

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ РОЛИКОВОЙ КЛЕТИ  
ПРОФИЛИРОВАНИЯ СТАНА ISF5  
СТАЛЕПРОВОЛОЧНО-КАНАТНОГО ЦЕХА  
ОАО «ММК-МЕТИЗ»**

***И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, Е.Э. Бодров***

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», институт ЭиАС, кафедра ЭиМЭ  
ildar\_safin@mail.ru, fortheartist@mail.ru*

***Аннотация***

В данной статье обоснована необходимость построения математической модели очага деформации роликовой клетки стана по производству арматурного проката для армирования железобетонных конструкций. Разработана математическая модель очага деформации роликовой клетки. По математической модели составлена структурная схема модели в программном пакете MATLAB.

***Ключевые слова:*** арматурный прокат, математическая модель, роликовая клетка.

**MATHEMATICAL MODELING OF DEFORMATION ZONE  
ROLLER MILL CRATE PROFILING ISF5 STEEL WIRE-  
ROPE SHOP OJSC «ММК-МЕТИЗ»**

***I.R. Safin, S.I. Lukyanov, E.E. Bodrov***

*Nosov Magnitogorsk State Technical University,  
Institute of Power Engineering and Automated Systems, chair of  
Electronics and Microelectronics  
ildar\_safin@mail.ru, fortheartist@mail.ru*

***Abstract***

In this article the necessity of constructing of mathematical models of the deformation roller mill stand used for production of reinforcing bars for concrete reinforcement was found. A mathematical model of the deformation roller stand was developed. According to the model a block diagram of the model was made up in the MATLAB.

***Key words:*** rebar, mathematical model, roller cage.

Прокат периодического профиля для армирования железобетон-

ных конструкций является одним из основных видов продукции стале-проволочно-канатного цеха (СКЦ) ОАО «ММК-МЕТИЗ». Производительность стана ISF5 итальянской фирмы Mario Frigerio составляет 11430 т/год ( $D=3,0-10,0$  мм) [1].

Технологический процесс низкотемпературного отпуска проволоки и отпуска при установленном натяжении (стабилизация) при производстве проволоки для армирования предварительно напряжённых железобетонных конструкций и проката периодического профиля для армирования железобетонных шпал на линии стабилизации включает в себя следующие операции:

- размотка проволоки-заготовки диаметром 3,0–10,0 мм с катушек;
- нанесение двух- или трёхстороннего профиля;
- отпуск проволоки-заготовки или отпуск проволоки-заготовки при натяжении;
- намотка арматурной проволоки в моток или резка на прутки.

Структурная схема линии изображена на рис. 1.

Размотка проволоки диаметром 3,0-10,0 мм производится с размоточного аппарата SU 140. Максимальная скорость горизонтального разматывающего устройства 360 м/мин [2]. Размоточным аппаратом создается обратное натяжение  $F_{обр}$  проволоки перед входом в роликковую клеть (волоку) для нанесения двух- или трехстороннего профиля [3].

В процессе эксплуатации стана службой эксплуатации периодически выявляется несоответствие продукции требованиям по размерам профиля и механическим свойствам арматурного проката. Основные причины несоответствия продукции требованиям по размерам профиля: неудовлетворительная настройка роликов клетки профилирования; неправильная установка роликов в клетки; неточность изготовления роликов; износ зубьев ролика; нестабильность обратного натяжения (натяжения между клетью профилирования и размоточным аппаратом), что также иногда вызывает обрыв проволоки-заготовки на выходе из клетки.

В связи с этим на стане ISF5 были проведены экспериментальные замеры глубины насечки прутков  $h$  на выходе роликковой клетки профилирования в зависимости от противонатяжения  $F_{обр}$ . Замеры были сделаны для различных значений натяжения между кабестанами, заполнения катушки кабестанов и диаметра проволоки. Результаты замеров представлены на рис. 2. Из полученных данных следует, что в явном виде установить взаимосвязь между этими параметрами не представляется возможным. С целью изучения влияния различных

факторов на изменение глубины  $h$  необходимо создание математической модели очага деформации.

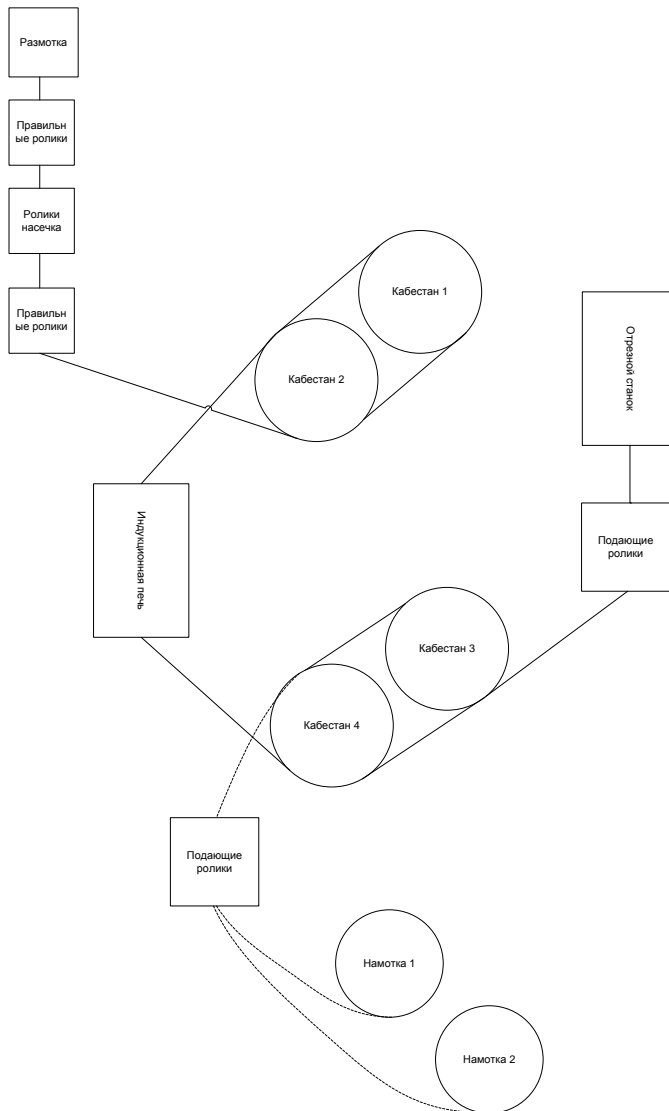


Рис. 1. Структурная схема стана по производству проката периодического профиля для армирования железобетонных конструкций ISF5

Момент, создаваемый электродвигателем размоточного устройства, в общем случае может быть определен как сумма момента на катушке  $M_p$ , требуемого для создания натяжения перед входом в клеть профилирования, и момента  $M_{хр}$  необходимого для преодоления сил трения в механизме, приведенного к валу двигателя. В свою очередь, момент на катушке  $M_p$ , требуемый для создания натяжения перед входом в клеть профилирования зависит от радиуса намотанного материала на катушке и заданного значения обратного натяжения на панели оператора. Вытягивание проволоки с размоточного аппарата через роликовую клеть профилирования без скольжения производится первой парой кабестанов.

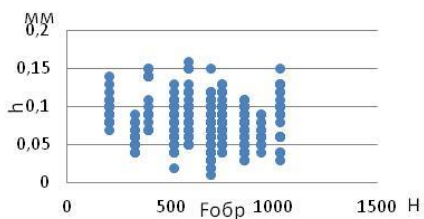


Рис.2. Экспериментальная зависимость глубины насечки прутков  $h$  от натяжения размоточного аппарата  $F_{обр}$  для прутков диаметром 5 мм

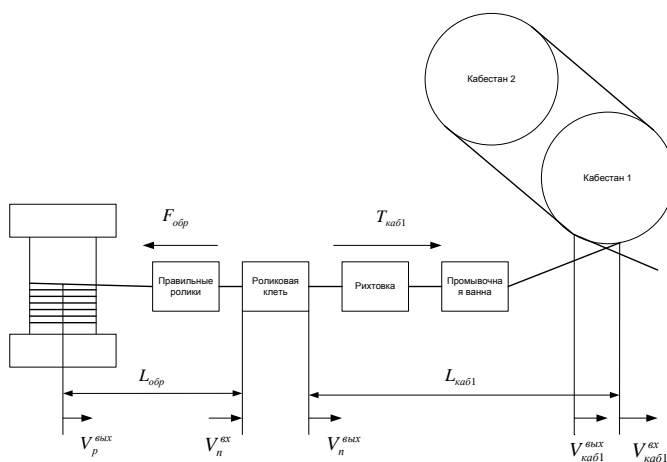


Рис. 3. Расчетная схема промежутка размоточный аппарат – первая пара кабестанов

Промежуток «размотка – первая пара кабестанов», представленный на рис. 3, состоит из трех участков: участка схода проволоки с катушки размоточного аппарата до ее входа в роликую клеть; участка от выхода проволоки с роликной клетки до точки соприкосновения с кабестаном 1 первой пары тянущих кабестанов; участка проволоки на кабестанах [3].

Система уравнений, описывающая процессы, происходящие в промежутке размотка – первая пара кабестанов операторной форме может быть представлена в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{\text{каб1}}(p) = T_{\text{каб1}}(p)R_{\text{каб1}} - Q_{\text{каб1}}(p)R_{\text{каб1}}; \\ F_{\text{обр}}(p) = \frac{E \cdot S_n^{\text{BX}}}{L_{\text{обр}} \cdot p} (V_n^{\text{BX}} - V_p^{\text{ВЫХ}}); \\ T_{\text{каб1}}(p) = \frac{E \cdot S_n^{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{каб1}} \cdot p} (V_{\text{каб1}}^{\text{BX}} - V_n^{\text{ВЫХ}}); \\ V_{\text{каб1}}^{\text{BX}}(p) = \omega_{\text{каб1}}(p) \cdot R_{\text{каб1}}; \\ V_p^{\text{ВЫХ}}(p) = \omega_p(p) \cdot R_{\text{нам}}. \end{array} \right. , \quad (1)$$

где  $T_{\text{каб1}}$  - сила протягивание металла через клеть профилирования, создаваемая первым кабестаном;  $R_{\text{каб1}}, R_{\text{нам}}$  - радиусы первого кабестана и намотанного материала на катушке размоточного аппарата;  $Q_{\text{каб1}}$  - сила противонатяжения, создаваемая первым кабестаном;  $E$  - модуль упругости Юнга;  $L_{\text{обр}}, L_{\text{каб1}}$  - длина участков схода проволоки с катушки размоточного аппарата до ее входа в роликую клеть и от выхода проволоки с роликной клетки до точки соприкосновения с кабестаном 1 первой пары тянущих кабестанов;  $S_n^{\text{BX}}, S_n^{\text{ВЫХ}}$  - площадь поперечного сечения проволоки на входе и выходе роликной клетки профилирования;  $V_n^{\text{BX}}, V_n^{\text{ВЫХ}}$  - линейная скорость проволоки на входе и выходе роликной клетки профилирования;  $V_p^{\text{ВЫХ}}$  - линейная скорость проволоки на выходе с размоточного аппарата;  $V_{\text{каб1}}^{\text{BX}}$  - линейная скорость входа проволоки на первый кабестан.

Площадь поперечного сечения прутка  $S_n^{\text{ВЫХ}}$  после выхода из клетки профилирования, изображена на рис. 4, определяется по выражению

$$S_n^{\text{ВЫХ}} = \frac{\pi d^2}{4} - 3S_1. \quad (2)$$

Площадь  $S_1$  можно определить, представив сегмент ABC в виде треугольника (рис. 4, б), по уравнению:

$$S_1 = 2 \cdot S_{\Delta ABC}; \quad (3)$$

$$S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2} a \sqrt{\left(\frac{2\pi r - 3c}{6}\right)^2 - a^2}. \quad (4)$$

Откуда:

$$S_n^{\text{ВЫХ}} = \frac{\pi d^2}{4} - 3a \sqrt{\left(\frac{2\pi r - 3c}{6}\right)^2 - a^2}. \quad (5)$$

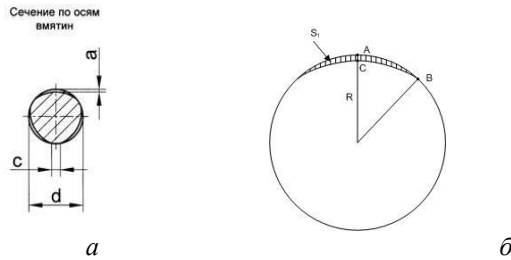


Рис. 4. Площадь поперечного сечения прутка: а – основные размеры, определяющие качество нанесения профиля, б – к определению площади поперечного сечения

Изменение сечения и его сопротивление деформации определяются:

$$S_n^{\text{ВХ}} = \frac{S_n^{\text{ВЫХ}}}{\mu}, \quad (6)$$

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} \cdot \sqrt[4]{\mu}. \quad (7)$$

Система уравнений, описывающая неприводную роликовую клеть профилирования, может быть записана в виде:

$$\left. \begin{aligned}
 M_p &= M_{\text{каб1}} - M_{\text{фкл}} - M_m - M_{\text{ххкл}}; \\
 M_{\text{каб}} &= \frac{F_{\text{каб1}} \cdot V_n^{\text{вых}}}{\omega_{\text{рол}}}; \\
 M_{\text{фкл}} &= \sigma \cdot S_n^\gamma \cdot R_{\text{рол}} \cdot \cos \gamma \cdot \ln \mu; \\
 M_m &= 3 \cdot f \cdot \sigma \cdot R_{\text{рол}}^2 \cdot b \times \\
 &\times \left[ \int_\gamma^{\alpha_0} \left(1 - \frac{S_n^\gamma \cdot \cos \gamma}{S_n^\alpha \cdot \cos \alpha}\right) d\alpha + \int_0^\gamma \left(\frac{S_n^\gamma \cdot \cos \gamma}{S_n^\alpha \cdot \cos \alpha} - 1\right) d\alpha \right]; \\
 \gamma &= \frac{\alpha_0}{2} - \frac{M_{\text{кл}}}{6 \cdot f \cdot \sigma \cdot R_{\text{рол}}^2 \cdot b}; \\
 F_{\text{обп}} &= \frac{M_p \cdot \omega_{\text{рол}}}{V_n^{\text{ex}}}; \\
 S_n^{\text{ex}} &= \frac{S_n^{\text{вых}}}{\mu}; \\
 \sigma_i &= \sigma_{i-1} \cdot \sqrt[4]{\mu}; \\
 S_n^{\text{вых}} &= \frac{\pi d^2}{4} - 3a \sqrt{\left(\frac{2\pi r - 3c}{6}\right)^2 - a^2}; \\
 \omega_{\text{рол}} &= \frac{V_n^{\text{вых}}}{R_{\text{рол}} + \frac{3 \cdot R_{\text{рол}}^2 \cdot b}{S_n^{\text{вых}}} \cdot (1 - \cos \gamma)}
 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где  $M_{\text{фкл}}$  - момент, затрачиваемый на формоизменения проволоки при протягивании через роликовую клеть;  $M_p$  - момент, создаваемый двигателем размоточного аппарата, требуемый для создания натяжения перед входом в клеть профилирования;  $M_m$  - момент, за-

тративаемый на преодоление сил трения скольжения на контактной поверхности роликов профилирования;  $M_{\text{холост}}$  - момент холостого хода, необходимый для преодоления сил трения качения в подшипниках роликовой клетки;  $\omega_{\text{ролл}}, R_{\text{ролл}}$  - угловая скорость и радиус роликов клетки профилирования;  $\sigma$  - предел текучести обрабатываемого металла;  $\gamma$  - угол, определяющий линию на поверхности роликов, в которой скорости металла и роликов равны;  $\mu$  - коэффициент обжатия;  $f$  - коэффициент трения;  $\alpha_0$  - угол определяющий величину зоны отставания при прокатке;  $a$  - глубина профиля;  $c$  - расстояние между насечками при поперечном сечении (рис. 3, а);  $r$  - радиус проволоки.

Составленная на основе приведенного выше математического описания структурная схема очага деформации приведена на рис. 4. В блоках 1 – 3 происходит вычисление значения моментов по приведенным формулам.

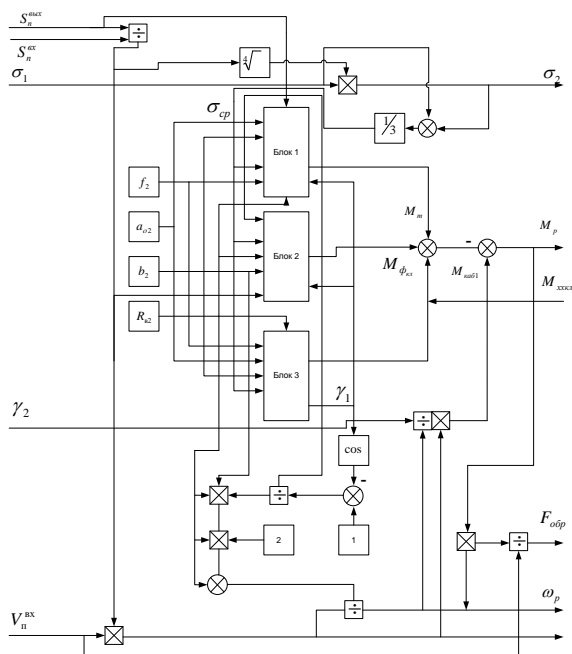


Рис. 4. Структурная схема очага деформации неприводной роликовой клетки



### ***Список литературы***

1. МеталлИнвест Северо-Запад «ММК-МЕТИЗ» увеличивает выпуск арматуры нового поколения. URL: <http://www.metal-in.ru/news/mmk-metiz-uvlechivaet-vypusk-armatury-novogo-pokoleniya/> (дата обращения 30.09.2013)

2. PC WIRE LINE ISF5: док. к обор.- Italia: Mario Frigerio S.p.A, 2006.-166с.

3. ТИ ММК-МЕТИЗ-К.ПР-28-2008. Производство проволоки и проката из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций на линии стабилизации [Текст]. – Магнитогорск: ОАО “ММК-МЕТИЗ”, 2008. - 33с.

4. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод совмещенного прокатно-волочильного проволочного стана: дис. ... док. техн. наук: 05.09.03 / Радионов Андрей Александрович.- Магнитогорск, 2009. – 334с.

УДК 621.771.067

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

***Н.В. Швидченко, С.И. Лукьянов, Р.С. Пишинограев,  
Д.В. Швидченко***

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск  
shvinikolaj@yandex.ru*

### ***Аннотация***

Существующий способ управления электроприводом отводящего рольганга стана горячей прокатки обеспечивает требуемое натяжение в полосе за счёт рассогласования скоростей транспортируемой полосы и бочек роликов рольганга. Наличие рассогласования скоростей приводит к повышенному износу бочек роликов и более частой их замене, что сопряжено с большими экономическими затратами. Предложена методика расчета требуемого момента электропривода ролика отводящего рольганга с учетом технологических особенностей циклов прокатки горячих полос. Предложен способ управления электроприводом отводящего рольганга, обеспечивающий снижение интенсивности износа бочек роликов, а также функциональная схема системы управления электроприводом ролика отводящего рольганга, реализующая