УДК 621.771.016

С.А.ЛИНЬКОВ
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКРАТНОГО ПРЯМОТОЧНОГО ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА

Приводится методика разработки математической модели многократного прямоточного волочильного стана для производства стальной проволоки.

Приведены структурные схемы математических моделей межбарабанного промежутка, очага деформации проволоки, а также функциональная блок-схема трехкратного прямоточного волочильного стана. С целью уменьшения диаметра проволока протягивается через волоку.

Математическая модель очага деформации металла в монолитной волоке разрабатывается в соответствии с методикой, предложенной И.Л.Пелином. Дифференциальные уравнения, описывающие физические процессы, моделируются в системе MathLab.

This article describes methods of a mathematical modeling of a repetitive direct-flow drawing mill for steel wire production.

Structural schemes of mathematical models of inter-drum spacing, wire deformation zone as well as a functional block-scheme of a triple direct-flow drawing mill are given in the article. To decrease the diameter the wire is drawn through a wire die.

A mathematical model of the wire deformation zone in one-piece die is developed according to the technique suggested by I.L.Pelin. Differential equations describing physical processes are modeled with application of the MathLab software.

Прямоточный волочильный стан как объект автоматизированного управления представляет собой совокупность взаимосвязанных через обрабатываемый металл электромеханических систем, состоящих из вытяжных барабанов с приводными электродвигателями, установленных между ними волоками и обрабатываемой проволокой (рис.1). С целью уменьшения диаметра проволоку протягивают через волоку.

При разработке математической модели авторами были сделаны следующие допущения, не ведущие к значительным погрешностям в дальнейших расчетах:

- в промежутках между барабанами и волоками вес проволоки незначителен и не оказывает влияния на ее деформацию;
- физико-механические свойства материала проволоки на всем межбарабанном промежутке однородны, по всей длине проволока имеет одинаковое сечение;
- силы в проволоке не превышают предела текучести материала, т.е. деформация носит исключительно упругий характер;
- упругая деформация равномерно распределена по всему сечению проволоки, волновые процессы, связанные с распределением деформации по длине, ничтожно малы, и ими пренебрегают;

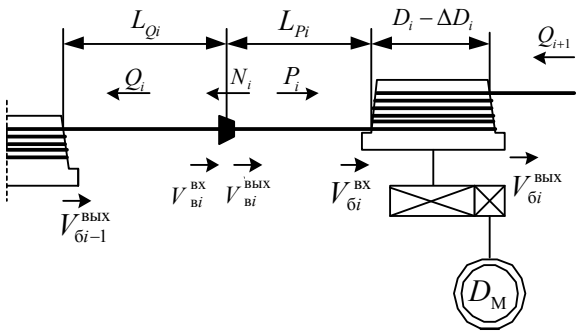


Рис.1. Расчетная схема межбарабанного промежутка прямоточного волочильного стана

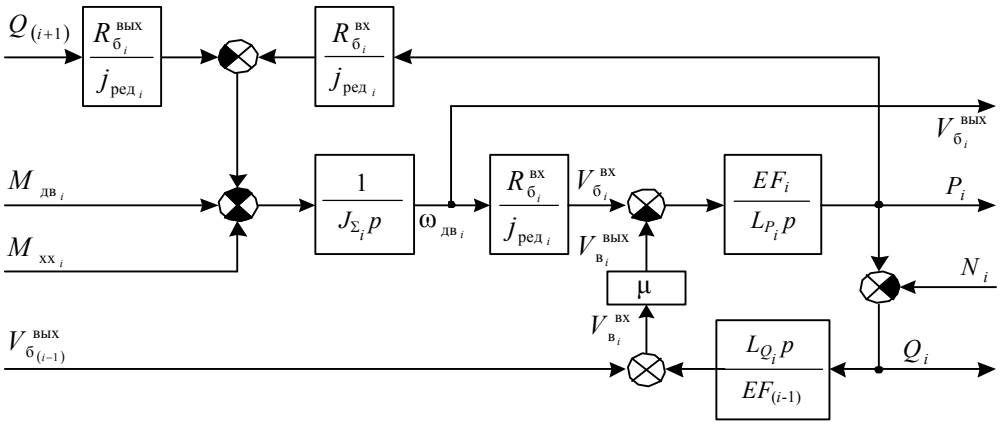


Рис.2. Структурная схема математической модели межбарабанного промежутка

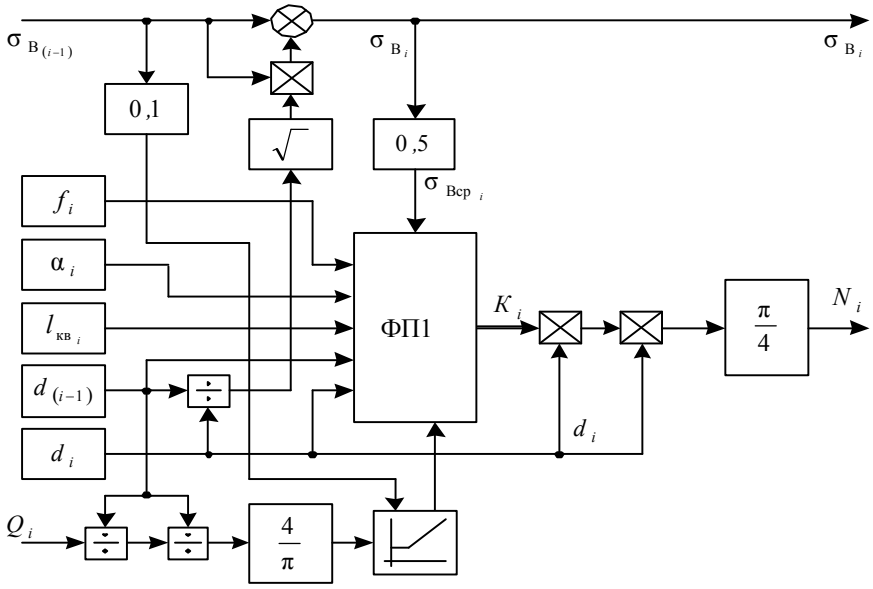


Рис. 3. Структурная схема математической модели очага деформации

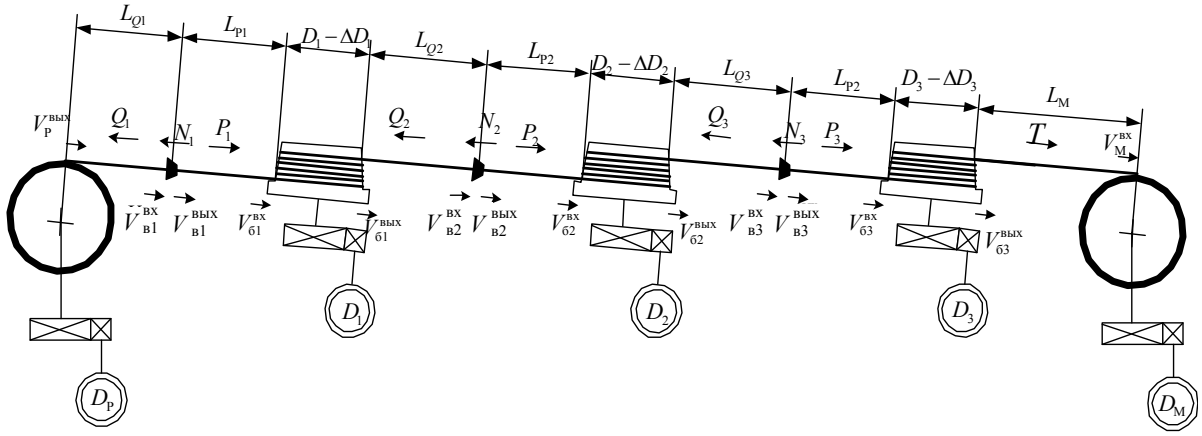


Рис.4. Расчетная схема трехкратного прямоточного волочильного стана

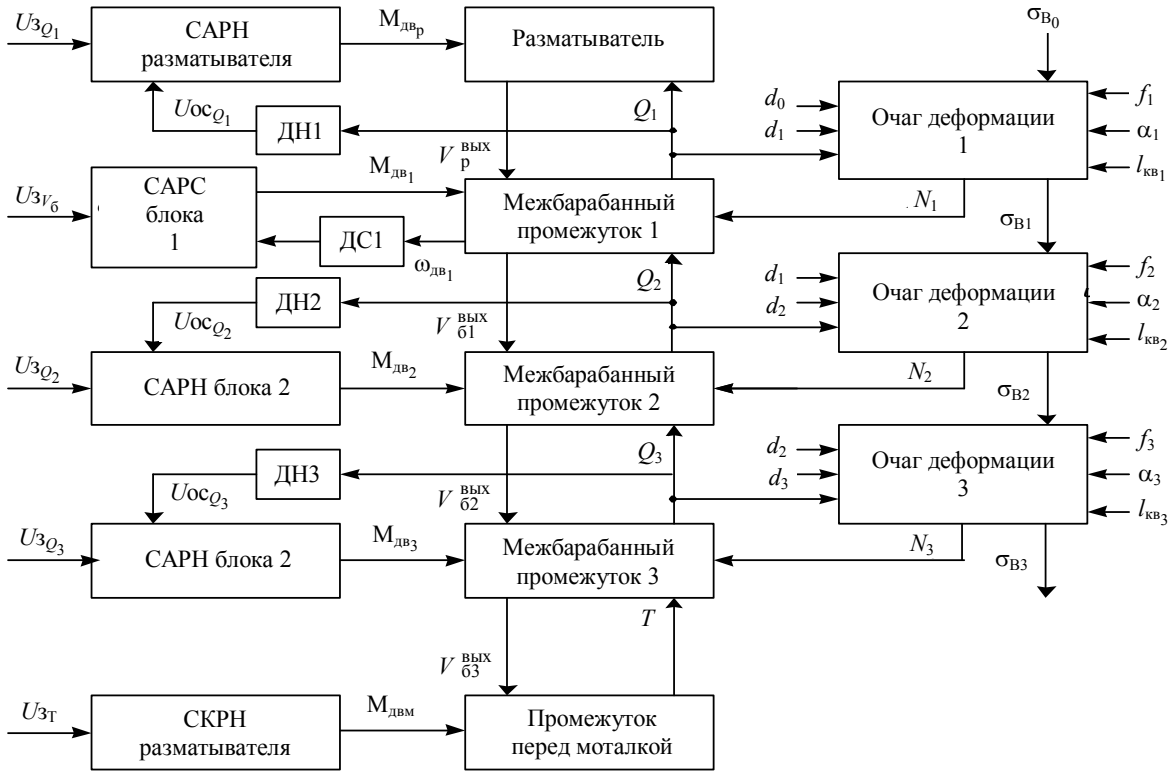


Рис.5. Блок-схема математической модели трехкратного прямоточного волочильного стана
САРС – система автоматического регулирования по скорости; САРН – система автоматического регулирования по натяжению; СКРН – система косвенного регулирования натяжения

• упругие свойства соединительных валов и редукторов не оказывают заметного влияния как на режимы работы электродвигателей, так и на процесс формирования натяжения после волоки и противонатяжения до нее;

• упругие удлинения проволоки на тянущих барабанах пренебрежительно малы.

Система дифференциальных уравнений в операторном виде, описывающая электромеханическую систему i-го межбарабанного промежутка, может быть представлена в виде

$$\left.\begin{aligned} M_{\text{дин}_i}(p) &= M_{\text{дв}_i}(p) - P_i(p)\frac{R^{\text{вх}}_{\text{б}i}}{j_{\text{ред}\,i}} + \\ &+ Q_{(i+1)}(p)\frac{R^{\text{вых}}_{\text{б}i}}{j_{\text{ред}\,i}} - M_{\text{хх}_i}(p); \\ \omega_{\text{дв}_i}(p) &= M_{\text{дин}_i}(p)\frac{1}{J_{\Sigma_i}p}; \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} V^{\text{вх}}_{\text{б}_i}(p) &= \omega_{\text{дв}_i}(p)\frac{R^{\text{вх}}_{\text{б}i}}{j_{\text{ред}\,i}}; \\ V^{\text{вых}}_{\text{б}_i}(p) &= \omega_{\text{дв}_i}(p)\frac{R^{\text{вых}}_{\text{б}i}}{j_{\text{ред}\,i}}; \\ P_i(p) &= \left(V^{\text{вх}}_{\text{б}_i} - V^{\text{вых}}_{\text{в}_i}\right)\frac{EF_i}{L_{P_i}p}; \\ V^{\text{вых}}_{\text{в}_i} &= V^{\text{вх}}_{\text{в}_i}\mu; \\ V^{\text{вх}}_{\text{в}_i} &= Q_i(p)\frac{L_{Q_i}p}{EF_{(i-1)}} + V^{\text{вых}}_{\text{б}(i-1)}; \\ Q_i(p) &= P_i(p) - N_i(p). \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Структурная схема математической модели, составленная в соответствии с (1) приведена на рис.2. Она наглядно представляет физическую сущность процесса формирования сил, вызывающих натяжения проволоки.

Математические модели промежутков между последним тянущим блоком и моталкой и между разматывателем и первым тянущим блоком составляются аналогично разработанной математической модели межбарабанного промежутка.

Для расчета силы, необходимой для деформации проволоки, можно воспользоваться методикой, предложенной И.Л.Перлином для расчета полного напряжения волочения*. В соответствии с этой методикой составляется следующая система дифференциальных уравнений:

$$\left.\begin{aligned} A_i &= \cos^2\left[\operatorname{arctg} f_i\left(1+f_i\frac{\left(d_{(i-1)}-d_i\right)+2l_{\text{кв}_i}\operatorname{tg}\alpha_i}{\left(d_{(i-1)}-d_i\right)\operatorname{tg}\alpha_i}\right)\right]-1;\\ B_i &= \cos^2\left(\frac{\alpha_i+\operatorname{arctg} f_i}{2}\right);\\ K_i &= \sigma_{\text{Вср}_i}\frac{A_i+1}{A_iB_i}\left[1-\left(\frac{d_i}{d_{(i-1)}}\right)^{2A}\right]+\sigma_q\left(\frac{d_i}{d_{(i-1)}}\right)^{2A};\\ \sigma_{\text{Вср}_i} &= \frac{\sigma_{\text{В}(i-1)}+\sigma_{\text{В}_i}}{2};\ N_i = K_iF_i;\ \ F_i = \frac{\pi d_i^2}{4}; \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{\text{В}_i} &= \sigma_{\text{В}(i-1)}\sqrt{\frac{d_{(i-1)}}{d_i}};\\ \sigma_{q_i} &= \frac{Q_i}{F_{(i-1)}}\ \text{при}\ Q_i > Q\text{кр}_i;\\ \sigma_{q_i} &= \frac{Q\text{кр}_i}{F_{(i-1)}}\ \text{при}\ Q_i \le Q\text{кр}_i;\\ Q\text{кр}_i &= 0{,}1\sigma_{\text{В}(i-1)}F_{(i-1)}. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Таким образом, структурная схема математической модели очага деформации проволоки при ее волочении через монолитную волоку может быть представлена в том виде, как она показана на рис.3. Узел ФП1 реализует вычисления первых трех уравнений системы (2).

Разработанные математические модели отдельных промежутков прямоточного волочильного стана позволяют строить математические модели станов различной кратности (рис.4, 5).

* *Перлин И.Л.* Теория волочения. М.: Металлургиздат, 1957.