

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:
Бучаченко А.Л.
Гусев А.А.
Дегтярев Ю.И.
Елисеев В.А.
Иванов А.П.
Мальцева С.В.
Нефедов Е.И.
Шебалин И.Ю.
(заместитель главного редактора)

2
—
2012

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля
1999 г. за № 018684 в Комитете
Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень
утверждённых ВАК РФ изданий
для публикации трудов соискателей
учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

РЕДАКЦИЯ:

Шебалин И.Ю. — зам. главного редактора
Гончарова Л.К. — научный редактор
Осипова В.Г. — научный редактор
Богус С.В. — секретарь

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 748 0290,
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 268 3858,
факс: (499) 269 4897

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Дубовик В.А., Зиякаев Г.Р. Стационарные движения маятникового автобалансира на гибком валу с упругими опорами	3
Корчак Е.С. Совершенствование систем контроля отклонения колонн гидравлических прессов от геометрической оси	7
Губанов В.Ф. Модернизированная технология отделочно-упрочняющей обработки выглаживанием	10
Багдасарян М.К. Система управления процессом измельчения минерального сырья с рациональным использованием электроэнергии	13

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Плющаев В.И. Система контроля и передачи судовых технологических параметров береговым службам	18
Абдуллаев Н.А. Анализ точности методов акустической локации технологических взрывов	21
Фатюхин Д.С. Автоматизированное управление и мониторинг технологического процесса ультразвуковой очистки	25
Тусупбеков Б.К., Шаихова Г.С. Адаптивная настройка математических моделей объектов большой размерности на основе метода общего параметра	30
Невмержицкий М.Н., Бобошко С.В. Система управления гидростанцией циклового пресса на основе программируемого логического реле	34

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ]

Лазарев Е.М., Аксенов К.А. Создание интеллектуальных программных агентов поиска градостроительных конфликтов (нарушений)	41
---	----

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов	45
-----------------------------	----

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499) 269 4897, по e-mail realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок (499) 269 6600, 269 5298

Художественный редактор *Галицина Т.Н.*
Компьютерный набор *Путинов В.Н.*
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А., Веремеев С.В.*

Набрано в ФГБНУ «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»
Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13. Тел.: (499) 795 1789

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Dubovik V.A., Ziyakaev G.R. Stationary movements of the pendulum autobeam on flexible shaft with elastic supports	3
Korchak E.S. Control system improvement of the hydraulic presses columns deviation from a geometrical axis	7
Gubanov V.F. The updated technology of the finishing strengthening treatment by burnishing	10
Bagdasaryan M.K. Control system of the mineral raw materials crushing process with electric power rational usage	13

MODERN TECHNOLOGIES

Plyushchaev V.I. The control and transfer system of the ship technological parameters to shore services	18
Abdullayev N.A. The accuracy analysis of the technological explosions acoustic location methods	21
Fatyukhin D.S. Automatic control and monitoring of the ultrasonic cleaning technological process	25
Tusupbekov B.K., Shaikhova G.S. Adaptive adjustment of mathematical models for the big dimension objects on the basis of the general parameter method	30
Nevmerzhitskiy M.N., Boboshko S.V. Cyclic press hydrostation control system on the basis of the programmable logic relay	34

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Lazarev E.M., Aksenov K.A. Creation intellectual program agents for town planning conflicts (infringements) search ...	41
---	----

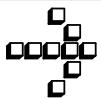
SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review	45
--------------------------	----

Сдано в набор 30.11.11. Подписано в печать 27.01.12.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 7,0. Заказ 43. Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Подольская Периодика»
142110, Московская обл., г. Подольск,
ул. Кирова, 15

**Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна
при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов
ссылка на журнал «Автоматизация и современные технологии» обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель**



УДК 531.36

В.А. Дубовик, канд. физ.-мат. наук, доц., **Г.Р. Зиякаев**, канд. техн. наук
(Национальный исследовательский Томский политехнический университет)

zgr@rambler.ru

СТАЦИОНАРНЫЕ ДВИЖЕНИЯ МАЯТНИКОВОГО АВТОБАЛАНСИРА НА ГИБКОМ ВАЛУ С УПРУГИМИ ОПОРАМИ

Рассмотрены периодические стационарные движения неуравновешенного ротора на гибком валу с двумя маятниками, ось вращения которых эксцентрична оси ротора. Получены условия существования и устойчивости таких движений.

Ключевые слова: ротор, маятниковый автобалансир, дисбаланс, устойчивость, порождающая система уравнений, порождающие функции, собственная частота, критическая угловая скорость.

Periodic stationary movements of the unbalanced rotor on flexible shaft with two pendulums which rotation axis and rotor axis are eccentric are considered. Existence and stability conditions of such movements are derived.

Key words: rotor, pendulum autobeam, imbalance, stability, generating set of equations, generating functions, free frequency, critical rotary speed.

Стационарное движение ротора с маятниками подвесками представляет интерес для теории ряда технических устройств, в частности автобалансирующих (АБУ). Изучению динамики маятниковых и шаровых автобалансиров посвящены работы [1–4]. В работе [5] исследуется в первом приближении устойчивость основного движения маятникового автобалансира. В работах [1–5] опоры вала, на котором крепится ротор с балансировочным устройством, рассматриваются абсолютно жёсткими. Практически опоры вала, как правило, упруго деформируемы, что приводит к изменению частоты колебаний вала [6] и, как следствие, условий балансировки. Также в этих работах при определении точности балансировки роторов механическими АБУ предполагалось, что геометрическая ось ротора совпадает с осью АБУ. Однако при изготовлении и обработке деталей возникают погрешности линейных размеров, геометрических форм, а также погрешности в относительном расположении осей, поверхностей и конструктивных элементов деталей. Поэтому имеет место определённая несоосность посадочной поверхности АБУ относительно общей оси посадочных поверхностей вала. Взаиморасположение центра ротора, оси вращения системы и маятников при возможном стационарном движении исследовано в работе [7]. Ниже рассмотрено влияние упругой податливости, массы опор вала с неуравновешенным ротором и эксцентриситета подвески маятников на стационарные движения

маятникового автобалансира. Считается, что силы сопротивления среды и в опорах малы, так что ими можно пренебречь. Необходимо установить условия существования и устойчивости периодических стационарных движений, а также основного движения маятникового автобалансира, т. е. движения, при котором прогиб вала является наименьшим.

На рис. 1 приведена схема рассматриваемого АБУ и его возмущённого движения. Ротор, центр масс которого с геометрическим центром C составляет эксцентриситет $CC' = e$, закреплён посередине вала в точке C так, что он может двигаться только в плоскости, перпендикулярной оси опор xOy . Ось вращения одинаковых маятников отстоит от центра C на расстоянии $CK = \varepsilon$. Отклонение ε называется эксцентриситетом подвески маятников. При вращении вокруг неподвижной оси Oz с постоянной угловой скоростью ω вал прогибается на величину $O'C$, а ось опор смещается на OO' . Предполагается, что силы инерции намного больше сил тяжести, что позволяет пренебречь влиянием последних на движение системы.

За обобщённые координаты x , y и x_0 , y_0 принимаем перемещения центра ротора и опор вала относительно неподвижной системы координат xOy , а также углы γ_1 , γ_2 – углы поворота маятников относительно вектора дисбаланса ротора CC' (рис. 1, б). Обозначим массы ротора m_p , опоры m_o , маятника m ; моменты инерции относительно центральных осей, параллельных оси Oz ротора

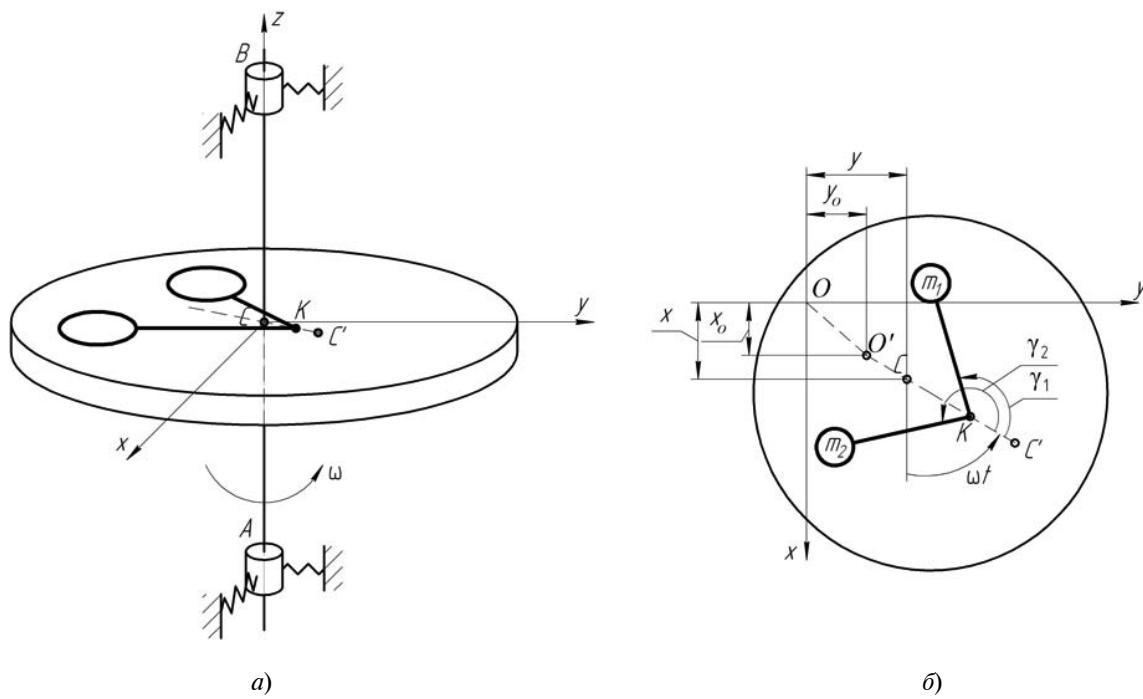


Рис. 1. Схема ротора с маятниками (а) и его возмущенного движения (б)

и маятника, J_p и J ; изгибную жесткость вала c ; жесткость опоры c_o ; длину маятника l .

Упругие силы, действующие на опору и ротор со стороны вала, равны $\overline{F_{co}} = -c_o \overline{OO'}$ и $\overline{F_c} = -c \overline{OC}$; моменты сил вязкого сопротивления, препятствующие повороту маятников относительно их оси подвеса, $M_{cl} = -h_1 \dot{\gamma}_1$, $M_{c2} = -h_1 \dot{\gamma}_2$, где h_1 – коэффициент сопротивления (точка сверху означает производную по времени).

В принятых обозначениях дифференциальные уравнения движения имеют вид

$$M\ddot{x} + c(x - x_o) - ml \sum_{i=1}^2 [\ddot{y}_i \sin(\omega t + \gamma_i) + (\omega + \dot{\gamma}_i)^2 \times \cos(\omega t + \gamma_i)] = (m_p e + 2m\varepsilon)\omega^2 \cos \omega t; \quad (1)$$

$$M\ddot{y} + c(y - y_o) + ml \sum_{i=1}^2 [\ddot{x}_i \cos(\omega t + \gamma_i) - (\omega + \dot{\gamma}_i)^2 \times \sin(\omega t + \gamma_i)] = (m_p e + 2m\varepsilon)\omega^2 \sin \omega t; \quad (2)$$

$$2m_o \ddot{x}_o + (2c_o + c)x_o - cx = 0; \quad (3)$$

$$2m_o \ddot{y}_o + (2c_o + c)y_o - cy = 0; \quad (4)$$

$$\ddot{\gamma}_i + h\dot{\gamma}_i = \mu \Phi_i(\ddot{x}, \ddot{y}, \gamma_i); i=1,2, \quad (5)$$

где $M = m_p + 2m$; $h = h_1 / (J + ml^2)$; $\mu = ml / (J + ml^2) < 1$;

$$\Phi_i(\ddot{x}, \ddot{y}, \gamma_i) = \ddot{x} \sin(\omega t + \gamma_i) - \ddot{y} \cos(\omega t + \gamma_i) - \varepsilon \omega^2 \sin \gamma_i. \quad (6)$$

Для получения решений уравнений (1)–(6) воспользуемся теорией синхронизации объектов с равномерными вращательными движениями [3]. Принимаем μ за малый параметр. Соответствующая уравнениям (1)–(6) порождающая система уравнений ($\mu = 0$) допускает семейство периодических решений вида

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \text{const}_1 = \alpha_1; \gamma_2 = \text{const}_2 = \alpha_2; \\ x(t) &= a(R \cos \omega t - I \sin \omega t); \\ y(t) &= a(R \sin \omega t + I \cos \omega t); \\ x_o(t) &= b(R \cos \omega t - I \sin \omega t); \\ y_o(t) &= b(R \sin \omega t + I \cos \omega t), \end{aligned} \quad (7)$$

где $a = a_1 ml \omega^2 / a_2$; $b = ca / a_1$; $a_1 = -2m_o \omega^2 + 2c_o + c$; $a_2 = a_1(c - M \omega^2) - c^2$; $R = \lambda + 2\delta + \cos \alpha_1 + \cos \alpha_2$; $I = \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2$; $\lambda = m_p e / ml$, $\delta = \varepsilon / l$.

Для определения постоянных α_1 и α_2 составим основные уравнения. Полученные решения уравнений (1)–(6) подставляем в выражения (7), усредняем по времени за период $2\pi/\omega$, а полученные порождающие функции приравниваем нулю:

$$P_k(\alpha_1, \alpha_2) = -\omega^2 a [d \sin \alpha_k + \sum_{j=1}^2 \sin(\alpha_k - \alpha_j)] = 0; k=1,2, \quad (8)$$

$$\text{где } d = \lambda + \delta \left[\frac{(2+v_p)(\gamma-v\beta^2)}{\beta^2(\gamma+1-v\beta^2)} - v_p \right]; \quad (9)$$

$v = 2m_0/M$; $\gamma = 2c_0/c$; $v_p = m_p/m$; $\beta = \omega/\sqrt{c/M} = \omega/\omega_0$; $\omega_0 = \sqrt{c/M}$ – собственная частота системы с неподвижными маятниками.

Уравнение (8) имеет четыре решения:

- 1) $\alpha_1^1 = -\alpha_2^1 = \arccos(-d/2);$
 - 2) $\alpha_1^2 = 0, \alpha_2^2 = 0;$
 - 3) $\alpha_1^3 = \pi, \alpha_2^3 = \pi;$
 - 4) $\alpha_1^4 = 0, \alpha_2^4 = \pi.$
- (10)

Первое решение существует при $|d| < 2$. Из формул (7) следует, что только для этого решения прогиб вала пропорционален эксцентризитету подвески маятников ε , а ось вращения маятников совпадает с осью вращения вала (координаты точки K равны нулю). Для остальных решений координаты x, y и прогиб вала имеют свободные члены, не содержащие сомножителя ε . Таким образом, движение автобалансира, соответствующее первому решению, является основным, так как прогиб вала имеет порядок малой величины ε . При $\omega \rightarrow \infty$ во всех решениях (10) координаты x_0, y_0 стремятся к нулю. Из выражений (7) вытекает, что векторы смещения опор, прогиба и дисбаланса направлены по одной прямой (точки O, O', C, K, C' расположены на одной линии).

Достаточные условия асимптотической устойчивости решений (10) имеют вид [3]

$$L_1(\alpha_1, \alpha_2) = - \left(\frac{\partial P_1}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial P_2}{\partial \alpha_2} \right) > 0;$$

$$L_2(\alpha_1, \alpha_2) = \left(\frac{\partial P_1}{\partial \alpha_1} \frac{\partial P_2}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial P_1}{\partial \alpha_2} \frac{\partial P_2}{\partial \alpha_1} \right) > 0. \quad (11)$$

Подставляя в выражения (11) производные от порождающих функций (8), получим

$$L_1 = a\omega^2 [d(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + 2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)];$$

$$L_2 = a^2 \omega^4 [d^2 \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + d \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \times \\ \times (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)]. \quad (12)$$

Согласно выражениям (11), (12) условия устойчивости для каждого решения запишутся в виде соответствующих неравенств:

- 1) $L_1 = -2a\omega^2 > 0;$
 $L_2 = a^2 d^2 \omega^4 (1 - d^2/4) > 0;$
 - 2) $L_1 = 2a\omega^2(d+2) > 0;$
 $L_2 = a\omega^4 d(d+2) > 0;$
 - 3) $L_1 = 2a\omega^2(1-d) > 0;$
 $L_2 = a\omega^4 d(d-2) > 0;$
 - 4) $L_1 = -2a\omega^2 > 0;$
 $L_2 = -a^2 \omega^4 d^2 > 0.$
- (13)

Отсюда следует, что первое решение устойчиво при $a < 0$, так как величина L_2 всегда положительна внутри области существования этого решения; второе решение устойчиво при $a(d+2) > 0$ и $d > 0$; третье – при $a(1-d) > 0$ и $ad(d-2) > 0$; четвертое решение неустойчиво, так как L_2 всегда отрицательно.

Рассмотрим основное движение системы. Условие $|d| < 2$ эквивалентно двум неравенствам

$$y_1(\beta, \gamma)/y_0(\beta, \gamma) < 0; \quad y_2(\beta, \gamma)/y_0(\beta, \gamma) > 0, \quad (14)$$

где $y_i(\beta, \gamma) = g_i \beta^2 (-v\beta^2 + \gamma + 1) + f (-v\beta^2 + \gamma); i = 1, 2$; $y_0(\beta, \gamma) = -v\beta^2 + \gamma + 1$; $g_1 = \lambda - 2 - \delta v_p$; $g_2 = \lambda + 2 - \delta v_p$; $f = \delta(2+v_p)$.

Отсюда неравенства (14), т. е. условия существования рассматриваемого движения, принимают вид

$$y_1(\beta, \gamma) > 0; \quad y_2(\beta, \gamma) < 0;$$

$$\text{при } \beta > \beta_0(\gamma) = \sqrt{(\gamma+1)/v};$$

$$y_1(\beta, \gamma) < 0; \quad y_2(\beta, \gamma) > 0;$$

$$\text{при } \beta < \beta_0(\gamma) = \sqrt{(\gamma+1)/v}. \quad (15)$$

При $\delta = 0$ (ось вращения маятников совпадает с валом) соблюдается условие существования основного движения маятникового автобалансира, рассмотренного в работах [1 и 2] ($\lambda < 2$). Из выражений (14) при γ , стремящемся к бесконечности, получаем условия движения системы с жёсткими опорами

$$g_1 \beta^2 + f < 0; \quad g_2 \beta^2 + f > 0.$$

Условие $a < 0$ равносильно неравенству

$$z(\beta, \gamma) = z_0(\beta, \gamma) y_0(\beta, \gamma) < 0, \quad (16)$$

где $z_0(\beta, \gamma) = v\beta^4 - (v + \gamma + 1)\beta^2 + \gamma$.

Функция $z(\beta, \gamma)$ имеет три положительных корня относительно β :

$$\beta_1(\gamma) = [(v + \gamma + 1 - \sqrt{(v + \gamma + 1)^2 - 4\gamma v})/(2v)]^{1/2};$$

$$\beta_2(\gamma) = [(v + \gamma + 1 + \sqrt{(v + \gamma + 1)^2 - 4\gamma v})/(2v)]^{1/2};$$

$$\beta_3(\gamma) = \beta_0(\gamma).$$

Условия асимптотической устойчивости основного движения записутся в виде

$$\beta_1(\gamma) < \beta < \beta_2(\gamma); \beta > \beta_0(\gamma) \text{ при } \beta_2(\gamma) < \beta_0(\gamma);$$

$$\beta_1(\gamma) < \beta < \beta_0(\gamma); \beta > \beta_2(\gamma) \text{ при } \beta_2(\gamma) > \beta_0(\gamma). \quad (17)$$

Угловые скорости $\omega_1(\gamma) = \beta_1(\gamma) \omega_0$, $\omega_2(\gamma) = \beta_2(\gamma) \omega_0$, $\omega_3(\gamma) = \beta_0(\gamma) \omega_0$ разделяют прямую $0 < \omega < +\infty$ на устойчивые и неустойчивые области, зависящие от параметра γ , т. е. являются критическими. Из неравенства (16) видно, что условие устойчивости и критические скорости не зависят от эксцентричеситета подвески маятников $\delta = \varepsilon/l$. При $\gamma \rightarrow \infty$ (опоры становятся абсолютно жёсткими) отношение скоростей $\beta_0 \rightarrow \infty$, $\beta_2 \rightarrow \infty$, $\beta_1 \rightarrow 1$, и неравенства (17) переходят в условие устойчивости маятникового автобалансира на гибком валу с жёсткими опорами [2]:

$$\omega > \omega_0 = \sqrt{c/M}.$$

Для иллюстрации полученных результатов на рис. 2 и 3 приведены (в плоскости переменных β и γ) области существования и устойчивости движения при $v = 2$, $v_p = 5$, $\lambda = 5$ для $\delta = 0,4$ и $\delta = -0,4$ (ось маятников расположена в направлении, противоположном вектору дисбаланса, от центра ротора точки C). Кривые 1 и 2 (см. рис. 2) являются границами областей существования движения A и B , а кривая 3 – относительная критическая скорость $\beta_0(\gamma)$, являющаяся асимптотой этих границ. На рис. 3 кривые 1–3 ограничивают области устойчивости движения C и D . Из рис. 2 и 3 видно, что области существования и устойчивости движения не совпадают. Это различие особенно заметно при малой жёсткости опор γ . При жёстких опорах ($\gamma \rightarrow \infty$) независимо от параметра v при $\delta = 0,4$ движение существует для $\beta > 0,894$, а при $\delta = -0,4$ движение существует только когда $0,789 < \beta < 2,366$ и является устойчивым для $\beta > 1$.

Дополнительные расчёты показывают, что с возрастанием параметра v_p и при больших значениях γ область существования A уменьшается, а область B исчезает. Так, при $\gamma > 20$, $v_p = 10$ для $\delta = 0,4$ область A ограничена скоростями $0,934 \leq \beta \leq 1,789$, а для $\delta = -0,4$ – скоростями $0,859 \leq \beta \leq 1,386$.

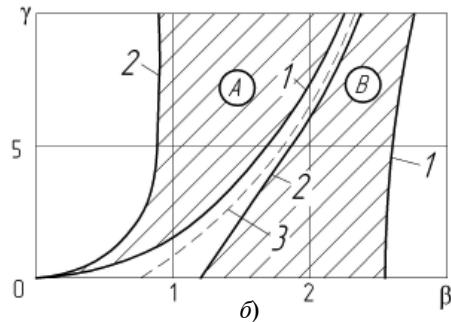
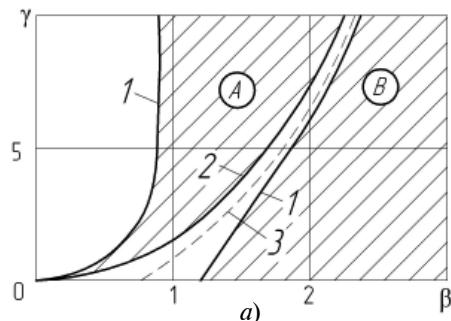


Рис. 2. Области существования основного движения:

$$\begin{aligned} a - \delta &= 0,4; \delta - \delta = -0,4; 1 - y_1(\beta, \gamma) = 0; \\ 2 - y_2(\beta, \gamma); 3 - y_0(\beta, \gamma) \end{aligned}$$

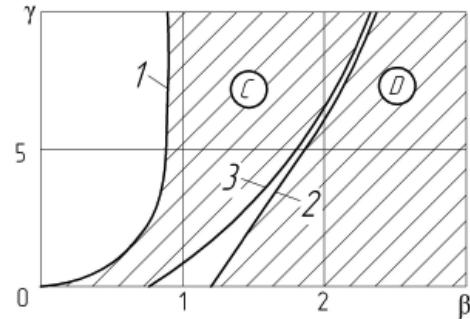


Рис. 3. Графики относительных критических скоростей в зависимости от жёсткости опор и области устойчивости движения:

$$1 - \beta_1(\gamma); 2 - \beta_2(\gamma); 3 - \beta_0(\gamma)$$

Заключение. Существование основного движения ротора с эксцентрическим расположением оси подвески маятников зависит от эксцентричеситета, угловой скорости и жёсткости опор вала. Не все такие движения являются устойчивыми. При этом устойчивость не зависит от места расположения оси маятников вдоль вектора дисбаланса ротора. Только при совпадении оси подвески маятников с валом осуществляется полная автоматическая балансировка ротора, при которой прогиб и смещение опор вала отсутствуют.

Библиографические ссылки

1. Гусаров А.А. Автобалансирующие устройства прямого действия. М.: Наука, 2002. 119 с.
2. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Машиностроение, 1976. 320 с.
3. Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981. 352 с.
4. Нестеренко В.П. Автоматическая балансировка роторов приборов и машин со многими степенями свободы. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1985. 84 с.
5. Филимонихин Г.Б. К устойчивости основного движения двухмаятникового автобалансира // Доп. НАН України. 1996. № 8. С. 74–78.
6. Диментберг Ф.М. Изгибные колебания вращающихся валов. М.: Изд-во АН СССР. 1959. 246 с.
7. Нестеренко В.П., Зиякаев Г.Р. О точности балансировки маятниковым автобалансирующим устройством // Автоматизация и современные технологии. 2001. № 3. С. 17–21.

УДК 621.733

Е.С. Корчак, канд. техн. наук

(Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Республика Украина)

helen_korchak@ukr.net

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЯ КОЛОНН ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОСИ

Проанализированы особенности эксплуатации существующих систем автоматического контроля отклонения направляющих колонн гидравлических прессов от геометрической оси, выявлены основные недостатки их работы. Разработан комплекс мероприятий и технических решений, повышающих точность измерения отклонения направляющих колонн от геометрической оси, а также надёжность, долговечность и безотказность работы гидравлических прессов.

Ключевые слова: эксцентрикитет, датчик, измерение, монтаж, направляющая колонна.

Existing systems operation features for automatic deviation control of the hydraulic presses guide columns from a geometrical axis are analysed, the basic lacks of their work are indicated. The complex of the actions and the technical decisions is developed, that raising as measurement accuracy of a guide columns deviation from a geometrical axis as reliability, durability and faultiness operation of hydraulic presses.

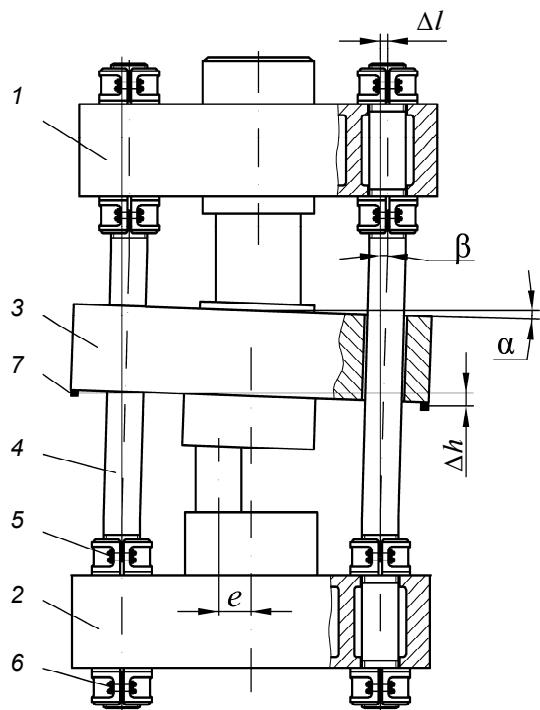
Key words: eccentricity, sensor, measurement, installation, guide column.

Работоспособность конструкций станин гидравлических прессов в основном зависит от жёсткости и надёжности работы колонн, которые служат для соединения верхней и нижней неподвижных поперечин в единую жёсткую раму, а также выполняют функцию направляющих для подвижной поперечины [1]. Поэтому необходимость длительной и надёжной эксплуатации гидравлических прессов определяет актуальность разработки и внедрения технических решений, направленных на совершенствование систем автоматического контроля процесса эксплуатации этих машин для упреждения разрушения базовых деталей, к которым относятся и направляющие колонны.

Разработка мероприятий постоянного автоматического контроля и упреждения приближения работы пресса к аварийному пределу является решающим фактором обеспечения его надёжной и безотказной работы при условии правильной эксплуатации рассматриваемого оборудования.

В процессе эксплуатации гидравлических прессов (см. рисунок) максимально допустимый эксцентрикитет e приложения технологической нагрузки определяется, исходя из условия прочности колонн 4, расчётное значение которого (максимально допустимое) превышать нельзя. Однако при эксцентричном приложении нагрузки, даже в пределах допустимых значений эксцентрикитета, происходит отклонение Δl колонн и верхней неподвижной поперечины 1 от вертикальной геометрической оси пресса. Упругая деформация колонн под действием изгибающего момента приводит к перекосу подвижной поперечины 3 и инструмента на угол α , снижая тем самым точность изготовления заготовки и вызывая появление опасных напряжений в колоннах. Поэтому важным является разработка предохранительной системы отклонения колонн от их геометрической оси [2].

Наиболее распространённым способом предотвращения аварийных ситуаций является исполь-



Деформация конструкции пресса при эксцентричном приложении технологической нагрузки:

1 – верхняя неподвижная поперечина; 2 – нижняя неподвижная поперечина; 3 – подвижная поперечина; 4 – направляющая колонна; 5, 6 – внутренняя и наружная гайки; 7 – бесконтактный датчик перемещения

зование бесконтактных датчиков перемещения, устанавливаемых на стационарной опоре рядом с прессом [3].

При касании рабочего инструмента с заготовкой давление в рабочих цилиндрах увеличивается, а колонны при наличии эксцентриситета деформируются, вызывая перекос подвижной поперечины. Чтобы этот процесс не превысил предела режима аварийности, датчик перемещения с помощью соответствующих элементов системы автоматического управления (САУ) преобразует получаемый сигнал и постоянно сравнивает текущую величину отклонения колонн от геометрической оси с расчётной критической, предварительно внесённой в программу обработки сигнала САУ. При превышении текущим значением отклонения от критического САУ обеспечивает открытие соответствующих сливных клапанов в главном клапанном распределителе, что обеспечивает падение давления в рабочих цилиндрах и уменьшение опасных напряжений в колоннах.

Однако такие САУ имеют существенные недостатки, которые заключаются в следующем. При установке датчика перемещения на стационарной опоре отклонение колонн измеряется не

на прямую, т. е. измеряется не непосредственно угол перекоса, а деформация сложной системы, состоящей из колонн и поперечин. Эта деформация нелинейно зависит как геометрически, так и физически от угла перекоса. При таком расположении датчика вибрация здания, фундамента и пресса существенно влияет на его показания, увеличивая погрешность измерений.

Поэтому отклонения колонн от геометрической оси (см. рисунок) предлагается измерять бесконтактными датчиками 7 перемещения, установленными на одной из диагоналей подвижной поперечины 3 ближе к её краю и измеряющими текущие значения расстояний между подвижной 3 и нижней неподвижной 2 поперечинами [4 и 5]. При этом угол β отклонения колонн от геометрической оси определяется зависимостью

$$\beta = \arcsin \frac{\Delta h}{L}, \quad (1)$$

где Δh – разница показаний диагонально установленных датчиков; L – расстояние от центра подвижной поперечины до датчика, измеренное вдоль её диагонали.

Исходя из этого, текущее значение эксцентриситета приложения технологического усилия запишется в виде

$$e = L \sqrt{1 - \frac{\Delta h^2}{L^2}}. \quad (2)$$

Параметры, входящие в выражения (1) и (2), определяются в зависимости от конструктивных особенностей конкретного гидравлического пресса и заносятся в программу обработки сигнала САУ. При расположении датчиков непосредственно на подвижной поперечине исключается непрямое измерение и влияние вибрации, что повышает точность измерений, а также надёжность и долговечность работы гидравлического пресса.

Для безотказной и удовлетворительной работы системы автоматического контроля отклонения направляющих колонн от геометрической оси важно точно осуществить технический монтаж станины пресса, который проводится в соответствии с разработанной методикой, предусматривающей соблюдение правил монтажных работ [6]:

колонны крепят в поперечинах 1 и 2 (см. рисунок) с помощью внешних 6 и внутренних 5 гаек. Затем выставляют размер между поперечинами 1 и 2 с помощью внутренних гаек 5. При этом в колоннах не выполняют центральные отверстия, необходимые для размещения в них электронагревателей, обеспечивающих термическую затяжку гаек;

колонны предварительно затягивают внешними гайками 6;

пресс ступенчато нагружают нажатием бойков друг на друга без заготовки (от минимального до максимального рабочего усилия) с затягиванием упруго растянутых колонн внутренними гайками после каждого нагружения пресса до выборки зазора с последующими многоразовыми перемещениями подвижной поперечины вдоль колонн. Применение плоских бойков и их нажатие друг на друга позволяют устранить эксцентризитет во время нагружения и сделать конструкцию пресса более жёсткой, что повышает эффективность и качество монтажа;

дополнительно гайки затягивают при частотном нагружении пресса в пульсирующем режиме – от максимального рабочего до предельно допустимого с одновременным окончательным затягиванием гаек до выборки зазора.

Следует отметить, что, кроме этого, конструкция подвижной поперечины и её направляющих под колонны должна быть такой, чтобы во время перекосов подвижной поперечины вследствие эксцентризитета приложения технологической нагрузки обеспечивалась необходимая жёсткость металлоконструкции пресса.

Таким образом, надёжная работа системы автоматического контроля отклонения направляющих колонн гидравлического пресса от геометрической оси определяется комплексным решением задач автоматизации (связанных главным образом с правильным выбором элементов САУ, мест

установки и взаимного расположения соответствующих датчиков), обеспечением качества монтажа (надёжной металлической основой для точного размещения средств автоматизации) и созданием прочных базовых деталей рациональной конструкции. Безотказная работа САУ позволяет значительно продлить срок службы гидравлических прессов.

Библиографические ссылки

1. Коркин Н.П., Сурков И.А., Тимохин И.В. Влияние эксцентризитета нагружения на напряжённое состояние колонн мощного гидравлического пресса // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2008. № 5. С. 40–43.
2. Корчак Е.С. Повышение эффективности монтажа и эксплуатации направляющих колонн гидравлических прессов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2010. № 2. С. 25–29.
3. Суков Г.С., Киселев О.Г., Вольвач О.Е., Колесник В.Ф. Гидравлический пресс // Патент Украины № 26466. 2007. Бюл. № 15.
4. Корчак Е.С. Способ упреждения отклонения колонн гидравлического пресса от геометрической оси // Патент Украины № 37323. 2008. Бюл. № 22.
5. Корчак Е.С. Способ определения величины отклонения колонн гидравлического пресса от геометрической оси // Патент Украины № 51523. 2010. Бюл. № 14.
6. Корчак Е.С., Сухина М.Н. Способ монтажа гидравлического пресса // Патент Украины № 31440. 2008. Бюл. № 7.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ:

учебник для вузов

Э.М. Соколов, В.М. Панарин, Н.В. Воронцова

238 с.: ил. ISBN: 5-217-03331-2

Цена 220 р.

Впервые подробно рассмотрено применение новых информационных технологий для решения задач по обеспечению безопасности жизнедеятельности, производственной безопасности и охране труда. Даны сведения по истории создания персональных

компьютеров и компьютерных сетей, представлены глобальная сеть Интернет, способы построения и методы адресации в сети. Изложены наиболее известные сайты, содержащие информацию о безопасности жизнедеятельности. Рассмотрено современное программное обеспечение, предназначенное для решения задач в области безопасности, охраны труда, аттестации условий труда на рабочих местах. Представлены наиболее известные разработчики программного обеспечения для охраны труда на предприятиях.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению 656500 "Безопасность жизнедеятельности" и специальности 330500 "Безопасность технологических процессов и производств".

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.787

В.Ф. Губанов, канд. техн. наук, доц.
(Курганский государственный университет)
drvikm@kgsu.ru

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Рассмотрена инновационная обработка деталей машин выглаживанием. Приведена схема настройки и авторская конструкция инструмента.

Ключевые слова: выглаживание, инструмент, настройка, шероховатость, микротвёрдость.
Machine details innovative treatment by burnishing is considered. The adjustment scheme and an author tool design are adduced.

Key words: burnishing, tool, adjustment, roughness, microhardness.

Выглаживание, как известно, представляет собой метод отделочно-упрочняющей обработки ответственных деталей, заключающийся в деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней индентором, вследствие чего происходит упрочнение поверхностных слоёв детали и образование износостойкого микрорельефа поверхности, в частности сглаженного профиля шероховатости поверхности [1]. Специфика выглаживания такова, что с позиции комплексного обеспечения параметров качества поверхностного слоя рабочих поверхностей ответственных деталей всегда приходится решать компромиссные задачи, поскольку, например, увеличение радиуса индентора приводит к уменьшению высотных параметров шероховатости поверхности, но одновременно и к уменьшению микротвёрдости поверхностного слоя.

Следовательно, для повышения эффективности процесса выглаживания необходимо разрабатывать и применять новые конструкции инструментов, например такие, как выглаживатель (рис. 1).

Конструкция выглаживателя включает следующие элементы: инденторы 1, 2, винты 3, 4, 7, державку 5, пружину 6. С помощью винта 3 индентор 1 закрепляется в державке, а индентор 2 фиксируется от выпадения из державки винтом 4. В державку вставляется пружина 6. Посредством ввинчивания винта 7 в державку осуществляется сжатие пружины на величину требуемой силы отделочно-упрочняющей обработки. Таким образом, для индентора 1 обеспечивается жёсткая кинематическая связь между ним и деталью, а для индентора 2 – упругая кинематическая связь между ним и деталью. Следовательно, это позволяет осуществить жёстко-упругую кинематическую связь между инструментом и деталью, что обеспечивает отсутствие внедрения в материал детали второго индентора при износе первого. Жёстко-

упругая кинематическая связь между инструментом и деталью при выглаживании является инновационным решением, поскольку к текущему моменту применяются схемы выглаживания либо с жёсткой, либо с упругой кинематической связью между инструментом и деталью. В результате того что инденторы расположены на расстоянии ΔX друг от друга в направлении оси центров станка, высотные параметры шероховатости поверхности уменьшаются, так как второй индентор гарантированно проходит по выступу профиля шероховатости поверхности, образованной первым индентором.

Выглаживатель функционирует следующим образом: инструмент устанавливается по оси центров токарного станка так, чтобы инденторы 1 и 2 находились на одинаковом расстоянии относительно оси центров станка: индентор 2 выше, а индентор 1 ниже оси центров станка. При обработке детали – тела вращения на рабочей подаче – индентор 2 уменьшает значение высотных параметров шероховатости поверхности, образованной индентором 1. В этом случае теоретическое значение параметра шероховатости Rz (высота неровностей профиля по десяти точкам, мм) при одинаковом радиусе инденторов, обусловленное радиусом инденторов (R , мм), подачей (S_0 , мм/об) и конструкцией выглаживателя, определяется из зависимости

$$Rz = R - \sqrt{R^2 - \frac{S_0^2}{16}}.$$

Таким образом, высотные параметры шероховатости поверхности уменьшаются в 4 раза по сравнению с обработкой инструментами классической конструкции.

Предложенная конструкция инструмента позволяет комплексно обеспечить параметры каче-

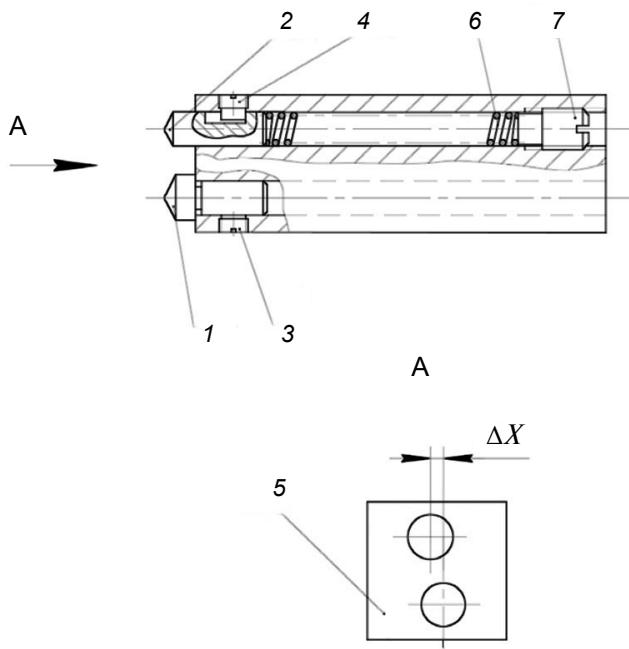


Рис. 1. Выглаживатель

ства поверхностного слоя рабочих поверхностей ответственных деталей за счёт разных радиусов инденторов: первый индентор необходимо взять меньшего радиуса, чем второй. Таким образом, первым индентором будут обеспечены максимальные значения микротвёрдости поверхностного слоя и остаточных напряжений, а вторым – минимальные значения высотных параметров шероховатости выглаженной поверхности.

Практика использования конструкции выглаживания с двумя инденторами с жёсткой кинематической связью между инструментом и деталью [2] позволяет рекомендовать для рассмотренной конструкции (см. рис. 1) следующие диапазоны режимов выглаживания: подача – до 0,13 мм/об; натяг (глубина внедрения индентора в обрабатываемую поверхность) – от 55 до 100 мкм; скорость выглаживания – до 70 м/мин [3]. Выглаживание на указанных режимах позволит обеспечить значение среднего арифметического отклонения профиля шероховатости поверхности ($R_a < 0,1$ мкм) с одновременным значительным упрочнением поверхностного слоя детали.

Поскольку натяг при выглаживании составляет всего десятки микрометров, точность его настройки во многом определит полученное после выглаживания качество поверхностного слоя детали. Следовательно, принципиальное значение имеет настройка инструмента на «нулевой» натяг (точка отсчёта значения заданного натяга), которую можно реализовать на токарных станках с ЧПУ (рис. 2) [4, 5].

Система автоматического обеспечения заданного натяга включает следующие элементы: элек-

троконтактный датчик 1 касания инструментом заготовки 8, исполнительный электродвигатель привода подачи 2, тиристорный преобразователь 3, датчик обратной связи по положению привода подачи 4 (вращающийся трансформатор, индуктосин, фотоэмиссионный датчик), устройство ЧПУ 5, контроллер электроавтоматики 6, контроллер электроприводов 7. Данная система автоматического обеспечения заданного натяга явилась инновационным решением, поскольку в ходе проверки патентоспособности изобретения ближайший аналог не был обнаружен [5].

Система автоматического обеспечения заданного натяга функционирует следующим образом: в управляющей программе задаётся безударный подвод инструмента на скорости быстрого хода к обрабатываемой заготовке в точку, отстоящую от поверхности заготовки по координате X на величину $\Delta = 0,5 \dots 0,1$ мм. Далее в управляющей программе задаётся перемещение по координате X с минимальной подачей на величину $\Delta_{\text{зад}}$, гарантированно превышающую Δ . Контроллер электроприводов 7 формирует соответствующий задающий сигнал $U_{\text{зад}}$ на тиристорный преобразователь 3 по координате X . Электродвигатель привода подачи 2 начинает отрабатывать заданное перемещение. При этом происходит сравнение заданного перемещения и его фактического значения, получаемого по каналу обратной связи от датчика обратной связи 4 (U_{oc}). Одновременно проверяется состояние электроконтактного датчика касания 1. Для этого осуществляется опрос датчика или же организуется работа данной системы по прерыванию, чем достигается высокая точность системы.

В момент касания инструментом заготовки дискретный сигнал с электроконтактного датчика 1 поступает в контроллер автоматики 6, что вызывает: прекращение выполнения процедуры интерполяции; формирование $U_{\text{зад}} = 0$, а следовательно, останов электродвигателя привода подачи; формирование признака «Конец отработки кадра». Далее задаётся значение заданного натяга и начинается процесс выглаживания на рабочих режимах.

При применении рассмотренного выглаживателя (см. рис. 1), настраиваемого на токарных станках с ЧПУ с помощью системы автоматического обеспечения заданного натяга (см. рис. 2), можно использовать статистическое управление процессом выглаживания [6]. В этом случае применяют контрольные карты Шухарта для установления особых причин изменчивости, которые приводят к нестабильному выходу процесса во времени (нестабильные значения параметров качества поверхностного слоя выглаженных деталей). Особые причины изменчивости устраняются линейным персоналом предприятия, непосредственно связанным с процессом выглаживания. Для установ-

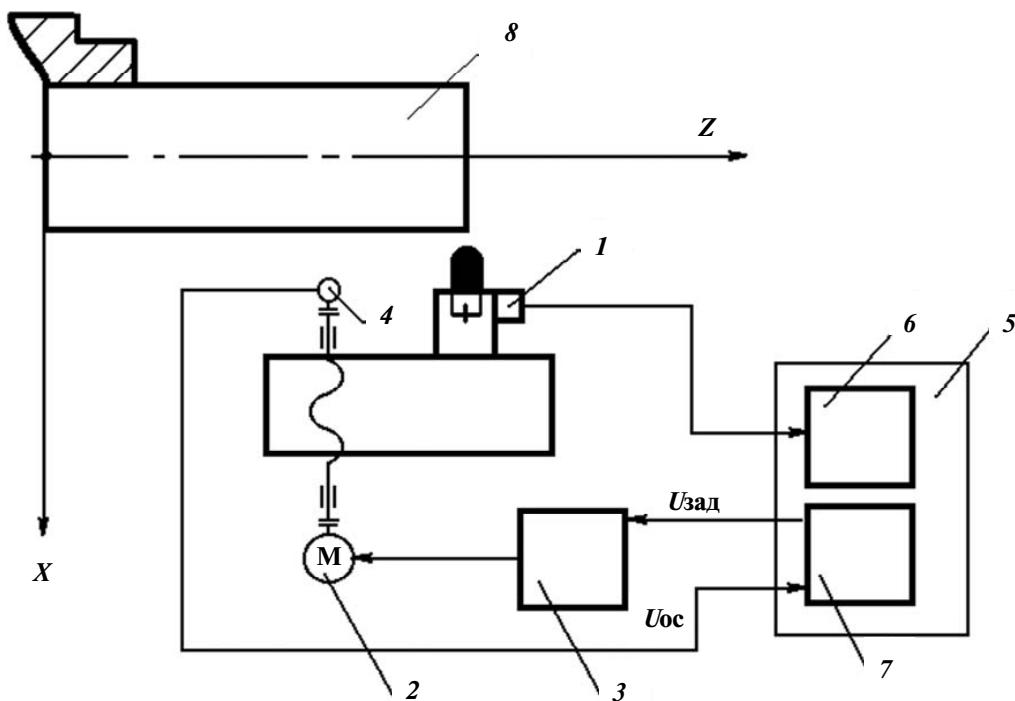


Рис. 2. Система автоматического обеспечения заданного натяга

ления обычных (случайных) причин изменчивости продолжают использовать контрольные карты Шухарта. Для создания запаса стабильности процесса выглаживания реализуют менеджерские действия по устранению обычных причин изменчивости. Затем рассчитывают индексы воспроизведимости и пригодности процесса. Далее реализуют постоянное улучшение процесса выглаживания, используя контрольные карты с памятью (Kusum – карты средних значений) для раннего обнаружения небольших изменений в процессе выглаживания и последующего их устранения. Для определения параметров качества поверхности слоя деталей при их изготовлении применяют техническую диагностику (в том числе вибродиагностику [7]).

Таким образом, предложенная конструкция выглаживателя с жёстко-упругой кинематической связью между инструментом и деталью обеспечивает отсутствие внедрения в материал детали второго индентора при износе первого и уменьшение до 4 раз высотных параметров шероховатости поверхности по сравнению с обработкой классическими конструкциями инструментов, что позволяет достигнуть значения $Ra < 0,1$ мкм с одновременным упрочнением поверхностного слоя детали, а рассмотренный способ настройки инструмента позволяет с высокой точностью (погрешность не превышает 1–2 %) устанавливать значение заданного натяга.

Применение данного выглаживателя в сочетании со статистическим управлением процессом даёт возможность осуществить оптимальный по

технологической себестоимости процесс выглаживания рабочих поверхностей ответственных деталей и обеспечивает отсутствие несоответствующей продукции.

Библиографический список

- 1. Выглаживание:** специфика, управление качеством и инновации: учеб. пособие / В.Ф. Губанов, В.В. Марфицын и др. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. 106 с.
- 2. Выглаживатель:** пат. Рос. Федерации № 64553 U1 B24B 39/00 / В.Ф. Губанов; опубл. 2007. Бюл. № 19.
- 3. Губанов В.Ф.** Комплексное обеспечение профиля шероховатости и микротвёрдости поверхности при алмазном выглаживании // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 1. С. 49–52.
- 4. Марфицын В.В., Губанов В.Ф.** Настройка выглаживающего инструмента на токарных станках с ЧПУ // Технология машиностроения. 2005. № 6. С. 13–14.
- 5. Устройство** для настройки выглаживающего инструмента на токарных станках с ЧПУ: пат. Рос. Федерации № 2257286 C1 B23P9/02, B23Q15/22 / В.В. Марфицын, В.Н. Орлов, В.Ф. Губанов, А.Г. Мосталыгин; опубл. 2005. Бюл. № 21.
- 6. Губанов В.Ф.** Статистическое управление процессом алмазного выглаживания // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 2. С. 17–19.
- 7. Губанов В.Ф.** Применение вибродиагностики для обеспечения качества отделочно-упрочняющей обработки ответственных деталей // Контроль. Диагностика. 2010. № 5. С. 57–60.

УДК 622:681.5

М.К. Багдасарян, д-р техн. наук, проф.

(Государственный инженерный университет Республики Армения (Политехник),
г. Ереван, Республика Армения)

bmarinka@yandex.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ С РАЦИОНАЛЬНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рассмотрена система управления процессом измельчения минерального сырья, способствующая рациональному расходу электроэнергии и увеличению количественно-качественных показателей измельчённого материала.

Ключевые слова: управление процессом измельчения, футеровка, спектральная плотность, подсистемы локального управления, электроэнергия, активная мощность, сигнал.

The control system of the mineral raw materials crushing process, promoting the rational expenditure of the electric power and quantitatively-qualitative indicators increase of the crushed material is considered.

Key words: crushing process control, lining, spectral density, local control subsystems, the electric power, active capacity, signal.

Введение. В производстве металлических концентратов, некоторых строительных и силикатных материалов постоянно наблюдается технико-экономический интерес к управлению процессом измельчения. Основной целью управления процессом измельчения минерального сырья является установление и поддержание технологических режимов, обеспечивающих максимальную производительность требуемого качества с минимальным расходом электроэнергии.

Процесс измельчения минерального сырья подвергается неконтролируемым возмущающим воздействиям, в связи с чем количественные и качественные показатели выходного продукта, а также расход электроэнергии могут отличаться даже в случае одинакового количества и типа нагружаемого сырья. Очевидно, что для эффективного управления процессом измельчения требуется особый подход, учитывающий возможности рабочих режимов барабанной мельницы и применения оптимальных решений в соответствии с возникшей технологической ситуацией.

Режим работы барабанной мельницы зависит от ряда факторов, которые определяют силы трения, возникающие между внутренней поверхностью барабана мельницы и прилегающим к ней внешним слоем минерального сырья. Силы трения между смежными слоями внутри барабана приводят к измельчению материала истиранием, в то время как силы трения между измельчающими телами и футеровкой барабана, обеспечивающей защиту барабана от износа, приводят не только к истиранию материала, но и к износу футеровки. По мере износа футеровки увеличиваются диаметр барабана

мельницы и, как следствие, потребляемая мельницей электрическая мощность. Во избежание неоправданных расходов электроэнергии, потребляемой мельницей, необходимо при управлении процессом измельчения учитывать изменение рабочего режима, связанного с постоянным износом поверхности футеровки.

Разработке и исследованию новых методов управления процессом измельчения минерального сырья посвящено много работ [1–3]. В работе [4] при управлении рабочими режимами рассматривается возможность своевременного выявления необходимой степени износа футеровки для замены её новой. Несмотря на то, что скольжение измельчаемого и измельчающего материалов по футеровке отрицательно сказывается на технико-экономических показателях, в известных работах при управлении рабочими режимами барабанных мельниц не учитывается состояние поверхности футеровки. Поэтому актуально выявление состояния футеровки во время помола и адекватное управление барабанной мельницей, а также определение оптимальных управляемых параметров с учётом возникшей ситуации, способствующих уменьшению неоправданных расходов электроэнергии в процессе измельчения руды. Решение этой проблемы возможно только путём разработки системы оптимального управления процессом измельчения, включающей подсистему локального управления барабанной мельницей с учётом состояния футеровки, что и является целью настоящей работы.

Разработка подсистемы локального управления мельницей. На основе результатов расчёта прове-

дён анализ спектра активной мощности, показывающий, что в нём существуют большие колебания на участках частоты в областях, близких к частоте вращения барабана мельницы и к частоте колебания центра тяжести активной загрузки мельницы. Кроме того, существует небольшой всплеск мощности в области, близкой к частоте выступа футеровки мельницы в измельчаемый материал. На рис. 1 приведены нормированные спектральные плотности активной мощности двигателя шаровой мельницы МШР30×38 в диапазоне частот 0–0,8 Гц, полученные на разработанной модели при разных значениях коэффициента заполнения K мельницы. Как показывают зависимости, с увеличением коэффициента заполнения амплитуда сигнала активной мощности увеличивается в области, близкой к частоте вращения барабана мельницы ($\omega = 0,3$ – $0,35$ Гц), однако этот сигнал в области, близкой к частоте ($\omega = 0,565$ – $0,594$ Гц) колебания центра тяжести внутримельничной нагрузки, увеличивается при средних значениях коэффициента заполнения и уменьшается при больших и малых его значениях.

Сравнительный анализ нормированной спектральной плотности активной мощности при новой (рис. 2, *a*) и изношенной (рис. 2, *б*) футеровках показывает, что при частоте, близкой к частоте ($\omega = 3,3$ – $3,7$ Гц) выступов футеровки в из-

мельчаемый материал, амплитуда сигнала активной мощности уменьшается при изнашивании футеровки.

На основе результатов проведённых исследований предложен способ управления рабочими режимами мельницы с учётом ситуации, возникающей в областях, близких к частоте колебаний внутримельничной загрузки и к частоте выступа футеровки мельницы в измельчаемый материал.

Сущность способа заключается в том, что увеличение производительности мельницы и тем самым уменьшение удельного расхода электроэнергии осуществляются за счёт увеличения амплитуды колебания внутримельничной загрузки путём периодического изменения мгновенной частоты вращения приводного двигателя мельницы синфазно с частотой колебания центра тяжести внутримельничной загрузки; своевременного выявления необходимой степени изношенности футеровки.

Структурная схема подсистемы локального управления мельницей на основе разработанного способа представлена на рис. 3. Схема работает следующим образом. Активная мощность приводного двигателя преобразуется в напряжение с помощью трёхфазного преобразователя мощности, подключённого к синхронному двигателю. С выхода преобразователя сигнал, пропорциональ-

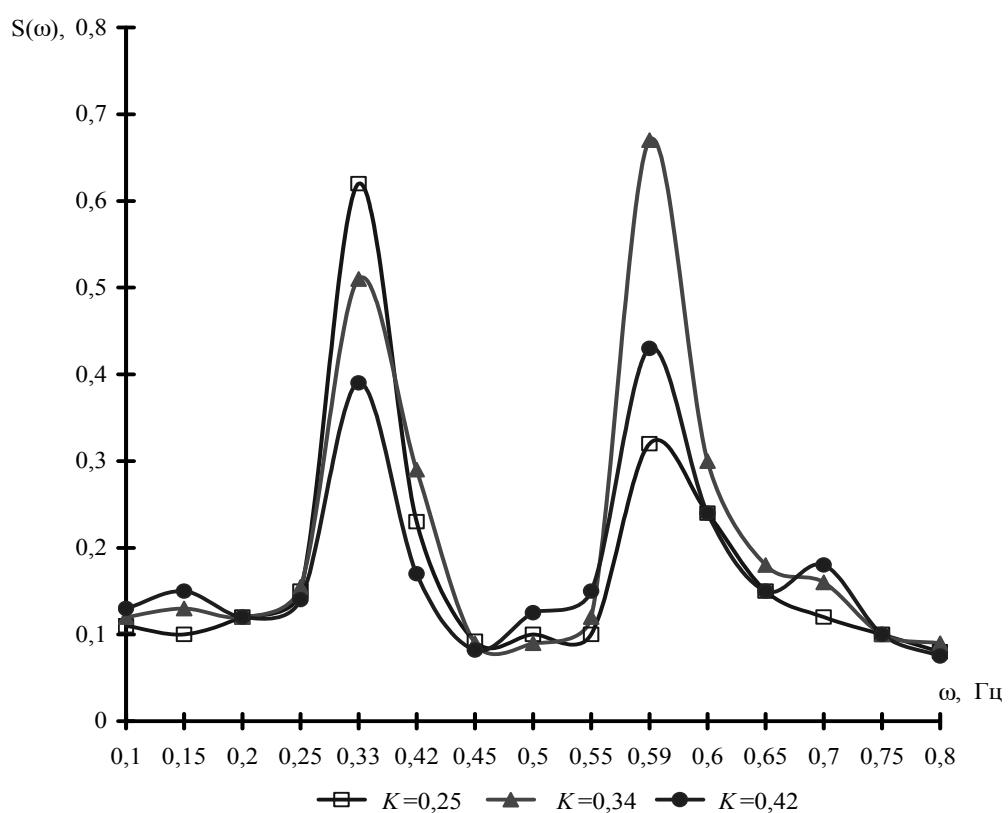


Рис. 1. Нормированные спектральные плотности активной мощности двигателя шаровой мельницы

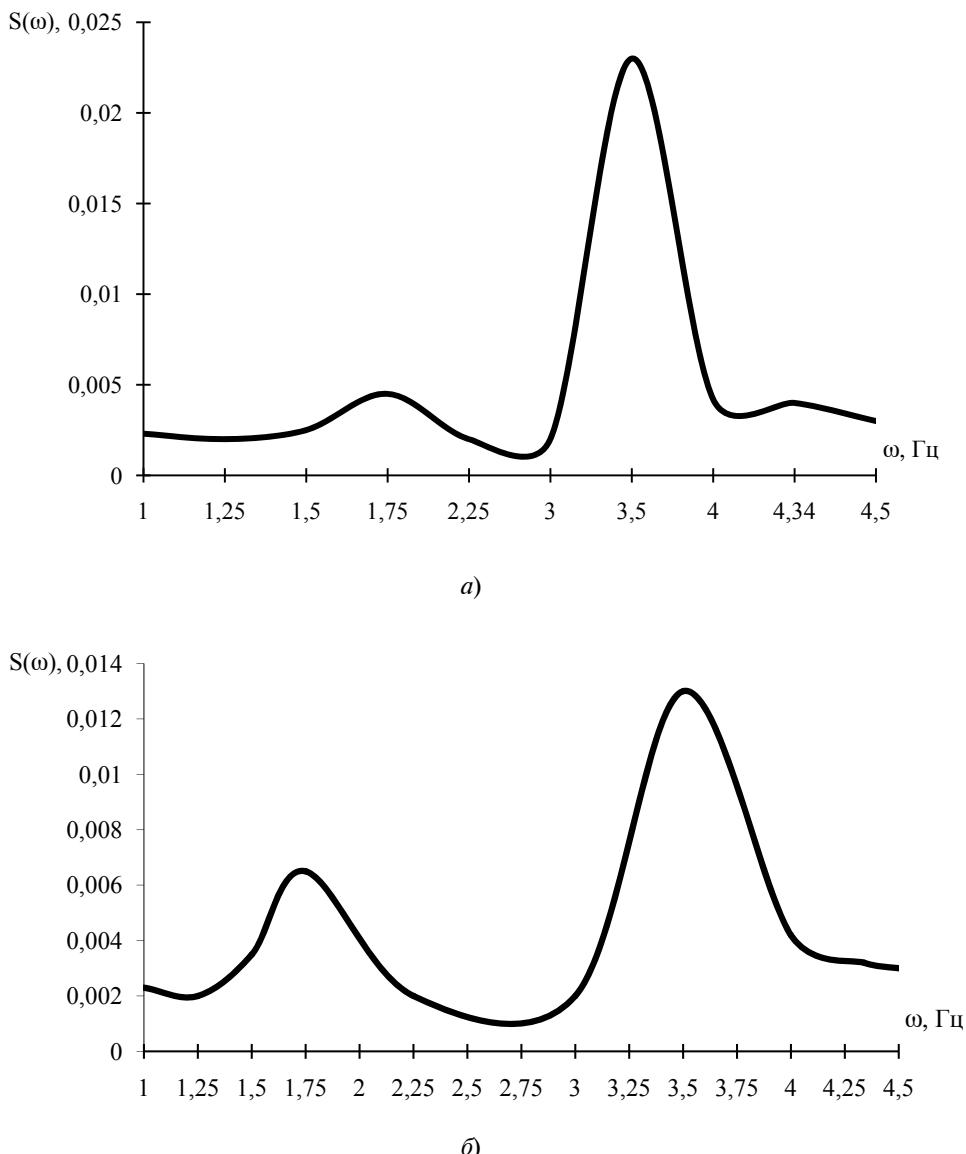


Рис. 2. Нормированные спектральные плотности активной мощности при новой (а) и изношенной (б) футеровках

ный активной мощности, подаётся на вход спектрального анализатора, предназначенного для выделения сигнала, соответствующего частоте, близкой к частоте входа футеровки мельницы в измельчаемый материал. Выделяемый сигнал регистрируется в блоке определения разности и определяется по формуле

$$\Delta S(\omega) = S_h(\omega) - S_p(\omega),$$

где $S_h(\omega)$ – амплитудное значение сигнала активной мощности при новой футеровке; $S_p(\omega)$ – амплитудное значение текущего сигнала активной мощности.

Полученное значение $\Delta S(\omega)$ в блоке 6 сравнивается с заданным $\Delta S_3(\omega)$, и, если $\Delta S(\omega) > \Delta S_3(\omega)$, регистр получает соответствующую информацию об изменении частоты вращения барабана мель-

ницы или о необходимости прекращения процесса помола с целью замены футеровочных плит новыми. Получив соответствующую информацию, частотный регулятор обеспечивает регулирование относительной частоты вращения барабана или его остановку.

Апробация разработанного способа управления на ряде предприятий Армении подтвердила высокую эффективность предложенного способа.

Разработка системы оптимального управления процессом измельчения, включающей подсистему локального управления барабанной мельницей. Структурная схема управления процессом измельчения минерального сырья представлена на рис. 4. Система содержит питатель 1 руды, датчики 3, 4, 7 расхода руды и воды в мельнице и классификаторе; датчики степени заполнения 6, содержания основного полезного компонента в

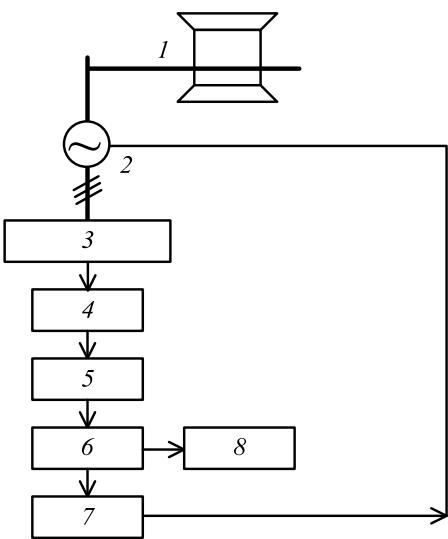


Рис. 3. Структурная схема подсистемы локального управления мельницей с учётом состояния футоровки:

1 – мельница; 2 – приводной двигатель; 3 – трёхфазный преобразователь мощности; 4 – спектральный анализатор; 5 – блок для определения разности; 6 – сравниватель; 7 – частотный регулятор; 8 – регистр

руде 10, гранулометрического состава исходной руды 11, гранулометрического состава 22, 23 на сливе до и после классификации; датчики 20, 21 плотности пульпы в сливе классификатора и мельницы, а также датчики веса 12 и влажности 13 недоизмельчённого материала, регулирующие блоки 2, 5, 8 расхода руды, воды в мельнице и классификаторе; регулирующий блок степени заполнения 9, блок сравнения 14, усилитель 15, двигатель 16 мельницы, подсистему локального управления мельницей 17, подсистему локального управления барабанной мельницей 18, регулятор 19 частоты вращения привода мельницы, вычислительный блок 24.

Соответствующая подача руды и воды в мельницу формируется условиями протекания процесса измельчения. Выходные сигналы с датчиков расхода руды, плотности пульпы в сливе классификатора и мельницы, содержания основного полезного компонента, а также гранулометрических составов исходной руды и на сливе до и после классификации подаются в вычислительный блок, где затем преобразования в цифровую форму усредняются. При этом, используя дополнительную информацию, накопленную на регистрах вычислительного блока, определяются оптимальные управляемые параметры.

Выходные сигналы датчиков веса и влажности недоизмельчённого материала в виде циркули-

рующего песка, возвращающегося в мельницу, регистрируются в вычислительном блоке. Изменение одного из сигналов является началом определения новой совокупности управляемых параметров. В создавшейся ситуации в вычислительном блоке усредняются новые измеряемые значения из датчиков расхода руды, плотности пульпы в сливе классификатора и мельницы и заполнения мельницы, каждое из которых сравнивается с соответствующими параметрами предыдущих усреднённых значений, после чего для каждого оптимизируемого параметра определяется шаг изменения. В частности, если оптимизируемыми параметрами являются степень заполнения K , относительная частота вращения мельницы ψ , плотность пульпы в мельнице δ_1 и классификаторе δ_2 , то их шаг изменения определяется в виде

$$\Delta_K = \left[\frac{K^{\max} - K^{\min}}{\varepsilon_K} \right], \quad \Delta_\psi = \left[\frac{\psi^{\max} - \psi^{\min}}{\varepsilon_\psi} \right],$$

$$\Delta_{\delta 1} = \left[\frac{\delta_1^{\max} - \delta_1^{\min}}{\varepsilon_{\delta 1}} \right], \quad \Delta_{\delta 2} = \left[\frac{\delta_2^{\max} - \delta_2^{\min}}{\varepsilon_{\delta 2}} \right],$$

где $|K^{m-1} - K^m| < \varepsilon_K$, $|\psi^{m-1} - \psi^m| < \varepsilon_\psi$, $|\delta_1^{m-1} - \delta_1^m| < \varepsilon_{\delta 1}$, $|\delta_2^{m-1} - \delta_2^m| < \varepsilon_{\delta 2}$; $K^{\max}, \psi^{\max}, \delta_1^{\max}, \delta_2^{\max}, K^{\min}, \psi^{\min}, \delta_1^{\min}, \delta_2^{\min}$ – заданные максимальные и минимальные значения степени заполнения мельницы, относительной частоты вращения барабана, плотности пульпы в мельнице и классификаторе соответственно; $K^{m-1}, \psi^{m-1}, \delta_1^{m-1}, \delta_2^{m-1}, K^m, \psi^m, \delta_1^m, \delta_2^m$ – предыдущие и текущие значения соответственно степени заполнения K , относительной частоты вращения мельницы ψ , плотности пульпы в мельнице δ_1 и классификаторе δ_2 .

Далее определяются оптимальные значения по соответствующим алгоритмам [5]. Последние преобразуются в аналоговые и передаются на соответствующие регулирующие блоки. В памяти вычислительного блока сохраняются предыдущие значения, измеряемые датчиками веса и влажности недоизмельчённого материала, возвращающегося в мельницу. Поэтому каждое новое измеряемое значение в блоке сравнения сравнивается с предыдущим. При наличии разности, равной или большей установленной величины, выходной сигнал усиливается в усилителе, и затем подаются сигналы с датчиков расхода руды, плотности пульпы в сливе классификатора и мельницы, содержания основного полезного компонента, а также гранулометрических составов исходной руды и на сливе до и после классификации для проведения новых измерений.

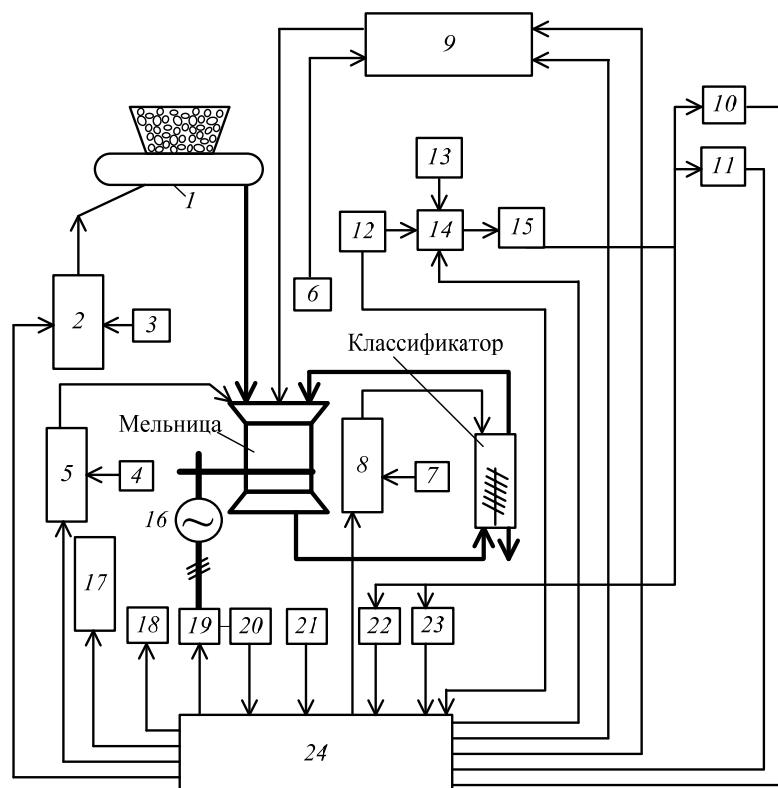


Рис. 4. Структурная схема управления процессом измельчения минерального сырья

Выводы. Разработанная система оптимального управления процессом измельчения позволяет:

улучшить процесс управления помола минерального сырья в барабанной мельнице за счёт своевременного выявления степени износа футеровки:

с учётом создавшейся ситуации обеспечить оптимальное управление процессом, способствуя тем самым избежанию дополнительных расходов электроэнергии и увеличению количественно-качественных показателей измельчённого материала.

Библиографические ссылки

- 1. Palme Oliver, Kloden Wolfgang.** Modelling and control of the comminution proces in a ball mill // Proc. Int. Miner. Process. Congr. Aachen, 21–26 Sept. 1997. Vol. 2. P. 307–315.

2. Марюта А.М. Автоматическая автоматизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках. М.: Металлургия, 1975. 231 с.

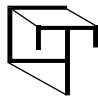
3. Морозов Е.Ф. Механика шаровой мельницы с учётом влияния профиля футеровки на режим дробящей среды // Оптимизация систем электроснабжения и режимов электропотребления в цветной металлургии: сб. науч. тр. М., 1970. С. 243–254.

4. Baghdasaryan M.K. Treatment of governing method for increasing productivity of electric energy expense in the ore grinding process // Vestnik IAELPS. Saint-Petersburg, 2003. Vol. 8 № 4. P. 73–76.

5. Багдасарян М.К. Оптимизация процесса измельчения руды // Автоматизация и современные технологии. 2005. № 12. С. 9–11.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присылаемых для публикации, можно найти на сайте www.mashin.ru



УДК 681.518.5

В.И. Плющаев, д-р техн. наук

(Волжская государственная академия водного транспорта, г. Нижний Новгород)

vip@aqua.sci-nnov.ru

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ПЕРЕДАЧИ СУДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЕРЕГОВЫМ СЛУЖБАМ

Рассмотрены вопросы создания судового комплекса сбора и передачи навигационных и технологических параметров судна береговым диспетчерским пунктам.

Ключевые слова: судно, технологические параметры, передача данных, система мониторинга.

Creature questions of the ship complex for collection and transfer of vessel navigating and technological parameters to coastal dispatching offices are considered.

Key words: vessel, technological parameters, data transmission, monitoring system.

Для обеспечения эффективного управления речным флотом требуется создание информационных систем, обеспечивающих непрерывный контроль за перемещением судов и их техническим состоянием. В настоящее время функционирует несколько систем мониторинга судов, предназначенных для отслеживания в автоматическом режиме местоположения судов и ряда технических параметров (для судовладельцев особый интерес представляет информация о расходе топлива) [1 и 2].

Для практической реализации данной задачи необходимо рассмотреть две проблемы: создание судовой системы сбора и обработки технологической информации и обеспечение канала передачи информации береговым потребителям (диспетчерским пунктам и судовладельцам). Основой для судовой системы могут служить промышленный контроллер, сопряжённый со средствами передачи данных, и набор датчиков для контроля технологических параметров.

Рассмотрим систему контроля расхода топлива. Для этой системы используются датчики уровня в топливных цистернах и расхода в питающих линиях судовой энергетической установки. Датчики уровня позволяют оценить общий расход топлива из цистерн и не учитывают дифференцированно потребление топлива каждым дизелем или дизель-генератором. Кроме того, этот способ контроля слабо защищён от преднамеренного вмешательства в процесс измерения обслуживающего персонала.

Серьёзные трудности возникают при использовании датчиков расхода. Существуют различные схемы питания дизелей: с возвратом части топли-

ва в цистерны и без возврата. В первом случае требуется два датчика – один должен работать под давлением (в подающей линии), второй – без давления. При этом при возврате в результате расширения топливо эмульгируется, что требует установки газопоглотителей. Работа топливных насосов высокого давления дизелей вызывает значительные пульсации давления в питающей линии, что приводит к серьёзным ошибкам лопастных измерителей расхода.

Расход топлива можно определить и косвенным методом [3]. Тогда мощность дизеля записывается в виде

$$P_E = kg_{\text{ц}} \eta_E n, \quad (1)$$

где $g_{\text{ц}}$ – цикловая подача топлива; η_E – эффективный КПД дизеля; n – частота вращения вала дизеля; k – коэффициент, зависящий от низшей теплотворной способности топлива и числа цилиндров.

Максимально достижимая мощность на каждой частоте вращения при работе по внешней характеристике дизеля (на упоре рейки топливного насоса)

$$P_{E \text{ вн}} = kg_{\text{ц max}} \eta_{E \text{ max}} n, \quad (2)$$

где $g_{\text{ц max}}$ – цикловая подача топлива на упоре рейки топливного насоса; $\eta_{E \text{ max}}$ – эффективный КПД для максимальной цикловой подачи топлива.

Тогда для каждой частоты вращения вала дизеля n_i (работа по нагрузочной характеристике), используя выражения (1) и (2), можно записать

$$\frac{P_E(n_i)}{P_{E_{\text{вн}}}(n_i)} = \frac{kg_{\text{ц}} \eta_E n_i}{kg_{\text{цmax}} \eta_{E \text{ max}} n_i}. \quad (3)$$

При прочих равных условиях для двигателей с турбонаддувом при работе по нагрузочной характеристике в рабочем диапазоне мощностей изменение эффективного КПД незначительно. Тогда

$$P_E(n_i) = \frac{g_{\text{ц}}}{g_{\text{цmax}}} P_{E_{\text{вн}}}(n_i). \quad (4)$$

Подача топлива за цикл определяется характеристикой топливной системы двигателя:

$$g_{\text{ц}} = f[n_i, m_p, F(t)], \quad (5)$$

где m_p – координата положения рейки топливного насоса; $F(t)$ – функция внешних воздействий, учитываящая влияние остальных внешних и конструктивных факторов на характеристику топливной системы (частота вращения турбокомпрессора, сорт топлива, углы опережения впрыска топлива и т. д.).

Координаты n_i , m_p , $F(t)$, входящие в выражение (5), в разной степени влияют на характеристику топливной системы двигателя. Поэтому необходимо выбрать такие условия измерений, чтобы в выражении (5) можно было выделить легко измеряемый параметр и снизить влияние других параметров или учесть их влияние иным образом (например, при калибровке системы). Действительно, при периодической калибровке системы (снятие внешней характеристики $P_{E_{\text{вн}}}$ при $g_{\text{ц}} = g_{\text{цmax}}$ на судне) влияние конструктивных особенностей дизеля и его топливной системы, вида топлива и др. можно свести к малой величине. Определение $P_E(n_i)$ по выражению (4) на одной частоте вращения позволяет исключить из выражения (5) n_i .

Таким образом, выражение (5) можно записать как $g_{\text{ц}} = f[m_p]$, и с достаточной степенью точности считать зависимость цикловой подачи топлива от положения рейки топливного насоса линейной:

$$g_{\text{ц}} = k_m m_p, \quad (6)$$

где k_m – коэффициент пропорциональности.

С учетом (6) выражение (4) примет вид:

$$P_E(n_i) = \frac{m_p}{m_{p \text{ max}}} P_{E_{\text{вн}}}(n_i). \quad (7)$$

Для нового дизеля, имея паспортную зависимость $P_{E_{\text{вн}}}(n)$ при $m_{p \text{ max}}$, можно определить зна-

чение мощности дизеля на любой частоте вращения.

Для двигателей, находящихся в эксплуатации, в силу условий их работы может измениться значение мощности, которая достигается на упоре рейки топливного насоса:

$$P_{E_{\text{вн}}}^*(n_i) = k_p P_{E_{\text{вн}}}(n_i). \quad (8)$$

Тогда уравнение (7) запишется в виде

$$P_E^*(n_i) = \frac{m_p}{m_{p \text{ max}}} k_p P_{E_{\text{вн}}}(n_i). \quad (9)$$

Периодическая процедура калибровки системы позволит определить коэффициент k_p , а уравнение (9) может быть использовано для определения мощности на любом этапе эксплуатации дизеля.

Таким образом, решить задачу надёжного измерения расхода топлива можно сочетанием двух способов контроля расхода топлива (прямого с помощью датчиков уровня в топливных цистернах и косвенного по нагрузке дизеля), исключающих возможность манипуляций с данными о расходе топлива.

Для реализации указанного подхода на топливных цистернах должны быть установлены датчики уровня, позволяющие непосредственно контролировать расход топлива, а каждый дизель оборудуется датчиками частоты вращения и положения топливной рейки. Промышленный контроллер, обрабатывая показания датчиков, может определить мощность, развиваемую дизелем, и расход топлива.

Для передачи информации с судна на берег известные системы мониторинга используют сети GSM/CDMA, каналы спутниковой связи Globalstar/Inmarsat или сети транкинговой связи [1 и 2], что предполагает дополнительные и существенные затраты судовладельца на оплату трафика.

В настоящее время в Российской Федерации реализуется программа оснащения базовыми автоматическими идентификационными станциями (АИС) внутренних водных путей (ВВП), которая позволяет сформировать единое поле АИС на ВВП. Системами АИС оснащаются и суда внутреннего водного транспорта.

Диспетчерские пункты (береговые АИС) имеют возможность получать и архивировать статическую, динамическую и рейсовую информацию со всех находящихся в зоне действия станции судов, оснащённых АИС. Береговые и судовые АИС в автоматическом режиме обмениваются стандартными сообщениями, которые обозначаются порядковыми номерами. Береговая станция периодически генерирует запросные сообщения № 15, в ответ на которые получает от судовых

станций АИС сообщения № 3 и № 5. В сообщении № 3 содержится информация о MMSI (Maritime Mobile Service Identity) номере судна, навигационном статусе судна, скорости и направлении поворота судна, скорости относительно грунта, характеристики точности местоопределения, путевом угле, истинном курсе, времени UTC (Coordinated Universal Time), флаге RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring). В сообщении № 5 содержится MMSI номер судна, ИМО номер, название судна, тип груза, размер судна, вид используемой радионавигационной системы, время прибытия, осадка судна, пункт назначения. Формирование инициирующих последовательностей AIR (для передачи береговой АИС запросного сообщения № 15), обработка принятых от судовых АИС последовательностей № 3 и № 5, формирование базы данных по судам осуществляется программным обеспечением ПЭВМ диспетчерского пункта.

Для передачи дополнительной технологической информации, не регламентированной стандартами АИС (в том числе и о расходе топлива) может быть использовано сообщение № 6 (Addressed Binary Message) – адресное двоичное сообщение объёмом до 920 бит. Формирование пакета данных для сообщения № 6 и инициацию его передачи с помощью АИС может выполнить промышленный контроллер (обслуживающий датчики и рассчитывающий расход топлива), сопряжённый с АИС по каналу RS-422.

Береговая станция АИС (в соответствии со списком зарегистрированных в системе мониторинга судов и заданным периодом опроса) гене-

рирует запросное сообщение № 15 судовой станции АИС опрашиваемого судна на передачу сообщений № 3 и № 5. Приняв сообщение № 15, судовая станция передает сообщение № 3 и № 5 со статическими, динамическими и рейсовыми данными о судне, а бортовой контроллер, сопряжённый с судовой станцией АИС, инициирует передачу сообщения № 6 с технологической информацией о параметрах и состоянии судовых систем (в том числе и расходе топлива). На сервере диспетческого пункта из полученной информации формируется база данных диспетческой службы и генерируется пакет данных для передачи по наземным каналам связи заказчику – судовладельцу, в котором содержится информация как о координатах судна на момент передачи и контрольных точках пройденного маршрута, так и о расходе топлива и состоянии основных судовых систем и пр.

Преимуществом предложенной системы контроля и передачи технологической информации в системе мониторинга является существенное увеличение объёма информации, предоставляемой судовладельцам, и отсутствие затрат на организацию или аренду каналов связи.

Библиографические ссылки

1. Система мониторинга транспортных судов «Виктория». URL: <http://www.marsat.ru>.
2. Комплекс TRITON M. URL: <http://www.barl.ru>.
3. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Оперативный контроль нагрузки дизеля // Дизелестроение. 1996. № 2. С. 37–41.



ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ: учебник

Ю.П. Чижков

656 с. ISBN: 5-217-03358-4

Цена 495 р.

Приведено описание конструкций, принципа работы и технических данных устройств и приборов электрического и электронного оборудования автомобилей и тракторов.

Отличительными особенностями учебника являются полнота охвата дисциплины и простота изложения, учет требований новых ГОСТов. Для лучшего усвоения материала учебник хорошо иллюстрирован.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы". Может быть полезен для студентов средних профессиональных учебных заведений, обучающихся по автотракторным специальностям, а также работникам автотранспортных предприятий и сервиса, лицам, интересующимся устройством электрооборудования автомобиля и трактора.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 550.808

Н.А. Абдуллаев, канд. техн. наук (Научно-исследовательский институт
Министерства обороны промышленности, г. Баку, Республика Азербайджан)
nabdulayev2010@rambler.ru

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ

Рассмотрен вопрос о выборе критериев для сравнения методов трёхточечной акустической локации. Показано, что при выполнении определённого условия и низком уровне зашумлённости сигнала выбор предложенного метода окружностей является предпочтительным.

Проанализировано влияние относительной влажности среды на точность акустической локации мест технологических взрывов. На основе разработанной физико-математической модели увлажнения аэрозолей качественно определено, что неучёт изменения относительной влажности может привести к погрешности локации мест взрывов.

Ключевые слова: локация, взрывы, точность, триангуляция, инфразвук.

Criterion selection question for three-point acoustic location methods comparison is considered. It is shown, that at suitable condition fulfillment and sufficiently low signal noise level the suggested circles method choice may be preferable. Relative environment humidity influence on acoustic location accuracy of the technological explosions places is analyzed. From a developed physical-mathematical model for aerosols humidification is determined that relative humidity change disregard may lead to explosions place location fault.

Key words: milling, industrial robots, dynamic, machining accuracy.

Известно, что координаты источников миллисекундных импульсных сигналов, возникающих при технологических взрывах, могут быть обнаружены классическим триангуляционным методом, базирующимся на применении как минимум трёх микрофонов. Классический триангуляционный метод базируется на измерениях временных разностей прихода акустического импульса на разные пары микрофонов и на данных о геометрических координатах самих микрофонов.

Распространение и затухание энергии плоской акустической волны достаточно точно могут быть выражены следующей формулой [1]:

$$F = F_0 e^{-\frac{mx}{2}}, \quad (1)$$

где F – давление акустического сигнала на расстоянии x от источника сигнала; F_0 – давление сигнала у источника сигнала; m – параметр, характеризующий затухание сигнала, e – основание натурального логарифма.

На основании выражения (1) можно предложить альтернативный метод локации, где основополагающим параметром всех необходимых изменений оказывается не скорость распространения звука, а показатель затухания звуковой энергии.

Проведём анализ точности известного и предложенного методов и сформулируем критерий выбора из них более точного, рассмотрим вопрос о влиянии аэрозоля на точность акустической ло-

кации с учётом изменения влажности атмосферного воздуха.

Вначале охарактеризуем указанные выше методы на базе предлагаемой обобщённой модели акустической локации (рис. 1). С помощью классического метода триангуляционной локации вычисляют радиусы R_1 , R_2 и R_3 , что в дальнейшем позволит определить координаты места взрыва. В отличие от этого известного метода в предлагаемом методе осуществляется циклическое вычисление R_i ($i = 1, 3$) путём использования исходных предположений о величине F_0 . Например, сначала при величине F_{01} вычисляются R'_1 , R'_2 и R'_3 . Далее наносятся окружности с центрами в M_1 , M_2 и M_3 . После этого, последовательно увеличивая F_{0i} до величины F_0 , добиваются стягивания контуров трёх окружностей в одну точку, что и принимается за центр взрыва.

Очевидно, что для выбора одного из этих двух методов должен быть осуществлён анализ их точности. Говоря о точности рассмотренных выше методов акустической локации, следует отметить, что основными факторами, влияющими на точность локации, в этих системах являются температура и влажность воздуха. Вместе с тем проведённый в работе [1] анализ показал, что влияние температуры гораздо сильнее, чем влияние влажности (как минимум в 3 раза) в допустимых диапазонах изменения этих параметров. Поэтому будем рассматривать влияние только температуры на точность локации.

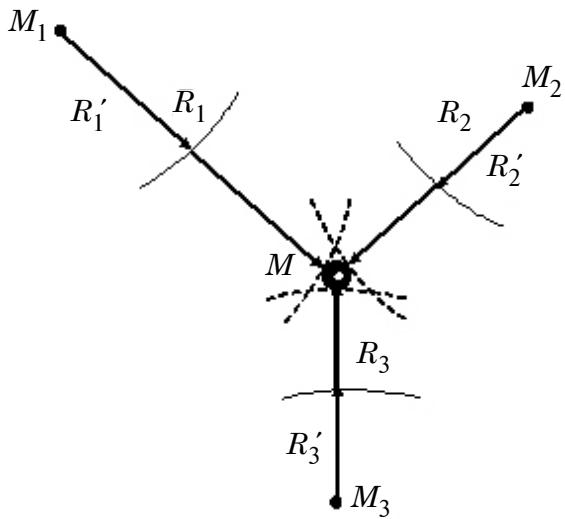


Рис. 1. Обобщённая модель акустической локации

Оценим погрешность локации в триангуляционном методе, возникшую из-за изменения скорости акустического сигнала в атмосфере в условиях незашумлённого приёма. Погрешность Δx из-за увеличения скорости находится из уравнения

$$\Delta x = T_0 \Delta v, \quad (2)$$

где v – скорость распространения звука.

Рассмотрим случай, когда погрешность появляется из-за изменения параметра m до величины $m_1 = m + \Delta m$. В этом случае

$$F_2 = F_0 e^{-\frac{(m+\Delta m)x}{2}}. \quad (3)$$

С учётом выражений (1) и (3), а также равенства $F_1 = F_2$ находим

$$\Delta_2 x = \left(2 \ln \frac{F_0}{F} \right) \left(\frac{1}{m+\Delta m} - \frac{1}{m} \right). \quad (4)$$

Из выражений (2) и (4) определяем условие выбора предлагаемого метода окружностей, основывающегося на изменении параметра затухания:

$$\Delta_1 x > \Delta_2 x$$

или

$$T_0 \Delta v > 2 \ln \frac{F_0}{F} \left(\frac{1}{m+\Delta m} - \frac{1}{m} \right). \quad (5)$$

Из выражения (5) нетрудно получить следующее условие:

$$\frac{\Delta v}{v} > \frac{\Delta m}{m + \Delta m}. \quad (6)$$

Таким образом, условие (6) является критерием выбора метода окружностей для локации места взрыва в условиях незашумлённого приёма. Однако в реальных условиях зашумлённости приёма сигнала необходимость чёткой стратификации сигнала по уровню в предложенном методе окружностей может снизить достоверность результатов по указанному методу. В общем случае влияние шумов на квантование измерительного сигнала оценивается достоверностью кодирования, и этот вопрос в настоящее время исследован достаточно глубоко.

Применительно к предлагаемому методу локации отметим, что достоверность кодирования и разрядность кодера в конечном счете будут ограничивать геометрическую точность системы локации, и при разрядности 12 и достоверности младшего разряда 0,5 потенциально достижимая геометрическая точность на расстоянии 10 км будет на уровне ± 2 м с достоверностью 0,5.

Очевидно, что для дальнейшего повышения точности необходимо очищение сигнала от шумов, т. е. увеличение отношения сигнал/шум. Таким образом, при удовлетворении условия (6) и достаточно высоком уровне сигнал/шум в системе выбор предложенного метода локации предпочтителен.

Одним из важных показателей обеспечения точности систем акустической локации является влияние влажности воздуха на точность таких систем. Наиболее полно влияние влажности воздуха на основные параметры локальных акустических систем рассмотрено в работе [2]. Приведём некоторые основные положения данного вопроса. Так влажность воздуха влияет на следующие акустические параметры систем локации: на скорость распространения звука (зависимость процентного изменения скорости звука от влажности воздуха показана на рис. 1); на общий коэффициент ослабления энергии звуковых волн.

Дадим приближённую оценку снижения точности и уменьшения достоверности локации по указанной выше причине (рис. 2). В общем случае, если в результате изменения влажности воздуха скорость звука на дистанции L_1 имеет приращение Δv_{3B} , то в первом приближении можно считать, что вычисленная точка A'_1 сместится от точки A_1 на расстояние $\Delta L = k \Delta v_{3B}$, где k – постоянная системы триангуляции.

Как было отмечено выше, локальное изменение влажности воздуха на трассах L_1 , L_2 , L_3 приводит также к изменению степени затухания акустического сигнала. В рассматриваемом кон-

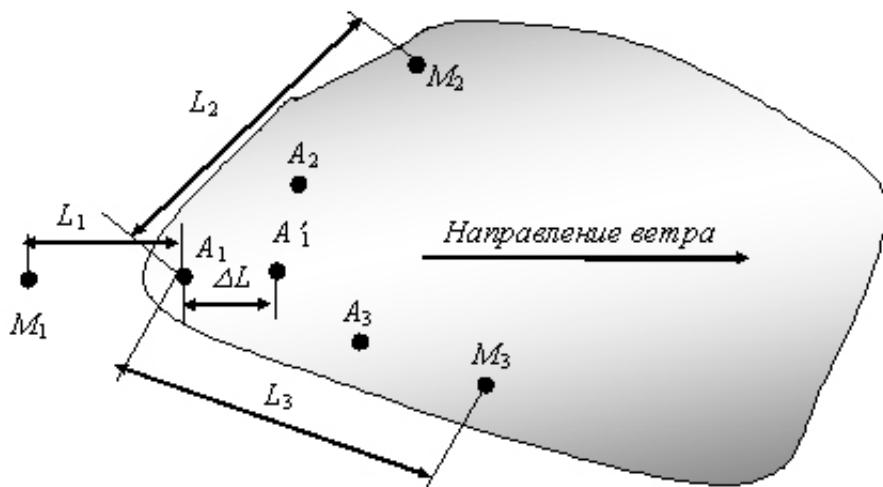


Рис. 2. Погрешность триангуляции из-за увлажнения аэрозолей



Рис. 3. Математическая модель увлажнения аэрозоля

тексте общая достоверность определения методом триангуляции A_1 может быть вычислена как $P_{A_1} = P(v_{L_1})P(v_{L_2})P(v_{L_3})$. Очевидно, что при этом достоверность определения точки A_1 будет отличной от достоверности локации в однородной среде. Для детального исследования точностных и достоверностных характеристик обнаружения точек взрыва рассмотрим упрощённую математическую модель изменения массовой концентрации аэрозолей по трассе распространения акустических сигналов вследствие их увлажнения.

Общий вид физико-математической модели представлен на рис. 3. В принятой упрощённой модели предполагается, что в поле распространения акустических волн действуют два фактора: влажность атмосферного воздуха и неувлажнение аэрозоли, сгенерированные в результате взрывов и пожаров. При этом упрощённость математической модели понимается в том смысле, что основные уравнения модели получаются на основе анализа известных экспериментальных данных [2, 3]. Так, например, согласно ра-

боте [2], оптическая плотность свежегенерированного гигроскопического аэрозоля, помещённого в среду с влажностью RH, может быть определена как

$$Y_{\text{аэр}} = Y_{\text{аэр}0} + C_1 \text{RH},$$

где $Y_{\text{аэр}0}$ – исходная оптическая плотность аэрозоля.

Далее для построения упрощённой математической модели используем широко известное положение физики сжигания биомассы и углеводородного топлива, согласно которому в результате сжигания часть сгенерированных аэрозолей оказывается гидрофобичной, т. е. негигроскопичной, а другая часть – гидрофильной, т. е. гигроскопичной. И, наконец, третьим положением, используемым при построении математической модели, является известный экспериментальный результат, согласно которому при помещении свежегенерированных аэрозолей, появившихся в результате сжигания органических веществ, во

влажную среду влажность среды уменьшается обратно пропорционально общему количеству введенного в среду аэрозоля [3].

С учётом изложенных выше положений физики аэрозоля можно составить следующую систему уравнений:

$$\Delta y(t) = C_1 \Delta x(t) + C_2 \Delta x(t) RH; \quad (7)$$

$$RH = RH_0 - C_3 y(t), \quad (8)$$

где $C_1 - C_3$ – постоянные величины.

С учётом выражений (7) и (8), а также приняв $\Delta x(t) = C_0 \Delta t$ и далее осуществив предельный переход $\Delta t \rightarrow 0$, нетрудно получить линейное неоднородное дифференциальное уравнение

$$Y' + Py = f, \quad (9)$$

где $P_0 = C_0 C_2 C_3$; $f = C_0 C_1 + C_0 C_2 RH_0$.

Известно [4], что решение дифференциального уравнения (9) может быть найдено в следующем виде:

$$Y = d_1 e^{-\int P dx} + e^{-\int P dx} \int f(x) e^{-\int P dx} dx. \quad (10)$$

С учётом выражений (9) и (10) получено уравнение

$$Y = d_1 e^{-C_0 C_2 C_3 T} + \frac{C_1 + C_2 RH_0}{C_2 C_3} (1 - e^{-C_0 C_2 C_3 T}). \quad (11)$$

Исследуя уравнения (8) и (11), получаем

$$RH = RH_0 - C_3 d_1 e^{-C_0 C_2 C_3 T} - \left(\frac{C_1 + C_2 RH_0}{C_2} \right) (1 - e^{-C_0 C_2 C_3 T}). \quad (12)$$

Как видно из уравнения (12), относительная влажность в зоне взрывов имеет двойную тенденцию изменения. С одной стороны, с увеличением величины T второй член в выражении (12) уменьшается, что эквивалентно увеличению значения RH в зоне взрывов. С другой стороны, с увеличением величины T третий член в выражении (12) увеличивается, что эквивалентно уменьшению RH в зоне взрывов.

Этот эффект можно объяснить почти мгновенным увлажнением гигроскопических аэрозолей, что отражено вторым членом в правой части уравнения (12). Однако в дальнейшем начинается процесс увлажнения всех компонентов аэрозоля, что отражено третьим членом правой части уравнения (12). Этот процесс приводит к уменьшению относительной влажности RH. При этом мгновенно увлажнённая компонента $C_2 \Delta x(t) RH$ играет роль аккумулятора влаги и, разувлажняясь, приводит к некоторому увеличению влажности среды. Однако основной компонентой в уравнении (12), регулирующей динамику изменения влажности в поле взрывов, является третья компонента в правой части уравнения (12). При увеличении этой компоненты во времени временно уменьшается значение RH. Соответствующие кривые компонент правой части уравнения (12) показаны на рис. 4.

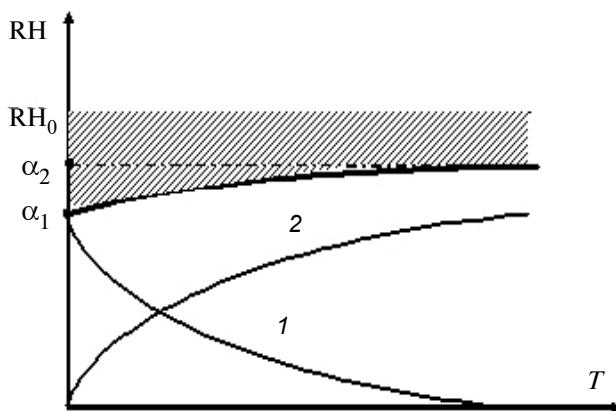


Рис. 4. Динамика процессов изменения относительной влажности на поле взрывов:

$$\alpha_1 = C_3 d_1; \quad \alpha_2 = \frac{C_1 + C_2 RH_0}{C_2}; \quad RH_0 - начальная величина относительной влажности;$$

1 – кривая функции $C_3 d_1 e^{-C_0 C_2 C_3 T}$; 2 – кривая функции $\left(\frac{C_1 + C_2 RH_0}{C_2} \right) (1 - e^{-C_0 C_2 C_3 T})$

Результирующая влажность воздуха на поле взрывов характеризуется заштрихованной областью (см. рис. 4). Уменьшение во времени влажности приводит к изменению скорости звука и общего коэффициента ослабления. Следовательно, в результате выброса в атмосферу суммарного свежегенерированного аэрозоля в поле взрывов появляется геометрическая ошибка локации и уменьшается достоверность результата локации.

На основе проведённого анализа сформирован критерий выбора известного и предлагаемого метода локации с учётом влияния температуры воздуха.

Влажность воздуха оказывает двойное действие на качественные показатели акустических систем акустической локации, так как влияет на скорость распространения звука и на степень затухания акустических волн в среде.

Выброс свежегенерированных аэрозолей в атмосферу в поле взрывов приводит к увеличению массовой концентрации аэрозолей в среде и их увлажнению.

Увлажнение свежегенерированных аэрозолей, одновременно подвергшихся дрейфу и диффузии, способствует уменьшению относительной влажности по трассе их распространения. Неоднородности относительной влажности на поле технологических взрывов могут привести к появлению геометрической погрешности определения мест взрыва и низкой достоверности полученных оценок.

Библиографические ссылки

1. **Bohn D.A.** Environmental Effects on the Speed of Sound // Journal of Audio Engineering Society. 1988. Vol. 36. № 4. April. P. 12–15.
2. **Cloud** Activating Properties of Aerosol Observed during CELTIC. Strond C.A., Nenes A., Jomenes J.L., Decarto P.F., Huffman J.A., Bruintjes R., Nemitz E., Delia A.E., Toohey D.W., Guonther A.B., Nahdi S. // Journal of the Atmospheric Sciences. 2007. Vol. 64. February. P. 441–459.
3. **Huggins A.W.** Another Wintertime Cloud Seeding Case Study with Strong Evidence of Seeding Effects // Journal of Weather Modification. 2007. Vol. 39. April. P. 9–36.
4. **Эльсгольц Л.Э.** Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1965. 342 с.

УДК 621.7.022.6

Д.С. Фатюхин, канд. техн. наук, доц.

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ))

mitriy2@yandex.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ

Рассмотрена возможность автоматизации технологического процесса ультразвуковой очистки. Предложено оборудование для реализации автоматизированного управления и мониторинга технологического процесса ультразвуковой очистки. Приведено описание программного обеспечения.

Ключевые слова: ультразвук, очистка, технология, автоматизация, мониторинг, управление.

Automation possibility of the ultrasonic cleaning technological process is considered. The equipment for automatic control and monitoring realization of the ultrasonic cleaning technological process is proposed. The software description is adduced.

Key words: ultrasound, cleaning, technology, automation, monitoring, control.

Воздействие ультразвуковых колебаний на изменение свойств материала, протекание химических, тепло- и массообменных процессов позволили в начале 60-х гг. образовать самостоятельное технологическое направление – ультразвуковую технологию, применяющуюся в промышленности (начиная от металлургии и заканчивая машиностроением). Наиболее распространённым технологическим процессом с использованием ультразвука является очистка.

Применение ультразвуковой очистки в различных отраслях промышленности в условиях основного и ремонтного производства обусловлено высоким качеством очистки при минимальных затратах времени на процесс, заменой ручного труда, возможностью исключения из технологического процесса пожароопасных и токсичных растворителей.

Однако использование ультразвука осложнено высокой стоимостью ультразвукового оборудова-

ния, отсутствием эффективной технологии очистки конкретных деталей, разрушением деталей в процессе обработки и другими специфическими особенностями этого вида обработки. Устранение недостатков возможно при учёте множества факторов, таких как размеры и форма деталей, характер загрязнений, требования к геометрическим и физико-механическим свойствам поверхности, и многих других.

Повышение эффективности ультразвуковой обработки может быть достигнуто автоматизацией технологического процесса, основными направлениями которой являются:

возможность автоматического выбора технологии и оборудования для конкретного объекта обработки;

поддержание заданного технологического режима обработки;

отображение параметров обработки в реальном масштабе времени;

работка установки по специально заданной программе или в интерактивном режиме, в том числе при управлении процессом от внешнего персонального компьютера.

Перечисленные направления могут быть осуществлены при создании аппаратно-программного комплекса.

Основными технологическими параметрами, требующими заданный режим обработки, а также поддержание и корректировку в процессе обработки, являются: амплитуда и частота колебаний инструмента, температура моющего раствора и время обработки.

Обычно амплитуда смещения излучателя контролируется электродинамическими или бесконтактными параметрическими виброметрами типа УБВ. Электродинамический виброметр [1 и 2] представляет собой магнитную систему, состоящую из кольцевого постоянного магнита (ТУ 48-1301-16-73) и измерительной катушки, отводы от которой выведены на разъём типа СР-50.

Для измерения амплитуды при работе колебательной системы на холостом ходу и под нагрузкой сигнал с электродинамического виброметра подаётся на вольтметр, шкала которого тарируется на величину амплитуды колебательных смещений рабочего торца концентратора колебательной системы с помощью индикаторной головки.

Подобная конструкция виброметра позволяет измерять амплитуду колебаний ультразвуковой колебательной системы (УКС) в режиме с реальной нагрузкой, т. е. применять его как источник сигнала для систем автоматического поддержания параметров механических колебаний при создании технологических установок, а также системы мониторинга параметров УКС.

С помощью того же оборудования можно контролировать частоту колебаний акустической системы без использования частотомера.

Таким образом, сигнал с электромагнитного датчика на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) позволяет с высокой точностью получать и передавать на персональный компьютер амплитудно-частотную характеристику колебаний.

Для измерения температуры моющего раствора наиболее рациональным является использование первичных преобразователей – термодатчиков. В ГОСТ Р 50342–92 «Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия» отражены нормированные статические характеристики промышленных термосопротивлений.

В настоящее время для регистрации тех или иных физических величин распространены виртуальные приборы. Виртуальные приборы – концепция, в соответствии с которой организуются программно-управляемые системы сбора данных и управления техническими объектами и технологическими процессами [3].

Система виртуального прибора организуется в виде программной модели некоторого реально существующего или гипотетического прибора, причём программно реализуются не только средства управления (рукожатки, кнопки, лампочки и т. п.), но и логика работы прибора. Связь программы с техническими объектами осуществляется интерфейсными узлами, представляющими собой драйверы внешних устройств (АЦП, ЦАП, контроллеры промышленных интерфейсов и т. п.).

Основными преимуществами виртуальных приборов являются многофункциональность и портативность. С помощью виртуальных приборов упрощается процесс измерений, появляются возможности его автоматизации. Большая часть виртуальных приборов коммутируется с персональным компьютером с помощью порта USB, обеспечивающего принцип Plug and Play, при котором подключение и отключение не требуют реконфигурации компьютера. Большая часть виртуальных приборов разработана под стандарт USB 2.0, что делает возможным передачу данных со скоростью до 480 МБ/с [4].

Ввиду большого количества параметров обработки и необходимости мониторинга параметров в режиме реального времени для процесса ультразвуковой очистки, наиболее эффективны контроль и регулирование технологического процесса с помощью виртуальных приборов.

Измерительной частью виртуального прибора являются электродинамический датчик и термодатчик, информация с которых об изменении амплитуды, частоты и температуры поступает на многоканальный АЦП. Далее происходит передача оцифрованной информации интерфейсом USB

на персональный компьютер. Последующая обработка осуществляется программным обеспечением персонального компьютера. Информация выводится на монитор в виде показаний виртуальных приборов, внешне схожих с реальными физическими приборами. Программное обеспечение позволяет отслеживать изменение измеряемых величин, вести протокол обработки, а также создавать управляющие сигналы для исполнительного механизма.

Для применения в ультразвуковых технологических и лабораторных установках одним из основных требований является поддержка устройством ультразвуковых частот. Многофункциональный анализатор спектра предназначен для измерения параметров спектральных составляющих сигналов с различных акселерометров и микрофонов, корреляционной структуры сигналов, генерации электрических сигналов с нормированными метрологическими параметрами, измерения уровней шума и уровней вибрации в 1/3-октавных полосах, что позволяет использовать его в качестве виброметра и шумометра.

Для управления ультразвуковым генератором с помощью персонального компьютера необходимо устройство, преобразующее сигнал компьютера в сигнал управления работой генератора. Интерфейс RS-485 – один из наиболее распространённых стандартов физического уровня связи, т. е. каналов связи и способов передачи сигнала.

Ультразвуковым генератором можно управлять с помощью устройства коммутации АФ485М.

Устройство коммутации персонального компьютера с ультразвуковыми генераторами АФ485М предназначено для управления ультразвуковыми генераторами типа УЗГ2-22П+. Электропитание устройства коммутации осуществляется от USB-порта персонального компьютера. Устройство работает в среде ОС Windows 2000, 2003, XP, Vista, образуя виртуальный СОМ-порт.

Основываясь на приведённых выше аппаратных решениях, разработан комплекс управления и мониторинга технологического процесса ультразвуковой очистки (рис. 1).

Рекомендуемая конфигурация компьютера, входящего в состав комплекса: тактовая частота процессора – не менее 1,7 ГГц; наличие интерфейса HighSpeed USB 2.0; оперативная память – не менее 1 Гб; свободное место на жёстком диске – не менее 2 Гб; видеокарта с 3D-графическим ускорителем, поддержкой OpenGL, DirectX – не менее 32 Мб памяти; наличие манипулятора мышь или иного указательного устройства (сенсорный экран, трекбол, тачпад, графический планшет); наличие стандартной клавиатуры или иного устройства ввода (сенсорный экран, графический планшет); привод CD-ROM для установки программ.

В основу построения базы данных ультразвуковой очистки положен технологический прин-

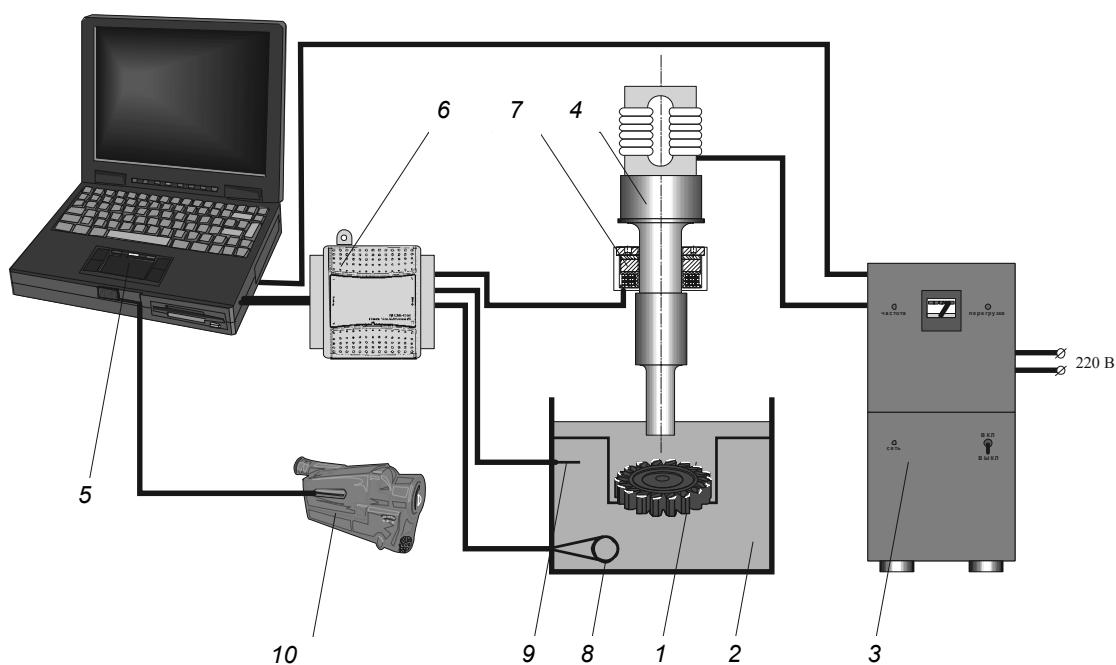


Рис. 1. Аппаратный комплекс управления и мониторинга технологического процесса ультразвуковой очистки:

1 – объект очистки; 2 – технологическая ванна с моющим раствором; 3 – генератор; 4 – стержневая колебательная система; 5 – персональный компьютер; 6 – анализатор спектра; 7 – электродинамический виброметр; 8 – ТЭН; 9 – термопара; 10 – видеокамера

цип. Одним из назначений базы данных является систематизация, классификация, типизация и унификация технологических параметров и оборудования. Другим – управление рабочими режимами процесса ультразвуковой обработки.

Для создания базы данных использована система управления базами данных (СУБД) Microsoft Access 2003.

Параметры обработки и оборудование выбираются на основе опыта, а также теоретических и экспериментальных исследований.

Система управления базами данных имеет следующие разделы: наименование детали; маркировка или модель детали; изображение объекта обработки; размер детали; материал детали; конструктивные особенности; схема обработки; технологическое оборудование; моющий раствор; режимы обработки; описание технологического процесса.

Поля «наименование детали», маркировка или модель детали и изображение объекта обработки служат для однозначной идентификации объекта обработки. При постановке технологической задачи по этим полям выбираются технология и оборудование для очистки соответствующей детали.

Если при поиске в базе данных нет точного совпадения с искомой деталью, то можно использовать поля: размер детали, материал детали, конструкционные особенности, с помощью которых возможно выбирать технологию по геометрическим и конструктивным характеристикам детали.

В поле «размеры деталей» все размеры разбиты на 26 интервалов, согласно основным нормам взаимозаменяемости: 13 интервалов для номинальных размеров до 500 мм и 13 – для размеров от 500 до 3150 мм. Кроме размеров для выбора оборудования и технологии в следующем поле «конструктивные особенности» указываются технологические особенности детали, влияющие на процесс очистки. К ним относятся: наличие сквозных и глухих отверстий, пазов, щелевых зазоров и т. п.

Указание материала детали необходимо для выбора моющего раствора и параметров обработки. В поле «схема обработки» можно выбрать одну из существующих схем или, при необходимости, указать оригинальную. Описание технологического оборудования включает сведения об источнике колебаний, а также технологической оснастке. Состав или концентрация моющего раствора выбираются в зависимости от вида загрязнений, материала детали и режима обработки, описанного полями: амплитуда, частота, время, температура. Оборудование, параметры обработки и последовательность выполнения опера-

ций внесены в поле «описание технологического процесса».

При создании программы «Управление и мониторинг ультразвуковой установки» учитывалась простота её использования.

Одной из основных задач при разработке программы для управления и мониторинга ультразвуковой установки являлась возможность управления технологическим процессом в ручном или автоматическом режимах. Реализация автоматического режима осуществлена с помощью разработанной базы данных технологических режимов и оборудования. Ручное управление позволяет выбирать параметры технологического процесса и изменять их в процессе обработки.

Первый экран «О программе» открывается после запуска приложения (рис. 2, а).

Он содержит название программы, краткое описание основных функциональных возможностей, а также сведения о разработчиках. На главном экране имеются гиперссылки для перехода к другим экранам. Тот же принцип навигации сохранён и на остальных экранах программы.

При выборе пункта «Выбор параметров с помощью базы данных» осуществляется переход к следующему экрану и связанной с ним базе данных (рис. 2, б), позволяющей выбирать технологию для определённой детали. Технология может выбираться по названию, маркировке или модели объекта обработки.

Рабочими параметрами можно управлять и вручную. Экран «Управление рабочими параметрами» (рис. 2, в) содержит регуляторы основных рабочих параметров – амплитуды и частоты колебаний излучателя, температуру моющего раствора. Возможно включение и выключение автоподстройки выбранной частоты, а также импульсного режима обработки. Для импульсного режима предусмотрен регулятор скважности импульсов. Размещённый на этом экране таймер позволяет выбирать время обработки.

Подключение видеокамеры позволяет визуально наблюдать процесс обработки. С экрана «Управление рабочими параметрами» можно изменять приближение или удаление изображения объекта.

Кнопки «Пуск» и «Стоп» служат для запуска и остановки процесса обработки.

Окно визуального наблюдения и кнопки запуска и остановки вынесены и на следующий экран (рис. 2, г).

На экране «Мониторинг процесса» показаны текущие числовые значения амплитуды и частоты, а также графическое отображение амплитудно-частотной характеристики в режиме реального времени.



Рис. 2. Экраны программы «Управление и мониторинг ультразвуковой установки»:

а – о программе; б – выбор параметров с помощью базы данных; в – управление рабочими параметрами; г – мониторинг процесса

При создании аппаратно-программного комплекса выделены технологические параметры обработки, выбраны способы мониторинга и управления этими параметрами, подобраны аппаратные решения, обеспечена коммутация оборудования с персональным компьютером, разработан и создан интерфейс программного комплекса.

Библиографические ссылки

1. Макаров Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии. М.: Машиностроение. 1983. 56 с.

2. Адамович А.В. и др. Разработка системы компьютерного мониторинга и управления режимами ультразвуковых технологических аппаратов. Ультразвуковые технологические процессы. 2000: сб. докл. науч.-техн. конф. Архангельск, Северодвинск: 2000. С. 180–182.

3. Виртуальный прибор [Электронный ресурс] / Wikimedia Foundation, Inc. 2011. URL: <http://ru.wikipedia.org>.

4. Принципы создания виртуальных лабораторий в инженерном образовании [Электронный ресурс] / ЛЭСО. URL: <http://www.labfor.ru/index.php?act=labs>.

УДК 681.5:519.711.3

Б.К. Тусупбеков, канд. техн. наук, доц., Г.С. Шаихова, канд. техн. наук
 (Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан)
 btusupbekov_28@mail.ru

АДАПТИВНАЯ НАСТРОЙКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОБЩЕГО ПАРАМЕТРА

Предложены адаптивные настройки математических моделей на основе известного метода общего параметра. Показано, что при использовании этого метода вместо индивидуальной настройки всех N параметров моделей настраивается один общий параметр. Поэтому классический метод настройки N параметров является одной крайностью предлагаемого метода, а метод общего параметра – другой. Рассмотрены промежуточные возможности этих двух методов, также установлено, что метод общего параметра распространяется для случая нелинейных моделей.

Ключевые слова: объекты управления, математические модели, адаптивная настройка, метод общего параметра, автоматизированные системы управления.

Mathematical models adaptive adjustment on the basis of the general parameter known method is proposed. It is shown that only one general parameter is adjusted through the use of this method instead of individual adjustment for all N parameters of the models. Therefore the classical adjustment method for N parameters is one extreme of an offered method and the general parameter method – another extreme. These two methods intermediate possibilities are considered. It is established also that the general parameter method extends for the nonlinear models occurrence.

Key words: control objects, mathematical models, adaptive adjustment, general parameter method, the automatic control systems.

Одной из важнейших задач, решаемых при автоматизации управления технологическими объектами, является адаптивная настройка используемых математических моделей с целью повышения их точности. Для адаптивной настройки математических моделей объектов большой размерности обычно используется так называемый метод общего параметра (МОП).

Суть данного метода изложена в работе [1]. Пусть имеется объект управления, который можно представить выражением вида

$$x[k] = \alpha^T u[k],$$

где $x[k]$ – выходное значение объекта на k -м шаге; $\alpha^T = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ – вектор неизвестных параметров; $u[k] = (u_1[k], u_2[k], \dots, u_n[k])$ – вектор входных переменных; T – индекс транспонирования матрицы; n – размерность объекта управления.

Модель объекта можно представить в виде уравнения

$$\hat{x}[k] = \hat{\alpha}^T[k-1]u[k], \quad (1)$$

где $\hat{x}[k]$ – выходное значение модели на k -м шаге; $\hat{\alpha}^T = (\hat{\alpha}_1[k], \hat{\alpha}_2[k], \dots, \hat{\alpha}_n[k])$ – вектор оценок параметров на k -м шаге.

Многие известные алгоритмы оценки параметров можно выразить как

$$\hat{\alpha}[k] = \hat{\alpha}[k-1] - (\hat{x}[k] - x[k])\Gamma u[k]. \quad (2)$$

Известно, что конкретный вид алгоритма (2) определяется конструкцией матрицы Γ . Если матрица $\Gamma = \text{diag}((\gamma_{11}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{nn}))$, то алгоритм (2) перестройки параметров модели является простейшим одношаговым алгоритмом, хорошо изученным в работе [2].

Допускная возможность представления оценок α для каждого шага итерации выражением

$$\hat{\alpha}_i[k] = \hat{\alpha}_{i0} + \beta_i[k], \quad \hat{\alpha}_{i0}[k] = \hat{\alpha}_{i0}\beta[k], \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

из формулы (2) можно получить алгоритмы с *аддитивной параметрической настройкой* (АПН) и *мультипликативной параметрической настройкой* (МПН).

Тогда модель (1) представим выражением

$$\hat{x}[k] = (\hat{\alpha}_0^T + \beta^T[k-1])u[k]; \quad (4)$$

$$\hat{x}[k] = \beta^T[k-1]\hat{\alpha}_0^T u[k], \quad (5)$$

где $\beta^T[k-1] = (\beta_1[k], \dots, \beta_n[k])$ – вектор аддитивных для (4) и мультипликативных для (5) параметрических составляющих соответственно; $\hat{\alpha}_0^T = (\hat{\alpha}_{10}, \dots, \hat{\alpha}_{n0})$ – вектор начальных значений оценок параметров; $I\hat{\alpha}_0 = \text{diag}(\hat{\alpha}_{10}, \dots, \hat{\alpha}_{n0})$ – матрица, диагональными элементами которой являются элементы вектора $\hat{\alpha}_0$.

Предположим, что

$$\hat{x}[k] = (\hat{\alpha}_0^T + \beta[k-1]e^T)u[k]; \quad (6)$$

$$\hat{x}[k] = \beta_1[k-1] \hat{\alpha}_0^T \mathbf{u}[k], \quad (7)$$

где \mathbf{e} – n -мерный вектор, элементами которого являются единицы; $\beta_1[k]$, $\beta_2[k]$ – скалярные общие параметры.

При представлении моделей в виде (6) и (7) векторы оценок параметров записываются следующим образом:

$$\hat{\alpha}[k] = \hat{\alpha}_0 + \beta_i[k] \mathbf{e},$$

$$\hat{\alpha}_0[k] = \beta[k] \hat{\alpha}_0.$$

Алгоритмы перестройки общих параметров для АПН и МПН имеют вид

$$\beta_1[k] = \beta_1[k-1] - \gamma_1(\hat{x}[k] - x[k]) \mathbf{e}^T \mathbf{u}[k]; \quad (8)$$

$$\beta_2[k] = \beta_2[k-1] - \gamma_2(\hat{x}[k] - x[k]) \hat{\alpha}_0^T \mathbf{u}[k], \quad (9)$$

где γ_1 , γ_2 – параметры рекуррентных (итеративных) алгоритмов.

Реализация такой процедуры оценки с применением моделей (6) и (7) называется методом общего параметра, а параметры $\beta_1[k]$, $\beta_2[k]$ – общими параметрами.

По схеме оценки МОП решается задача однопараметрической оптимизации, и на каждом k -м шаге по результатам эксперимента перестраивается один общий параметр вместо N параметров, как это делается обычно. Кроме того, скорость сходимости МОП выше скорости сходимости процесса индивидуальной настройки всех параметров модели. Поэтому МОП применяется обычно для идентификации объектов управления большой размерности, которые включают большое число входных и выходных величин.

Вместе с тем по точности оценки МОП несколько уступает многим известным алгоритмам идентификации. Поэтому при решении вопроса о применении МОП следует обратить внимание на достаточность получаемой точности оценки. Если полученная средняя ошибка идентификации превышает допустимую, целесообразно перейти к известным комбинированным методам оценки параметров [1], которые обеспечивают высокую скорость сходимости при приемлемой точности оценки. Это достигается за счёт параллельного или последовательного использования двух алгоритмов – МОП и индивидуальной настройки всех параметров модели [2].

Однако эффективность любого алгоритма идентификации зависит от условия решаемой задачи: в одних условиях первостепенное значение имеет точность оценки, в других скорость сходимости или количество вычислительных операций.

И нет такого алгоритма, который бы отвечал всем требованиям одновременно. Поэтому имеет смысл синтез специальных алгоритмов, отвечающих отдельным требованиям, на основе известных [1–4]. Ниже приведены некоторые из таких алгоритмов, основанные на МОП и отличающиеся своеобразными качествами, необходимыми для адаптивной настройки математических моделей объекта управления большой размерности.

Перестройка общего параметра с учётом предыстории процесса. Перестройку общих параметров можно проводить соответственно для АПН и МПН согласно алгоритмам

$$\begin{aligned} \beta_1[k] = & \beta_1[k-1] - \gamma_1 q_1 \sum_{i=1}^k (1-q_1)^i (\hat{x}[k-i] - \\ & - x[k-i]) \mathbf{e}^T \mathbf{u}[k-i]; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \beta_2[k] = & \beta_2[k-1] - \gamma_2 q_2 \sum_{i=1}^k (1-q_2)^i (\hat{x}[k-i] - \\ & - x[k-i]) \hat{\alpha}_0^T \mathbf{u}[k-i]; \end{aligned} \quad (11)$$

$$p_1[k] = q_1 \sum_{i=1}^k (1-q_1)^i (\hat{x}[k-i] - x[k-i]) \mathbf{e}^T \mathbf{u}[k-i]; \quad (12)$$

$$p_2[k] = q_2 \sum_{i=1}^k (1-q_2)^i (\hat{x}[k-i] - x[k-i]) \hat{\alpha}_0^T \mathbf{u}[k-i], \quad (13)$$

где $p_1[k]$, $p_2[k]$ – экспоненциальные средние; $0 < q_1$, $q_2 < 1$ – параметры сглаживания (по аналогии 2, 3).

Так как $0 < q_1$, $q_2 < 1$, то при $k \rightarrow \infty$ суммы $q_1 \sum_{i=1}^k (1-q_1)^i$, $q_2 \sum_{i=1}^k (1-q_2)^i \rightarrow 1$.

Из формул (10) и (11) видно, что в определении общих параметров участвуют результаты всех предыдущих экспериментов, причём наибольшее значение имеет последнее наблюдение, а для прежних наблюдений имеет место геометрическое убывание весов.

Параметр q (для общности индекс опущен), определяющий вес каждого члена временного ряда, играет роль регулятора колебаний. С уменьшением q дисперсия экспоненциальной средней сокращается, и система становится инерционной. При $q \rightarrow 1$ алгоритмы (10) и (11) превращаются соответственно в алгоритмы (8) и (9).

Из выражений (12) и (13) экспоненциальные средние $p_1[k]$, $p_2[k]$ можно представить в следующем виде:

$$p_1[k] = (1-q_1)p_1[k-1] + q_1(\hat{x}[k] - x[k]) \mathbf{e}^T \mathbf{u}[k];$$

$$p_2[k] = (1-q_2)p_2[k-1] + q_2(\hat{x}[k] - x[k]) \hat{\alpha}_0^T \mathbf{u}[k].$$

Тогда алгоритмы перестройки общих параметров из уравнений (10) и (11) примут вид

$$\begin{aligned} \beta_1[k] = & \beta_1[k-1] - \gamma_1 \{(1-q_1)p_1[k-1] + q_1([k] - \\ & - x[k])\mathbf{e}^T \mathbf{u}[k-i]\}; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \beta_2[k] = & \beta_2[k-1] - \gamma_2 \{(1-q_2)p_2[k-1] + q_2(\hat{x}[k] - \\ & - x[k])\hat{\alpha}_0^T \mathbf{u}[k-i]\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Согласно уравнениям (14) и (15) перестройка общих параметров проводится с учетом всей предыстории процесса, что способствует фильтрации данных от случайных факторов и более стабильной работе алгоритмов. При этом инерционность настройки параметров можно регулировать с помощью параметров q , в зависимости от характера реальных сигналов. Всё это позволяет повысить точность оценки и в определённых условиях избежать индивидуальной настройки всех параметров модели.

Групповой способ настройки модели. В некоторых случаях адаптацию модели целесообразно проводить групповым способом, смысл которого выражается в следующем. Иногда входные переменные по тем или иным признакам можно разбить на две подгруппы U_j ($j = 1, \dots, n$, $n < N$) или более. Например, входные переменные, входящие в модель (1), с положительными коэффициентами можно отнести к одной подгруппе, а с отрицательными – к другой и т. д.

При этом вектор входных переменных $\mathbf{u}^T[k] = (u_1[k], u_2[k], \dots, u_n[k])$ представляется как сумма n векторов:

$$\mathbf{u}^T[k] = \sum_{i=1}^n u_j^T[k],$$

где $\mathbf{u}^T[k] = (u_{j1}[k], u_{j2}[k], \dots, u_{jn}[k])$, $j = \overline{1, n}$;

$$u_{ji}[k] = \begin{cases} 0, & \text{если } u_i[k] \notin U_j, \\ u_i[k], & \text{если } u_i[k] \in U_j, j = \overline{1, n}. \end{cases}$$

Тогда модель (1) запишется в виде

$$\hat{x}[k] = \sum_{i=1}^n \alpha[i-1] \mathbf{u}_j[k],$$

где $\hat{\alpha}_j^T[k] = (\hat{\alpha}_{j1}[k], \hat{\alpha}_{j2}[k], \dots, \hat{\alpha}_{jn}[k])$, $j = \overline{1, n}$;

$$\alpha_{ji}[k] = \begin{cases} 0, & \text{если } u_i[k] \notin U_j, \\ \alpha_i[k], & \text{если } u_i[k] \in U_j, j = \overline{1, n}, \end{cases}$$

а выражения (6) – (9) примут вид

$$\hat{x}[k] = \sum_{i=1}^n (\alpha_{0j}^T + \beta_{1j}[k-i]\mathbf{e}^T) \mathbf{u}_j[k]; \quad (16)$$

$$\hat{x}[k] = \sum_{i=1}^n \beta_{2j}[k-i] \alpha_{0j}^T \mathbf{u}[k]; \quad (17)$$

$$\beta_{1j}[k] = \beta_{1j}[k-1] - (\gamma_{1j}(\hat{x}[k] - x[k])\mathbf{e}^T \mathbf{u}_j[k]); \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \beta_{2j}[k] = & \beta_{2j}[k-1] - \gamma_{2j}(\hat{x}[k] - x[k])\hat{\alpha}_0^T \mathbf{u}_j[k], \\ j = & \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (19)$$

Как видно из выражений (16)–(19), каждая подгруппа входных переменных имеет свой общий параметр, который настраивается индивидуально. Для случая нового способа настройки, когда модель представляется в виде выражений (16) и (17), перестраиваются n параметров $\beta_{1j}[k]$ (или $\beta_{2j}[k]$), $j = \overline{1, n}$. Это позволяет повысить точность алгоритмов МОП, сохраняя их высокую скорость сходимости. При этом, если признак, по которому группируются входные переменные, актуален, то эффективность приведённых алгоритмов повышается.

Алгоритмы (16)–(19) при $n = 1$ совпадают с алгоритмами однопараметрической настройки модели, а при $n = N$ переходим к известным алгоритмам перестройки N параметров. Когда $1 < n < N$, новые алгоритмы обладают промежуточными качествами МОП и классических алгоритмов индивидуальной перестройки всех параметров модели.

Идентификация нелинейных моделей с помощью метода общего параметра. Выше рассматривались способы идентификации МОП на примере моделей линейных относительно неизвестных параметров. Однако большинство сложных процессов описывается моделями нелинейного вида. В связи с этим возникает вопрос о применимости МОП для идентификации нелинейных моделей.

Известно, что нелинейные, относительно оцениваемых параметров, модели можно привести к линейному виду, разложив их в ряд Тейлора [5] и приняв каждый член многочлена как отдельный параметр первой степени. Это позволило бы применять приведённые выше алгоритмы для идентификации нелинейных моделей, но разложение в ряд Тейлора часто приводит к громоздким выражениям. В результате количество вычислительных операций резко возрастает, точность вычислений снижается из-за ограниченности разрядной сетки ячеек памяти компьютеров. Поэтому для случая нелинейных моделей целесообразно распространить идеи МОП, что позволяет избежать приведённых затруднений.

Пусть процесс представляется выражением вида

$$\mathbf{x}[k] = F(\alpha, \mathbf{u}[k]), \quad (20)$$

где $\mathbf{x}[k]$ – выходное значение объекта на k -м шаге; $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$ – вектор неизвестных параметров; $\mathbf{u}[k] = (u_1[k], u_2[k], \dots, u_N[k])$ – вектор входных переменных; F – некоторая функция.

Модель процесса представим выражением

$$\hat{\mathbf{x}}[k] = \hat{F}(\hat{\alpha}[k-1], \mathbf{u}[k]), \quad (21)$$

где $\hat{\mathbf{x}}[k]$ – выходное значение модели на k -м шаге; $\hat{\alpha}[k] = (\hat{\alpha}_1[k], \hat{\alpha}_2[k], \dots, \hat{\alpha}_N[k])$ – вектор оценок параметров на k -м шаге; \hat{F} – функция математической модели объекта управления, определяемая экспериментально.

Теперь, как и в случае линейных моделей соответственно для АПН и МПН, положим, что

$$\hat{\alpha}_i[k] = \hat{\alpha}_{i0} + \beta_i[k-1], \quad i = \overline{1, N};$$

$$\hat{\alpha}_i[k] = \beta_2[k-1]\hat{\alpha}_{i0}, \quad i = \overline{1, N},$$

где $\hat{\alpha}_{i0} = (\hat{\alpha}_{10}, \hat{\alpha}_{20}, \dots, \hat{\alpha}_{N0})$ – вектор начальных значений оценок параметров.

Тогда модель (21) для АПН и МПН примет вид соответственно

$$\hat{\mathbf{x}}[k] = \hat{F}(\hat{\alpha}_0 + \beta_1[k-1], \mathbf{u}[k]);$$

$$\hat{\mathbf{x}}[k] = \hat{F}(\beta_2[k-1]\hat{\alpha}_0, \mathbf{u}[k]).$$

При представлении модели в таком виде перестройку общих параметров можно проводить согласно алгоритму

$$\beta[k] = \beta[k-1] - \gamma \text{Sign}(\partial \hat{F} / \partial \beta)(\hat{\mathbf{x}}[k] - \mathbf{x}[k]),$$

где $\partial \hat{F} / \partial \beta$ – частная производная по β , принимающая либо положительные, либо отрицательные значения при всех значениях β ; Sign – функция – сигнум (знак), равная либо 1, либо –1.

Заметим, что способы настройки модели, приведённые в предыдущих пунктах, сохраняют свои силы и в случае нелинейности модели. Их аналогами при нелинейных моделях могут служить следующие алгоритмы:

$$\begin{aligned} \beta[k] = \beta[k-1] - \gamma \text{Sign}(\partial \hat{F} / \partial \beta) \{ &(1-q)p[k-1] + \\ &+ q(x[k] - \mathbf{x}[k]) \}, \end{aligned}$$

где $p[k] = q \sum_{j=1}^k (1-q)^j (\hat{\mathbf{x}}[k-j] - \mathbf{x}[k])$ – групповой способ настройки модели;

$$\begin{aligned} \beta_j[k] = \beta_j[k-1] - \gamma_j \text{Sign}(\partial \hat{F} / \partial \beta_j) (\hat{\mathbf{x}}[k] - \mathbf{x}[k]), \\ j = \overline{1, n} \end{aligned}$$

при представлении модели для АПН и МПН в виде

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}[k] = \hat{F}(\hat{\alpha}_{01} + \beta_1[k-1], \hat{\alpha}_{02} + \beta_2[k-1], \dots, \\ \dots, \hat{\alpha}_{0n} + \beta_n[k-1], \mathbf{u}[k]), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}[k] = \hat{F}(\beta_1[k-1]\hat{\alpha}_{01}, \beta_2[k-1]\hat{\alpha}_{02}, \dots, \beta_n[k-1] \times \\ \times \hat{\alpha}_{0n}, \mathbf{u}[k]), \quad n \leq N. \end{aligned}$$

Таким образом, в настоящей работе проводился синтез некоторых новых алгоритмов, основанных на МОП: перестройка общего параметра с учётом предыстории процесса, групповой способ настройки модели, настройка нелинейных моделей. Эти алгоритмы расширяют область применения МОП, при этом настройки математических моделей становятся более гибкими и качественными. При использовании МОП вместо индивидуальной настройки всех N параметров моделей настраивается один общий параметр. Поэтому классический метод настройки N параметров является одной крайностью предлагаемого метода, а МОП – другой. Кроме этого были рассмотрены промежуточные возможности этих двух методов, а также МОП распространяется для случая нелинейных моделей [6].

Некоторые из этих алгоритмов были применены в составе АСУ ТП для настройки математических моделей кислородно-конвертерного процесса на Карагандинском металлургическом комбинате [7].

Библиографические ссылки

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. Красовского. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. С. 263–271.
2. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей производственных процессов. М.: Энергетика, 1975. 376 с.
3. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. М.: Статистика, 1979. 256 с.
4. Редкозубов С.А. Статистические методы прогнозирования в АСУ. М.: Энергоиздат, 1981. 152 с.
5. Корн Г., Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. 832 с.
6. Тусупбеков Б. Новые алгоритмы адаптивной настройки, основанные на методе общего параметра // Караганда: Труды университета, 2001. № 1. С. 81–84.
7. Тусупбеков Б. Исследование, разработка и внедрение адаптивной системы управления кислородно-конвертерным процессом (на примере Карметкомбината). Алматы: Казахский политехнический институт им. В.И. Ленина, 1991, автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук.

УДК 62-529

М.Н. Невмержицкий, С.В. Бобошко

(Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток)

maxim_xiiic@mail.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОСТАНЦИЕЙ ЦИКЛОВОГО ПРЕССА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕЛЕ

Рассмотрен подход к разработке системы управления гидростанцией прессов цикловой штамповки.

Ключевые слова: автоматизация, система управления, объект управления, цикловая штамповка, программируемое логическое реле, SIEMENS LOGO!

The approach to designing of the hydrostation control system for cyclic stamping presses is considered.

Key words: automation, control system, control object, cyclic stamping, programmable logic relay; SIEMENS LOGO!

Введение. В серийном производстве широко распространён технологический процесс цикловой штамповки. Представлена разработка системы управления гидростанцией циклового пресса в бюджетном варианте, на основе программируемого реле LOGO!

Производитель позиционирует LOGO! как средство автоматизации относительно простых задач: бытовых (освещение подъезда) [1] и промышленных (конвейерная линия) [2]. Также встречаются решения, в которых LOGO! применяется для реализации относительно простых задач обработки информации [3]. Если же объект управления содержит много входов/выходов и переходных состояний, то его, как правило, принято автоматизировать с помощью более развитых ПЛК [4]. В представленной работе достаточно сложная задача управления решена на основе простого и дешёвого программируемого реле LOGO!

Описание объекта управления. Объект управления – гидростанция и гидравлический пресс с гидроцилиндром, рабочим давлением 100 МПа и ходом штока 12 мм. Управление процессом ведётся по перемещению рабочего органа и по давлению в нём. Система управления обеспечивает минимизацию времени цикла, отработку аварийных ситуаций (останов по превышению допустимой температуры рабочей жидкости, по недопустимо низкому уровню рабочей жидкости в баке, по обрыву фазы и превышению допустимого тока приводного электродвигателя), вывод диагностических сообщений о состояниях системы.

В целях безопасности в рабочей зоне расположены датчики присутствия постороннего объекта. Гидростанция снабжена пультом оператора с кнопками управления технологическим процессом и аварийного останова; реализованы следую-

щие блокировки: механический ключ на питание автоматики, пароль на запуск цикловой программы, пароль изменения цикловой программы.

Гидравлическая часть устройства показана на рис. 1.

В гидравлической схеме применён насос переменной производительности, работающий на пониженном давлении (10 МПа). Это обеспечивает невысокую мощность привода при большом расходе (в режиме подвода рабочего гидроцилиндра), достаточно высокое давление на первой ступени гидромультиплексора и пониженный уровень шума.

Рабочий цикл циклового пресса разбит на пять этапов:

подвод, зарядка мультиплексора – поток жидкости подан в рабочую полость В гидроцилиндра пресса Ц1;

нагнетание – поток жидкости нагнетается через мультиплексор МП1, чтобы повысить давление до необходимого в рабочей полости В гидроцилиндра пресса Ц1;

фиксация – нагнетание прекращено, высокое давление фиксировано на некоторое время, если это необходимо в технологическом процессе (например, для обеспечения эффекта «текущего» материала заготовки);

сброс давления в мультиплексоре – в рабочей полости гидроцилиндра В избыточное давление снимается свыше 10 МПа через обратный клапан КО1;

реверс – поток жидкости нагнетается в обратном направлении в реверсивную полость А гидроцилиндра Ц1.

Сравнительный анализ способов реализации системы управления. Проведём анализ устройств для реализации системы управления гидростанции по следующим критериям: модульность, бы-

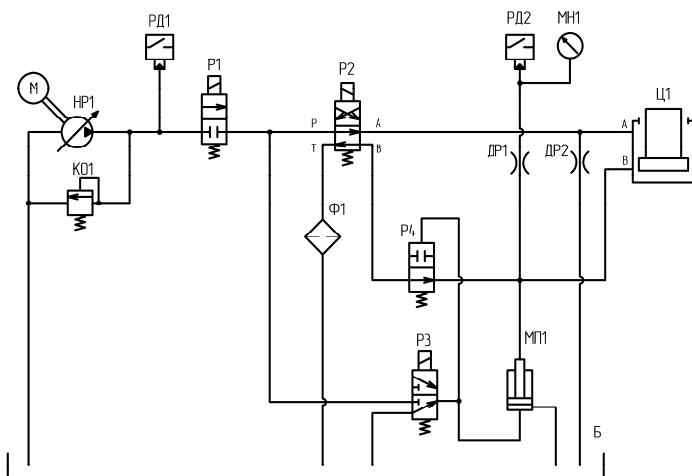


Рис. 1. Гидравлическая схема устройства с элементами монтажа:

Б – бак; ДР1 и ДР2 – дроссели 1 и 2; КО1 – обратный клапан; М – мотор; МН1 – манометр; МП1 – гидромультиплексор; HP1 – регулируемый насос; Р1–Р4 – гидрораспределители; РД1 и РД2 – реле давления; Ф1 – фильтр 1; Ц1 – гидроцилиндр

стродействие и надёжность, функции, гибкость проектирования управляющей программы и удобство её отладки, стоимость.

Первый вариант – выполнение программы на базе логического контроллера (например, SIEMENS S7-200). Программируемый логический контроллер (ПЛК) имеет модульную конструкцию [5]. При использовании ПЛК необходимо добавить в систему управления силовые блоки, поскольку сам ПЛК их не содержит. С точки зрения надёжности ПЛК SIEMENS данного класса бездействие превышает требования, предъявляемые задачей. Быстродействие встроенного микропроцессора велико и превышает требования по быстродействию, следующие из задачи. Построение системы управления на базе ПЛК позволяет быстро спроектировать и отладить управляющую программу без подключения исполнительного оборудования. Для использования данного устройства в текущей задаче выявлен ряд недостатков: применение ПЛК требует высокой квалификации проектировщика; большая стоимость всего оборудования для создания такой системы управления.

Второй вариант – выполнение программы на базе программируемого силового реле (например, SIEMENS LOGO!). Программируемое реле имеет один модуль, напрямую оперирующий силовыми входами/выходами. Требуется лишь один модуль расширения, чтобы довести их количество до необходимого. Встроенный микропроцессор обеспечивает достаточное быстродействие и надёжность. Применение программируемого реле в системе управления упрощает как силовую схему, так и управляющую программу в сравнении с предыдущим вариантом при сохранении его по-

ложительных качеств [6, 7]. К достоинствам реле также можно отнести низкое энергопотребление, малые габариты, простоту монтажа, написания и отладки управляющей программы. Недостатком является требование относительно высокой квалификации проектировщика.

Поскольку оба варианта принадлежат к разным классам устройств, то стоимости различаются примерно в 2 раза. По совокупности характеристик последний вариант представляется оптимальным.

Силовая часть системы (гидравлическая и механическая). Силовая часть устройства обеспечивает безопасность функционирования вне зависимости от того, в каком состоянии находятся электрическая и логическая схемы. Например, если пропадёт питание, то переход в нормальное состояние элементов гидравлики обеспечит торможение системы в текущем положении либо возвращение в исходное под действием силы тяжести.

Электрическая часть системы. Сигналы электрической части системы имеют три градации приоритета. Самый высокий приоритет сигналов переводит механическую часть в описанное выше состояние, которое непосредственно обеспечивает физическую безопасность оператора и оборудования. Этим приоритетом обладают следующие сигналы: сигнал кнопки аварийного останова, сигнал датчика присутствия в рабочей зоне. Кроме того, силовая часть электрической схемы подаёт сигнал наивысшего приоритета в логическую часть схемы.

Менее важные с точки зрения безопасности сигналы вызывают функции, связанные с предохранением оборудования от поломки. Самый

низкий приоритет имеют сигналы, запускающие активное управление исполнительными органами. Электрическая часть системы обеспечивает индикацию наиболее критичных состояний устройства с помощью световой индикации.

С предложенным подходом ошибки проектирования влияют на функционирование системы однообразно – просто останавливают её, не приводя к потенциально опасным сочетаниям действий исполнительных органов устройства. Сигналы от первичных преобразователей (датчиков давления, перемещения, температуры и т. д., связанные с безопасностью функционирования системы в целом) действуют напрямую, независимо от сравнительно медленно и потенциально неоднозначно действующей программной части устройства. То есть все аварийные режимы обрабатываются с помощью простой релейной логики автономно или происходят под действием силы тяжести без участия системы управления.

Логическая часть системы. Обеспечивает обработку входных сигналов и сигналов обратной связи, запускает более сложные функции и их смену. Программа выводит диагностические сообщения на дисплей о состоянии системы и показывают текущий этап выполнения рабочего цикла.

Описание выходных состояний системы (исполнительных органов). В конструкции применены три гидрораспределителя с двумя дискретными положениями. Каждый из режимов работы устройства определяется бинарной комбинацией состояний гидрораспределителей. Из возможных восьми состояний трёх выходов системы для технологических целей используются только пять. Три оставшихся состояния могут быть потенциально опасны как для человека, так и для оборудования. В системе управления предусмотрено принудительное ограничение числа состояний выходов системы. Весь цикл штамповки можно записать в виде табл. 1 состояний гидрораспределителей.

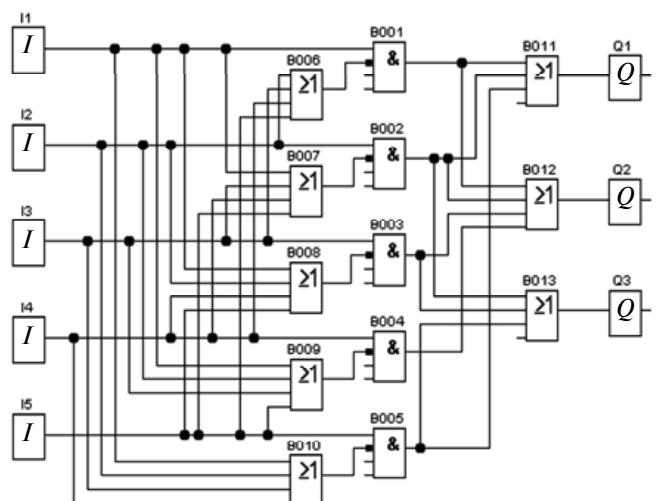


Рис. 2. Выходной логический блок в программе LOGO!Soft Comfort:

I – вход; Q – выход; ≥ 1 – логический элемент ИЛИ; $\&$ – логический элемент И

Состояния гидрораспределителей задаются выходным логическим блоком программы реле, который жёстко ограничивает все сочетания состояний исполнительных органов (рис. 2).

Каждый из входов I схемы представляет собой требуемое в данный момент логическое состояние рабочего цикла. Тремя выходами Q в устройстве представлены коммутирующие ключи катушек гидрораспределителей. В каждый момент времени действует только один из входов, обеспечивающий тот или иной этап рабочего цикла. Любое нештатное сочетание состояний входов приводит к блокированию выходов в строго определённой комбинации (состояние Z , табл. 2). Это решение реализует радикальное ограничение непредусмотренных состояний исполнительных органов объекта управления и, как следствие, существенно повышает однозначность системы.

Таблица 1

Состояния гидрораспределителей

Этап рабочего цикла	Логическое состояние	Состояние гидрораспределителей	Режим
1	A	Y1, Y2, Y3	Подвод
2	B	Y1, Y2, Y3	Нагнетание
3	C	Y1, Y2, Y3	Фиксация
4	D	Y1, Y2, Y3	Сброс давления
5	E	Y1, Y2, Y3	Реверс

Примечания. Y – включённый распределитель; Y' – выключенный гидро-распределитель.

Таблица 2

Перечень состояний системы, имеющих технологический смысл в данном оборудовании

Состояние системы	Действие и/или технологическая операция
A	Подвод
B	Нагнетание
C	Фиксация
D	Сброс давления
E	Реверс
P	Включение насоса
L	Включение задержек фиксации или сброса
Z	Запрещение всех активных состояний выходного логического блока (1–5)
T1	Задержка на холостую работу гидронасоса
T2	Задержка перед нагнетанием давления в системе
T3	Задержка для перехода на другие базовые состояния
TC	Задержка для фиксации гидроцилиндра под давлением
TD	Задержка для сброса давления в системе

Таблица 3

Логические входы системы

Вход	Функциональное исполнение	Действие и/или технологическая операция
«Alarm»	Аварийная кнопка с фиксацией	Включается при возникновении любой нештатной ситуации
«Rd10»	Датчик	Сигнализирует о достижении в системе давления 10 МПа
«Start»	Кнопка	Начинает или продолжает рабочий цикл
«Stop»	»	Прекращает рабочий цикл на любом этапе
«Reset»	»	Прекращает рабочий цикл на любом этапе и возвращает систему в начальное состояние
«Auto»	»	Обеспечивает циклическое повторение рабочего цикла
«Fence»	Датчик	Сигнализирует о наличии посторонних предметов или объектов в рабочей области, осуществляет аварийную остановку рабочего цикла
«Rd100»	»	Сигнализирует о давлении в системе до 100 МПа
«Up Hard»	»	Сигнализирует о достижении гидроцилиндром верхнего предельного положения
«Up Soft»	»	Сигнализирует о достижении гидроцилиндром верхнего рабочего/настроичного положения
«Low Soft»	»	Сигнализирует о достижении гидроцилиндром нижнего рабочего/настроичного положения
«Low Hard»	»	Сигнализирует о достижении гидроцилиндром нижнего предельного положения

Таблица 4

Перечень переходов системы при любом текущем состоянии

Номер/ название входа	Состояние до входа	Запускаемая последовательность		Текстовое сообщение	Сигнальная лампа		
1. Alarm	A, D, E	P, Z, L		Alarm Stop	«Alarm Stop»		
	B, C	P, D, T3	Z, L				
2. Rd10	E	T1	P, Z, L	Idle Off	Нет		
	A	T2	B	Pressing			
3. Start	A	E, A		Operating	«Operating»		
	B, D	E, D					
	C	E, C					
	E	E, E					
4. Stop	A	L, C, T3	A	Stopped	«Stopped»		
	B	L, C, T3	B				
	D	L, C, T3	D				
	E	Z					
5. Reset	A, B, C, D	P, E, T3	D	Reset	Нет		
	E	P, E, T3	L, E				
	Нет	L, A					
6. Auto	D, E	A		Auto	»		
7. Fence	A, B, C, D, E	Stopped		Fence	»		
8. Rd100	A	D		Hold	»		
	B	C					
9.Up Hard	B, C, D	P, T3	D	»	»		
	A, E	P, T3	L, Z				
10. Up Soft	A, E	E		Abnormal Up Soft	»		
	B, C, D	D		Up Soft			
11. Low Soft	D, E	Auto, A		Low Soft / Ready	«Ready»		
12. Low Hard	D, E	Auto, A		Low Hard / Ready	»		

Анализ значения входов системы. Состояние системы полностью определяется перечисленными ниже логическими входами (табл. 3), однако большинство состояний системы не имеют смысла для технологического процесса. Кроме того, общее число состояний системы, даже без учёта задержек и переходных процессов, велико, и среди этих состояний могут оказаться потенциально опасные. Проконтролировать на этапе проектирования или функционирования условия появления каждого состояния невозможно из-за большого объёма задачи. Поэтому вместо прямого перебора приходится искусственно ограничивать количество состояний системы и обеспечивать появление только тех, которые вызывают ограниченную последовательность внутренних состояний системы и определённый набор сочетаний выходных координат (см. табл. 2).

Введём взаимное ограничение совместных действий входов и будем рассматривать каждый вход в отдельности, учитывая приоритет функции, которую вход вызывает. Далее с помощью явного указания всех последовательностей состояний, необходимых для действия системы и исключения остальных, устраним большинство состояний системы, бесполезных для функционирования устройства (табл. 4).

Синтез и отладка управляющей программы. Проектирование управляющей программы проводилось в среде редактора LOGO!Soft Comfort [8]. На первый взгляд управляющая программа может показаться сложной для понимания и анализа. Однако, имея в виду описанный принцип синтеза программы, можно легко проследить её действия. Удобно моделировать сначала отдельные логические «ветви» системы, исключить в них

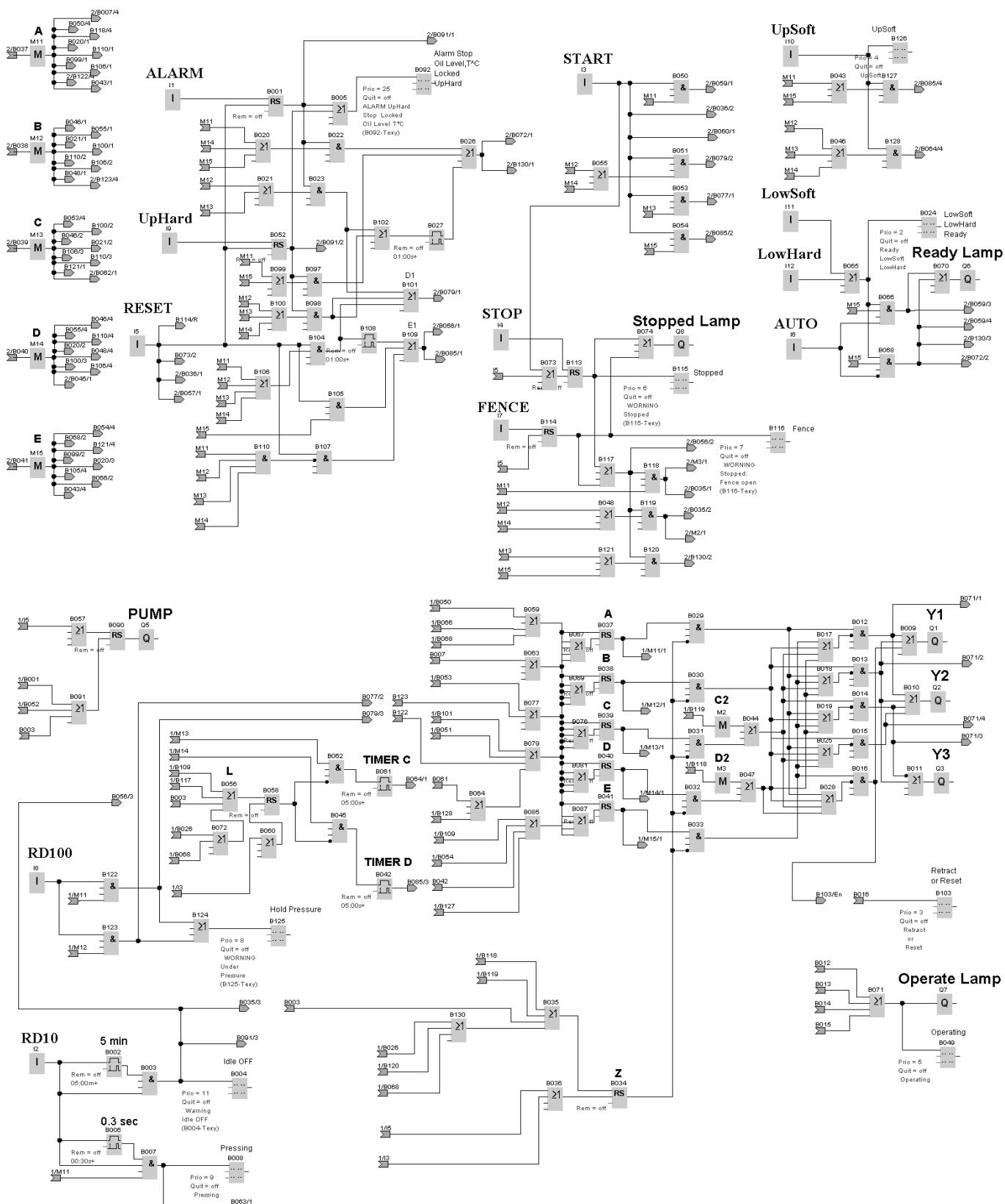


Рис. 3. Программа логического реле:

I – вход; M – флаг (меркер); RS – RS-триггер; Q – выход; ≥ 1 – логический элемент ИЛИ;
 $\&$ – логический элемент И

ошибки, а далее объединить фрагменты в одном рабочем поле. Затем желательно убедиться, что собранная система выполняет свои функции так, как было задумано, а особенно – не выполняет непредусмотренных действий.

При проектировании сложных систем значительное время занимает именно отладка [9]. При отладке необходимо убедиться, что исследование спроектированной системы достаточно. Для этого уместно руководствоваться критерием отработки всех логических переходов рабочих состояний цикла. В значительной степени эту задачу облегчает симуляция входных и выходных воздействий в реальном времени.

Чтобы реальная система функционировала правильно, в работе учтено явление «дребезга» контактов. Каждый сигнал входа запускает элемент памяти (RS-триггер) в логической программе, который в свою очередь является управляющим элементом для внутренней логики.

Выводы. Количество элементов логической схемы управления гидростанцией занимает почти весь допустимый объём памяти логического устройства, выпускавшегося на момент приобретения (2006–2007 гг.) [7], тем не менее оказалось возможным реализовать на нём нехарактерную для этого класса устройств задачу. Можно было бы не отмечать отдельно этот факт, однако количественное увеличение ресурсов устройств этого класса позволяет прогнозировать дальнейшую их экспансию в сторону более сложных задач, считавшихся типичными для устройств более высокого класса. Это можно считать главным выводом из работы. Применение программируемого реле существенно оптимизировало затраты на разработку, производство, а главное, испытания и ввод в эксплуатацию автоматизированного циклового пресса.

Необходимо отметить ещё раз один момент. В сложных системах поиск и обнаружение ошибок

системы занимают чуть ли не больше времени, чем её проектирование (ошибки встречаем и сейчас!). Однако с применением описанной выше стратегии проектирования системы построено такое устройство, в котором ошибки системы управления просто его останавливают, не приводя к принципиально новым и потенциально опасным сочетаниям условий.

Библиографические ссылки

1. **Пример** автоматизации освещения с помощью контроллера LOGO! [Электронный ресурс]: Lighting-News.info. URL:<http://lightingnews.info/78-primeravtomatizaci-osveshenija-s-pomoshhju.html> (дата обращения: 23.03.2011).
2. **SIEMENS**: новый класс программируемых устройств – логические модули LOGO! [Электронный ресурс]: Мир компьютерной автоматизации. <http://www.mka.ru/?p=40680> (дата обращения: 23.03.2011).
3. **LOGO!** Example Projects [Электронный ресурс]: SIEMENS Industry USA. URL:http://www.sea.siemens.com/us/Products/Automation/Micro-Automation/support/Tips_and_Tricks/LOGO/Pages/ExampleProjects-LOGO.aspx (дата обращения: 23.03.2011).
4. **S7-200** Example Projects [Электронный ресурс]: SIEMENS Industry USA. http://www.sea.siemens.com/us/Products/Automation/Micro-Automation/support/Tips_and_Tricks/S7-200/Pages/ExampleProjects-S7-200.aspx (дата обращения: 23.03.2011).
5. **Митин Г.Л., Хазанова О.В.** Системы автоматизации с использованием программируемых логических контроллеров: учеб. пособие. М.: ИЦ МГТУ «Станклин», 2005. 136 с.
6. **LOGO!** Руководство; A5E00380835-01, SIEMENS, 2005.
7. **LOGO!** Модуль расширения. Руководство; J31069-D1262-U002-A2-7618, SIEMENS, 2002.
8. **LOGO!** Soft Comfort V5.0 A5E00266631-02(b), SIEMENS, 2002.
9. **Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.** Системы числового программного управления: учеб. пособие для вузов. Логос, 2005. 296 с. ISBN 5-98704-012-4.

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При этом ссылка на журнал обязательна.



УДК 004.942

Е.М. Лазарев, К.А. Аксёнов, канд. техн. наук, доц.

(Уральский федеральный университет,

Радиотехнический институт – радиотехнический факультет, г. Екатеринбург)

lazareveugene@gmail.com

СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ АГЕНТОВ ПОИСКА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ (НАРУШЕНИЙ)

Рассмотрен подход к созданию интеллектуальных агентных систем для решения задач эффективного управления территорией муниципального уровня. Основными особенностями освещаемого решения является использование информации о пространственном отношении объектов управления и наличие агентных программных структур для осуществления интеллектуального анализа данных.

Ключевые слова: геоинформационная система, программный агент, база знаний.

The approach to intellectual agent systems creation for the efficient control tasks decision of the municipal level territory is considered. The basic features of the reported decision are information usage about the spatial relation of the control objects and agents program structures availability for realization of the data intellectual analysis realization.

Key words: геоинформационная система, программный агент, база знаний.

Введение. Управление территорией масштаба муниципального образования (МО) требует обдуманных и качественных решений, а также быстрой реакции на текущие изменения, для чего необходимы детальный анализ информации и интеллектуальные методы прогнозирования. Подобные методы можно реализовать в так называемых интеллектуальных программных агентах анализа данных, спецификой которых является использование для анализа метафизических данных об объекте.

Управление территорией. По результатам обследования деятельности администрации МО и Управления архитектуры и градостроительства можно выделить несколько специфичных задач, требующих метафизического подхода к анализу данных об объектах управления:

поиск земельных участков (ЗУ), удовлетворяющих критериям отбора на аукционах ЗУ;

поиск объектов управления, для которых нарушены правила и нормы застройки или использования;

расчёт качества обслуживания территории;

расчёт экологической обстановки территории, а также расчёт статистической информации;

по характеристикам движения автотранспорта (средняя скорость, статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП), опасные участки, направления движения);

по объектам обслуживания территории (парки, скверы, парковочные места, урны, скамейки, предприятия обслуживания и т. д.);

по транспортной доступности объектов управления.

Для реализации задач эффективного управления предлагается использовать систему распределённого компьютерного моделирования объектов управления территорией. Архитектура системы представлена на рис. 1. В системе используется база знаний (БЗ), включающая данные о прошлом и текущем состоянии объектов управления. Распределённая структура программных агентов актуализации данных БЗ (на рис. 1 обозначены буквой «А») позволяет собирать актуальную информацию об объектах управления и поддерживать актуальность всей информации в БЗ. Под понятием «агент» или «программный агент» следует понимать определение, данное в работе [1]. Использование программных агентных структур позволяет оптимизировать затраты ресурсов на поддержание БЗ в актуальном состоянии, что является обязательным условием для выполнения аналитической обработки данных БЗ. Также в системе присутствует программный агент интеллектуального анализа данных БЗ, который, взаимодействуя со специалистами предметной области, позволяет осущес-

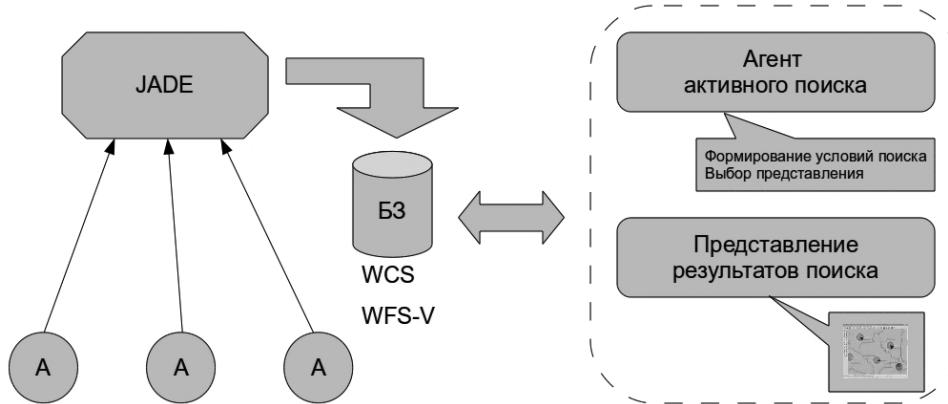


Рис. 1. Архитектура системы

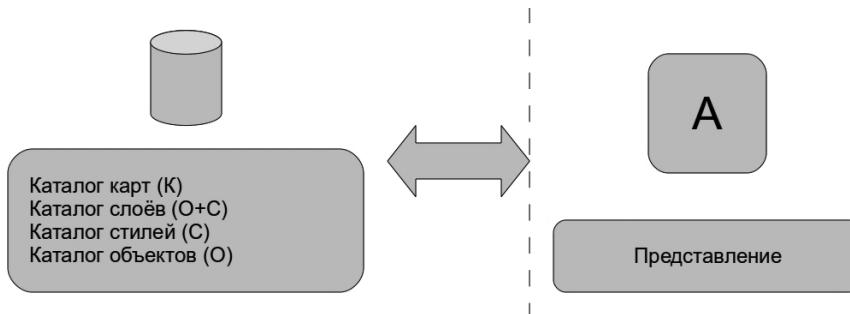


Рис. 2. Архитектура взаимодействия агента поиска с базой знаний

ствлять нетривиальный поиск и анализ данных для выполнения обозначенных задач. Функционирование программных агентов основано на использовании подхода «модель – представление – контроллер» (МПК, MVC). Такой шаблон проектирования [2] позволяет проектировать модель данных независимо от используемых представлений и контроллеров, представленных приложениями пользовательского интерфейса и данным классом программных агентов. В распределённой структуре программных агентов актуализации информации предлагается использовать платформу JADE, которая хорошо зарекомендовала себя в открытых мультиагентных проектах [3]. Данная платформа позволяет упростить программную реализацию агентной системы и использовать различные языки обмена сообщениями между агентами. БЗ представлена на рис. 2. Основные ключевые элементы БЗ: каталог карт (K); каталог стилей (C); каталог объектов (O); каталог слоев (O+C). При проектировании структуры хранения данных использованы стандарты OpenGisConsortium [4–6]: WMS, WFS, WCS. Применение данных стандартов позволит избежать проблем при интеграции с другими информационными системами анализа и ввода информации.

Специалист предметной области, используя модуль агента в роли контроллера, формирует целевую функцию (ЦФ) и задание желаемых параметров поиска. При этом поощряется использование уже созданных шаблонов поиска для формирования ЦФ, так как это способствует абстракции критериев поиска и возможности создания комплексных ЦФ, которые охватывают больший круг критериев и исключают логические ошибки ввода. Программный агент обладает возможностями:

запросить модель данных в БЗ. Данная информация позволит предоставить актуальную информацию для пользователя о структуре данных модели и возможных критериях поиска;

трансформировать запрос в язык запросов к БЗ после задания пользователем на формальном языке запросов целевой функции. Данное преобразование необходимо в силу того, что понятный для человека синтаксис формирования запросов может быть неоднозначно интерпретирован компьютерными системами. Например, языки KIF [7] и FIPA [8] достаточно нетривиальны для чтения и составления человеком, но в то же время позволяют компьютерным системам однозначно интерпретировать и создавать сложные запросы к БЗ;

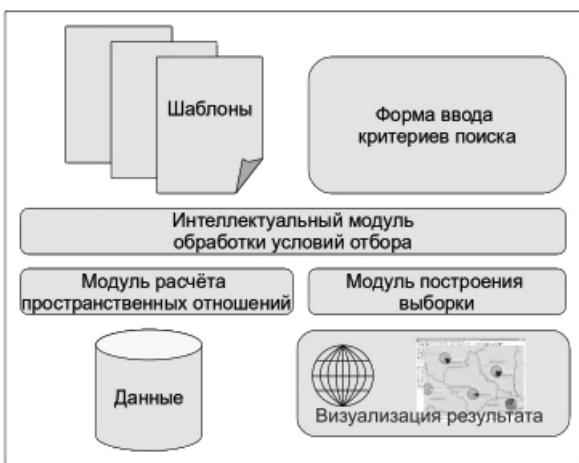


Рис. 3. Архитектура агента

сразу после выполнения запроса просмотреть результаты поиска с возможностью их отложенного просмотра, что удобно при выполнении сложных и долгих запросов.

Архитектура агента представлена на рис. 3. Принцип работы интеллектуального агента основан на использовании метафизической информации о пространственном расположении и пространственных взаимоотношениях объектов управления. Например, при анализе ЗУ можно извлечь информацию о близлежащих заводах, состоянии транспортной системы, по которой будет осуществляться транспортное сообщение с ЗУ, нахождение в экологической зоне, инженерное обеспечение коммуникациями и возможность подключения к ним с заданными параметрами. Все эти характеристики не принадлежат конкретному ЗУ,

так как являются характеристиками окружения ЗУ. Следовательно, эту информацию нельзя извлечь из обыденной базы данных. Для выявления данных характеристик необходимо получить пространственное описание объектов управления, что возможно при использовании пространственной базы данных.

Агент сначала собирает информацию от пользователя о критериях отбора и поиска данных. При этом могут использоваться шаблоны наиболее частых или сложных для построения критериев отбора. Далее программный агент запускает механизм анализа полученных данных, и осуществляется извлечение общих характеристик пространства поиска. Необходимо исключить условия, которые при выполнении поиска не учитываются или могут привести к пустой выборке.

Используя модуль расчёта пространственных отношений, необходимо сформировать инструкции к базе данных, которые позволяют выполнить поиск максимально быстро и осуществить обработку метафизических данных об объектах управления. После построения и выполнения инструкций поиска максимально наглядно визуализируется результат поиска. Для этого используется подход создания тематических карт, позволяющий наглядно оформить статистические данные на карте.

Для определения пространственных отношений между объектами управления используется аппарат пространственной геометрии и специальные структуры хранения данных, обеспечивающие быстрый поиск и обработку запросов [9]. Рассмотрим нахождение точки пересечения большого числа полилиний (рис. 4), для чего можно

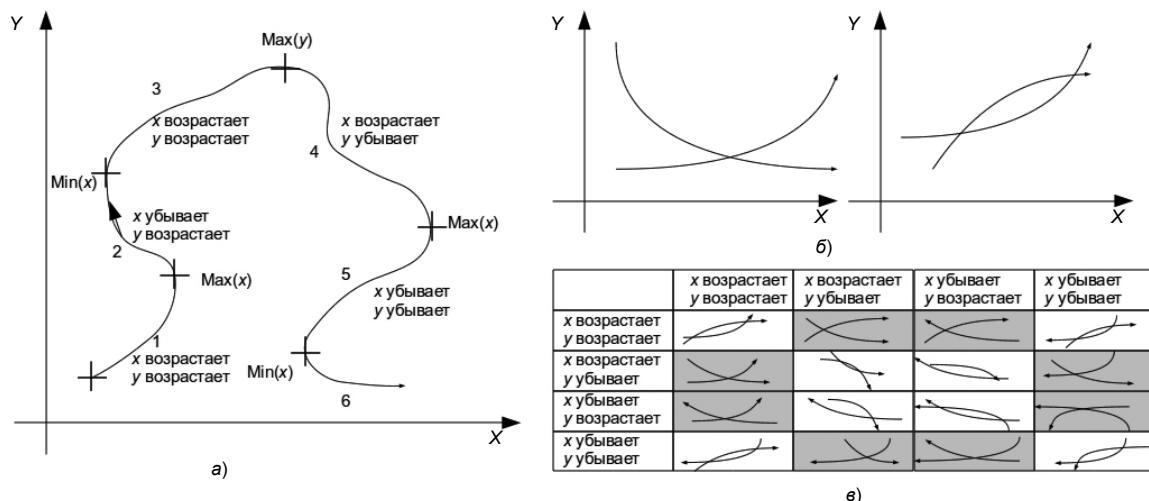


Рис. 4. Оптимизация алгоритма определения пересечения полилиний, основанная на разбиении на монотонные секции:
 а – разбиение на секции; б – различные варианты пересечения секций; в – схема определения единственности точки пересечения секций

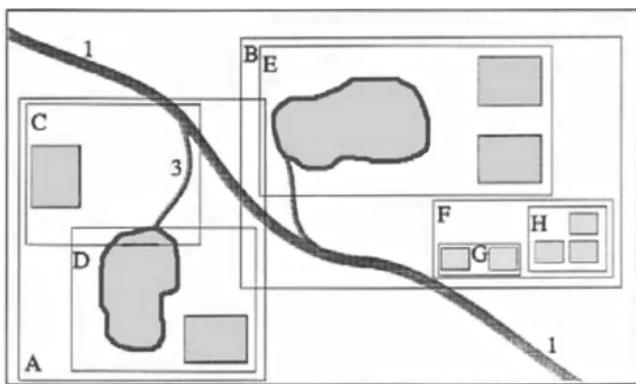


Рис 5. Анализ топологических отношений

организовать пространственную индексацию полилиний. Наиболее часто в географических информационных системах (ГИС) используются индексы на квадродержевьях [10]. При такой индексации поиск пересечений ведётся только для полилиний, у которых ветви квадродержева пересекаются.

Данные методы необходимы для вычисления вхождения объектов в экологические зоны или для нахождения ближайших точек подключения к электросетям (рис. 5). При выводе или отборе данных с точки зрения непрерывного феномена необходимо использовать подход моделирования поверхностей. В отличие от цифровых представлений точечных, линейных и площадных объектов, трёхмерные объекты требуют особых форм представления, так как их местоположение описывается не только двухмерными, но и высотными координатами. К наиболее распространённому типу трёхмерных объектов относится топографический рельеф земной поверхности. Трёхмерные объекты позволяют смоделировать карты плотности населения, атмосферного давления, влажности и т. п. Однако трёхмерные модели традиционно связывают с цифровыми моделями рельефа (digital elevation model — DEM) [11]. Цифровые модели рельефа позволяют по конечному набору выборочных точек определять возышение, крутизну склона, направление ската в произвольной точке на местности. Возможно выявление особенностей местности (бассейнов рек, дренажных сетей, пиков, впадин и т. п.). Такие модели применяются во многих процедурах ГИС-анализа: при выборе места строительства зданий и коммуникаций, при анализе дренажных сетей, видимости, выборе маршрута движения по пересечённой местности. Часто цифровые модели рельефа применяются в гидрологии.

Заключение. Используя разработанный подход к созданию распределённой модели и архитектуру агентов интеллектуального поиска градострои-

тельных изменений, создана система, позволяющая специалистам предметной области контролировать состояние объектов управления МО. На базе данной системы разработано несколько интеллектуальных программных агентов, позволяющих осуществлять поиск и представление информации по объектам управления:

агент санитарно-гигиенического мониторинга (СГМ) позволяет проводить многокритериальный поиск санитарных зон, согласовывать результат с другими агентными модулями для достижения оптимального результата, а также строить диаграммы для более полного восприятия результатов поиска;

агент поиска градостроительных изменений (ПГИ) позволяет осуществлять мониторинг изменений состояния объектов управления, а также учитывать их влияние для получения требуемых результатов поиска;

агент Гражданской обороны и Чрезвычайных ситуаций (ГО и ЧС) позволяет моделировать последствия ЧС для планирования ГО и мер предотвращения ЧС, такие как прорывы плотин, аварии на заводах и электростанциях и катастрофы.

Библиографические ссылки

1. Wooldridge Michael. An Introduction to MultiAgent Systems / Michael Wooldridge. John Wiley&Sons Ltd, 2002. 366 с. ISBN 0-471-49691-X.
2. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. СПб: «Питер», 2007. 366 с.
3. Who is using JADE. 2007. URL: <http://jade.tilab.com/application-who.htm>.
4. OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification. URL: <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>.
5. OpenGIS Web Feature Service (WFS) Implementation Specification. URL: <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>.
6. Web Coverage Service (WCS) Implementation Standard. URL: <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>.
7. Knowledge Interchange Format (KIF). 1992. URL: <http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/kif/>.
8. FIPA SL Content Language Specification. 2002. URL: <http://www.fipa.org/specs/fipa00008/index.html>.
9. Якубайлик О.Э. Методы и приёмы пространственного анализа в геоинформационных системах: учеб. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2001. 38 с.
10. Guttman Antomn. R-trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching / Antomn Guttman. 1984. P. 47–57.
11. Варфоломеев И.В. Алгоритмы и структуры данных геоинформационных систем: Методические указания для студентов специальности 071903 «Геоинформационные системы» / И.В. Варфоломеев, И.Г. Ермакова, А.С. Савельев. Красноярск: КГТУ, 2003. 34 с.



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Повышение эффективности механической обработки сварных соединений рельсов. Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 3.

Рассмотрено формирование упрочнённого слоя на поверхности сварного шва головки рельса методом пластического деформирования с помощью электромагнитной машины ударного действия. Приведено описание методики и результатов исследования влияния ударного упрочнения на физико-механические свойства сварных соединений рельсов.

Применение установки горизонтального непрерывного литья для выпуска полуфабрикатов из сплавов тяжёлых цветных металлов в ОАО «Каменск-Уральский завод по обработке цветных металлов» Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 3.

Рассмотрено применение технологически и экономически обоснованной и прогрессивной тенденции ухода от высокозатратных процессов прессования и прокатки к изготовлению заготовок малого поперечного сечения посредством горизонтального непрерывного литья, предназначенных для волочения полуфабрикатов широкого марочного и размерного сортамента.

Расчёт угловой скорости манипулятора для обеспечения постоянной скорости сварки при автоматической сварке замкнутых швов сложной конфигурации. Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 3.

Представлены полученные выражения для определения необходимой угловой скорости вращения изделия для обеспечения постоянной скорости сварки при изготовлении сварных деталей. Показано, что данные выражения позволяют создать базу для проектирования программ автоматической сварки замкнутых швов сложной конфигурации.

Математическое моделирование сверхпластической формовки сложнопрофильных изделий из трубных заготовок. Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 3.

Представлено конечно-элементное моделирование процессов сверхпластической формовки заготовок прямоугольного и шестиугранного поперечных сечений. Показаны установленные технологические режимы процессов формообразования и геометрические параметры изделий из сплава АМг6.

О влиянии закладного элемента на процесс деформации в осесимметричной задаче процесса горячего изостатического прессования. Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 3.

Рассмотрено влияние закладного элемента с большой радиальной жёсткостью на характер процесса уплотнения порошкового материала в осесимметричной задаче исследования процесса горячего изостатического прессования. Приведено полученное аналитическое решение. Показано, что при большой радиальной жёсткости закладного элемента на начальном этапе процесса деформация локализуется на его наружной стороне.

Газификация жидкых остатков ракетного топлива в условиях малой гравитации. Полёт. 2011. № 3.

Определён класс задач низкотемпературной газификации жидких остатков компонентов ракетного топлива, имеющий свои специфические особенности, методологию, модели и научно-методический подход. Сформулированы основные теоретические положения, допущения и гипотезы, в том числе о снижении концентрации компонентов топлива в газовой фазе, граничных условиях для жидкого топлива в баках при протекании процесса газификации, взаимодействии струй теплоносителя с жидким топливом в условиях малой гравитации.

Динамическая устойчивость груза на тросовой внешней подвеске вертолёта. Полёт. 2011. № 3.

Представлены результаты теоретических исследований динамической устойчивости осесимметричных грузов на тросовой внешней подвеске вертолёта. Приведены зависимости характеристик динамической устойчивости грузов от скорости горизонтального полёта и параметров грузов.

Уточнение коэффициента теплопередачи при аэродинамическом нагреве ракеты. Полёт. 2011. № 3.

Показано, что с ростом скоростей полёта ракет проблема точности определения температурных полей при их аэродинамическом нагреве становится всё более актуальной. Предложена методика расчёта коэффициента теплопередачи, позволяющая существенно повысить точность расчёта температуры корпуса ракеты в полёте и, как следствие, оптимизировать её конструкцию.

Моделирование напряжённо-деформированного состояния каркаса городского автобуса в среде ANSYS. Автомобильная промышленность. 2011. № 3.

Рассмотрен алгоритм моделирования каркаса городского автобуса, сочетающий в себе элементы предварительных аналитических расчётов с возможностями конечно-элементного анализа в среде ANSYS. Приведены результаты моделирования напряжённо-деформированного состояния каркаса автобуса МАЗ-206 для некоторых режимов его движения.

Автоматизация составления структуры гарантийного комплекта запасных частей. Автомобильная промышленность. 2011. № 3.

Приведён анализ способов повышения эффективности сервисного обслуживания за рубежом на основе автоматизированной системы составления гарантийных комплектов.

Выбор параметров динамического гасителя колебаний колеса с учётом изменения жёсткости шины в процессе эксплуатации. Грузовик. 2011. № 3.

Рассмотрен выбор параметров динамического гасителя колебаний колеса с учётом изменения жёсткости шины в процессе эксплуатации, представлены графики АЧХ ускорений подрессоренной массы с постоянными характеристиками динамического гасителя при различных собственных частотах колебаний неподрессоренной массы и приведены результаты их анализа.

Разработка теоретических стационарных экономичных моделей эксплуатации автотракторных дизелей для системы прогнозирования ресурсной прочности поршней. Грузовик. 2011. № 3.

Представлены экономичные теоретические стационарные модели эксплуатации среднего и нижнего уровня сложности путём свёртки полигонов детализированных моделей эксплуатации автомобильных и тракторных дизелей, выполненной на основе анализа температурного состояния поршня. Приведён синтез соответствующих нестационарных моделей. Установлено, что использование моделей среднего уровня в процессе проектирования поршня позволяет снизить объём расчётной информации в 1,5–2 раза, а моделей нижнего уровня – в 1,8–2,7 раза.

Расчётные исследования процесса топливоподачи дизеля, оснащённого распылителями форсунок с различной геометрией проточной части. Грузовик. 2011. № 3.

Предложена конструкция опытного распылителя форсунки, обеспечивающего улучшение показателей процессов впрыскивания и распыливания топлива. Приведены расчётные исследования процесса топливоподачи дизеля, оснащённого серийными и опытными распылителями. Представлены результаты экспериментальных исследований дизеля типа Д-245.12С с серийными и опытными распылителями.

Синтез переходной кривой эвольвентных зубьев колёс с несимметричными профилями. Вестник машиностроения. 2011. № 3.

Рассмотрен аналитический способ определения переходных кривых ножек несимметричных зубьев колёс. Показано на первом этапе использование метода построения рулетт, связанных с перекатывающимися друг по другу начальными окружностями, для нахождения координат точек таких переходных кривых при скольжении вершин зубьев по переходным кривым ножек, а на втором этапе – конструирование радиального зазора, очертания которого должны соответствовать критериям простоты изготовления зубьев и наименьшей концентрации напряжений в корне зуба.

Исследование распределения нагрузки по длине ролика зубчато-роликовой планетарной передачи. Вестник машиностроения. 2011. № 3.

Приведён аналитический метод определения удельной нагрузки в зонах контакта роликов, сателлитов и дисков зубчато-роликовой планетарной передачи типа К-Н-В, основанный на решении дифференциальных уравнений совместимости перемещений сопрягаемых элементов механизма.

Снижение динамической нагруженности элементов в контуре циркуляции мощности планетарной коробки передач автомобиля. Вестник машиностроения. 2011. № 3.

Приведены рекомендации по снижению динамической нагруженности элементов в контуре циркуляции мощности планетарной коробки передач автомобиля путём увеличения времени регулирования давления в гидроцилиндре включаемого фрикционного тормоза и дополнительного кратковременного подключения фрикционов из числа не включаемых при работе передачи заднего хода. Предложена характеристика изменения давления в гидроцилиндре включаемого фрикциона на передаче заднего хода, позволяющая снизить динамические нагрузки на 14 % в элементах коробки передач БелАЗ-7516.

Влияние разброса значений параметров гидроусилителей на динамику систем управления. Вестник машиностроения. 2011. № 3.

Приведена оценка влияния случайных вариаций обобщённых параметров электрогидравлических усилителей двухканальной системы автоматического управления с двухдвигательным приводом на устойчивость и качество переходных процессов.

Автоматизация измерения внутреннего диаметра длинномерных гильз гидроцилиндров. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 4.

Рассмотрен новый способ автоматического измерения диаметров глубоких отверстий, который заключается в последовательном сканировании

зоны, близкой к диаметру отверстия. Это позволяет исключить влияние на точность измерения погрешности базирования измерительной головки. Устройство, реализующее данный способ, успешно внедрено в производство, что существенно повысило качество сборки гидроцилиндров для автомобильных кранов.

Пайка в вакууме. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2011. № 4.

Рассмотрены процесс вакуумирования, технология и техника создания вакуума при пайке металлов, его применение.

Программное обеспечение для автоматизированного проектирования приспособлений к станкам сверлильной группы в САПР «Компас-3ДМ». *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2011. № 4.

Разработано программное обеспечение для автоматизированного расчёта конструктивных параметров и построения моделей и чертежей конструкторов.

Технология и горелка для газопламенного напыления порошковыми материалами водородно-кислородным пламенем. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2011. № 4.

Предложены технология и горелка для газопламенного напыления порошковых материалов, позволяющие уменьшить загрязнения окружающей среды и вредных выбросов в атмосферу получением в качестве продукта сгорания водяного пара за счёт использования в качестве горючего и транспортирующего газов экологически чистой водородно-кислородной смеси, вырабатываемой электролизёрами из воды, предотвратить образование обратных ударов в горелке по каналу втулки.

Некоторые аспекты обеспечения безопасности управления полётами космических аппаратов на примере МКС. *Полёт.* 2011. № 4.

Рассмотрены вопросы организации автоматизированной системы управления (АСУП) пилотируемых космических аппаратов (КА) с точки зрения обеспечения безопасности управления полётом. Эти вопросы рассматриваются на примере организации управления полётом Российской сегментом Международной космической станции. Поддержание высокого уровня безопасности управления полётом КА является одним из наиболее важных требований к организациям процесса функционирования современных АСУП КА, представляющих собой сложную организационно-техническую систему, состоящую из множества взаимодействующих друг с другом разнородных элементов.

Использование результатов космической деятельности в образовании. *Полёт.* 2011. № 4.

Дан обзор состояния работ по использованию космических технологий в образовании в России и за рубежом. Показаны основные направления и

перспективы развития космического образования, в том числе с использованием разрабатываемой в МАИ спутниковой образовательной системы.

Технология восстановления изношенных цементированных деталей автомобилей. *Автомобильная промышленность.* 2011. № 4.

Предложена технология восстановления изношенных цементированных деталей, которая включает индукционный нагрев восстанавливаемой части детали, пластическую деформацию, чистовую механическую обработку и закалку с нагрева ТВЧ. Обоснованы требования к индукционному нагреву, остаточному содержанию углерода в цементованном слое и скорости охлаждения детали при закалке.

Способ получения динамических характеристик, необходимых для построения компьютерных моделей виброзащитных свойств кабины грузового АТС. *Автомобильная промышленность.* 2011. № 4.

Приведены технология стендовых испытаний и методы определения динамических характеристик элементов подпрессоривания кабины, необходимые для верификации математической модели и совершенствования конструкции подвески.

Автоматизированные коробки передач Renault Quickshift. *Автостроение за рубежом.* 2011. № 4.

Предложены автоматизированные коробки передач, которые сочетают преимущества механических трансмиссий и гидромеханических автоматических передач. Топливная экономичность автомобиля с автоматизированной (роботизированной) коробкой передач не ниже, чем при применении обычной механической коробки, и в то же время удобство управления аналогично управлению автомобилем с автоматической передачей.

Наносталь в автомобилестроении. *Автостроение за рубежом.* 2011. № 4.

Компанией ArcelorMittal, одной из крупнейших в мире производителей стали, запущена в производство новая марка металла. Благодаря использованию нанотехнологий, новая сталь должна составить серьёзную конкуренцию алюминиевым сплавам при производстве автомобилей.

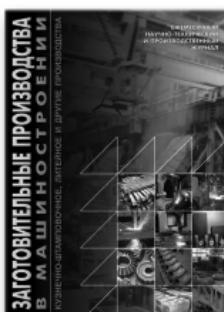
Моделирование процесса пробивания преграды деформируемым цилиндром. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2011. № 4.

Предложена многостадийная модель процесса пробивания пластины деформируемым цилиндром в результате прямого удара с достаточно простым решением для последующего компьютерного моделирования. Определены начальная скорость внедрения в преграду ударника, изменение его конфигурации. Вычислены основные размеры пробки, пройденной ударником путь до момента выбивания из мишени пробки и скорость ударника после завершения процесса пробивания преграды.

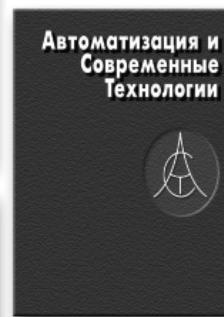
УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО “МАШИНОСТРОЕНИЕ”

выпустило в свет полную коллекцию подписки
на все журналы за 2007–2010 годы
в электронном виде



**Стоимость
одного номера
составляет
100 рублей**



**Полная
подписка
за 2007 г.
выложена
в открытом**

доступе на нашем сайте

WWW.MASHIN.RU

БЕСПЛАТНО

