

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ЯКОРЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ДВУХСВЯЗНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ САУ ТП ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК

**Жукова Н.В., Литвинов В.И., Червинский В.В.**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра автоматизации и телекоммуникаций  
E-mail: Zhnatka@mail.ru

### *Abstract*

*Zhukova N.V., Litvinov V.I., Chervinsky V.V. Mathematical modeling of the parallel connecting circuit of deadpans of electric drivers of a two-threaded electromechanical system for a control system of a process of production of a powdered wires. Methods of mathematical simulation is proved, that the ways of control by drawing mills of production of a welding wire approximate to control profiling mills of production of a powder wire for metallurgical melts The expedient of control is consist in lowering of a rigidity of mechanical performances of electric drivers participating in a technological process.*

**Общая постановка проблемы.** Технологические процессы производства сварочной порошковой проволоки и порошковой проволоки (ПП) для внепечной обработки металлургических расплавов являются родственными и малоинформативными [1]. Автоматическое регулирование соотношения скоростей промежуточных барабанов в процессе волочения сварочной ПП осуществляется посредством двух электрических схем соединения якорей приводных двигателей: последовательной и параллельной. В статье [1] авторами было доказано, что данные электрические схемы работают по принципу саморегулирования. Саморегулирование заключается в понижении жесткости механических характеристик приводных двигателей, а это не что иное, как приближение к идеально мягкой его характеристике. Идеально мягкую механическую характеристику имеет двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, регулируемый по электромеханической мощности [2].

**Постановка цели исследования.** В [1] теоретически было доказано, что способы управления прмоточным волочильным станом производства сварочной ПП приближены к управлению профилегибочным станом производства проволоки для металлургических расплавов, которая реализуется посредством системы управления по мощностям [3, 4]. Таким образом, целью статьи является подтверждение данного теоретического доказательства методами математического моделирования на примере параллельной схемы соединения якорей двигателей для двухсвязной электромеханической системы (ЭМС).

**Методика решения задачи и результаты исследования.** Рассмотрим функциональную схему параллельного соединения якорей приводных двигателей, участвующих в технологическом процессе (рис.1). Регулирование скорости волочения сварочной проволоки осуществляется за счет изменения величины общего напряжения питания на всех якорях двигателей. В этой схеме задающие воздействия для систем регулирования токов обмоток возбуждения (ОВ) прямо пропорционально связаны с токами якорей двигателей, кроме того, присутствует малое начальное подмагничивание.

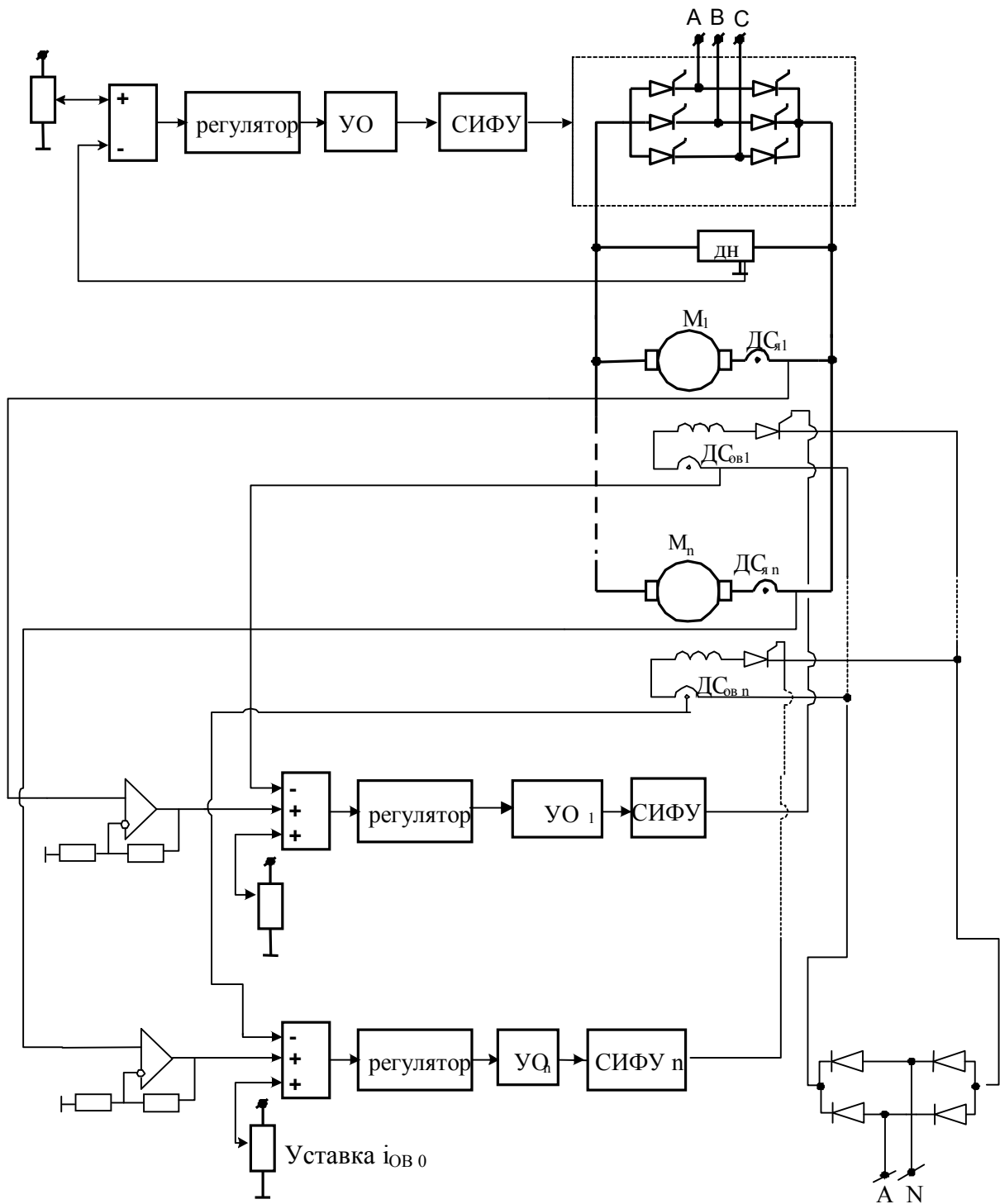


Рисунок 1 — Функциональная схема управления многодвигательным электроприводом непрерывной технологической линии волочения сварочной проволоки со схемой параллельного соединения якорей двигателей и прямо пропорциональной связью токов ОВ с токами якорей двигателей

При анализе динамических процессов в параллельной схеме в большей степени обращается внимание на силовые связи между элементами системы, и как они влияют на устойчивость всей системы. Допускается, что рабочее тело (проволока) однородно и имеет по всей длине одинаковые механические свойства. Математическая модель двухсвязной ЭМС, реа-

лизованной посредством электрической схемы параллельного соединения якорей приводных двигателей с общим источником питания, представлена в виде системы интегрально-дифференциальных уравнений (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 \frac{d\omega_1(t)}{dt} = C_{\text{м1}} \Phi_1 I_1(t) + C_{12} \int_0^t (\omega_2 - \omega_1) dt - M_{c1}(t); \\ J_2 \frac{d\omega_2(t)}{dt} = C_{\text{м2}} \Phi_2 I_2(t) - C_{12} \int_0^t (\omega_2 - \omega_1) dt - M_{c2}(t); \\ U_{\text{ТП}}(t) = R_1 I_1(t) + L_1 \frac{dI_1(t)}{dt} + C_{\text{м1}} \Phi_1 \omega_1(t); \\ U_{\text{ТП}}(t) = R_2 I_2(t) + L_2 \frac{dI_2(t)}{dt} + C_{\text{м2}} \Phi_2 \omega_2(t); \\ U_{\text{ТП}}(t) = \left[ K_{\text{ТП}} \left( K_{\text{П}} \varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(t) dt \right) \right] - R_{\text{ТП}} [I_1(t) + I_2(t)]; \\ \varepsilon(t) = \alpha_{\text{ТП}}(t) - U_{\text{ТП}}(t) K_{\text{ДН}}; \\ U_{\text{ОВ}i}(t) = R_{\text{ОВ}i} i_{\text{ОВ}i}(t) + L_{\text{ОВ}i} \frac{di_{\text{ОВ}i}(t)}{dt}; \\ U_{\text{ОВ}i}(t) = K \left( K_{\text{П}} \varepsilon_{\text{ОВ}i}(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon_{\text{ОВ}i}(t) dt \right); \\ \varepsilon_{\text{ОВ}i}(t) = I_i(t) C_{I_i} K_{\text{ДТ}i} - i_{\text{ОВ}i}(t) K_{\text{ДТ}0\text{с}} + i_{\text{ОВ}i0} K_{\text{ДТ}0\text{с}}; \\ i = 1, 2 \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $U_{\text{ТП}}(t)$  — напряжение питания тиристорной станции (В),  $M_{c1}(t)$  и  $M_{c2}(t)$  — моменты нагрузок, приведенные к роторам двигателей ( $H \cdot м$ ); известными параметрами также являются  $J_1, J_2$  — моменты инерции, приведенные к роторам электродвигателей ( $кг \cdot м^2$ ),  $R_1, R_2, R_{\text{ТП}}$  — активные сопротивления якорей двигателей и тиристорного преобразователя (ТП) ( $Ом$ ),  $L_1, L_2$  — индуктивности силовых цепей ТП-Д ( $Гн$ ),  $C_{\text{м}i}, C_{\Phi i}, C_{I_i}, K_{\text{ДТ}i}, K_{\text{ДТ}0\text{с}}, K_{\text{ДН}}, K_{\text{ТП}}$  — постоянные машины, коэффициент нормирующего усилителя токов якорей двигателей, коэффициенты передачи датчиков токов якорей и возбуждений, датчика напряжения и ТП соответственно;  $K_{\text{П}}, T_u$  — коэффициенты пропорциональной и интегральной частей ПИ-регулятора. Неизвестными функциями времени являются  $\omega_1(t), \omega_2(t)$  — скорости вращения двигателей,  $I_1(t), I_2(t)$  — токи якорей двигателей (А),  $i_{\text{ОВ}i}(t)$  — токи ОВ (А),  $C_{\text{м}i} \Phi_i I_i(t)$  — активные электромагнитные моменты ( $Нм$ ) с магнитными потоками  $\Phi_i = C_{\Phi i} i_{\text{ОВ}i}$ ,  $M_{y.c\text{с}} = C_{12} \int_0^t (\omega_2 - \omega_1) dt$  — момент упругой связи между двигателями ( $Нм$ ),  $U_{\text{ОВ}i}(t)$  — напряжения ОВ, управляемые ПИ-регуляторами с ошибками рассогласования  $\varepsilon_{\text{ОВ}i}(t)$  между задающими воздействиями токов ОВ  $I_i(t) C_{I_i} K_{\text{ДТ}i}$  и полученными токами ОВ  $i_{\text{ОВ}i}(t)$  с учетом коррекции, т.е. малых начальных подмагничиваний  $i_{\text{ОВ}i0}$ .

Применив преобразование Лапласа, получим решение системы (1) для токов якорей  $I_1(p), I_2(p)$  и скоростей вращения двигателей  $\omega_1(p), \omega_2(p)$ :

$$I_1(p) = \frac{U_{\text{ТП}} - C_{M1}\Phi_1\omega_1}{R_1 + pL_1}; \tag{2}$$

$$I_2(p) = \frac{U_{\text{ТП}} - C_{M2}\Phi_2\omega_2}{R_2 + pL_2}; \tag{3}$$

$$\omega_1(p) = \frac{C_{M1}\Phi_1 I_1 + M_{12} - M_{c1}}{J_1 p}; \tag{4}$$

$$\omega_2(p) = \frac{C_{M2}\Phi_2 I_2 + M_{12} - M_{c2}}{J_2 p}; \tag{5}$$

Используя вышеприведенные решения, построим структурную схему двухсвязной ЭМС с параллельным соединением якорей двигателей (рис. 2).

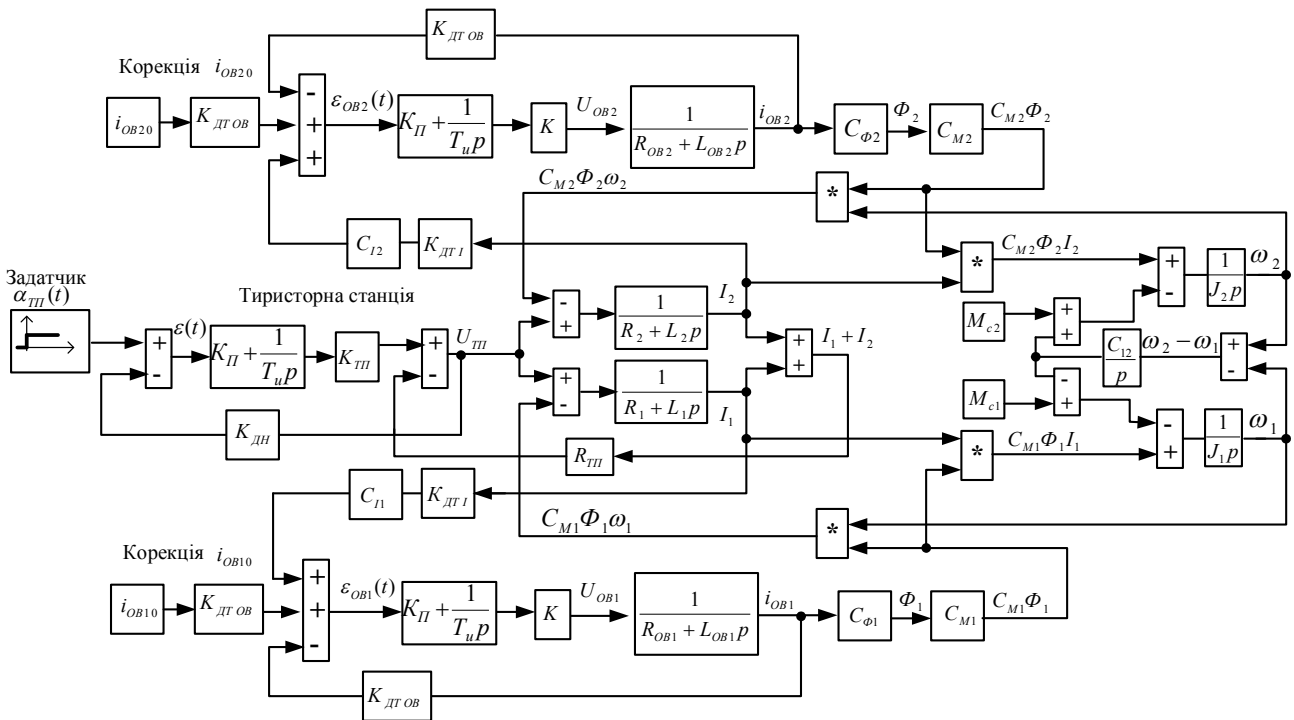


Рисунок 2 — Структурная схема математической модели двухсвязной ЭМС с параллельным соединением якорей двигателей

Моделирование структурной схемы (рис.2) осуществлялось с помощью пакета прикладных программ Matlab – Simulink 5.2, переходные процессы представлены на рис 3. С целью сравнительного анализа в статье приведены переходные процессы (рис.4) скоростей вращения двигателей  $\omega_1(t), \omega_2(t)$  и момента упругой связи между приводами  $M_{y.cв}(t)$ , полученные в результате моделирования двухсвязной ЭМС по мощностям, математическая модель которой имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 M_{эм1} - C_{12} \int_0^t (\omega_1 - \omega_2) dt - M_{c1} = J_1 \frac{d\omega_1(t)}{dt}; \\
 M_{эм2} + C_{12} \int_0^t (\omega_1 - \omega_2) dt - M_{c2} = J_2 \frac{d\omega_2(t)}{dt}; \\
 U_1(t) = R_1 I_1(t) + L_1 \frac{dI_1(t)}{dt} + C_1 \omega_1(t); \\
 U_2(t) = R_2 I_2(t) + L_2 \frac{dI_2(t)}{dt} + C_2 \omega_2(t). \\
 U_i(t) = K_{III} \left( K \varepsilon_i(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon_i(t) dt \right); \\
 \varepsilon_{iP}(t) = \alpha_{iP}(t) - C \cdot I_i(t) \omega_i(t) K_{OC P}. \\
 i = 1, 2
 \end{array} \right. \quad (6)$$

Сравнительный анализ переходных процессов в системах осуществляется при одинаковых номинальных параметрах двигателей, собственных моментах нагрузок и параметрах ПИ-регуляторов.

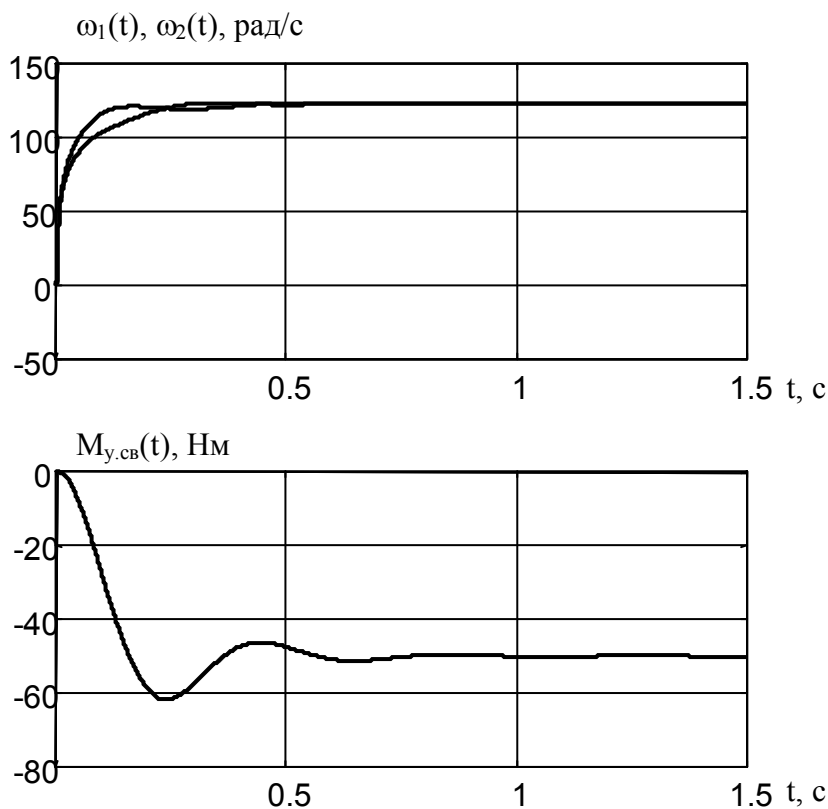


Рисунок 3 — Переходные процессы двухсвязной ЭМС с параллельным соединением якорей двигателей

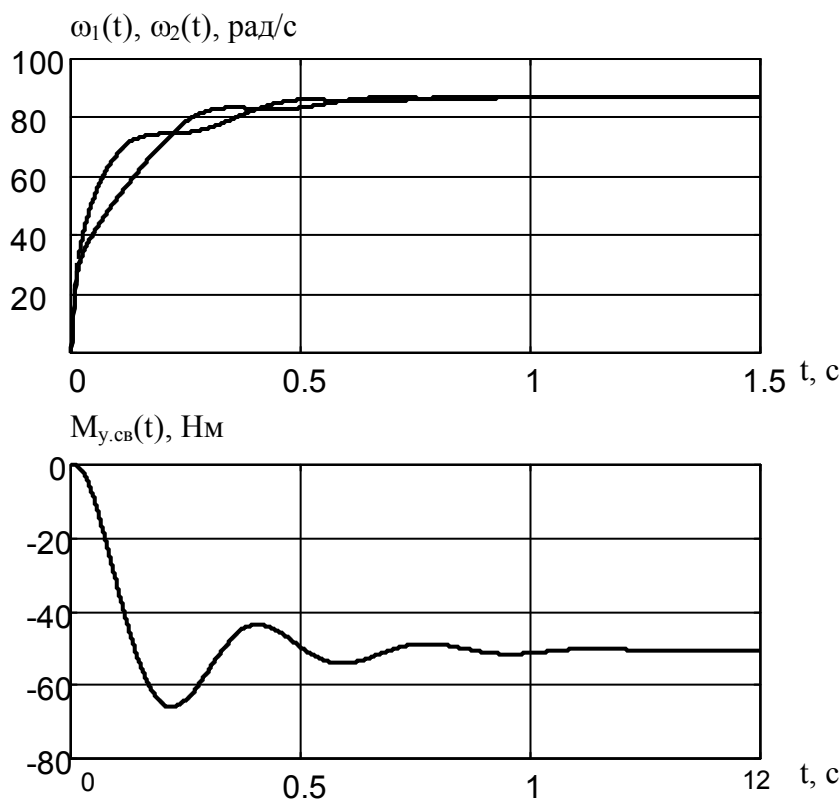


Рисунок 4 — Переходные процессы двухсвязной ЭМС, регулируемой по мощностям

**Выводы.** Полученные в результате моделирования переходные процессы момента упругой связи и скоростей вращения двигателей подтверждают теоретическое доказательство того, что способы управления волочильными станами производства сварочной ПП приближены к управлению по мощностям.

#### Литература

1. Жукова Н.В. Анализ систем автоматизованого управління технологічними режимами прокату гнутих профілів //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2005. — № 55. — С. 87–92.
2. Декларацийний патент на винахід № 36424А, Н 02 Р 7/68. Спосіб управління електроприводами неперервної технологічної лінії обробки металу тиском: Декларацийний патент на винахід № 36424А, Н 02 Р 7/68 /Титиевский В.М., Литвинов В.И., Горовой А.Б., Жукова Н.В., Рыпало Д.А., Подгорный И.В.; ВАТ «Завод «Універсальне обладнання». — № 99126860; Заявл. 16.12.99; Опубл. 16.04.01, Бюл. №3. — 5 с.
3. Жукова Н.В. Автоматизированное управление малоинформативным непрерывными технологическими процессами обработки металла давлением //Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам, Вып. 3(15). — Одесса: ОНПУ, 2001. — С. 16–24.
4. Жукова Н.В., Литвинов В.И. Энергетический метод решения задач многосвязной электромеханики применительно к технологии обработки металла давлением //Збірник наукових праць ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 74. — Донецьк: ДонДТУ, 2004. — С. 58–67.