

## **ВЫВОД УРАВНЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАГОТОВКИ, ПРИ ЗАДАЧЕ ЕЕ В ВАЛКИ НЕПРЕРЫВНО-ЗАГОТОВОЧНОГО СТАНА**

**В.Н. Ручко, А.В. Нижник (ДонНТУ, г. Донецк)**

*В статье рассмотрен вывод уравнения критической нагрузки потери устойчивости заготовки, при задаче ее в валки непрерывно-заготовочного стана. Показаны пути решения этого уравнения с использованием современных математических прикладных программ.*

Совершенствование существующего и разработка нового металлургического оборудования неразрывно связано с рассмотрением вопросов повышения его производительности, снижения материало- и энергоемкости, и повышения надежности [1]. При решении задачи повышения производительности, применительно к современным прокатным станам, возникает задача оптимизации технических и технологических параметров процесса прокатки [2], в которой наряду с другими, рассматривается возможность принудительной задачи металла в валки [3]. Анализ существующих конструкций механизмов и устройств, используемых для решения этой задачи [4, 5], показал наличие различных подходов к ее осуществлению, применительно различным прокатным станам. Модернизация технологии прокатного производства предполагает использование устройств принудительной задачи металла, применительно к современным типам прокатных комплексов, каковыми являются литейно-прокатные модули, непрерывно-заготовочные станы и др. (Рис.1).

При проектировании нового устройства, каким является задатчик металла в валки НЗС, возникает необходимость определения оптимального расстояния расположения 1-ой пары вертикальных роликов относительно оси прокатных валков I-ой клетки НЗС (величина  $L_1$ , рис. 1), а также, 2-ой пары вертикальных роликов относительно первой пары (величина  $L_2$ , рис. 1). Решение данной задачи связано с необходимостью учета продольно-поперечного изгиба [6] заготовки, при возможной потере устойчивого положения, возникающего при динамическом захвате ее валками I-ой клетки НЗС. Исследование продольно-поперечного изгиба заготовки связано с выводом уравнения критической нагрузки потери ее устойчивости, решение которого, с использованием современных математических пакетов, позволит определить ряд значений нагрузки, при различных сочетаниях величин  $L_1$  и  $L_2$ , и выбрать наиболее приемлемое.

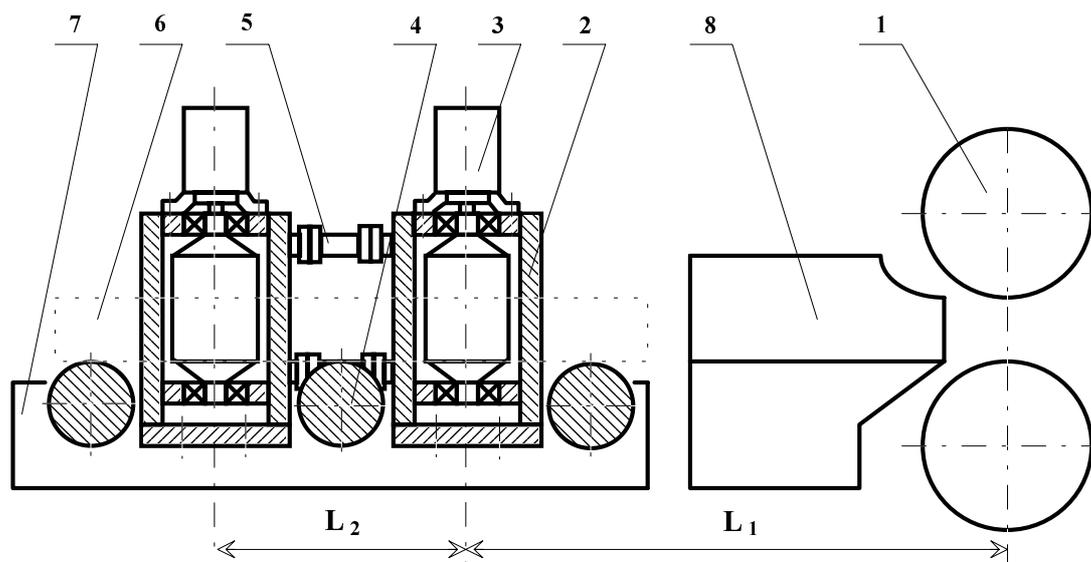


Рисунок 1 – Конструкция задатчика металла в валки НЗС:  
 1 – валки клетки 1020 НЗС ОАО «ЕМЗ»; 2 – корпус задатчика металла; 3 – вертикальный ролик задатчика металла в сборе; 4 – ролик рольганга; 5 – траверса; 6 – заготовка; 7 – Ш-я транспортная секция рольганга; 8 – вводная проводка.

Рассмотрим схему задачи заготовки, в виде двух опорной балки с защемленным концом (рис. 2).

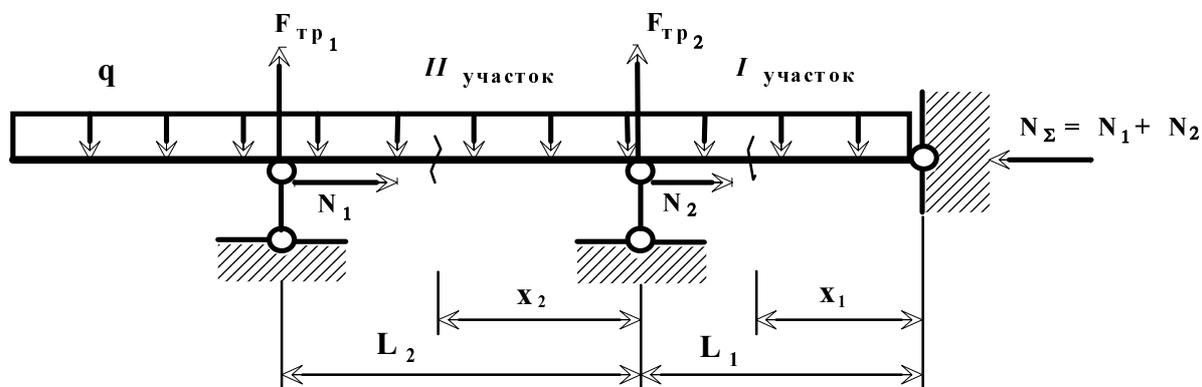


Рисунок 2 – К исследованию продольно-поперечного изгиба бруса.

При принудительной задаче заготовки в валки НЗС возможное изменение устойчивости будет происходить в вертикальной плоскости, т.к. заготовка ограничена с обеих сторон двумя парами вертикальных роликов задатчика. Нагрузка от веса заготовки  $q$  равномерно распределена по всей ее длине. При задаче заготовки в валки возникнет некоторое ее перемещение относительно вертикальных роликов, что создаст силы трения ( $F_{тр1}$ ,  $F_{тр2}$ ) между заготовкой и роликами. Суммарная горизонтальная реакция валков НЗС  $N_{\Sigma}$  складывается из усилий передаваемых заготовке первой  $N_2$  и второй  $N_1$  парами вертикальных роликов.

Воспользуемся уравнением изогнутой оси при продольно-поперечном изгибе [6]:

$$y(x) = y_0 + \frac{\Theta_0}{k} \sin kx + \frac{M_0}{N} (1 - \cos kx) + \frac{P_0}{kN} (kx - \sin kx) + \sum \frac{M}{N} (1 - \cos k\mu) + \quad (1)$$

$$+ \sum \frac{P}{kN} (k\rho - \sin k\rho) + \sum \int_{\xi_k}^{\xi_n} \frac{m d\xi}{N} (1 - \cos k\xi) + \sum \int_{u_k}^{u_n} \frac{q du}{kN} (ku - \sin ku).$$

Запишем уравнение изогнутой оси балки для I-го участка:

$$y_1(x_1) = \frac{\Theta_0}{k_1} \sin(k_1 x_1) + \frac{R}{k_1 N_\Sigma} (k_1 x_1 - \sin(k_1 x_1)) - \int_0^{x_1} \frac{q du}{k_1 N_\Sigma} (k_1 u - \sin(k_1 u)) = \quad (2)$$

$$= \frac{\Theta_0}{k_1} \sin(k_1 x_1) + \frac{R}{k_1 N_\Sigma} (k_1 x_1 - \sin(k_1 x_1)) - \frac{q}{k_1 N_\Sigma} [k \int_0^{x_1} u du - \int_0^{x_1} \sin(k_1 u) du] =$$

$$= \frac{\Theta_0}{k_1} \sin(k_1 x_1) + \frac{R}{k_1 N_\Sigma} (k_1 x_1 - \sin(k_1 x_1)) - \frac{q}{N_\Sigma} \cdot \frac{u^2}{2} \Big|_0^{x_1} + \frac{q}{k_1 N_\Sigma} \int_0^{x_1} \sin(k_1 u) du =$$

$$= \frac{\Theta_0}{k_1} \sin(k_1 x_1) + \frac{R}{k_1 N_\Sigma} (k_1 x_1 - \sin(k_1 x_1)) - \frac{q}{N_\Sigma} \cdot \frac{x_1^2}{2} - \frac{q}{k_1^2 N_\Sigma} \cos(k_1 u) \Big|_0^{x_1} =$$

$$= \frac{\Theta_0}{k_1} \sin(k_1 x_1) + \frac{R}{k_1 N_\Sigma} (k_1 x_1 - \sin(k_1 x_1)) - \frac{q}{2N_\Sigma} x_1^2 - \frac{q}{k_1^2 N_\Sigma} [\cos(k_1 x_1) - 1].$$

Таким образом, уравнение для I-го участка принимает вид:

$$y_1(x_1) = \frac{\Theta_0}{k_1} \sin(k_1 x_1) + \frac{R}{k_1 N_\Sigma} (k_1 x_1 - \sin(k_1 x_1)) - \frac{q}{2N_\Sigma} x_1^2 - \frac{q}{k_1^2 N_\Sigma} [\cos(k_1 x_1) - 1]; \quad (3)$$

$$\frac{dy_1}{dx_1} = \Theta_1(x_1) = \Theta_0 \cos(k_1 x_1) + \frac{R}{N_\Sigma} (1 - \cos(k_1 x_1)) - \frac{q}{N_\Sigma} x_1 + \frac{q}{k_1 N_\Sigma} \sin(k_1 x_1); \quad (4)$$

$$M_1(x_1) = EJ \cdot \frac{d^2 y_1(x_1)}{dx_1^2} = EJ \cdot [-k_1 \Theta_0 \sin(k_1 x_1) + \frac{R}{N_\Sigma} k_1 \sin(k_1 x_1) - \frac{q}{N_\Sigma} + \frac{q}{N_\Sigma} \cos(k_1 x_1)]; \quad (5)$$

$$\Theta_1(x_1) = EJ \cdot \frac{d^3 y_1(x_1)}{dx_1^3} = EJ \cdot [-k_1^2 \Theta_0 \cos(k_1 x_1) + \frac{R}{N_\Sigma} k_1^2 \cos(k_1 x_1) - \frac{q}{N_\Sigma} k_1 \sin(k_1 x_1)]. \quad (6)$$

Определим начальные силовые и деформационные параметры для II-го участка:

$$y_{02} = y_1(L_1) = \frac{\Theta_0}{k_1} \sin(k_1 L_1) + \frac{R}{k_1 N_\Sigma} (k_1 L_1 - \sin(k_1 L_1)) - \frac{q}{2N_\Sigma} L_1^2 - \frac{q}{k_1^2 N_\Sigma} [\cos(k_1 x_1) - 1] = 0; \quad (7)$$

$$\Theta_{02} = \Theta_1(L_1) = \Theta_0 \cos(k_1 L_1) + \frac{R}{N_\Sigma} (1 - \cos(k_1 L_1)) - \frac{q}{N_\Sigma} L_1 + \frac{q}{k_1 N_\Sigma} \sin(k_1 L_1) = 0; \quad (8)$$

$$M_{02} = M_1(L_1) = EJ \cdot [-k_1 \Theta_0 \sin(k_1 L_1) + \frac{R}{N_\Sigma} k_1 \sin(k_1 L_1)] - \frac{q}{N_\Sigma} + \frac{q}{N_\Sigma} \cos(k_1 L_1) = 0; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} P_{02} = \Theta_{02} + N_\Sigma \Theta_{02} &= EJ \cdot [-k_1^2 \Theta_0 \cos(k_1 L_1) + \frac{R}{N_\Sigma} k_1^2 \cos(k_1 L_1)] - k_1 \frac{q}{N_\Sigma} \sin(k_1 L_1) +; \quad (10) \\ &+ N_\Sigma \cdot [\Theta_0 \cos(k_1 L_1) + \frac{R}{N_\Sigma} (1 - \cos(k_1 L_1)) - \frac{q}{N_\Sigma} L_1 + \frac{q}{k_1 N_\Sigma} \sin(k_1 L_1)] = \\ &= EJ \cdot [-\frac{N_\Sigma}{EJ} \Theta_0 \cos(k_1 L_1) + \frac{R}{N_\Sigma} \frac{N_\Sigma}{EJ} \cos(k_1 L_1)] - k_1 \frac{q}{N_\Sigma} \sin(k_1 L_1) + \\ &+ N_\Sigma [\Theta_0 \cos(k_1 L_1) + \frac{R}{N_\Sigma} (1 - \cos(k_1 L_1)) - \frac{q}{N_\Sigma} L_1 + \frac{q}{k_1 N_\Sigma} \sin(k_1 L_1)] = \\ &= -N_\Sigma \Theta_0 \cos(k_1 L_1) + R \cos(k_1 L_1) - \frac{q}{k_1} \sin(k_1 L_1) + N_\Sigma \Theta_0 \cos(k_1 L_1) + \\ &+ R(1 - \cos(k_1 L_1)) - qL_1 + \frac{q}{k_1} \sin(k_1 L_1) = R \cos(k_1 L_1) + R - R \cos(k_1 L_1) - \\ &- qL_1 = R - qL_1. \end{aligned}$$

Уравнение изогнутой оси балки для II-го участка запишем в виде:

$$\begin{aligned} y_2(x_2) &= \frac{\Theta_{02}}{k_2} \sin(k_2 x_2) + \frac{M_{02}}{N_1} (1 - \cos(k_2 x_2)) + \frac{P_{02}}{k_2 N_1} (k_2 x_2 - \sin(k_2 x_2)) - \quad (11) \\ &- \int_0^{x_2} \frac{q du}{k_2 N_1} (k_2 u - \sin(k_2 u)) = \frac{\Theta_{02}}{k_2} \sin(k_2 x_2) + \frac{M_{02}}{N_1} (1 - \cos(k_2 x_2)) + \frac{P_{02}}{k_2 N_1} (k_2 x_2 - \sin(k_2 x_2)) - \\ &- \frac{q}{2N_1} x_2^2 - \frac{q}{k_2^2 N_1} [\cos(k_2 x_2) - 1]. \end{aligned}$$

Используя второе граничное условие, получим уравнение:

$$\begin{aligned} y_2(L_2) &= \frac{\Theta_{02}}{k_2} \sin(k_2 L_2) + \frac{M_{02}}{N_1} (1 - \cos(k_2 L_2)) + \frac{P_{02}}{k_2 N_1} (k_2 L_2 - \sin(k_2 L_2)) - \frac{q}{2N_1} L_2^2 - \quad (12) \\ &- \frac{q}{k_2^2 N_1} (\cos(k_2 L_2) - 1) = 0. \end{aligned}$$

Введем следующие обозначения для I-го участка:

$$AY_1 = \frac{\sin(k_1 L_1)}{k_1}; \quad (13) \quad BY_1 = \frac{k_1 L_1 - \sin(k_1 L_1)}{k_1 N_\Sigma}; \quad (14)$$

$$CY_1 = -\frac{q}{2N_\Sigma} L_1^2 - \frac{q}{k_1^2 N_\Sigma} (\cos(k_1 L_1) - 1). \quad (15)$$

$$A\Theta_1 = \cos(k_1 L_1); \quad (17) \quad B\Theta_1 = \frac{1 - \cos(k_1 L_1)}{N_\Sigma}; \quad (16)$$

$$C\Theta_1 = -\frac{q}{N_\Sigma}L_1 + \frac{q}{k_1N_\Sigma}\sin(k_1L_1); \quad (18)$$

$$AM_1 = -k_1EJ\sin(k_1L_1); \quad (19) \quad BM_1 = \frac{\sin(k_1L_1)}{k_1}; \quad (20)$$

$$CM_1 = -\frac{q}{N_\Sigma} + \frac{q}{k_1N_\Sigma}\cos(k_1L_1). \quad (21)$$

Из выражений (13) и (20) видно, что:

$$AY_1 = BM_1. \quad (22)$$

Тогда, с учетом выполненных преобразований (10), (13)-(22), можно записать:

$$y_{02} = \Theta_0 \cdot AY_1 + R \cdot BY_1 + CY_1 = 0; \quad (23) \quad \Theta_{02} = \Theta_0 \cdot A\Theta_1 + R \cdot B\Theta_1 + C\Theta_1; \quad (24)$$

$$M_{02} = \Theta_0 \cdot AM_1 + R \cdot AY_1 + CM_1; \quad (25) \quad P_{02} = R - q \cdot L_1. \quad (26)$$

Введем следующие обозначения для II-го участка:

$$AY_2 = \frac{\sin(k_2L_2)}{k_2}; \quad (27) \quad MY_2 = \frac{1 - \cos(k_2L_2)}{N_1}; \quad (28)$$

$$BY_2 = \frac{k_2L_2 - \sin(k_2L_2)}{k_2N_1}; \quad (29) \quad CY_2 = -\frac{q}{2N_1}L_2^2 - \frac{q}{k_2^2N_1}(\cos(k_2L_2) - 1). \quad (30)$$

Тогда, выполняя подстановку, получим:

$$\Theta_{02} \cdot AY_2 + M_{02} \cdot MY_2 + P_{02} \cdot BY_2 - CY_2 = 0. \quad (31)$$

Выполним преобразование:

$$\begin{aligned} & (\Theta_0 \cdot A\Theta_1 + R \cdot B\Theta_1 + C\Theta_1) \cdot AY_2 + (\Theta_0 \cdot AM_1 + R \cdot AY_1 + CM_1) \cdot MY_2 + \\ & + (R - q \cdot L_1) \cdot BY_2 - CY_2 = 0; \quad (32) \\ & \Theta_0 \cdot A\Theta_1 \cdot AY_2 + R \cdot B\Theta_1 \cdot AY_2 + C\Theta_1 \cdot AY_2 + \Theta_0 \cdot AM_1 \cdot MY_2 + R \cdot AY_1 \cdot MY_2 + \\ & + CM_1 \cdot MY_2 + R \cdot BY_2 - q \cdot L_1 \cdot BY_2 - CY_2 = 0; \\ & \Theta_0 \cdot (A\Theta_1 \cdot AY_2 + AM_1 \cdot MY_2) + R \cdot (B\Theta_1 \cdot AY_2 + AY_1 \cdot MY_2 + BY_2) + \\ & + (C\Theta_1 \cdot AY_2 + CM_1 \cdot MY_2 - q \cdot L_1 \cdot BY_2 - CY_2) = 0 \end{aligned}$$

Введем следующие обозначения:

$$A = A\Theta_1 \cdot AY_2 + AM_1 \cdot MY_2; \quad (33)$$

$$B = B\Theta_1 \cdot AY_2 + AY_1 \cdot MY_2 + BY_2; \quad (34)$$

$$C = C\Theta_1 \cdot AY_2 + CY_1 \cdot MY_2 - q \cdot L_1 \cdot BY_2 - CY_2. \quad (35)$$

Тогда, выражение (32), можно записать:

$$\Theta_0 \cdot A + R \cdot B + C = 0. \quad (36)$$

Составим систему уравнений из уравнений (23) и (36)

$$\begin{cases} \Theta_0 \cdot AY_1 + R \cdot BY_1 + CY_1 = 0 \\ \Theta_0 \cdot A + R \cdot B + C = 0 \end{cases}. \quad (37)$$

Решаем систему уравнений:

$$\Delta = \begin{vmatrix} AY_1 & BY_1 \\ A & B \end{vmatrix} = B \cdot AY_1 - A \cdot BY_1. \quad (38)$$

Приравняем определитель к нулю:

$$B \cdot AY_1 - A \cdot BY_1 = 0. \quad (39)$$

Произведем обратную замену, используя выражения (33) и (34):

$$\begin{aligned} (B\Theta_1 \cdot AY_2 + AY_1 \cdot MY_2 + BY_2) \cdot AY_1 - (A\Theta_1 \cdot AY_2 + AM_1 \cdot MY_2) \cdot BY_1 &= 0; \quad (40) \\ B\Theta_1 \cdot AY_2 \cdot AY_1 + (AY_1)^2 \cdot MY_2 + BY_2 \cdot AY_1 - A\Theta_1 \cdot AY_2 \cdot BY_1 - AM_1 \cdot MY_2 \cdot BY_1 &= 0. \end{aligned}$$

Произведем замену переменных, используя выражения (13)-(22) и (27)-(30) :

$$\begin{aligned} &\frac{\sin(k_1 L_1)}{k_1} \cdot \frac{1 - \cos(k_1 L_1)}{N_\Sigma} \cdot \frac{\sin(k_2 L_2)}{k_2} + \left( \frac{\sin(k_1 L_1)}{k_1} \right)^2 \cdot \frac{1 - \cos(k_2 L_2)}{N_1} + \quad (41) \\ &+ \frac{\sin(k_1 L_1)}{k_1} \cdot \frac{k_2 L_2 - \sin(k_2 L_2)}{k_2 N_1} - \frac{k_2 L_1 - \sin(k_2 L_1)}{k_2 N_\Sigma} \cdot \cos(k_1 L_1) \cdot \frac{\sin(k_2 L_2)}{k_2} - \\ &- \frac{k_1 L_1 - \sin(k_1 L_1)}{k_1 N_\Sigma} \cdot (-k_1 EJ \sin(k_1 L_1)) \cdot \frac{1 - \cos(k_2 L_2)}{N_1} = 0. \end{aligned}$$

Учитывая, что  $k_1 = \sqrt{\frac{N_\Sigma}{EJ}}$  и  $k_2 = \sqrt{\frac{N_1}{EJ}}$ , потеря устойчивости может произойти при различных сочетаниях  $N_1$  и  $N_2$ , если  $N_1 = N_2 = N$ , тогда:

$$k_1 = \sqrt{\frac{2N}{EJ}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{EJ}} = \sqrt{2} \cdot k_2 = \sqrt{2} \cdot k. \quad (42)$$

Следовательно, уравнение (41) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \frac{\sin(\sqrt{2}kL_1)}{\sqrt{2}k} \cdot \frac{1 - \cos(\sqrt{2}kL_1)}{2N} \cdot \frac{\sin(kL_2)}{k} + \left( \frac{\sin(\sqrt{2}kL_1)}{\sqrt{2}k} \right)^2 \cdot \frac{1 - \cos(kL_2)}{N} + \\ & \frac{\sin(\sqrt{2}kL_1)}{\sqrt{2}k} \cdot \frac{kL_2 - \sin(kL_2)}{N} - \frac{\sqrt{2}kL_1 - \sin(\sqrt{2}kL_1)}{\sqrt{2}k \cdot 2N_\Sigma} \cdot \cos(\sqrt{2}kL_1) \cdot \frac{\sin(kL_2)}{k} + \\ & + \frac{\sqrt{2}kL_1 - \sin(\sqrt{2}kL_1)}{\sqrt{2}k \cdot 2N} \cdot (-\sqrt{2}kEJ \sin(\sqrt{2}kL_1)) \cdot \frac{1 - \cos(kL_2)}{N} = 0. \end{aligned} \quad (43)$$

Данное трансцендентное уравнение выразим через переменную N:

$$\begin{aligned} & \frac{\sin\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right)}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}}} \cdot \frac{1 - \cos\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right)}{2N} \cdot \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_2\right)}{\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}}} + \left( \frac{\sin\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right)}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}}} \right)^2 \times \\ & \times \frac{1 - \cos\left(\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_2\right)}{N} + \frac{\sin\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right)}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_2 - \sin\left(\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_2\right)}{N} - \\ & - \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1 - \sin\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right)}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot 2N} \cdot \cos\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right) \cdot \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_2\right)}{\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}}} + \\ & + \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1 - \sin\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right)}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot 2N} \cdot \left( -\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot EJ \cdot \sin\left(\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_1\right) \right) \times \\ & \times \frac{1 - \cos\left(\sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \cdot L_2\right)}{N} = F(N). \end{aligned} \quad (44)$$

Для решения данного трансцендентного уравнения воспользуемся пакетом прикладных программ MathCAD Plus 7.0 Pro for Windows [7].

Предварительно зададимся начальными условиями, характеризующими геометрические параметры проектируемого задатчика, а также гео-

метрическими характеристиками задаваемой в валки НЗС заготовки, которые обеспечат поиск корней данного уравнения:

– момент инерции сечения заготовки:  $J = a^4/12 = 0,3^4/12 = 6,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$ , где  $a$  – размер заготовки (квадрат),  $a = 0,3 \text{ м}$  [8].

– модуль упругости материала (горячего) заготовки, при температуре прокатки:  $E = 1,4 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$  [9].

– ряд сочетаний расстояний: от оси I-ой клетки НЗС до оси I-ой пары вертикальных роликов задатчика  $L_1$ , и от оси I-ой пары вертикальных роликов задатчика до оси II-ой пары вертикальных роликов задатчика  $L_2$ : а)  $L_1 = 2,3 \text{ м}$ ,  $L_2 = 1,8 \text{ м}$ ; б)  $L_1 = 2,3 \text{ м}$ ,  $L_2 = 3,6 \text{ м}$ ; в)  $L_1 = 2,9 \text{ м}$ ,  $L_2 = 1,8 \text{ м}$ ; г)  $L_1 = 3,5 \text{ м}$ ,  $L_2 = 0,6 \text{ м}$ .

Полученные решения представим в виде графиков (рис.3)

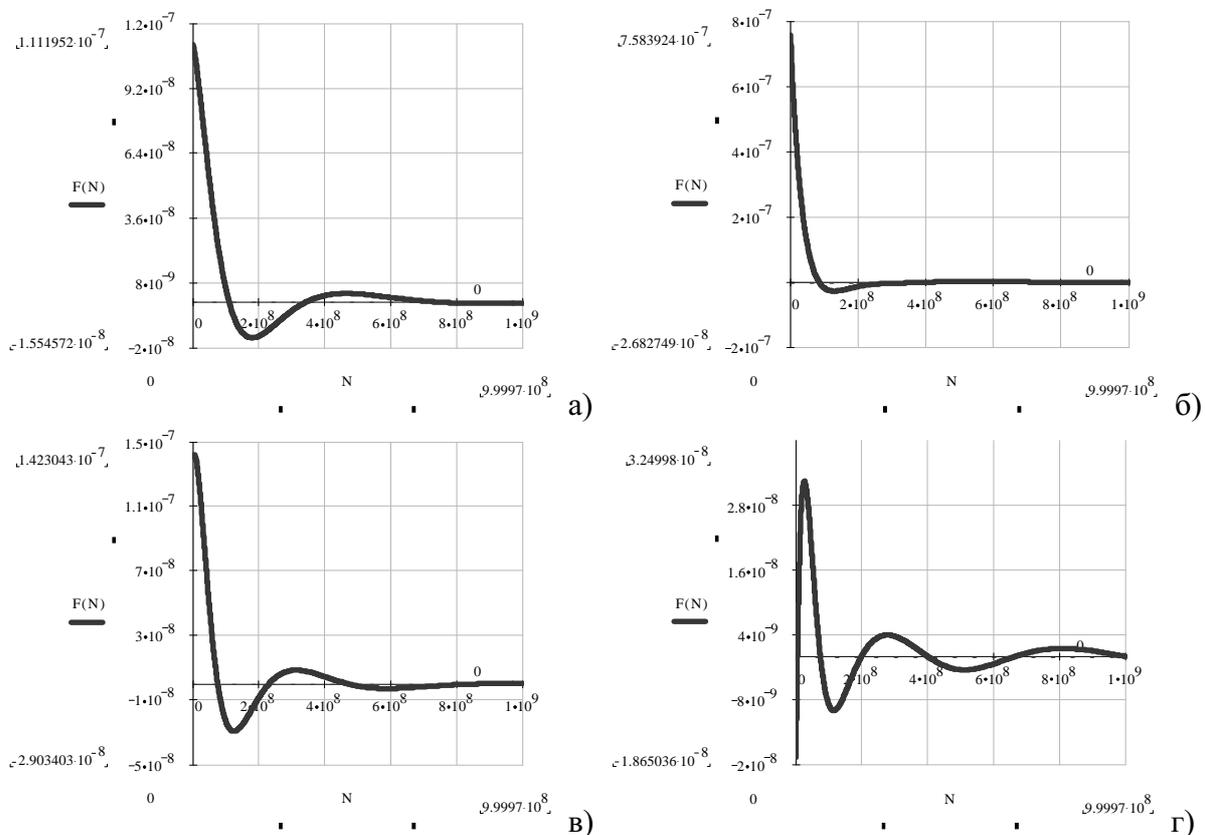


Рисунок 3 – Графики решения трансцендентного уравнения для различных сочетаний величин  $L_1$  и  $L_2$ .

Анализ графиков решения трансцендентного уравнения для различных сочетаний величин  $L_1$  и  $L_2$  позволил определить значения корней этого уравнения, характеризующих критическую нагрузку на заготовку, в результате воздействия которой произойдет потеря ее устойчивости, и соста-

вивших для указанных сочетаний: а)  $N = 1,087 \cdot 10^8$  Н; б)  $N = 0,852 \cdot 10^8$  Н; в)  $N = 0,863 \cdot 10^8$  Н; г)  $N = 0,041 \cdot 10^8$  Н.

Таким образом, проектирование нового оборудования для прокатного производства требует всестороннего исследования особенностей его функционирования в условиях реального производства, а сложность решения задачи исследования устойчивости заготовки, при задаче ее валки НЗС, вынуждает использовать современные математические средства, что обеспечит быстрый поиск решения, обеспечивающего оптимальные соотношения геометрических параметров проектируемой конструкции.

### **Список литературы**

1. Большаков В.И., Цапко В.К. Проблемы защиты металлургических машин от поломок // Металлургическая и горнорудная промышленность.– 1998.– № 3. С. 89 – 91.
2. Оптимизация прокатного производства / А.Н. Скороходов, П.И. Полухин, Б.М. Илюкович и др.– М.: Металлургия, 1983.– 432 с.
3. Грудев А.П. Теория прокатки. Учебник для втузов.– М.: Металлургия, 1988.– 240 с.
4. Устройство для задачи проката. А.с. 969347 СССР МКИ В 21 В 39/00 / В.В.Пастухов, Л.А.Барков, Т.М.Михридинов, С.А.Мымрин, Н.С.Пузырева, Е.И.Королева (СССР). - №3238116/22-02; Заявл. 28.01.81; Опубл. 30.10.82., Бюл. № 40.
5. Манипулятор-кантователь обжимного прокатного стана. А.с. 452382 СССР МКИ В 21 В 39/14 / В.Я.Седуш, В.И.Руденко, Е.Е.Бердичевский, Г.А.Ботвинник, Ю.М.Мартынов (СССР). - № 1962003/22-2; Заявл. 17.09.73; Опубл. 05.12.74., Бюл. № 45.
6. Шевченко Ф.Л. Механика упругих деформируемых систем. Т.3. Динамическое воздействие нагрузок. – К.: УКВ МО, 1993.– 188 с.
7. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD PLUS 7.0 PRO.– М.: СК Пресс, 1998.– 352 с.
8. Производство заготовки на непрерывно-заготовочном стане «850-610-550». Технологич.инструкция (ТИ 235-П. 03-03-94). АО «Енакиевский металлургический завод». – Енакиево: ЦПиИ, 1994.– 69 с.
9. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

**© Ручко В.Н., Нижник А.В. 2005**