

УДК 621.771

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРОЕКТИРУЕМОГО  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАШИНЫ ОМД СРЕДСТВАМИ SIMULINK****Андрей Анатольевич Мальцев**к.т.н., доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана  
e-mail: [a.a.mal@bmstu.ru](mailto:a.a.mal@bmstu.ru)**Ирина Александровна Тарасенко**старший преподаватель кафедры ФН-7 МГТУ им Н.Э. Баумана  
e-mail: [iri-taraskenko@yandex.ru](mailto:iri-taraskenko@yandex.ru)**Аннотация**

На примере электропривода рабочих валков прокатного стана в статье проанализирована возможность выполнения студентами технических вузов учебной научно-исследовательской работы, связанной с оптимизацией конструкции машины обработки металлов давлением (ОМД) по критерию минимизации динамических нагрузок, в программной среде Simulink (MATLAB).

**Ключевые слова:** Simulink, электропривод, металлургия, колебания, оптимизация.**OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF THE PROJECTED ELECTRIC DRIVE OF  
THE OMD MACHINE BY MEANS OF SIMULINK****Andrey A. Maltsev**Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Engineering,  
BMSTU ФН-7 and МТ-10 Departments  
e-mail: [a.a.mal@bmstu.ru](mailto:a.a.mal@bmstu.ru)**Irina A. Taraskenko**senior lecturer, BMSTU ФН-7 Department  
e-mail: [iri-taraskenko@yandex.ru](mailto:iri-taraskenko@yandex.ru)**ABSTRACT**

Using the example of the electric drive of the working rolls of a rolling mill, the article analyzes the possibility of performing educational research work by students of technical universities related to the optimization of the design of a metal processing machine by pressure (OMD) according to the criterion of minimizing dynamic loads in the Simulink (MATLAB)

software environment.

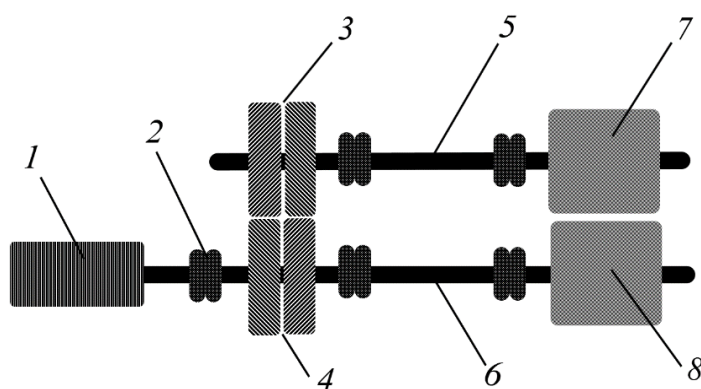
**Keywords:** Simulink, electric drive, metallurgy, vibrations, optimization.

### Введение

Статья посвящена организации учебной научно-исследовательской работы студентов (НИРС) на тему «Многокритериальная оптимизация конструкции машины ОМД» в рамках подготовки учащихся к выполнению исследовательской части дипломного проекта. К машинам ОМД относятся кузнечные, прессовые, штамповочные и прокатные машины.

*Цель исследования* – оценить перспективы выполнения студентами в программной среде Simulink (MATLAB) преддипломной НИРС.

*Объект исследования* – автоматизированный электропривод рабочих валков прокатного стана (рис. 1).



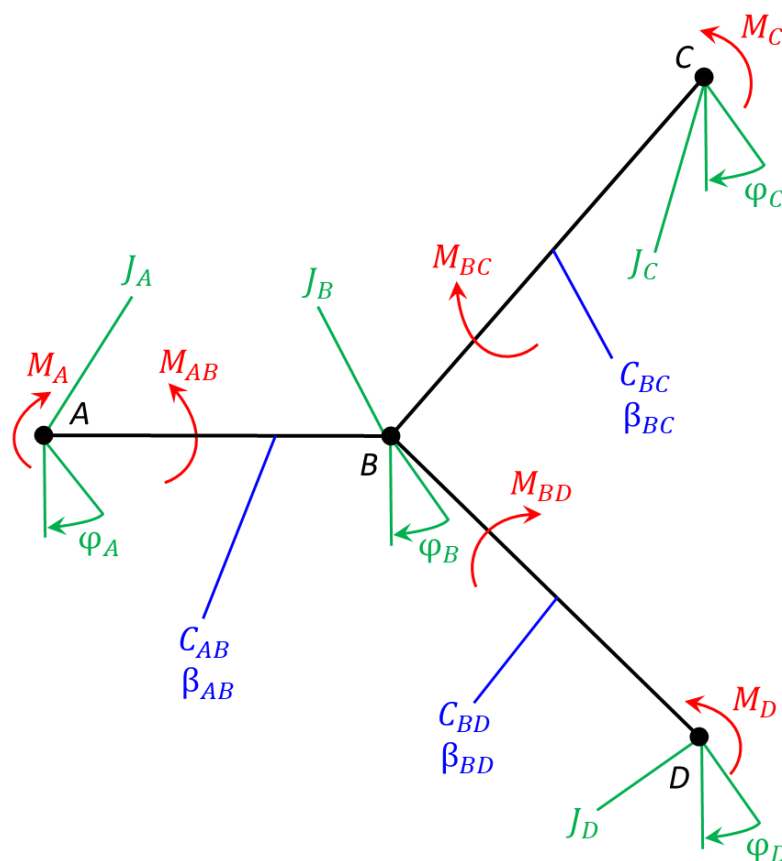
**Рисунок 1.** Кинематическая схема электропривода:

- 1 – ротор электродвигателя;
- 2 – соединительная муфта;
- 3 – верхний шестеренный валок;
- 4 – нижний шестеренный валок;
- 5 – верхний универсальный шпиндель;
- 6 – нижний универсальный шпиндель;
- 7 – верхний рабочий валок;
- 8 – нижний рабочий валок

*Предмет исследования* – переходный процесс в электроприводе, вызванный ударом при захвате прокатываемой заготовки рабочими валками.

### Материалы и методы исследования

Разветвленная кинематическая схема проектируемого электропривода рабочих валков прокатного стана определила разветвленную структуру его динамической модели (рис. 2).



**Рисунок 2.** Расчетная схема электропривода:

$A, B, C, D$  – крутильно-колеблющиеся массы;

$AB, BC, BD$  – невесомые упругие связи;

$J_A, J_B, J_C, J_D$  – моменты инерции масс;

$\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C, \varphi_D$  – угловые координаты масс;

$C_{AB}, C_{BC}, C_{BD}$  – крутильные жесткости связей;

$\beta_{AB}, \beta_{BC}, \beta_{BD}$  – демпферы крутильных колебаний;

$M_{AB}, M_{BC}, M_{BD}$  – упругие крутящие моменты связей;

$M_A$  – момент электродвигателя;

$M_C, M_D$  – моменты прокатки на рабочих валках

Значения угловых координат масс в момент времени  $t = 0$ :

$$\varphi_A(0) = \varphi_B(0) = \varphi_C(0) = \varphi_D(0) = 0; \quad (1)$$

Значения угловых скоростей масс в момент времени  $t = 0$ :

$$\omega_A(0) = \omega_B(0) = \omega_C(0) = \omega_D(0) = 0; \quad (2)$$

Значения угловых ускорений масс в момент времени  $t = 0$ :

$$\varepsilon_A(0) = \varepsilon_B(0) = \varepsilon_C(0) = \varepsilon_D(0) = 0; \quad (3)$$

Значения упругих крутящих моментов связей в момент времени  $t = 0$ :

$$M_{AB}(0) = M_{BC}(0) = M_{BD}(0) = 0; \quad (4)$$

Угловые скорости крутильно-колеблющихся масс  $A, B, C, D$ :

$$\begin{aligned}
 \omega_A(t) &= \frac{d\varphi_A(t)}{dt}; \\
 \omega_B(t) &= \frac{d\varphi_B(t)}{dt}; \\
 \omega_C(t) &= \frac{d\varphi_C(t)}{dt}; \\
 \omega_D(t) &= \frac{d\varphi_D(t)}{dt}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Угловые ускорения крутильно-колеблющихся масс  $A, B, C, D$ :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_A(t) &= \frac{d\omega_A(t)}{dt}; \\
 \varepsilon_B(t) &= \frac{d\omega_B(t)}{dt}; \\
 \varepsilon_C(t) &= \frac{d\omega_C(t)}{dt}; \\
 \varepsilon_D(t) &= \frac{d\omega_D(t)}{dt}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Упругие крутящие моменты связей  $AB, BC, BD$ :

$$\begin{aligned}
 M_{AB}(t) &= C_{AB}[\varphi_A(t) - \varphi_B(t)] + \beta_{AB}[\omega_A(t) - \omega_B(t)]; \\
 M_{BC}(t) &= C_{BC}[\varphi_B(t) - \varphi_C(t)] + \beta_{BC}[\omega_B(t) - \omega_C(t)]; \\
 M_{BD}(t) &= C_{BD}[\varphi_B(t) - \varphi_D(t)] + \beta_{BD}[\omega_B(t) - \omega_D(t)].
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Крутильно-колебательное движение механической системы, состоящей из четырех масс  $A, B, C, D$ , описано дифференциальными уравнениями второго порядка, вытекающими из уравнений Лагранжа 2 рода [1, 2]:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_A(t) &= \frac{M_A - M_{AB}(t)}{J_A}; \\
 \varepsilon_B(t) &= \frac{M_{AB}(t) - M_{BC}(t) - M_{BD}(t)}{J_B}; \\
 \varepsilon_C(t) &= \frac{M_{BC}(t) - M_C}{J_C}; \\
 \varepsilon_D(t) &= \frac{M_{BD}(t) - M_D}{J_D}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Исходные данные – идентифицированные параметры динамической модели прокатного стана [3].

Моменты инерции крутильно-колеблющихся масс:

$$\begin{aligned}
 J_A &= 20 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \\
 J_B &= 30 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \\
 J_C &= 10 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \\
 J_D &= 10 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.
 \end{aligned}$$

Крутильные жесткости связей:

$$C_{AB} = 500 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м/рад};$$

$$C_{BC} = 400 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад};$$

$$C_{BD} = 300 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад};$$

Демпферы крутильных колебаний:

$$\beta_{AB} = 60 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{м};$$

$$\beta_{AB} = 70 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{м};$$

$$\beta_{AB} = 80 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} / \text{м};$$

Внешние моменты электродвигателя и прокатки на рабочих валках:

$$M_A = 1000 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_C = 500 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_D = 500 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Задача исследования – построить блок-схему для реализации решения уравнений (8) с учетом начальных условий (1) – (4) и выражений (5) – (7) в модулях Simulink.

### Полученные результаты

Дифференциальные уравнения (8) с учетом (5) – (7) представлены в виде функциональных блоков (рис. 3), что открывает широкие возможности для дальнейших оригинальных исследований поведения динамической модели электропривода в среде Simulink с построением графиков изменения во времени  $t$  упругих крутящих моментов связей –  $M_{AB}(t)$ ,  $M_{BC}(t)$ ,  $M_{BD}(t)$ .

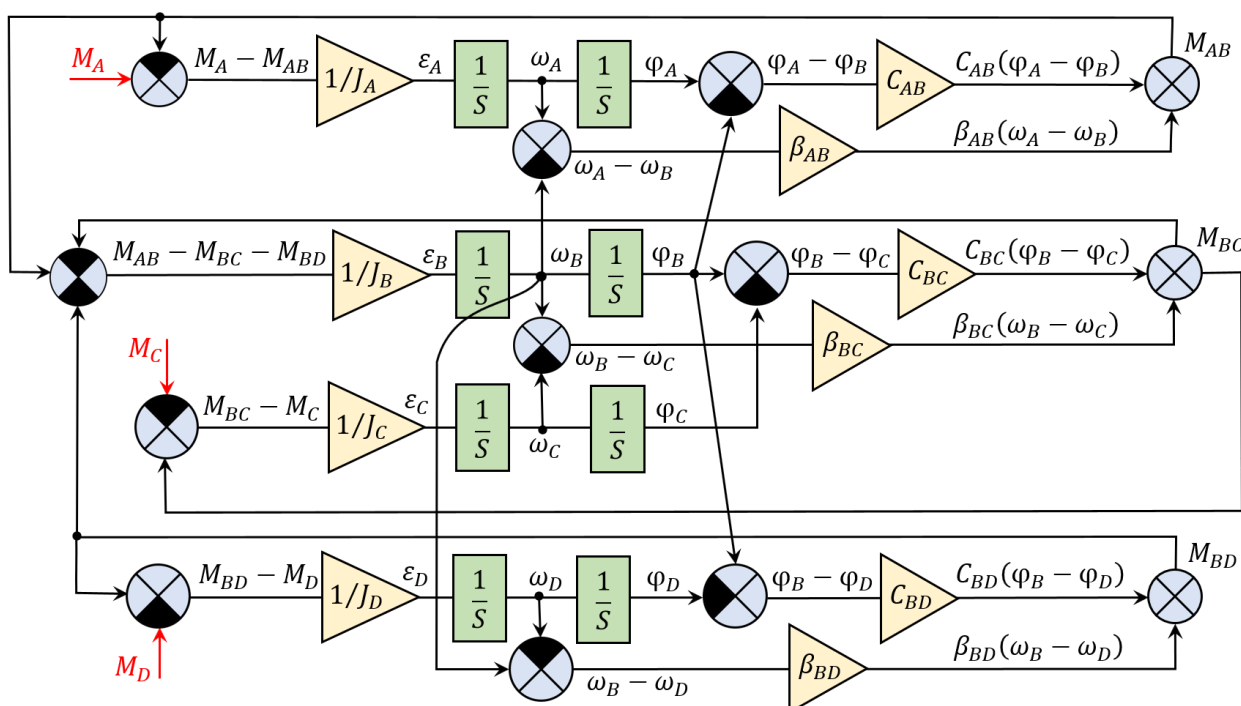


Рисунок 3. Блок-схема для решения уравнений (8) в модулях Simulink

### Заключение

Учебная НИРС на предлагаемую авторами тему «Многокритериальная оптимизация конструкции машины ОМД» может быть выполнена в полном объеме с использованием системы имитационного блочного моделирования динамических систем Simulink, что позволит студентам пополнить свой арсенал знаний, умений и навыков в области теоретического исследования процессов горячей и холодной прокатки,

сформирует у будущих инженеров компетенции по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов».

### **Список литературы**

1. Чёрная Л.А., Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 176 с.
2. Харитонов С.А., Ципилев А.А. Динамика механических систем. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 200 с.
3. Мальцев А.А. Оптимизация конструкции машины ОМД на стадии проектирования средствами MATLAB и MathCAD. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2021. Т.11, №5. С.211–227. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2021-oris-5-2021/a230317>.

### **References**

1. Chernaya L. A., Timofeev G. A. Theory of mechanisms and machines. Course design. – Moscow: BMSTU, 2018. – 176 p.
2. Kharitonov S.A., Tsipilev A.A. Dynamics of mechanical systems. – Moscow: BMSTU, 2017. – 200 p.
3. Andrey A. Maltsev. Optimization of the OMD machine design at the design stage by means of MATLAB and MathCAD. – [Electronic resource]. Original research (ORIS). 2021. Vol.11, No.5. P.211–227. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2021-oris-5-2021/a230317>.