

Горелик В.С., Деркач А.В., Гладчун Е.А.

Кафедра "Основы проектирования машин"

Донецкий политехнический институт

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

**Резюме.** Разработаны модели: законов нагружения прокатной клети, механизмов уравновешивания и индивидуального привода валков прокатной клети с помощью которых можно оценить надежность и долговечность конструкторских решений на стадии проектирования по данным технического задания. Учитывается нестационарность режима нагружения. Модели реализованы на ЭВМ и апробированы на промышленном прокатном стане.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Для принятия обоснованных конструкторских решений на стадии проектирования уникального оборудования созданы, реализованы на ЭВМ и проверены в промышленных условиях следующие математические модели:

- модель I определения законов нагружения прокатной клети в функции числа, типа прокатываемых профилей и режимов прокатки;
- модель II устройства уравновешивания валков прокатной клети;
- модель III индивидуального привода валков прокатной клети.

### 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛЕЙ

Модель I: законы нагружения определяются на основе производственной программы, прокатываемого сортамента, теоретических формул для расчета усилий и моментов прокатки /1/ с учетом статистического рассеяния параметров, входящих в формулы: обжатие, ширина полосы, температура прокатки. Учитываются динамические эффекты и характер изменения нагрузки за цикл прокатки.

В модели II устройства уравновешивания валков (рис. I) приняты допущения:

- вся масса G сосредоточена в опорном валке 1;
- зазоры в соединении тяг 3 и штока гидроцилиндра 2 отсутствуют;
- тяги 3 абсолютно жесткие;
- станина представлена в виде пружины 5 не имеющей массы;

- жидкость в гидроцилиндре 4 несжимаема;
- утечки в гидросистеме отсутствуют.

Уравнение движения опорного вала решается аналитически либо численным методом и имеет вид:

$$\frac{G}{g} \frac{d^2x}{dt^2} = G + C_{ct}(x_0 - x) - pS - \sum R_i$$

где:  $x$  — перемещение опорного вала;  
 $t$  — время;  
 $g$  — ускорение силы тяжести;  
 $C_{ct}$  — жесткость станины;  
 $S$  — площадь поршня в штоковой полости цилиндра;  
 $\sum R_i$  — силы сопротивления;  
 $x_0$  — деформация станины под действием силы прокатки.

В модели III индивидуального привода валков прокатной клети (рис. 2) учитывается: взаимодействие конструктивно-асимметричного индивидуального привода валков через деформируемый металл, электромагнитное взаимодействие якоря и статора электродвигателей при совместном решении системы дифференциальных уравнений движения механической части привода ( $J$ ) валков с учетом вазоров ( $\Delta i$ ,  $i + I$ ), аналитически определяется величина коэффициентов эквивалентного вязкого демпфирования ( $H_i$ ,  $i + I$ ) в соответствии с жесткостью упругих связей расчетной схемы ( $C_i$ ,  $i + I$ ).

Система дифференциальных уравнений движения дискретных масс расчетной схемы получена на основании уравнения Лагранжа-Мансвелла для голономных систем.

### 3. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Модель I реализована в рамках АСУ ТП толстолистового стана, в которую заложены теоретические формулы расчета нагрузок при прокатке, а необходимые параметры берутся из информационной системы. На выходе формируются гистограммы распределения частот реализаций нагрузок.

Модель II устройства уравновешивания валков прокатной клети реализована на ЗВМ. Решение получается в аналитическом виде либо численными методами в зависимости от вида получаемого дифференциального уравнения.

Модель III индивидуального привода валков прокатной клети реализована на ЗВМ в виде отдельных процедур на языке Фортран IV. Решение системы дифференциальных уравнений производится методом Рунге-Кutta IV порядка с модификацией Гилла. Расчетная схема представлена на рис. 2.

## 4. АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРОКАТНОГО СТАНА С ПОМОЩЬЮ РАЗРАБОТАННЫХ МОДЕЛЕЙ

Определен спектр реальных нагрузок на детали рабочей клети, позволяющей оценить их долговечность и надежность. Каждая группа марок сталей характеризуется своим законом распределения, описывающимся  $\beta$ -функцией с параметрами, приведенными в таблице I.

т а б л и ц а I

Параметры законов распределения усилий прокатки в чистовой клети толстолистового стана за 1989 г.

Группа марок сталей	$\alpha$	$\beta$	Число реализаций в % от общего
Трубные стали	27, 49	8, 60	37
Легированные стали	14, 28	6, 89	26
Конструкционные стали	31, 56	24, 72	37
Итоговое распределение	13, 58	6, 76	100

Выполнен прочностной анализ крюка механизма уравновешивания валков с учетом динамической нагрузки по модели II. Установлено: нагрузки на крюк находятся в зоне ограниченной долговечности, что подтверждается шестью усталостными поломками крюков за время эксплуатации прокатного стана.

Оценены нагрузки на детали главного привода валков в нестационарной стадии прокатки с целью уменьшения динамических нагрузок на детали привода.

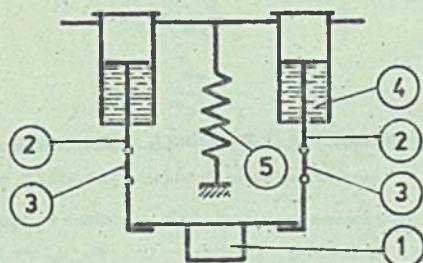


Рис. 1. Кинематическая схема устройства уравновешивания валков (модель II)

Fig. 1. Kinematics diagram of balancing mechanism stand of rolls (model II)

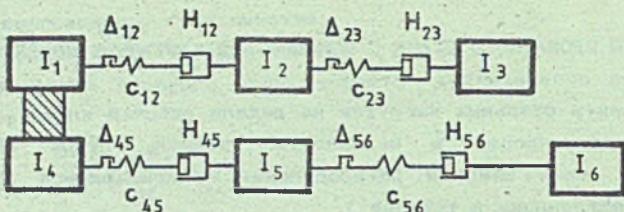


Рис. 2. Схема индивидуального привода валков прокатной клети (модель III)

Fig. 2. Diagram of individual roll drive of rolls (model III)

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л., Пономарев В. И.: Расчет параметров листовой прокатки. Справочник М. Металлургия. 1986.

## SIMULATION OF MECHANICAL SYSTEMS WITH VARIABLE STRUCTURE FOR EXAMPLE HAVE BEEN ROLLING MILLS

## Summary

Models have been developed: the laws of loading of stand of rolls, balancing mechanism and individual drive mechanism of stand of rolls by means of which may to estimate reliability and longevity of engineering designs on phase of design works. Unstationary of under-load operation is taken account. Models have been realized on electronic computer and have been tested on industrial rolling mill.

## MODELOWANIE UKŁADÓW MECZANICZNYCH O ZMIENNEJ STRUKTURZE NA PRZYKŁADZIE WALCAREK

## Streszczenie

W artykule przedstawiono modelowanie obciążenia klatki walcowniczej, mechanizmów i napędu indywidualnego walczarki, przy pomocy którego można ocenić niezawodność i trwałość rozwiązań konstrukcyjnych w stadium projektowania. W modelu uwzględniono niestacjonarność obciążenia układu. Zagadnienie rozwiązyano na EMC, natomiast wyniki zweryfikowano na podstawie pomiarów w warunkach eksploatacyjnych.