, принимаемое в качестве оценочного показателя периодической устойчивости, имеет положительные и отрицательные значения и изменяется в широких пределах.
2. Установлены значения отношения $\frac{C_1}{C_2}$, при которых УС суппорта устойчива при тех или иных значениях углов между результирующей силой резания, ее тангенциальной составляющей и результирующей си-

лой резания и осью максимальной жесткости с обозначением диапазонов углов, в которых обнаруживается наибольший запас устойчивости.

Ереванский з-д «Ерал»

24. VI. 1982

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ, Պ. Մ. ԵՍԱՅԱՆ

**ԽՍՌՍՍՍՅՅԻՆ ՀԱՍՏՈՅԻ ՍՈՒՊՈՐՏԱՅԻՆ ԽՐԲԻ ՏԱՏԱՆՈՂԱԿԱՆ
ԱՆԿԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՅԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ**

Ա մ ֆ ո փ ո լ մ

Վերլուծվում է խառատային հաստոցի սուպորտի առաձգական համակարգի պարբերական կայունության խնդիրը՝ կախված այդ հանդույցի առավելագույն և նվազագույն կոշտությունների հարաբերությունից, երբ համազոր կտրման ուժի ուղղությունը փոփոխվում է լայն սահմաններում: Վերլուծության հիման վրա հաստատված են նշված պարամետրերի այն սահմանները, որտեղ սուպորտի առաձգական համակարգը պարբերական մեկնաբանմամբ կայուն է կամ ոչ կայուն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Есаян П. М.* Теоретические основания к определению аperiodической устойчивости токарного станка.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1982, т. XXXV, № 2, с. 9—13.
2. *Кудинов В. А.* Динамика станков.— М.: Машиностроение, 1967.— 359 с.