

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И
ПРОИЗВОДСТВА**



Министерство образования и науки Российской Федерации

Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова

Посвящается:

**80 – ЛЕТИЮ МАГНИТОГОРСКОГО
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА**

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

AUTOMATION OF TECHNOLOGIES AND PRODUCTION

Сборник научных трудов

Выпуск 5

Под общей редакцией д-ра техн. наук,
проф. Б.Н. Парсункина

Магнитогорск
2013

Редакционная коллегия:

Парсункин Б.Н., докт. техн. наук, проф. (*главный редактор*),
Лисиенко В.Г., президент РУО АИН РФ, докт. техн. наук, проф.,
Андреев С.М., канд. техн. наук, зав. кафедрой промышленной
кибернетики и систем управления МГТУ им. Г.И. Носова,
Радионов А.А., докт. техн. наук, декан энергетического
факультета ЮУрГУ,
Логунова О.С., докт. техн. наук, проф. МГТУ им. Г.И. Носова,
Рябчиков М.Ю., канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Г.И. Носова
(*ответственный редактор*).

Автоматизированные технологии и производства: сб. научн.
тр. / под ред. Б.Н. Парсункина. Вып. 5. Магнитогорск: изд-во
Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2013. 326 с.

Сборник научных трудов содержит публикации по результатам исследований специалистов ряда вузов и предприятий Российской Федерации.

Рассмотрены результаты теоретических разработок и практического применения современных средств автоматизации технологических процессов и производств при управлении в различных сферах народного хозяйства.

Предназначен для специалистов в области автоматизации и управления технологическими процессами, эксплуатирующих системы автоматики. Может быть полезен студентам старших курсов соответствующих специальностей.

УДК 681.5/62-5

© ФГБОУ ВПО Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова, 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Использование современных микропроцессорных технических средств управления технологическими процессами в металлургии позволяет успешно решать экономические проблемы, возникшие в связи с недостаточным уровнем оснащения промышленных агрегатов современными средствами автоматизации. Причиной этому является существование известных трудностей со сбытом отечественной металлургической продукции на мировом и внутреннем рынках, обострившихся в течение последнего года.

Низкая производительность труда и значительные энергетические затраты существенно снижают конкурентоспособность товарной продукции. Поэтому решение задач ускорения автоматизации металлургического производства, внедрения и развития новых информационных систем диспетчерского управления является весьма актуальной проблемой.

Современная АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) представляет собой многоуровневую человеко-машинную систему управления, которая строится с использованием автоматизированных систем сбора и обработки технологической информации. Основной работой оператора технологического процесса (диспетчера) становится работа с информацией. От него требуются не только профессиональные знания о технологическом процессе и основах управления им, но и опыт работы в информационных системах, умение принимать решения в диалоге с автоматизированной системой. Оператор становится главным действующим лицом в управлении технологическим процессом. В этой связи важное значение приобретает разработка и совершенствование методов обучения технологического персонала навыкам управления технологическими процессами.

Одной из наиболее перспективных технологий построения автоматизированных систем, основанных на диалоге с оператором, является технология SCADA, которая нашла применение во многих отраслях промышленности. Интеграция подобных системам с интерактивными средами обучения персонала, а также с экспертными системами поддержки принятия решений играет важнейшую роль в повышении стабильности управления технологическими процессами и снижении доли дефектной продукции.

Представленные в данном сборнике работы освещают решения различных теоретических и прикладных задач, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств в различных отраслях промышленности, включая металлургическое производство. Значительное внимание уделено вопросам решения научно-практических задач контроля и управления технологическими процессами на основе разработки более совершенных алгоритмов управления. Ряд работ посвящен применению искусственных нейронных сетей и аппарата нечеткой логики в задачах управления и создания моделей технологических процессов.

В данном сборнике приведены результаты исследований, оперативно дающих ощутимые результаты без значительных затрат с использованием ограниченных резервов.

Межвузовский сборник посвящен 80-летию ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Редакционная коллегия сборника благодарит всех авторов за предоставленные к публикации материалы и надеется на дальнейшее сотрудничество.

*С Уважением, доктор технических наук,
профессор кафедры Промышленной кибернетики
и систем управления Парсункин Б.Н.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.225.2:681.5.015.85

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПРИВОДА НАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА ПРОКАТНОГО СТАНА

В.М. Москвин

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
Университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
vvladimir.moskvin2010@yandex.ru*

Гидропривод нажимного устройства (ГНУ) является основным исполнительным устройством листовой прокатной клетки кварты. Он используется для начальной установки валков перед прокаткой листа нового профиля, управления толщиной и натяжением полосы в процессе прокатки (системах САРТ и Н). Поэтому большую роль играют динамические характеристики собственно самого гидропривода нажимного устройства, а также следящей системы, которая выполняется на его базе. Гидравлический привод с дроссельным управлением представляет собой сложный динамический элемент системы управления, в котором проявляются как линейные, так и нелинейные факторы, обусловленные квадратичной зависимостью расхода от давления, насыщением по скорости, изменением модуля упругости жидкости и нелинейным трением в гидродвигателе и нагрузке. На основании анализа применяемых на практике методов теоретического исследования динамического нагружения гидросистем приводов тяжёлых металлургических машин, к которым относятся прокатные клетки, в работе [1] рекомендовано в качестве математической основы для моделирования гидродинамических явлений использовать систему дифференциальных уравнений в частных производных с нелинейными коэффициентами, преобразуемыми конечно-разностными методами в систему обыкновенных дифференциальных уравнений с граничными условиями, описываемыми алгебраическими уравнениями.

Изложенный подход даёт возможность создания базовой динамической модели, позволяющей с высокой достоверностью анализировать поведение гидросистемы, подвергающейся возмущающим воздействиям различного характера.

Обобщённая расчётная схема гидропривода нажимного устройства клетки показана на рис. 1. На ней выделены четыре основных элемента гидросистемы: 1 – напорный трубопровод, 2 – управляемый дроссель, 3 - гидроцилиндр нажимного механизма, 4 – сливной трубопровод, 5 - воздушный колпак. Для каждого из этих элементов следует

выписать свою систему уравнений, которые в совокупности образуют математическую модель гидросистемы.

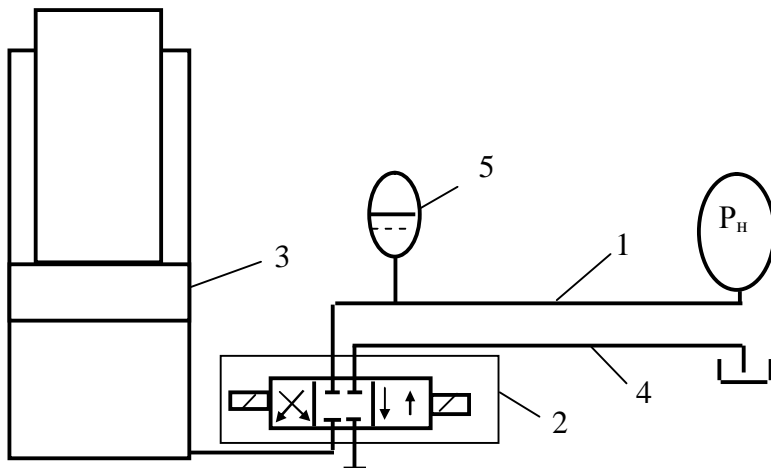


Рис. 1. Основные элементы гидросистемы

Напорная гидромагистраль как система с распределёнными параметрами описывается дифференциальными уравнениями в частных производных для неустановившегося движения реальной упругой жидкости [2,3,4]:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\lambda}{2d} \cdot |v| \cdot v \right), \quad \frac{\partial p}{\partial t} = -\rho \cdot c^2 \frac{\partial v}{\partial x}, \quad (1)$$

где \mathbf{v} и \mathbf{p} – скорость и давление жидкости в магистрали; λ и \mathbf{d} – коэффициент гидравлического сопротивления и внутренний диаметр трубопровода; $\mathbf{c} = \sqrt{(\mathbf{E}/\rho)}$ – скорость распространения упругой волны в магистрали; \mathbf{E} и ρ – приведённый модуль упругости магистрали и плотность рабочей жидкости; \mathbf{x} и \mathbf{t} – координаты сечения магистрали и время.

Приведённый модуль упругости \mathbf{E} равен [2]:

$$E = \left(\frac{1}{E_{см}} + \frac{d}{E_m \cdot \delta} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где $\mathbf{E}_{см}$ – модуль упругости газожидкостной смеси, \mathbf{E}_m – модуль упругости материала трубы, δ – толщина стенки трубопровода. В качестве неизвестных в системе уравнений (1) выступают давление \mathbf{p} и скорость движения жидкости \mathbf{v} .

Более удобно, для дальнейшего расчета, в качестве выходной величины принять [1] произведение $\mathbf{Q}(\mathbf{x},t)=\mathbf{v}*\mathbf{S}$, где \mathbf{S} – площадь внутреннего сечения трубы, а \mathbf{Q} – секундный объём жидкости. Заменяя в системе уравнений (1) переменную \mathbf{v} на \mathbf{Q} , получим:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\rho}{S} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda}{2 \cdot d \cdot S^2} |Q| \cdot Q \right); \quad \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{E}{S} \frac{\partial Q}{\partial x}. \quad (3)$$

Расчёт можно упростить за счёт замены системы с распределёнными параметрами дискретной системой [1], т.е. делением трубопровода на равные части и запись уравнений давления и расхода для каждого из них.

Частные производные $\frac{\partial p}{\partial x}$, $\frac{\partial Q}{\partial x}$ на каждом из участков можно приближённо записать так:

$$\frac{\partial p}{\partial x} \approx \frac{p_i - p_{i-1}}{\Delta x}, \quad \frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{Q_i - Q_{i-1}}{\Delta x}.$$

При такой замене частных производных, после введения новых обозначений для некоторых выражений $m_1 = \frac{\rho \cdot \Delta x}{S}$, $c_1 = \frac{E}{S \cdot \Delta x}$,

$a_1 = \frac{\lambda}{2 \cdot d \cdot S^2}$ система уравнений (3) запишется так:

$$\frac{dQ_i}{dt} = \frac{1}{m_1} (p_{i-1} - p_i) - a_1 \cdot |Q_i| \cdot Q_i, \quad \frac{dp_i}{dt} = c_1 (Q_{i-1} - Q_i). \quad (4)$$

Система уравнений (4) выписывается для каждого промежуточного сечения трубопровода. Она связывает $2 \cdot n - 4$ неизвестных переменных \mathbf{p}_i и \mathbf{Q}_i ($i=1,2,\dots,(n-1)$). К этой системе следует добавить второе уравнение из системы (4) для последнего n – сечения. Величины $\mathbf{p}_0, \mathbf{Q}_0$ для первого сечения и \mathbf{Q}_n для последнего, находятся из заданных крайних условий.

Вторым основным элементом гидросистемы является управляющий дроссель. Расходно-напорные характеристики дросселя золотникового типа [2] будут такими:

$$Q = \mu \cdot F(u, p) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_a - p_b|}{\rho} \text{sign}(p_a - p_b)}, \quad (5)$$

где μ – коэффициент расхода, $F(u, p)$ – площадь рабочего окна, p_a, p_b – давление рабочей жидкости на входе и дросселирующей щели соответственно, ρ – плотность рабочей жидкости.

Далее рассматривается ГНУ с нижним расположением гидроцилиндра. У гидроцилиндра имеется только одна рабочая полость. Когда сервоклапан подключает рабочую полость к нагнетающей магистрали, то рабочая полость работает как нагнетающая, а если рабочая область подключена к сливной магистрали, то за счёт усилия прокатки и веса валковой системы жидкость выдавливается из рабочей полости и она работает как сливная.

Изменение давления в рабочей полости гидроцилиндра описывается ОДУ первого порядка [3]:

$$\frac{dp}{dt} = E_{см} (V_0 + S_n x)^{-1} (Q - S_n \cdot \frac{dx}{dt}), \quad (6)$$

где p – давление жидкости в рабочей полости, x – перемещение поршня ГНУ, V_0 – начальный объём рабочей полости при $x=0$, S_n – эффективная площадь поршня, $E_{см}$ – модуль объёмной упругости рабочей газожидкостной смеси.

Силовая часть ГНУ имеет ещё два уравнения:

$$\frac{dx}{dt} = y; \quad \frac{dy}{dt} = \frac{R}{M}, \quad (7)$$

где M – приведённая масса, которую перемещает поршень ГНУ, R – усилие, которое действует на поршень гидроцилиндра.

Уравнение усилия меняется в процессе работы привода:

$$R = \left\{ \begin{array}{l} S_n p - W \cdot y - |R_m| \operatorname{sign}(y) - P; n p u \quad y = 0 \\ S_n p - |R_m| \operatorname{sign}(S_n - P) - P; n p u \quad y = 0, \\ 0 \quad n p u \quad |S_n - P| > |R_m| \\ \quad \quad \quad y = 0, \\ \quad \quad \quad |S_n - P| \leq |R_m| \end{array} \right\}, \quad (8)$$

где W – коэффициент вязкого трения, R_t – усилие сухого трения, P – усилие прокатки.

Динамические процессы в гидроприводе определяются адиабатическим модулем объёмной упругости рабочей газожидкостной смеси, которая при политропическом процессе сжатия определяют по формуле [2]:

$$E_{см} = \frac{\left[1 - \frac{(p - p_0)}{(E_0 + \frac{A}{2} p)} \right] + \beta \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{n}}}{\left[1 - \frac{p - p_0}{E_0 + \frac{A}{2} p} \right] \cdot \frac{1}{E_{ж}} + \beta \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{1}{n \cdot p}}, \quad (9)$$

где $E_{ж}$ – адиабатический модуль объёмной упругости жидкой фазы при давлении смеси p ; E_0 – модуль объёмной упругости рабочей жидкости при нормальном атмосферном давлении; p_0 – нормальное атмосферное давление; β – отношение объёма нерастворённого воздуха к объёму жидкости; n - показатель политропы; A – экспериментальный коэффициент, который учитывает зависимость модуля объёмной упругости рабочей жидкости от давления.

Сжимаемость жидкости в пневматическом гидроаккумуляторе и упругость его стенок дают ничтожный эффект по сравнению с эффектом сжимаемости воздуха и поэтому не учитываются. При этом условии:

$$Q_1 - Q_2 = F \frac{dz}{dt}, \quad (10)$$

где F – площадь зеркала жидкости в колпаке, z – подъём уровня жидкости.

Если $z=z_0$ при давлении $p=p_0$, а сжатие воздуха политропическое с показателем n , то [4]:

$$p[W - F(z - z_0)]^n = p_0 W^n. \quad (11)$$

Здесь W – объём воздуха в колпаке при $z=z_0$. Из-за малости высоты колпака давление в его основании отождествляется с давлением на поверхности жидкости. Подставляя z из (11) в (10), получим:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{(Q_1 - Q_2) \cdot p \cdot n}{W \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{n}}}. \quad (12)$$

Формула (12) использовалась для определения давления, создаваемого пневматическим гидроаккумулятором в гидросистеме в зависимости от притока Q_1 и расхода Q_2 масла (рис. 2).

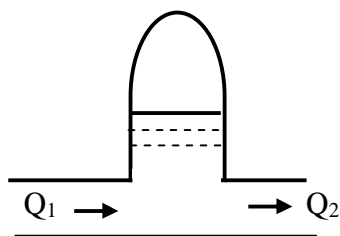


Рис. 2. Пневматический гидроаккумулятор

Силовая часть гидропривода выполняет роль гидронажимного устройства. Оператор, управляя через сервоклапан потоком рабочей жидкости, может изменять зазор между рабочими валками. В этом случае датчик положения поршня гидроцилиндра работает как индикатор его положения. Динамические процессы в этой гидросистеме описываются системой из 11 дифференциальных уравнений вида (4), которые моделируют работу нагнетающей магистрали, из 4 дифференциальных уравнений (6,7,8,12), которые моделируют работу силового гидроцилиндра и гидроаккумулятора, из 11 дифференциальных уравнений вида (4), которые моделируют работу сливной магистрали. К этой системе уравнений добавлено дифференциальное уравнение, которое связывает входной электрический сигнал с перемещением золотника. Оно принято в следующем виде (уравнение инерционного звена):

$$T \frac{dx}{dt} + x = k \cdot u \cdot \quad (13)$$

Для решения системы из 27 дифференциальных уравнений была составлена программа на языке системы компьютерной математики (СКМ) MATLAB, причём собственно интегрирование указанной системы производилось по стандартной программе этой СКМ. В расчётах приняты параметры гидросистемы нажимного устройства шестиклетового стана 1400 [5]. Один из результатов решения системы уравнений приведён на рис.3 – переходный процесс в силовой части гидропривода нажимных устройств при ступенчатом перемещении золотника $x=+0.01$ мм (подъём нижнего опорного валка). Из рисунка видно, что переходные процессы в гидроприводе завершаются через 0.0075 с и гидропривод выходит на установившуюся скорость перемещения нажимного устройства $v=6.7$ мм/с. Силовая часть гидропривода описывается сложной системой уравнений (двадцать седьмого порядка) и, в то же время, переходные процессы в ней протекают достаточно плав-

но. Для этой динамической системы можно построить более простую математическую модель.

Построим математическую модель, которая связывает управляющее воздействие со скоростью перемещения штока гидроцилиндра. Для этого воспользуемся методикой идентификации, предложенной в работе [6]. Кратко, её сущность состоит в следующем. Примем выражение для импульсной переходной функции силовой части гидропривода в виде:

$$k_m(t) = \sum_{k=1}^{m/2} c_{2k-1} \sin\left(\frac{k\pi t}{T}\right) \cdot e^{-c_{2k}t}, \quad (14)$$

где c_k – коэффициенты, подлежащие определению, а их количество m – чётное число.

Функция $k_m(t)$ позволяет определить переходную функцию модели гидропривода.

За меру отклонения $h_m(t)$ от $h_{об}(t)$ примем суммарное средне-квадратичное отклонение:

$$fname(c_1, c_2, \dots, c_n) = \sum_{i=1}^{i=N} (h_{об}(t_i) - h_m(t_i))^2. \quad (15)$$

Функция (15) сложно зависит от своих аргументов. Численную процедуру поиска минимума функции от нескольких переменных в MATLABе реализует функция [8]:

$$x = f \text{ min search}('fname', x_0, Options, p_1, p_2, \dots).$$

Она имеет следующие аргументы: $x_0 = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ – вектор начальных значений искомых параметров; **Options** – массив дополнительных данных, необходимых для расчёта (точность определения координат, точность вычисления функции, количество итераций и т. д.); p_1, p_2, \dots – дополнительные параметры, которые передаются в функцию (15).

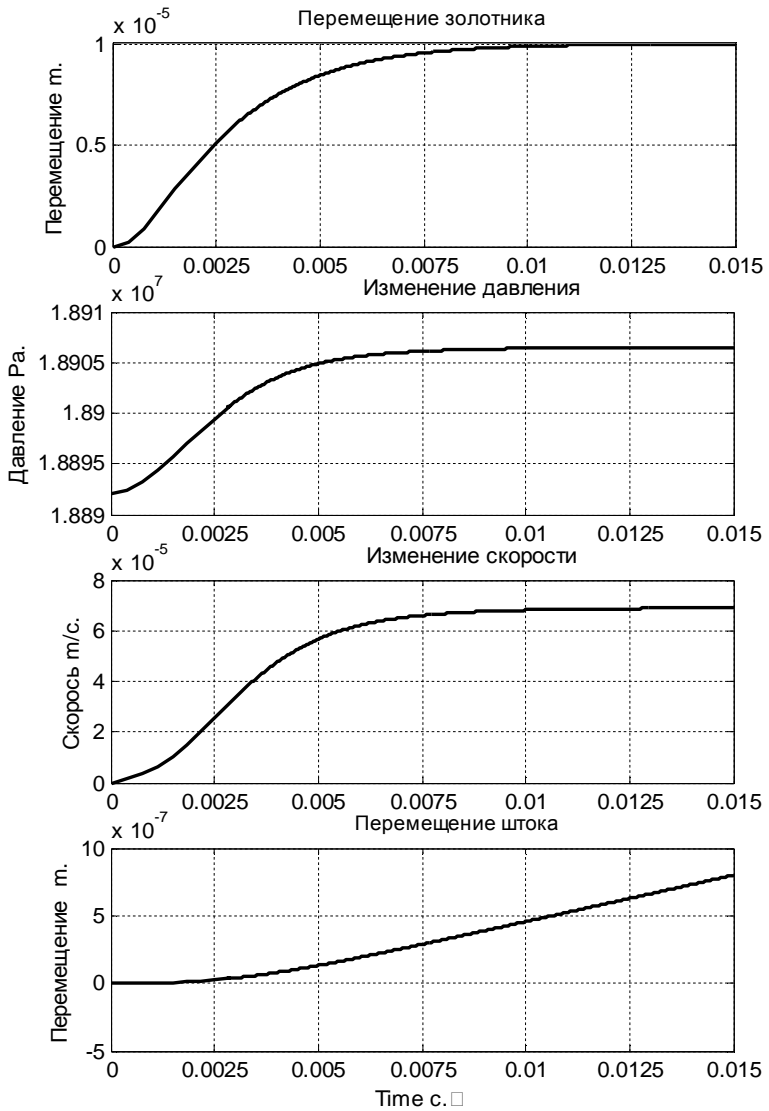


Рис. 3. Переходные процессы в силовой части гидропривода при положительном сигнале управления

В нашем случае, в функцию *fname* необходимо дополнительно передавать массив известных значений $h_{0\delta} = [h_1, h_2, \dots, h_N]$ и она возвращает $x = [c_1 c_2 \dots c_n]$ – массив аргументов, при которых функция достигает экстремума. Результат выполнения функции *fminsearch* – построение импульсной переходной функции $k_m(t)$ модели (14):

$$h_M(t) = \sum_{k=1}^{k=m/2} \frac{c_{2k-1}}{c_{2k} + \omega_k} \cdot (\omega_k - (c_{2k} \sin(\omega_k t) + \omega_k \cos(\omega_k t)) e^{-c_{2k} t}.$$

Коэффициенты c_k ($k=1 \rightarrow n$) разложения импульсной переходной функции модели (14) подбираются так, чтобы переходный процесс на выходе гидропривода $h_{0\delta}(t)$ и модели $h_M(t)$ как можно меньше отличались друг от друга. Переходная функция силовой части гидропривода приведена на рис. 4.

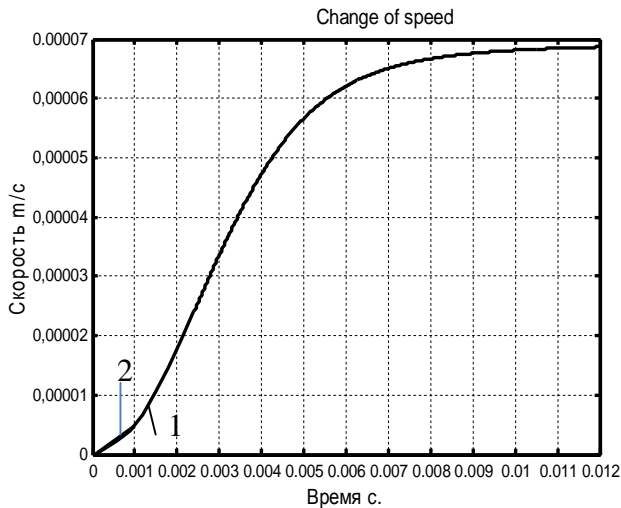


Рис. 4. Переходная функция гидропривода:
1- исходная, 2 – построенная по модели

Полученная математическая модель в виде импульсной переходной функции редко используется в расчётах. Более удобной является модель в форме передаточной функции. Передаточную функцию можно найти через частотные характеристики. Амплитудно-фазовая характеристика выражается через $k_m(t)$ так [7]:

$$H_{об}(j\omega) = \int_0^{\infty} k_M(t) e^{-j\omega t} dt = U(\omega) + jV(\omega), \quad z \in e \quad (16)$$

$$U(\omega) = \int_0^{\infty} k_M(t) \cos(\omega t) dt, \quad V(\omega) = -\int_0^{\infty} k_M(t) \sin(\omega t) dt.$$

По известной АФХ $H_{об}(j\omega)$, передаточная функция определялась следующим образом. Положим, гидропривод является линейным динамическим звеном с сосредоточенными параметрами. Тогда его передаточная функция имеет вид:

$$H_M(p) = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{b_1 p^{n_b} + b_2 p^{n_b-1} + \dots + b_{n_b+1}}{a_1 p^{n_a} + a_2 p^{n_a-1} + \dots + a_{n_a+1}}. \quad (17)$$

Комплексная частотная характеристика $J(j\omega)$ и передаточная функция (17) связаны друг с другом следующим соотношением [7]:

$$J(j\omega) = H_M(p)_{p=j\omega} = H_M(j\omega). \quad (18)$$

Эта формула используется для построения годографа АФХ гидропривода, если известна его передаточная функция. Однако её можно использовать для определения параметров a_i и b_i передаточной функции гидропривода если известна его комплексная частотная характеристика $J(j\omega)$. В составе математического пакета **MATLAB**, имеется функция *invfreqs*, которая позволяет решить эту задачу. Прототип этой функции следующий [8]:

$$[b, a] = \text{invfreqs}(H_{об}, w, nb, na, wt, iter, tol).$$

В этой формуле b и a коэффициенты числителя и знаменателя передаточной функции гидропривода; $H_{об}$ – массив значений комплексной частотной характеристики (16). Параметры nb и na определяют порядок числителя и знаменателя передаточной функции. Для рассматриваемого примера было принято $na=0$ и $nb=3$. Функция *invfreqs* вычислила следующие параметры передаточной функции этой динамической системы: $b_1=1$, $a_1=1.6123 \cdot 10^{-9}$, $a_2=3.952 \cdot 10^{-6}$, $a_3=0.00339$, $a_4=1$. В результате получили искомую передаточную функцию:

$$H_M(p) = \frac{k_{об}}{1.63 e^{-9} p^3 + 3.953 e^{-6} p^2 + 0.00339 p^1 + 1}.$$

Переходный процесс $h_m(t)$ (кривая 2 на рис. 4) на выходе модели, с найденной передаточной функцией $H_m(p)$, практически не отличается от переходной функции $h_{од}(t)$, которая получена по полной модели гидропривода.

Список литературы

1. Кожевников С.Н., Пешат В.Ф. Гидравлические и пневматические приводы металлургических машин. –М.: Металлургия, 1973. -336 с.
2. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. – М.: Машиностроение, 1972. -376с.
3. Илюхин Ю.В., Лобачёв В.И. Особенности моделирования на ЦВМ динамики комплекса гидроприводов дроссельного регулирования. //Пневматика и гидравлика: Приводы и системы управления. Выпуск 4. –М.: Машиностроение, 1977.
4. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. –М.: Энергоиздат, 1981.
5. Браун А.Е., Дралюк Б.Н., Тикоцкий А.Е. Некоторые вопросы динамики гидронажимных устройств. //Электротехническая промышленность, серия Электропривод, 1982, вып.8 (106).
6. Москвин В.М. Определение частотных характеристик объекта по экспериментальной переходной функции. // Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сб. науч. тр. Вып. 17. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. с. 200-204
7. Теория автоматического управления: Учебник для вузов/ С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др; Под редакцией В.Б. Яковлева. М: Высш. шк., 2005. -507 с.
8. Игорь Ануфриев, Александр Смирнов, Елена Смирнова Matlab 7. –Санкт-Петербург «БХВ-Петербург», 2005. - 1082 с.

**РАСЧЕТ КАРТИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В
ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЕЧЕНИИ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА
РОЛИКОВОГО МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА**

Сыров Е.В.

Костанайский инженерно-экономический университет,

г. Рудный, Казахстан

yevgeniy.syrov@gmail.com

Введение

Для развития горно-обогатительного комплекса необходимо разрабатывать технические и технологические инновации на научно-теоретическом уровне, используя, в том числе, моделирование технологических процессов.

Для определения извлекающей способности сепаратора необходимо провести моделирование массопотока частиц в магнитном поле, которое определяется конфигурацией роликов [1].

Такие пакеты моделирования как Ansys, Comsol и др. позволяют проводить моделирование сплошных сред (пространство между роликами – пространство распределения магнитного поля), но не позволяют смоделировать массопоток отдельных частиц [2]. Кроме того, в некоторых случаях для вычисления, например, отдельно движущейся частицы в магнитном поле, нерационально использовать методы сеток, а лучше воспользоваться аналитическими методами. Одним из таких методов является метод конформного преобразования.

На рис. 1 представлены полученные в [3] картины магнитного поля с помощью уравнения Шварца-Кристоффеля для преобразования вещественной оси прообраза в многоугольную границу оригинала.

Однако, полученное решение не позволяет получать картину магнитного поля, при изменении угла изгиба β (см. рис. 2).

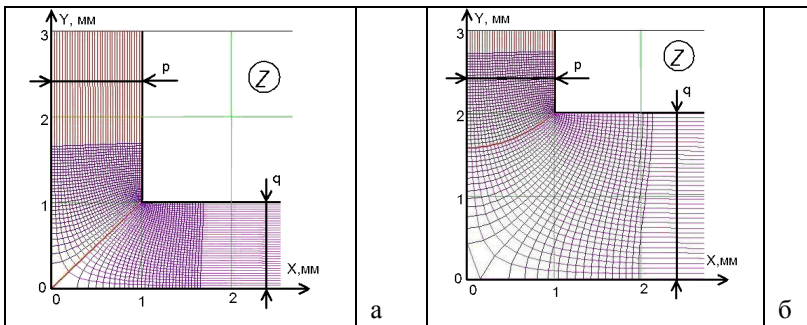


Рис. 1. Картина поля в зазоре при разных параметрах зазора:
 а – горизонтальный (p) и вертикальный (q) размеры зазора = 1 мм;
 б – горизонтальный размер зазора (p) = 1, вертикальный размер зазора (q) = 2 мм

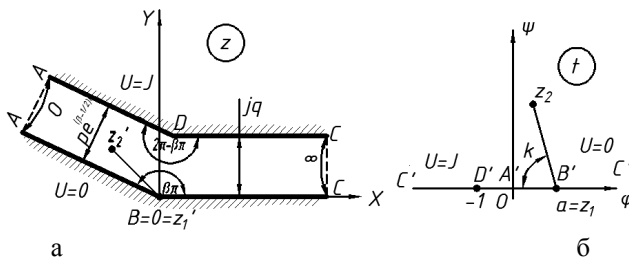


Рис. 2. Изображение образа и прообраза, используемое при расчете: а – форма зазора сепаратора в плоскости-оригинале;
 б – соответствующая форма в плоскости-образовании;
 z_1, z_2 – начало и конец пути интегрирования

Вывод уравнения конформного преобразования

После подстановки координат вершин и значений углов, при этих вершинах в уравнение Кристоффеля-Шварца получим:

$$\frac{dz}{dt} = f(t) = S \cdot t^{-1} \cdot (t-a)^{\beta-1} \cdot (t+1)^{1-\beta} \quad (1)$$

Поскольку расстояние между параллельными прямыми $D = jq$ и $t = \infty$, то $S = q/\pi$.

В вершине А $D = pe^{\left(\beta-\frac{1}{2}\right)\pi j}$, и $t = 0$. Тогда из (1):

$$pe^{\left(\beta-\frac{1}{2}\right)\pi j} = j\pi \cdot \frac{q}{\pi} (0+1)^{1-\beta} (0-a)^{\beta-1},$$

$$a = - \left(\frac{pe^{\left(\beta - \frac{1}{2}\right)j\pi}}{jq} \right)^{\frac{1}{\beta-1}}.$$

Получить неопределенный интеграл не удастся, однако можно воспользоваться формулой, которая позволяет перейти от неопределенного интеграла к определенному криволинейному интегралу по кусочно-гладким путям в комплексной области:

$$y(x+t) = y(x) + \int_0^t y'(1+t) dt. \quad (2)$$

Когда обе функции $f(M) = f_1(M) + if_2(M)$ и $g(M) = g_1(M) + ig_2(M)$ принимают комплексные значения, криволинейный интеграл Стильтеса [4]:

$$\int_L f(M) dg(M) = \int_L f_1(M) dg_1(M) - f_2(M) dg_2(M) + i \int_L f_1(M) dg_2(M) + f_2(M) dg_1(M). \quad (3)$$

На плоскости $n=2$ для $g(x, y) = z = x + iy$ и $f(x, y) = u(x, y) + iv(x, y)$ получаем формулу:

$$\int_L f(x, y) dz = \int_L u dx - v dy + i \int_L v dx + u dy. \quad (4)$$

Следствие интегральной теоремы Коши: если функция $f(z)$, аналитична в односвязной области $A \subset C$, а точки z_1, z_2 из области A соединены некоторой кривой γ . Тогда интеграл $\int_{\gamma} f(z) dz$ зависит

только от точек z_1, z_2 , но не от выбора соединяющей их кривой γ , так что можно обозначить его $\int_{z_1}^{z_2} f(z) dz$ [5,6].

Используя это следствие, в случае наличия зависимости между $f(M)$ и $g(M)$, можно определить комплексное значение $g(M)$ ($z = x + iy$) через функцию $y(x)$, т.е. $z(x) = x + iy(x)$.

В данном случае просто получить функцию $y(x)$, как прямую с угловым коэффициентом $k = \frac{\text{Im}(z)}{\text{Re}(z) - 1}$, и свободным членом $= -k$:

$$y(t) = k(t)x(t) - k. \quad (5)$$

Тогда с помощью формулы (2, 3) перехода к определенному интегралу можно проинтегрировать функцию (1), воспользовавшись (5). С другой стороны можно провести интегрирование, зная только координаты точки, тогда интегрирование будет вестись по формуле (4). Для интегрирования удобно взять точку $a = z_1 = 1$ в плоскости t , поскольку значение $z = f(t) = f(1) = z_1' = 0$ для требуемой конфигурации. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

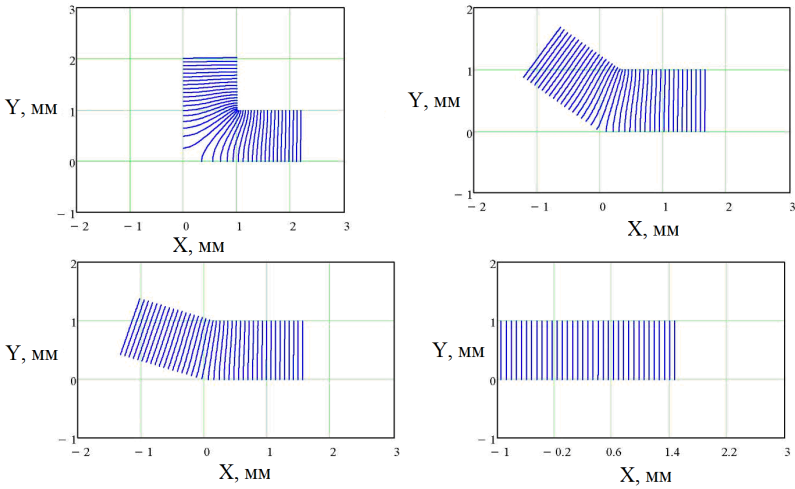


Рис. 3. Картины магнитного поля: 90°, 144°, 162°, 180°

Заключение

Получение уравнения конформного преобразования через выражение Кристоффеля-Шварца может быть затруднительным, поскольку не всегда можно получить выражение для неопределенного интеграла. Однако данное затруднение успешно преодолевается методом, изложенным в данной статье.

Список литературы

1. Девятов Д. Х., Сыров Е. В. Моделирование процесса сухой магнитной сепарации (смс) на сепараторе отклоняющего типа // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-ой научно-технической конференции. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – Т.2. – 82-

85с.

2. Сыров Е. В. Разработка численно-аналитической модели процесса сухой магнитной сепарации для создания динамической системы управления процессом // XLIII Международная научная конференция «Процессы управления и устойчивость» (Control Processes and Stability (CPS'12)) Сборник трудов. СПбГУ

3. Кусембаев С. Х., Сыров Е. В. Расчет силовых характеристик магнитного поля между полюсами специальной формы // «Роль стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан в условиях глобализации: проблемы и перспективы»: Сборник докладов международной научно-практической конф. Рудный: РИИ, 2009.Т.1- 440 – 444 с.

4. Шилов Г. Е. Математический анализ функции одного переменного (части 1, 2) М.: Наука. - 1970 г. – 528 с.

5. Титчмарш Е. Теория функций: Пер. с англ. - 2-е изд., перераб. - М.: Наука, 1980. – 464 с.

6. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. - 800 с. - ISBN 5-9221-0155-2.

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ РОЛИКОВОГО МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА

Сыров Е.В.

Костанайский инженерно-экономический университет,

г. Рудный, Казахстан

yevgeniy.syrov@gmail.com

Введение

Для развития горно-обогатительного комплекса необходимо разрабатывать технические и технологические инновации на научно-теоретическом уровне, используя, в том числе, моделирование технологических процессов. На рис. 1 и 2 представлены технологическая схема и изображение роликов моделируемого магнитного сепаратора [1].

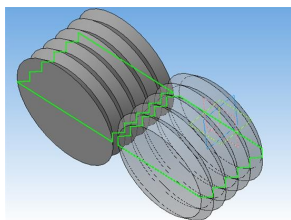


Рис. 1. Ролики (полюсы) сепаратора (линией выделен контур горизонтального сечения)

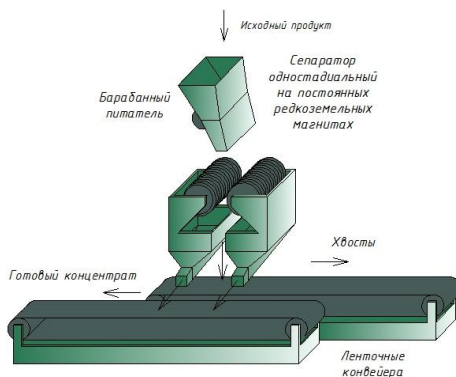


Рис. 2. Технология сухого магнитного обогащения на сепараторе отклоняющего типа

В [2] получены численно-аналитические модели картин магнитного поля в горизонтальном (см. рис. 3) и вертикальном (см. рис. 4) сечениях рабочего зазора сепаратора.

На рис. 5 представлены полученные в [3] изображения эквипотенциальных поверхностей в рабочем зазоре роликового сепаратора.

Полученное изображение дает хорошее качественное представление о магнитном поле, но для проведения имитационных экспериментов по определению траекторий движения частиц в процессе разделе-

ния на магнитную и немагнитную фракции, нужно получить алгоритм определения значения магнитной силы в любой точке рабочего пространства сепаратора.

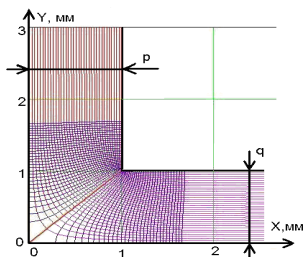


Рис. 3. Картина магнитного поля в горизонтальном сечении

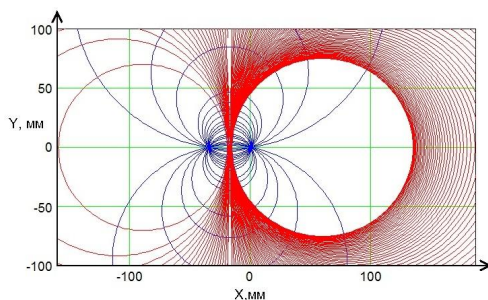


Рис. 4. Картина магнитного поля в вертикальном сечении

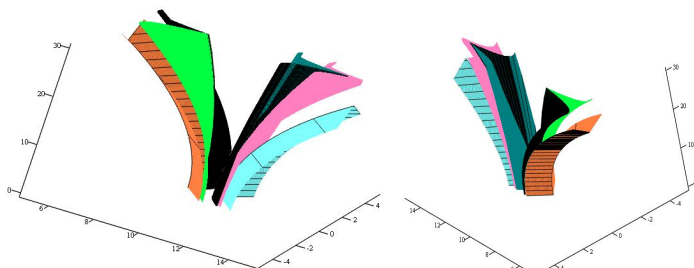


Рис. 5. Эквипотенциальные поверхности в рабочем зазоре сепаратора

Получение величины магнитного потенциала

На основании того, что в каждой точке пространства может быть только одно значение потенциала, то можно разработать алгоритм для вычисления значения потенциала в каждой точке рабочего пространства сепаратора по картинам магнитного поля в вертикальном и горизонтальном сечениях рабочего зазора сепаратора. Сложность данной функции определяется сложностью преобразований, используемых для расчета картин магнитного поля в сечениях.

Алгоритм расчета потенциала в пространстве

С помощью дробно линейного преобразования выполняется отражение точки из пространства во внутреннее кольцо.

В кольце производится поворот полученного вектора - радиуса $\vec{R}(0,0; x, z) \rightarrow \vec{R}(0,0; x, 0)$ таким образом, что с помощью дробно-

линейного преобразования полученная точка переводится на прямую, проходящую через оси роликов (рис. 6).

Затем, повернув полученную точку (x, y) относительно 0 на 45° , получаем её координаты, к которым можно применить функцию конформного преобразования $t(x + iy)$ и получить координаты в плоскости t (рис. 7).

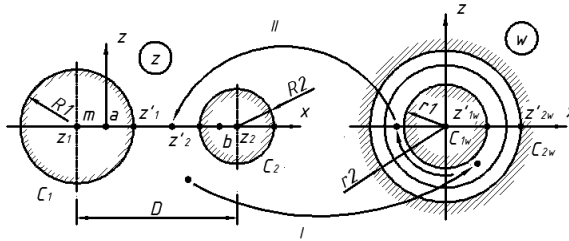


Рис. 6. Схема преобразования точки в вертикальном сечении

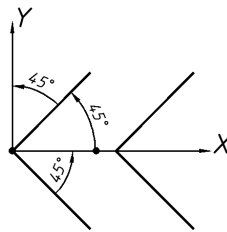


Рис. 7. Схема поворота точки в горизонтальной плоскости

После отображения точки из горизонтального сечения зазора в плоскость магнитного поля вокруг проводника с током, можно высчитать угол наклона и определить значение потенциала в заданной точке x, y, z (рис. 8).

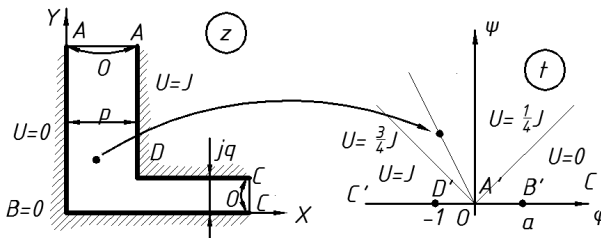


Рис. 8. Схема отображения точки в конформную плоскость

Данный метод требует определения только одной дополнительной функции, которая будет описывать профиль сечения вала.

Определив значение магнитного потенциала можно определить значение и направление магнитной силы по формулам:

$$\vec{H}(x, y, z) = -\text{grad}U_M(x, y, z),$$
$$\vec{F}_l = \mu\mu_0\chi mH \cdot \text{grad}H$$

где \vec{F}_M - сила магнитного притяжения (пондеромоторная), Н;

H - напряженность магнитного поля, А/м;

χ - удельная магнитная восприимчивость, мЗ/кг;

μ - относительная магнитная проницаемость, Вб/м;

μ_0 - абсолютная магнитная проницаемость, $\approx 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

m - масса, кг;

U_M - магнитный потенциал, А.

Заключение

В статье описан алгоритм получения выражения для определения величины магнитного потенциала и магнитной силы в рабочем зазоре роликового сепаратора. Возможность использования такого алгоритма ограничена лишь возможностью получения и сложностью математических преобразований, описывающих картину магнитного поля в статике. В отличие от метода конечных элементов такой подход в некоторых случаях позволяет уменьшить вычислительную сложность модели, а также легко реализовать распараллеливание вычислений на аппаратном уровне. Например, при вычислении траекторий движения небольшого количества частиц совсем не обязательно рассчитывать значения магнитного потенциала во всем рабочем пространстве – можно ограничиться только точками, через которые проходят траектории частиц.

Список литературы

1. Девятков Д. Х., Сыров Е. В. Моделирование процесса сухой магнитной сепарации (смс) на сепараторе отклоняющего типа // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-ой научно-технической конференции. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – Т.2. – 82-85с.
2. Сыров Е. В., Кусембаев С. Х. Расчет упрощенной модели процесса сухой магнитной сепарации на сепараторе отклоняющего типа и

разработка принципов автоматизации // Геотехнология-2010 / Под общ. ред. д.т.н., проф. С.Ж. Галиева. – Житикара, 2010. – 472 – 477 с.

3. Сыров Е. В. Пространственная математическая модель магнитного поля в рабочем зазоре роликового сепаратора // Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Сочи, 3 – 9 мая 2012 г. / науч. ред. А. Р. Симонян, Е. И. Улитина. – Сочи, 2012. – 76-77 с.
4. Кусембаев С. Х., Сыров Е. В. Моделирование движения рудных частиц в процессе сухой магнитной сепарации в горизонтальном сечении рабочей зоны роликового сепаратора // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов X междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 19-20 апреля 2012 г. / Оргкомитет: Н. М. Суслов, Ю. А. Лагунова. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2012. – 177 – 180 с.

К ВОПРОСУ О ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОМ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

О.С. Мацко *, Л.Г. Егорова *

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорского государственного
технического университета им Г.И. Носова», г. Магнитогорск
o.s.matsko@gmail.com*

Производство стальных прокатных валков состоит из ряда технологических этапов, каждый из которых определенным образом влияет на прочность и твердость готового изделия. Стремление производителей повысить твердость бочки валка, приводит к охрупчиванию рабочего слоя и формированию значительных остаточных напряжений. Практика производства и эксплуатации прокатных валков показывает что, недостатки изготовления в первую очередь влияют на прочность валков как до начала эксплуатации, так и после. Более опасными, с точки зрения разрушения являются внутренние дефекты.

Для своевременного обнаружения недостатков изготовления в технологическом процессе предусмотрены различные виды пооперационного и итогового контроля качества валков. Наиболее эффективными методами контроля дефектов, находящихся на больших расстояниях от поверхности, являются акустические методы. Их анализ показал, что наиболее приемлемым для оценки качества валка в целом, а также контроля за наличием дефектов (например, трещин) является ультразвуковой (эхо-) метод в струйном исполнении. Применение данного метода позволяет достаточно просто обнаруживать имеющиеся в прокатном валке дефекты. Ультразвуковой анализ напряжений основан на зависимости скорости распространения волны от упругих постоянных материала. Согласно этому методу, в валке генерируют волны (продольные и поперечные) и измеряют изменение скорости распространения этих волн в зависимости от уровня напряжений [1].

Целью исследования является повышение эффективности диагностики стальных прокатных валков путем теоретического обоснования и исследования процесса ультразвукового контроля, создания и внедрения программных модулей математического моделирования, человеко-машинной подсистемы оценки и прогнозирования качества прокатных валков.

Теоретико-множественный анализ проводился по методике, изложенной в работе [2].

В результате проведенного теоретико-множественного анализа была построена множественная модель, представленная на рис. 1 [3].

Выделены подсистемы и взаимосвязи между ними для ультразвуковой диагностики стальных валков.

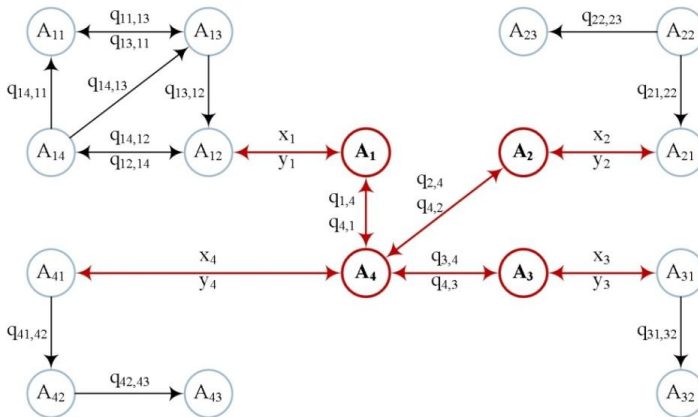


Рис. 1. Множественная модель процесса ультразвуковой диагностики стальных валков

В модели представлены основные объекты ультразвуковой диагностики, которыми являются [4]:

- оборудование (A_1);
- информационное обеспечение (A_2);
- математическое обеспечение (A_3);
- программное обеспечение (A_4).

На основе теоретико-множественного анализа ультразвуковой диагностики стальных валков в работе:

- выполнено определение основных объектов процесса;
- выявлен состав объектов рассматриваемого процесса;
- показана структура исследуемых объектов;
- выделены свойства этих объектов;
- определены возможные взаимодействия между анализируемыми объектами.

Список литературы

1. Программное обеспечение для диагностики дефектов / К.Н. Вдовин, Л.Г. Егорова, А.В. Давыдов [и др.] // Программные продукты и системы. – 2011. – № 2. – С. 138-142.
2. Логунова О.С., Ильина Е.А. Методика исследования предметной области на основе теоретико-множественного анализа // Матема-

тическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2012. – №2. – С. 281-291.

3. Мацко О.С., Егорова Л.Г., Леонов С.Ю. Теоретико-множественный анализ процесса ультразвуковой диагностики стальных прокатных валков // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2012. – №2. – С. 108-113.

4. Егорова Л.Г., Мацко О.С. К вопросу о диагностике и прогнозировании дефектов в прокатных валках // Проблемы информатики и моделирования: тезисы. дв. междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: Харьковский политехнический институт, 2012.– С. 18.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ОНЛАЙН ИГРАМИ

*Гаев Е.Л. *, Гаев Л.В. **

*ФГБОУ Липецкий государственный технический университет
gaev@stu.lipetsk.ru*

В настоящее время сфера производства становится всё более разнообразной. Уже не только создание материальных объектов, но и разнообразных способов удовлетворения нематериальных потребностей человека требует создания определённых производственных процессов. Если ещё тридцать лет тому назад к подобным специфическим типам производств относился кинематограф, то нынче мы можем увидеть широкий спектр подобных производств. Например, распространённые в настоящее время разнообразные онлайн игры привлекают огромное количество людей, позволяя владельцам получать большие денежные доходы. При организации подобных игр возникают вопросы выбора оптимальных значений параметров, определяющих качество игрового процесса. Этот выбор не является тривиальным, так как должен учитывать большое число взаимосвязанных факторов, влияющих на игру. Как это не покажется странным, но игра, сама являющаяся моделью реальности, тоже может быть смоделирована. Естественно, что построение полной модели (охватывающей весь процесс игры) вряд ли необходимо, так как по своей сложности она будет сопоставима с моделируемым объектом, и дешевле будет использовать саму игру для настройки её параметров, моделируя только входящие и исходящие потоки игроков и их поведение (правда, это возможно до запуска игры в эксплуатацию, либо при наличии дополнительных игровых серверов, не доступных реальным игрокам). Поэтому более практичным представляется подход, основанный на построении имитационной модели, описывающей ту или иную сторону игрового процесса. Такого рода модели будут значительно дешевле в построении, но их использование принесёт пользу в оптимизации настроек игры, поскольку характеристики входящих потоков игроков и их поведение в игре можно будет получать по результатам анализа реального игрового процесса, а модель сможет отразить результаты изменения параметров игры.

Самой важной характеристикой игры с позиции ее владельца является количество активных игроков и их заинтересованность в самом процессе. В данной работе в качестве примера рассматривается модель игры MyLands (<http://www.mlgame.ru>). Эта игра относится к классу MMORPG (англ. *massively multiplayer online role-playing game*) - мно-

гопользовательских ролевых онлайн-игр, когда большое количество игроков принимают участие в процессе, определяемом некоторыми фиксированными правилами. Важной особенностью является то, что виртуальный мир игры продолжает существовать и в отсутствии игрока, он поддерживается издателем игры после её выхода в сеть. Подобного типа игры привлекают к себе внимание пользователей возможностью взаимодействия с большим количеством людей, одновременно находящихся онлайн. Поэтому разработчики (и владельцы) стараются привлечь как можно большее число участников к себе в игру. При этом вполне естественен процесс выхода из игры части вновь зарегистрированных пользователей. Но для оставшихся должна быть создана среда, сохраняющая их интерес к игре. Это, как уже было сказано, сильно зависит от числа игроков.

Таким образом, с точки зрения определения количества активных игроков, находящихся в игре, последнюю можно рассматривать как систему массового обслуживания [1] с входным потоком, определяющим регистрацию новых пользователей, и потоком обслуживания, говорящим о выходе участников из процесса. Задачи, стоящие при исследовании подобной системы массового обслуживания, могут быть самыми разнообразными, касающимися многих сторон функционирования игры. При этом можно оптимизировать различные её показатели: объёмы игровых ресурсов, выделяемых пользователям (обычно без оплаты, - удачный подбор значений определяет величину дохода владельцев игры, вступая в некоторое противоречие с привлекательностью для массового пользователя); пороговые значения индивидуальных показателей, определяющие переход игрока с одного уровня развития на другой (например, в игре MyLands порог перехода с четвёртого уровня на пятый был задан разработчиками неудачно, в результате чего количество игроков четвёртого уровня крайне мало); правила размещения новых участников на игровом поле (для ряда серверов игры MyLands стандартные правила оказались неоптимальными, что привело к неравномерности заполнения игрового поля игроками) и так далее.

Авторами была построена модель нахождения участников в игре MyLands, определяющая изменение их количества во времени и игровом пространстве. В данной игре вновь зарегистрированные участники распределяются по игровой карте, представляющей собой набор клеток. При этом каждая клетка имеет ограниченную вместимость по количеству игроков. Правила размещения предполагают, что общая карта разбита на несколько секторов, на которые попадают новые игроки. Как только очередной сектор заполнится, следующие новички будут размещаться в другом секторе. За счёт такого правила должно происходить относительно равномерное заполнение всей карты. А поскольку

ку старые игроки имеют возможность перемещаться по всей карте (занимая новые дополнительные клетки), то происходит их перемешивание с неофитами. Это поддерживает интерес игроков с опытом к процессу.

В то же время, в ходе игрового процесса некоторая часть зарегистрированных игроков прекращает свое участие в игре. Через определенное время занятые ими клетки освобождаются и могут быть заняты вновь прибывшими участниками (когда соответствующий сектор вновь попадет под "заселение", либо же ещё не выйдет из указанной стадии). В связи с этим возникает задача подбора величины сектора и периода его "заселения" новыми игроками с тем, чтобы темпы освобождения этих клеток не превышали скорости прихода новых участников. При слишком большом размере сектора весь процесс игры будет сосредоточен только в нем, а остальные участки карты окажутся пустыми. Если же количество клеток в секторе окажется маленьким, то однажды заполненный сектор опустеет, и появление там новых игроков будет ожидаться слишком долго, что приведет к уменьшению интереса к игре у оставшихся там участников.

В качестве инструмента для анализа была выбрана среда имитационного моделирования GPSS World [2]. Язык моделирования GPSS является подходящим средством для описываемого процесса, поскольку ориентирован на дискретные события, каковыми являются приход нового участника в игру и завершение им активных действий на сервере с удалением игрового персонажа. Здесь моделировался процесс прибытия новых игроков по некоторому заданному вероятностному закону распределения (который может быть задан в широких пределах разнообразия, позволяемого языком моделирования) и их выбытия из процесса игры. Параметром модели, изменение которого анализировалось, была емкость сектора «заселения». Выходным значением модели было время достижения полного заселения сектора и количество игроков при достижении стационарного режима функционирования модели.

Значения параметров прибытия игроков было получено из статистики, отображаемой на главной странице сайта игры, анализ которой проводился в течение приблизительно месяца. Было получено среднее значение увеличения зарегистрированных игроков за день. Наиболее подходящим законом распределения потока новых игроков является пуассоновский [3]. Здесь вполне уместно предположить ординарность потока прихода новых игроков (поскольку вероятность одновременной регистрации двух и более пользователей является крайне малой величиной) и отсутствие последствия (так как пользователи, приходящие на сайт, распределены по всей России или даже всему миру и не взаимодействуют друг с другом до вступления в игру). Единственным не

вполне достоверным предположением является стационарность потока, но в качестве грубого приближения к реальности его можно принять. Поэтому распределение Пуассона прихода игроков в игру в единицу модельного времени (или, что то же самое, экспоненциальное распределение времени между новыми регистрациями) и было использовано в модели. Статистический анализ полученных данных позволил с вероятностью ошибки первого рода не более 0,05 принять указанную гипотезу. Параметр Пуассоновского потока был оценен величиной 17 регистраций в сутки на одном игровом сервере.

Процесс выбывания участников из игры, к сожалению, не отображается в официальной статистике. Поэтому к нему были сделаны некоторые предположения, которые можно уточнить, при получении соответствующей официальной информации от владельцев игры. При моделировании мы исходили из того, что первые три дня игровой персонаж остаётся на занятой им клетке, а в дальнейшем каждые сутки вероятность того, что он перестанет играть, является заданной величиной, которая при моделировании различных ситуаций изменялась.

Из результатов моделирования следует, что размер сектора "заселения" (определяемый количеством мест при регистрации), значительно влияет на время насыщения игрового поля участниками. При этом вероятность исчезновения игрового персонажа определяет количество игроков, остающихся на сервере в режиме стабильного функционирования.

Таким образом, моделирование игрового процесса для игр класса MMORPG позволяет определить параметры, оптимизирующие их качество, и, как следствие, повышающие их прибыльность для владельцев.

Список литературы

1. Климов Г.П. Теория массового обслуживания.- М.: Издательство МГУ 2011.- 312 с.
2. Руководство пользователя по GPSS World.- Казань: Изд-во "Мастер Лайн", 2002.- 384 с.
3. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Том 1.- М.:Издательство: ЁЁ Медиа, 2012.- 511 с.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Т.Н. Пинтя

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск*

Метод математического моделирования термодинамических циклов газотурбинных установок (ГТУ) позволяет выявить зависимость основных характеристик установки от параметров цикла (температуры, давления), а также определить оптимальные параметры, при которых мощность (или КПД) ГТУ максимальна.

При создании математической модели принято условие, что рабочее тело обладает свойствами идеального газа: воздуха, азота или другого газа. Приняты также допущения, что гидравлические потери в камере сгорания и регенеративном подогревателе, а также потери с выходной скоростью в газовой турбине отсутствуют, т.е. процессы подвода и отвода теплоты считаются изобарными. Пренебрегаем возможными изменениями расхода рабочего тела, а также расходом энергии на привод топливного насоса и другие собственные нужды.

Параметры рабочего тела рассчитываются при условии, что теплоемкость газа C_p и показатель адиабаты K зависят от температуры.

Для расчета энтальпии газа используется уравнение, приведенное в [1]:

$$\mu h = H = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^h \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^n + b_h \cdot \ln \frac{T}{1000}, \quad (1)$$

где $\mu h = H$ – энтальпия одного киломоля газа при температуре T , кДж/кмоль; $a_1, a_2 \dots a_n, b_h$ – коэффициенты, значения которых приведены для различных газов в [1, табл. I.2].

Удельная массовая энтальпия определяется из уравнения:

$$h = \frac{H}{\mu}, \quad (2)$$

где μ – молекулярная масса газа.

Расчет адиабатного обратимого (изоэнтропного) процесса осуществляется с помощью термодинамической функции S° , принимая во

внимание, что в адиабатном процессе изменение энтропии равно нулю:

$$\Delta S = S_2^\circ - S_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0, \quad (3)$$

где S° – термодинамическая функция, отнесенная к одному кг газа.

Она определяется из выражения:

$$S^\circ = \frac{S}{\mu}. \quad (4)$$

Функция S° , отнесенная к одному киломолю газа, рассчитывается в зависимости от температуры T по формуле:

$$\mu S^\circ = S = \sum_{n=1}^{n=7} a_n^s \left(\frac{T}{1000}\right)^n + b_s \ln \frac{T}{1000}, \quad (5)$$

где $a_1, a_2 \dots a_7, b_s$ – коэффициенты, значения которых приведены для различных газов в [1, табл. I.3].

При составлении модели используются также уравнение состояния идеального газа [2]:

$$Pv = RT, \quad (6)$$

где P – давление газа, Па; v – удельный объем, $\text{м}^3/\text{кг}$; R – индивидуальная газовая постоянная, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$; T – абсолютная температура, К ,

и соотношение параметров газа в изобарном процессе (закон Гей-Люссака) [2]:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1}. \quad (7)$$

Количество теплоты, подведенное (или отведенное) в изобарном процессе, рассчитывается по формуле:

$$q = \Delta h = h_2 - h_1. \quad (8)$$

Теоретическая полезная работа в компрессоре и турбине для адиабатного (изоэнтропного) процесса:

$$\ell_T = -\Delta h = h_1 - h_2. \quad (9)$$

Действительная работа рассчитывается по формулам:
для турбины

$$\ell_D^T = \ell_T^T \cdot \eta_{oi}^T; \quad (10)$$

для компрессора

$$\ell_D^K = \ell_T^K / \eta_{oi}^K, \quad (11)$$

где η_{oi}^T и η_{oi}^K – внутренние относительные КПД турбины и компрессора соответственно.

Эти коэффициенты учитывают необратимость процессов в турбине и компрессоре в результате трения.

Учитывая, что в турбине $\ell_D^T = h_1 - h_{2d}$, а в компрессоре $\ell_D^K = h_{2d} - h_1$, можно определить энтальпию, а затем и другие параметры газа в конце действительных процессов расширения и сжатия.

Принципиальная схема газотурбинной установки (ГТУ) с регенерацией теплоты изображена на рис. 1,а, а цикл, совершаемый рабочим телом этой установки в T-S-диаграмме – на рис. 1,б [3,4].

Воздух сжимается в компрессоре К (1-2 – обратимый адиабатный процесс сжатия, 1-2д – действительный необратимый процесс). Расширение газа происходит в турбине Т (процесс 3-4 – адиабатный обратимый процесс расширения, 3-4д – адиабатный необратимый процесс). Газы, покидающие турбину, не выбрасываются в окружающую среду, а используются в регенеративном теплообменнике Р для подогрева воздуха (изобарный процесс 2д – 5д) перед камерой сгорания КС. Газы при этом охлаждаются в процессе 4д -6д.

На рис.1,б цифрами 5 и 6 отмечены точки, соответствующие случаю предельной регенерации ($\sigma = 1$), при которой воздух в регенеративном теплообменнике Р нагревается до температуры газов, покидающих турбину ($t_5 = t_{4д}$); газы при этом охлаждаются до $t_6 = t_{2д}$. Предельная регенерация на практике недостижима. В реальных ГТУ такого типа $t_{5д} < t_5, t_{6д} > t_6$.

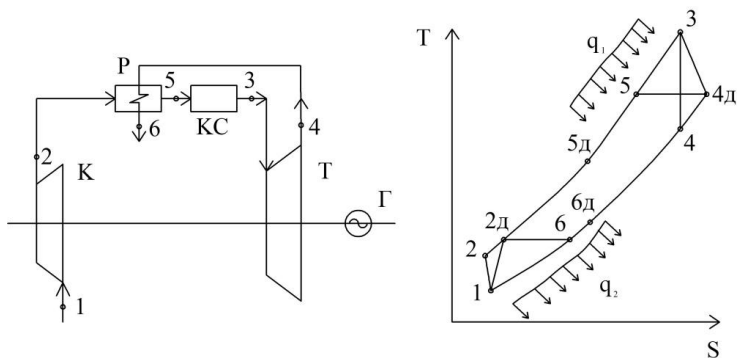


Рис. 1. Схема ГТУ с регенерацией теплоты (а) и цикл (б)

При работе с математической моделью ГТУ с регенерацией необходимо следить, чтобы $t_{4д} > t_{2д}$. В противном случае регенерация невозможна.

В данной работе в качестве варьируемых параметров выбраны: начальное давление P_1 и температура t_1 , температура газа перед турбиной t_3 , расход рабочего тела D ; внутренние относительные КПД турбины η_{oi}^T и компрессора η_{oi}^K ; давление воздуха в камере сгорания P_2 , степень регенерации σ , вид газа – рабочего тела (воздух, азот или др.).

Для упрощения расчетов эксергии в характерных точках цикла задаются параметры окружающей среды, равные начальным параметрам рабочего тела:

$$P_{cp} = P_1, \quad t_{cp} = t_1.$$

В качестве характеристик ГТУ, которые должны выводиться на дисплей или печать, приняты: действительные мощности турбины N^T , компрессора N^K и ГТУ N_i , теоретическая мощность ГТУ N_T , соответствующая обратимым процессам сжатия и расширения; термический КПД η_t и внутренний КПД ГТУ – η_i ; температуры газа после турбины $t_{4д}$ и перед камерой сгорания $t_{5д}$; эксергия газа во всех характерных точках цикла.

Расчет характеристик ГТУ

Параметр	Формула для расчета
Термический КПД ГТУ	$\eta_t = \frac{\ell_T^T - \ell_T^K}{Q_{1\text{теор}}}$
Внутренний КПД ГТУ	$\eta_i = \frac{\ell_D^T - \ell_D^K}{Q_{1\text{дейст}}}$
Теоретическая мощность ГТУ	$N_T = D \cdot (\ell_T^T - \ell_T^K)$
Действительная мощность ГТУ	$N_i = D \cdot (\ell_D^T - \ell_D^K)$
Действительная удельная работа компрессора	$\ell_D^K = \frac{\ell_T^K}{\eta_{oi}^k}$
Действительная удельная работа турбины	$\ell_D^T = \ell_T^T \cdot \eta_{oi}^T$

Созданная модель позволяет рассчитать эксергию газа в характерных точках:

$$ex = h - h_o - T_o \cdot (S - S_o) = h - h_o - T_o \cdot (S^o - S_o^o - R \cdot \ln \frac{P}{P_o}). [\text{кДж/кг}], \quad (18)$$

где T_o – температура окружающей среды, К; P_o – давление окружающей среды, Па.

Список литературы

1. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Техническая термодинамика: учебник / В.А.Кириллин, В.В.Сычев, А.Е.Шейндлин, - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. Андрющенко В. А. Основы термодинамических циклов теплоэнергетических установок. - М.: Высшая школа, 1985.
4. Мартыновский В.С. Анализ действительных термодинамических циклов. – М.: Энергия, 1972.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Бурдина О.В.*, **Гребенникова В.В.***, **Рябчиков М.Ю.***

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск
olga981a4@mail.ru, greb1981@mail.ru, mr_mgn@mail.ru*

Важнейшим требованием агломерационного процесса является обеспечение максимальной производительности агломерационных машин при сохранении высокого качества выпускаемого агломерата. Большое количество факторов, их взаимозависимость затрудняет создание единой модели агломерационного и доменного процессов. В тоже время качество оперативного управления дозированием материалов в агломерационном и доменном процессах оказывает значительное влияние на эффективность этих переделов в целом [1, 2].

Существенное влияние оказывает газодинамика аглопроцесса на качество выпускаемого агломерата. Поскольку в настоящее время отсутствуют какие-либо зависимости, позволяющие однозначно установить связь между показателями качества и параметрами технологического процесса, то при создании моделей качества агломерата [3] целесообразно использовать косвенные критерии: например, среднеквадратичное отклонение максимальной температуры в слое от оптимального значения. На основе этого критерия можно судить о равномерности распределения температур по слою и, как следствие, о прочности.

В случае, когда скорость фильтрации недостаточна, диапазон максимальных температур, равно как и время выдержки спека при этих температурах ограничен; процессы плавления, горения углерода, окислительно-восстановительные процессы, выгорание серы и пр. не получают должного развития, в результате образуется плохо спеченный агломерат. В случае очень высокой скорости фильтрации агломерат также не обладает необходимой прочностью, как вследствие высокой интенсивности охлаждения за горном, так и вследствие незавершенности химико-минералогических превращений в спеке.

В данной работе сделана попытка создания модели, которая позволила бы оценить газодинамическое сопротивление спекаемого материала на основе представленных ранее данных и равномерность его распределения по слою. Степень равномерности может быть оценена по распределению скорости фильтрации, получение которого и является целью данной работы. Скорость фильтрации по длине агломашины зависит от изменения суммарного коэффициента газодинамического сопротивления $K_{\Sigma} = K_T * K_{стр}$, который в свою очередь определяется

величинами двух коэффициентов. K_T – коэффициент, связанный с изменением среднemasовой температуры слоя:

$$K_T = \frac{t_i + 273}{t_{ш} + 273}, \quad K_{стр} = \frac{\sum_{i=1}^6 h_i}{h_{\Sigma}},$$

где t_i и $t_{ш}$ – среднemasовые температуры исходной шихты и i -го участка $K_{стр}$ – коэффициент, связанный с изменением высот зон по мере спекания шихты; $h_1 \dots h_6$ – высоты зон исходной шихты, зоны конденсации и переувлажнения, зоны сушки, зоны нагрева, зоны горения и зоны готового агломерата на i -м участке.

Начальные условия (табл. 1) адаптированы к условиям проведения агломерации на ОАО «ММК». Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 1

Параметр	Значение	Параметр	Значение
$C_{ш}$, кг/кг	0,0325	Ψ	0,10
W_0 , м/с	0,152	$Q_{ш}^p$, кДж/м ³	18000
$t_{ш}^n$, °C	50	$\Pi_{ш}$, кг/кг	0,05
$K_{асп}$	0,86	$n_{ст}$	3,5
$V_{г}$, м ³ /ч	12000	$t_{г}^k$, °C	50
$W_{ш}$, кг/кг	0,07	$G_{ш}$, кг/ч	233280
S , м ²	75	$t_{г}^n$, °C	20

Таблица 2

Относительная длина, доли	H_1 , доли	H_2 , доли	H_3 , доли	H_4 , доли	H_5 , доли	H_6 , доли	$K_{стр}$	K_T	K_{Σ}	$W_{об}$, м/с
0	1	0	0	0	0	0	1,000	-	-	-
0,05	0,6	0,28	0,05	0,03	0,02	0,02	1,266	1,787	2,261	0,241
0,1	0,33	0,5	0,05	0,05	0,03	0,04	1,456	1,805	2,627	0,223
0,15	0	0,8	0,05	0,05	0,02	0,08	1,703	1,805	3,073	0,206
0,2	0	0,72	0,05	0,05	0,06	0,12	1,603	1,805	2,893	0,213
0,25	0	0,64	0,05	0,06	0,06	0,19	1,491	1,809	2,697	0,220
0,3	0	0,57	0,05	0,07	0,08	0,23	1,405	1,812	2,545	0,227
0,35	0	0,49	0,07	0,08	0,08	0,28	1,313	1,813	2,380	0,234
0,4	0	0,42	0,07	0,1	0,08	0,33	1,225	1,813	2,221	0,243
0,45	0	0,36	0,06	0,12	0,08	0,38	1,142	1,811	2,068	0,252
0,5	0	0,28	0,07	0,14	0,1	0,41	1,059	1,810	1,917	0,261
0,55	0	0,22	0,08	0,12	0,1	0,48	0,962	1,812	1,743	0,274
0,6	0	0,18	0,08	0,11	0,11	0,52	0,899	1,815	1,631	0,283
0,65	0	0,08	0,11	0,11	0,14	0,56	0,794	1,810	1,436	0,302
0,7	0	0,02	0,1	0,14	0,14	0,6	0,719	1,805	1,298	0,318
0,75	0	0	0,05	0,15	0,12	0,68	0,638	1,796	1,145	0,338
0,8	0	0	0	0,1	0,2	0,7	0,585	1,787	1,045	0,354
0,85	0	0	0	0	0,22	0,78	0,510	1,790	0,913	0,379
0,9	0	0	0	0	0,2	0,8	0,500	1,793	0,897	0,382
0,95	0	0	0	0	0,12	0,88	0,460	1,780	0,819	0,400
1	0	0	0	0	0,1	0,9	0,450	-	-	-

Кривая распределения скорости фильтрации приведена на рис. 1. Характерным для графика, представленного на рис. 1, является падение значения скорости фильтрации в зоне $0,1 \div 0,3 L_{ам}$, что связано с переувлажнением шихты и формированием зоны конденсации, вследствие чего наблюдается ухудшение газопроницаемости слоя.

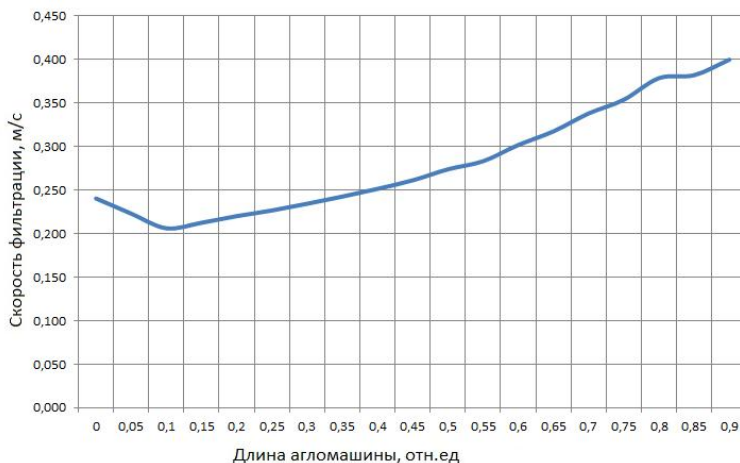


Рис. 1. Распределение скорости фильтрации по длине агломашины

Автором метода [4] Клейном В.И. при других начальных данных были получены графики для Серовского металлургического завода, ОХМК и КачГОКа, рис. 2. При прочих условиях общим для всех распределений является зона ухудшения газопроницаемости слоя, что влечет за собой падение скорости фильтрации.

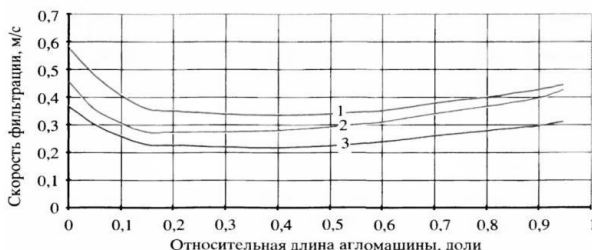


Рис. 2. Изменение величины скорости фильтрации по длине агломашины: 1-СМЗ, 2-ОХМК, 3-КачГОК

Таким образом, алгоритм носит универсальный характер, однако особенности конкретной агломерационной машины могут быть учтены при вводе начальных данных, рис. 3.

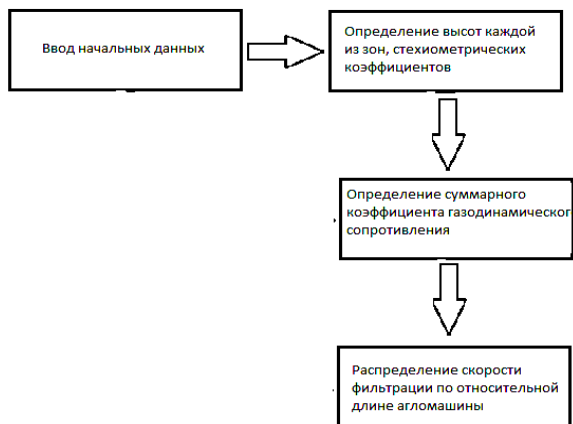


Рис. 3. Алгоритм определения скорости фильтрации по длине агломашины

Целесообразно осуществлять моделирование распределения температур в зонах с учетом влияния скорости фильтрации. Это позволит выйти на косвенные критерии качества агломерата, а также решить задачу оперативного управления процессом агломерации, как объектом со значительным запаздыванием [5, 6, 7]. Поэтому данная модель [8] может быть использована в комплексе с другими моделями [9, 10] с целью оптимизации агломерационного и доменного процессов по различным критериям.

Список литературы

1. М.Ю. Рябчиков, В.Л. Евстигнеев, М.В. Евстигнеева. Повышение точности дозирования компонентов доменной шихты как основа получения высокоэкономичных сталей / Труды седьмого конгресса сталеплавателей 15-17 октября, 2002г. – М., 2003. – С.210-214.
2. М.Ю. Рябчиков, Л.М. Трофимов. Повышение эффективности управления бесконусным загрузочным устройством в доменном цехе ОАО «ММК» / Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвузовский сб. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. Вып. 3. –С. 88-94
3. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, С.М. Андреев, В.В. Гребенникова. Модель качества металлургического агломерата. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – № 2012619150. ОБ ПБДТ. 2012. № 1.

4. Теплотехнические методы анализа агломерационного процесса. В.И. Клейн, Г.М. Майзель, Ю.Г. Ярошенко, А.А. Авдеенко. Екатеринбург, 2004г.
5. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, С.М. Андреев и др. Реализация нечеткого цифрового управления инерционными с запаздывающими параметрами технологического процесса. Научные труды международной заочной конференции, посвященной 15-летию со дня создания Регионального Уральского отделения Академии Инженерных Наук им. А.М. Прохорова, «Инженерная поддержка инновации и модернизации» 1-10 декабря 2010 г. Выпуск 1. Екатеринбург: ИВТОБ, 2010, –С. 88-90.
6. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, С.М. Андреев. Алгоритм нечеткого управления для синтеза цифровых контуров автоматической стабилизации технологических параметров / Автоматизация в промышленности. 2010. № 11. С. 32-37.
7. Б.Н. Парсункин, М.Ю. Рябчиков, В.М. Дубинин. Определение динамических параметров объекта управления по экспериментальным характеристикам. Учебное пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – 91 с.
8. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, В.В. Гребенникова. Имитационная модель процесса агломерации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – № 2012619151. ОБ ПБДТ. 2012. № 1.
9. М.Ю. Рябчиков, В.Л. Евстигнеев. Применение балансовых моделей для корректировки состава доменной шихты с целью экономии кокса / Современная металлургия начала нового тысячелетия: Сборник научных трудов по материалам межгосударственной научно-технической конференции 29 октября – 2 ноября 2001 года. Часть 1. – Липецк: ЛГТУ, 2001. – С.102-106.
10. М.Ю. Рябчиков, В.Л. Евстигнеев, Т.В. Майорова. Применение балансовой модели для стабилизации показателей доменной плавки / Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 3. С. 30-33.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НАГРЕВА ПОЛОСЫ В ПЕЧИ АНГЦ

*И.Г. Самарина**, *Б.Н. Парсункин**, *Чертыковцева М.М.**

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
ig_samarina@inbox.ru*

В настоящее время практически на любом крупном производстве ведутся базы данных параметров технологических процессов. В большинстве случаев технологические процессы являются динамическими и информация сохраняется через определенный шаг по времени. Анализируя данную информацию, можно построить модели, которые могут использоваться для:

- прогноза состояния процесса, включая возможные дефекты производства продукции [1, 2];
- обучения персонала предприятия [3];
- исследования поведения объекта управления при различных режимах и внешних воздействиях [4];
- повышение эффективности производства по критериям затрат и производительности [5, 6];
- в контурах регулирования; например, инверсной модели в качестве регулятора в задачах разомкнутого управления и прямой модели с целью повышения запаса устойчивости и робастности системы [7].

Рассмотрим модель отделения нагрева агрегата непрерывного горячего оцинкования. Цель создания модели – расчет температуры полосы на выходе отделений нагрева и термовыдержки, на основании известных значений температур в каждой зоне, скорости, толщины, ширины полосы, а также расхода воздуха на каждую зону (ведущий параметр управления).

В качестве основы для создания подобной модели можно использовать искусственные нейронные сети (ИНС). В данном случае используется стандартный многослойный перцептрон, на входы которого подаются средние во времени значения технологических параметров (скользящие средние). Применение средних позволяет уменьшить влияние помех и ошибки измерений на получаемые результаты [8].

Для разработки статистической модели динамического процесса с использованием ИНС необходимо формирование специальной модельной базы данных. База хранит только необходимые для создания модели данные, не сохраняя малозначущую для выборки информацию. Формирование базы осуществлялось из массива информации, накоп-

ленной за два года работы агрегата. Данные в массив сохранялись через каждые $T_C = 5$ с.

Определение длительности максимального периода и количества средних для каждого параметра производится согласно собственным знаниям о процессе и результатам расчета функции автокорреляции $R(x)$ для заданного временного сдвига исходного сигнала. Период средней принимается равным временному сдвигу, при котором $R(x)$ равна заданной величине.

Максимальные периоды средних приняты равными временному сдвигу x , при котором функция автокорреляция равна 0,7. Получены следующие периоды: по скорости $T_1=35 \cdot T_C=175$ с; по температурам $T_2=124 \cdot T_C=620$ с; по расходам $T_3=150 \cdot T_C = 750$ с.

Были рассчитаны по две средних для каждого параметра с периодами соответственно T_1 и $T_1/2$, T_2 и $T_2/2$, T_3 и $T_3/2$.

Допустимые пределы варьирования скорости полосы различны в зависимости от ее толщины и ширины (определяется наличием экспериментальных данных по режимам). Рабочую зону упрощенно можно представить графиком на рис.1.

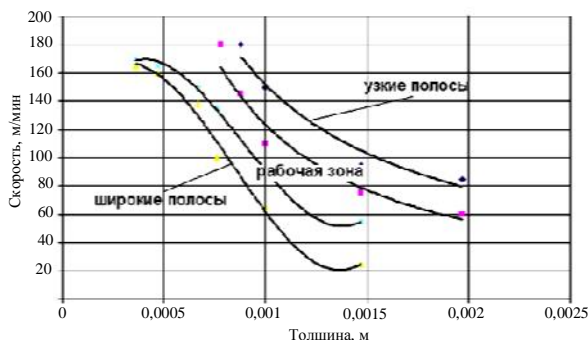


Рис.1. Рабочая зона АНГЦ

Так как модель создается для определенных диапазонов изменения значений параметров, данные необходимо отфильтровать. Дополнительно на этом этапе исключаются избыточные – повторяющиеся данные, характерные для установившегося процесса. Тем самым исключается возможность попадания в выборку практически идентичных, следующих друг за другом во времени наборов. Для организации фильтрации данные сортируются согласно времени их получения и построчно обрабатываются. Отсутствие значимых различий средних для каждого сигнала по заданному уровню значимости свидетельствует о том, что текущий набор данных характеризует стабильное состояние процесса. При этом в выборку отбирается порядка

2 – 5% текущих данных. При значимом различии средних в выборку отбирается 20 – 100% данных.

Информация заносится в таблицы отдельной базы и производится расчет плотностей распределения данных по заданным входам-выходам. Алгоритм основан на использовании многомерного массива $M_{i,j..n}[0..m]$ n измерений, по m интервалов на каждом. В массиве хранится число наборов данных по каждой комбинации интервалов изменения значений параметров. После расчета производится оценка предполагаемого объема выборки путем варьирования заданного максимального количества наборов k , принадлежащих одному элементу массива $M_{i,j..n}[0..m]$, который может быть помещен в выборку.

После уточнения k переходим к формированию выборки. Происходит перебор таблиц отфильтрованных данных и для каждого набора рассчитывается вероятность его добавления $P[0..1]$ как:

$$P = \begin{cases} 1, & \text{если } M_{i,j..z} \leq k \\ k / M_{i,j..z}, & \text{если } M_{i,j..z} > k \end{cases}.$$

Так как процедура формирования выборки носит вероятностный характер, могут быть заданы любые положительные значения k , включая $k < 1$.

Первоначально было проведено выравнивание выборки по параметрам скорости, толщины, ширины полосы, температуре на выходе отделения нагрева. Анализ полученной выборки позволил ранжировано расположить входные параметры согласно степени их влияния на выходной параметр: толщина, скорость, средняя скорость $T_1/2$, средняя скорость T_1 , ширина, температуры в зонах, средние температуры $T_2/2$, средние расходы T_3 , средние расходы $T_3/2$, средние температуры T_2 , расходы. То есть, выявлена существенная значимость толщины, скорости и ее средних, ширины полосы, температур, и средних с периодом T_3 расходов.

Обучающая выборка была переформирована, из нее были исключены средние расходы $T_3/2$, средние температуры T_2 , расходы. Равномерность выборки повышалась по параметрам: толщина, скорость, средняя скорость $T_1/2$, средняя скорость T_1 , ширина, температура на выходе отделения нагрева.

После формирования выборки создается модель (многослойный перцептрон) Для настройки ИНС используется модифицированный алгоритм обратного распространения ошибки, предусматривающий корректировку весовых коэффициентов ИНС пакетным способом [9]. Например, для нейронов выходного слоя весовые коэффициенты корректируются каждый шаг обучения согласно следующему правилу:

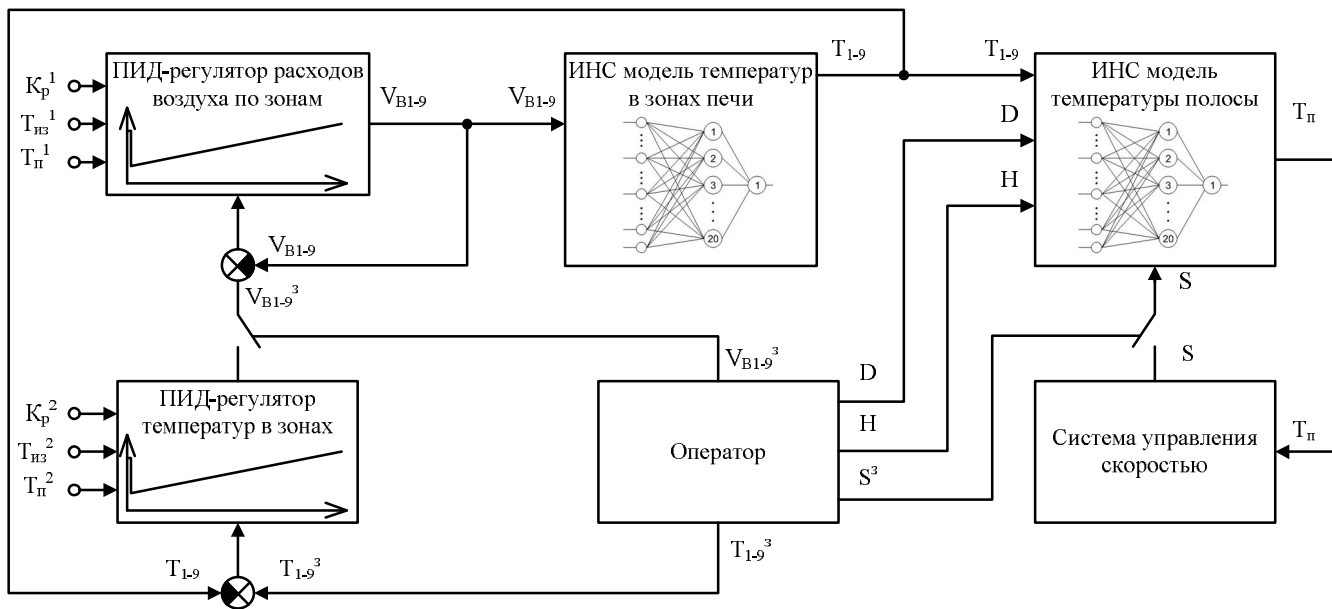


Рис.2. Структурная схема имитационной модели температуры полосы и отделений нагрева и выдержки

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{p=1}^k -\eta \cdot y_{i,p}^{(N-1)} \cdot (y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p}) \cdot \frac{dy_{j,p}}{ds_{j,p}},$$

где $y_{j,p}^{(N)}$ – реальное выходное состояние нейрона j выходного слоя N нейронной сети при подаче на ее входы p -го образа; $d_{j,p}$ – идеальное (желаемое) выходное состояние этого нейрона; w_{ij} – весовой коэффициент синаптической связи, соединяющей i -ый нейрон слоя $n-1$ с j -ым нейроном слоя n ; η – коэффициент скорости обучения, $0 < \eta < 1$; $s_{j,p}$ – взвешенная сумма входов j -го нейрона; N – объем обучающей выборки.

С целью уменьшения затрат времени в процессе настройки динамически изменяется коэффициент скорости обучения η , от больших значений в начале обучения, до меньших в конце. Для выхода из локальных минимумов целевой оптимизируемой функции предусматривается обучение с шумом или периодическая частичная рандомизация весовых коэффициентов, позволяющая продолжить обучение и выйти из локального минимума. Дополнительно, для повышения адекватности модели, созданной по данным с неравномерной плотностью распределения, использовали способ [10].

Разработанная модель расчета температур в рабочем пространстве протяжной печи может быть интегрирована в систему управления процессом отжига полосы [11, 12] (рис. 2).

Список литературы

1. Рябчиков М.Ю., Корнилова И.Г., Павлов А.С. Прогнозирование появления дефектной продукции на агрегате непрерывного горячего цинкования ОАО «ММК» с помощью нейросетевой модели / Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвуз. сб. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. Вып. 3. – С.88-94.

2. Рябчиков М.Ю., Рахманов С.Н., Гурьянов А.Д. Совершенствование системы управления нагревом полосы на агрегате непрерывного горячего оцинкования с целью снижения количества производимой дефектной продукции / Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й научно-технической конференции. 25-29 апреля 2012 г. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – Т.2. – С. 33-35.

3. Рябчиков М.Ю., Рахманов С.Н., Беляков А.А. и др. Статистические модели нагрева полосы в протяжной печи башенного типа агрегата непрерывного горячего оцинкования / Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: межвуз. сб. науч. тр. /под ред. Б.Н. Парсункина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып. 4. С.81-97.

4. Рябчиков М.Ю., Валеев П.В. Исследование динамики нагрева полосы в протяжной печи башенного типа / Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции 23-27 апреля 2012 г. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012.–Т.2.–С. 63-66.

5. Рябчиков М.Ю., Белан А.Ф., Целых В.Н. Повышение эффективности процесса управления нагревом металла в агрегате непрерывного горячего оцинкования (АНГЦ) ОАО “ММК” / Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвуз. сб. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2006. Вып. 2. –С. 153-161.

6. Рябчиков М.Ю., Корнилова И.Г., Козлов К.С и др. Оптимизация схем включения горелок в зонах нагрева и выдержки агрегата непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) полосы с целью увеличения срока службы радиантных труб / Материалы 66-й научно-технической конференции 7-11 апреля 2008 г.: Сборник докладов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. –Т.2. –С. 92-94.

7. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н. Совершенствование управления нагревом полосы в протяжной печи башенного типа / Научные труды международной заочной конференции, посвященной 15-летию со дня создания Регионального Уральского отделения Академии Инженерных Наук им. А.М. Прохорова, «Инженерная поддержка инновации и модернизации» 1-10 декабря 2010 г. Выпуск 1. Екатеринбург: ИВТОБ, 2010, –С. 82-84.

8. Ефимов В. В. Статистические методы в управлении качеством продукции: Учебное пособие.- Ульяновск, 2003.- 138 с.

9. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика.- М.: Горячая линия – Телеком, 2002.- 382 с.

10. Рябчиков М.Ю. Способ многоуровневого построения моделей на основе искусственных нейронных сетей для расчетов за пределами области рассеяния исходных данных / Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: межвуз. сб. науч. тр. /под ред. Б.Н. Парсункина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып. 4. С.70-80.

11. Рябчиков М.Ю., Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Концепция нейросетевой системы управления многозонными нагревательными устройствами протяжного типа / Электротехнические системы и комплексы: Межвуз. сб. науч. тр. Вып.14. –Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. –С. 344-351.

12. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Использование модели нагрева полосы при управлении температурным режимом в протяжной печи башенного типа / Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2011. № 5. С. 41-50.

ПОСТРОЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ БАШЕННОГО КРАНА

В.С. Ловейкин, Г.В. Шумилов**

** Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина, г. Киев
gerakiev@yandex.ua*

Актуальность

Известно, что во время работы механизмов изменения вылета и подъема груза башенного крана возникают маятниковые и вертикальные колебания груза, которые приводят к значительным динамическим нагрузкам не только в металлоконструкциях, но и в приводных механизмах крана [1-7]. Для проверки корреляции полученных теоретических данных [4-7] необходимо проведение экспериментальных исследований. На основе этой проверки будет сделан вывод о возможности их реализации посредством управления приводами. Для проведения экспериментальных исследований необходимо построить физическую модель стреловой системы башенного крана.

Основные проблемы и решения

При проведении обзора и анализа работ исследователей динамики движения крановых механизмов авторов С.А. Казака [1], М.С. Комарова [2] М.А. Лобова [3], были определены негативные факторы, возникающие при работе механизмов изменения вылета и подъема груза грузоподъемных машин, и предложены способы их устранения.

Проведены теоретические исследования динамики движения механизмов изменения вылета и подъема груза башенного крана [4-7], подтверждающие причины возникновения и характер колебаний груза, при работе рассматриваемых механизмов. Для устранения колебаний груза и уменьшение негативных факторов, вызванных этим явлением при работе механизмов изменения вылета и подъема груза башенного крана, было проведено оптимизацию режимов движения механизмов башенного крана [8]. Для подтверждения правильности выбранной динамической модели, полученных оптимальных законов движения и проведенных теоретических расчетов, необходимо провести экспериментальные исследования.

Проведение экспериментальных исследований на реальном башенном кране не представляется возможным, в связи с рядом причин, касающихся безопасности, сложности монтажа и стоимости управ-

вылета груза закреплена на стреле и состоит из асинхронного короткозамкнутого электродвигателя 4AA56 В4У3 (ГОСТ 12139-74), цилиндрического двухступенчатого редуктора, цилиндрического барабана и стального каната, диаметром 2 мм. Питание электродвигателя осуществляется от сети 380 В. Лебедка механизма подъема груза, в целях безопасности закреплена на полу и состоит из асинхронного короткозамкнутого электродвигателя 4A71A4У3 (ГОСТ 12139-74), червячного редуктора, цилиндрического барабана и стального троса диаметром 4 мм. Питание электродвигателя осуществляется от сети 380 В. Все канаты запасованы через специальные обводные блоки, диаметром 40 мм. Рабочим органом является крюковая подвеска, рассчитанная на нагрузку до 500 кг. Управление механизмами изменения вылета и подъема груза предусмотрено с помощью отдельных частотных преобразователей или с помощью ручного управления. Ниже приведена принципиальная схема управления механизмами физической модели (рис. 2).

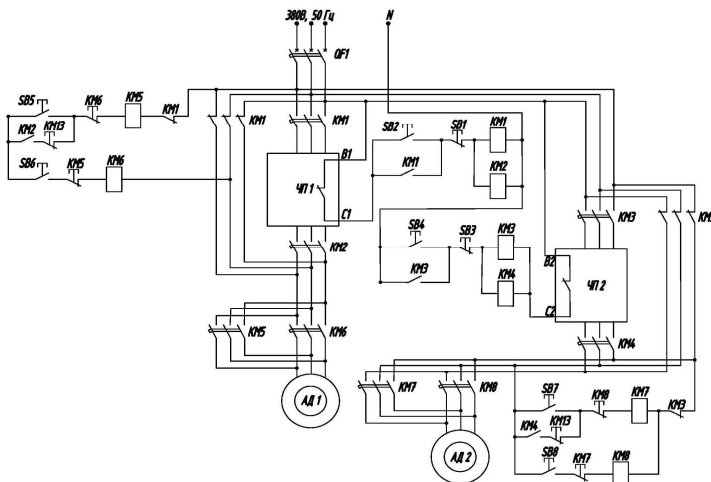


Рис. 2. Принципиальная электросхема управления приводами механизмов изменения вылета и подъема груза

Для управления электродвигателями механизмов модели стреловой системы крана выбраны частотные преобразователи FR-S540-E-2.2К-ЕС и FR-E700-060 (Mitsubishi Electric).

Для управления приводом механизма подъема груза используется частотный преобразователь FR-S540 скалярного типа, а для управления приводом механизма изменения вылета груза частотный преобразователь FR-E700-060 векторного типа с более высокими динамиче-

скими показателями работы. В схеме управления (рис. 2) предусмотрено как ручное, так и компьютерное управление приводами. Ручное управление осуществляется с помощью кнопочного поста (кнопки SB5...SB8). Кнопками SB5 или SB6 включается двигатель первого механизма АД1, а кнопками SB7 или SB8 - двигатель второго механизма АД2.

Переключение в компьютерный режим управления осуществляется с помощью кнопок SB2 и SB4 для первого и второго механизмов, соответственно. При этом размыкаются контакты КМ1 и КМ3, и выключают питание кнопочного поста, одновременно замыкаются контакты пускателей КМ1, КМ2 и КМ3, КМ4 и напряжение подается на частотные преобразователи ЧП1 и ЧП2. После чего можно управлять двигателями, изменяя частоту тока по определенным законам.

Все стационарное электрооборудование (частотные преобразователи, магнитные пускатели, кнопки) смонтировано в щитке (рис. 3).

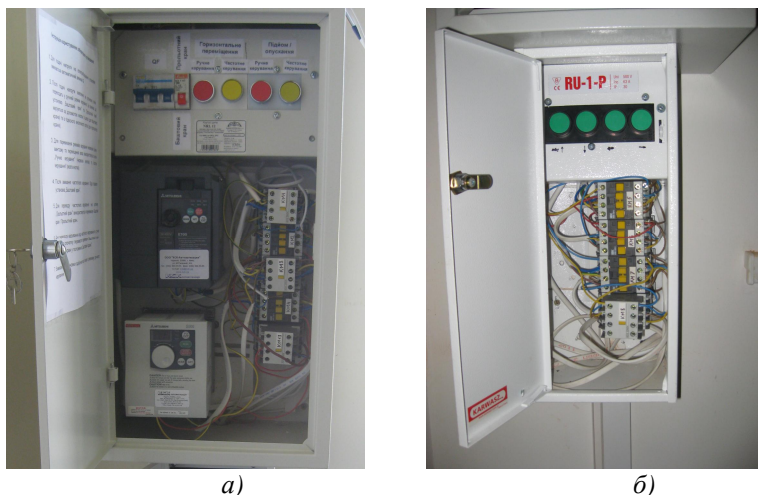


Рис. 3. Щиток с электрооборудованием для управления движением модели: а) щиток с частотными преобразователями б) щиток с кнопками для ручного управления

Разработанная схема управления позволяет управлять обоими механизмами не только в ручном или автоматическом режимах, но и объединять их, при необходимости. Например, одним механизмом можно управлять в автоматическом режиме, а другим осуществлять ручное управление.

Такая конструкция физической модели позволяет провести экспериментальные исследования по определению основных характеристик

движения элементов механизмов изменения вылета и подъема груза башенного крана. Разработанная физическая модель позволяет проводить экспериментальные исследования при оптимальных режимах движения механизмов стреловой системы крана, а также для их движения на естественных механических характеристиках приводов.

Список литературы

1. Казак С.А. Динамика мостовых кранов / Казак С.А. – М.: Машиностроение, 1968. – 331 с.
2. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин / Комаров М.С. – М.: Машиностроение, 1969. – 206 с.
3. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Лобов Н. А. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
4. Ловейкін В.С. Дослідження реальної динаміки зміни вильоту вантажу баштового крана / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Шумілов Г.В. // Гірничі та піднімально-транспортні машини. № 77 – 2011. – С. 33-37.
5. Ловейкін В.С. Вплив довжини каната механізму переміщення візка на динаміку одночасної зміни вильоту та підйому вантажу баштового крана / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Шумілов Г.В. // Підйомно-транспортна техніка. №1. – 2011. – С. 3-13.
6. Ловейкін В.С. Динамічний аналіз процесу пуску механізму переміщення вантажу перевантажувачів / Ловейкін В.С., Шумілов Г.В. // Сільськогосподарські машини: збірник наукових статей. – Вип. 21. – Том 1. – 2011. – С. 265-273.
7. Ловейкін В.С. Динаміка спареної роботи кранових механізмів при переміщенні та опусканні вантажу / Ловейкін В.С., Шумілов Г.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – Вип. 63. – 2011. – С. 220-230.
8. Ромасевич Ю.О. Оптимізація режиму зміни вильоту вантажу баштового крана за одиничними кінематичними критеріями / Ромасевич Ю.О., Шумілов Г.В. // Motrol. Tom 13 B. 2011. - Lublin. – С. 167-173.
9. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Седов Л.И. – М.: Наука, 1977. – 440 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ АГРЕГАТА ПЕЧЬ-КОВШ

Е.С. Рябчикова*, М.Ю. Рябчиков*, Б.Н. Парсункин*

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск*

mika.Elena@mail.ru

В последнее время на металлургических предприятиях все чаще используют системы интерактивного обучения персонала, основанные на моделировании процесса управления конкретным технологическим агрегатом в условиях, приближенным к реальным.

Целью работы является создание имитационной модели процесса управления технологическим режимом агрегата печь-ковш, по которой оператор-технолог, используя экраны, подобные стандартной системе визуализации, обычно используемой для реального технологического процесса, мог бы обучаться управлению реальным агрегатом печь-ковш (АПК). Основной задачей является обеспечение разрабатываемой моделью имитации производственных ситуаций, в которых возможны различные нарушения технологического процесса доводки стали. При этом должны соблюдаться определенные требования к технологическому процессу, формируемые технологической инструкцией. Для решения данной задачи необходима комплексная модель, состоящая из следующих моделей:

1. Модель процесса перемешивания металла и шлака при продувке инертным газом.
2. Модель процессов теплообмена в кладке печи, металле, шлаке и своде.
3. Модель организации подвода энергии электрической дуги.
4. Модель добавления материалов с применением бункеров и трайбаппаратов.
5. Модель раскисления стали.
6. Модель перехода серы и неметаллических оксидных включений в шлак.

Адекватность комплексной модели в первую очередь означает возможность отработки по ней оператором всех критически важных требований, формируемых технологической инструкцией.

Рассмотрим математическое обеспечение модели процесса перемешивания металла и шлака при продувке инертным газом, которая

является одной из составных частей комплексной имитационной модели АПК.

Перемешивание стали в ковше является обязательным и преследует следующие цели:

- теплопередача и выравнивание температуры стали;
- выравнивание химсостава стали;
- ускорение металлургических реакций;
- осаждение неметаллических включений в шлак.

Перемешивание выполняется инертным газом (аргоном), который подается через продувочные устройства (пробки) в днище ковша.

Условия перемешивания металла аргоном в ковше в значительной мере определяются количеством и расположением продувочных устройств (пробок) и интенсивностью продувки.

Исследование продувки металла можно провести при знании гидродинамических и теплофизических процессов в ковше.

Экспериментальное определение гидродинамических параметров расплава, а также параметров газораспределения невозможно вследствие непрозрачности и высокой температуры жидкого металла.

Лабораторные исследования на холодных моделях затруднены соблюдением критериев подобия.

Аналитические исследования также невозможно провести в связи с тем, что гидродинамические и теплофизические процессы в расплаве описываются многомерными нелинейными уравнениями переноса. Поэтому для решения задачи моделирования процесса перемешивания стали целесообразно использовать численные методы.

В работе [1] приведено решение задачи движения расплава в ковше, позволяющей оценить влияние расположения продувочных устройств (пробок) в днище ковша на гидродинамическую картину в жидком металле, а также оценить скорости движения металла в горизонтальной и вертикальной плоскостях в любом сечении ковша в любой момент от начала продувки.

Ковш рассматривается в виде цилиндра с небольшим углом наклона стенок. Ковш заполнен жидким металлом, в котором имеет место тепловая конвекция. Зеркало металла плоское.

В момент времени $t > 0$ через пористую пробку (пробки) подается газ с определенной интенсивностью.

Все процессы описываются следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} - (\vec{V}\Delta)\vec{V} &= \frac{1}{\rho} \nabla P + \nabla \nu \nabla \vec{V} + g\beta_T(T - T_0) + g\beta_G; \\ \nabla \vec{V} &= 0; \\ c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{V}\nabla)T &= \nabla \lambda \nabla T; \\ \frac{\partial \beta_G}{\partial t} + (\vec{V}\nabla)\beta_G &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $V = \sqrt{V_r^2 + V_\varepsilon^2 + V_z^2}$ – скорость движения расплава; V_r, V_ε, V_z – компоненты скорости; $\nabla = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial}{\partial z}$ – дифференциальный оператор; ρ – плотность расплава; P – давление; ν – вязкость расплава; g – ускорение свободного падения; β_T – коэффициент объемного расширения металла; T и T_0 – температура расплава и температура стенки ковша; β_G – газосодержание в расплаве; λ – коэффициент теплопроводности расплава; t – текущее время.

Система уравнений замыкается следующей системой краевых условий (2), (3), (4) и (5):

$$\begin{aligned} &\text{– начальные} \\ t = 0, V_r = 0, V_\varepsilon = 0, V_z = 0, T = T_{нач}, \beta_G = 0; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\text{– граничные условия для гидродинамики} \\ r = 0 : V_r = 0, V_\varepsilon = 0, V_z = 0; \\ z = 0 : V_r = 0, V_\varepsilon = 0, V_z = 0; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} r = L_r : V_r = 0, V_\varepsilon = 0, V_z = 0; \\ z = L_z : V_r = 0, V_\varepsilon = 0, V_z = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{– граничные условия для температуры} \\ t = 0 \quad T = T_0; \\ z = 0 \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial t} = -\alpha(T - T_{cp}); \\ r = L_r \quad T = T_0; \\ z = L_z \quad T = T_0; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
& - \text{граничные условия для газовой фазы} \\
& t = 0 \quad \beta_G = 0; \\
& z = 0 \quad \beta_G = 0; \\
& r = L_r \quad \beta_G = 0; \\
& z = L_z \quad \beta_G = 0; \beta_G = \beta_0 \sin \theta;]R_1, R_2[; \beta_G = \beta_0;]R_3, R_4[
\end{aligned} \tag{5}$$

где α – коэффициент теплообмена; T_{cp} – температура окружающей среды; β_0 – содержание газовой фазы в пробке (интенсивность продувки); R_1, R_2, R_3, R_4 – координаты левой и правой пробок соответственно; θ – угол отклонения расположения пробок от оси симметрии.

Для учета газосодержания в работе [1] выбрана простая односкоростная модель, предполагающая сплошность газожидкостной среды. Уравнение движения такой среды описывается следующей системой уравнений (6):

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V}\Delta)\vec{V} &= -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nabla \nu \nabla \vec{V} + g\beta_G; \\
\nabla \vec{V} &= 0; \\
\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\vec{V})\rho &= 0.
\end{aligned} \tag{6}$$

В данной постановке V совпадает со скоростью жидкости и газовой фазы при $V_{жс} = V_g$ (скорости жидкой и газовой фаз соответственно).

Таким образом, предложенная в работе [1] трехмерная модель позволяет рассчитать гидродинамику и теплоперенос в условиях термогравитационной конвекции с учетом продувки металла газом, при различном расположении продувочных пробок и при разном расходе аргона.

Однако данная модель из-за отсутствия учета влияния турбулентности, которую создают газовые пузыри, не может объяснить, почему на производстве для разных операций плавки подается разный расход продувочного инертного газа.

Так, при нагреве наиболее важным является высокая интенсивность перемешивания в средней части по высоте ковша, что обеспечивается средним расходом газа на продувку.

При плавном перемешивании скорости движения расплава относительно невелики, однако их максимум приходится на нижнюю часть ковша. Зона наиболее интенсивного движения стали смещается по высоте ковша в зависимости от расхода продувочного газа.

При десульфурации необходимо обеспечить максимальную подвижность среды на границе шлак/металл для протекания реакций перехода серы в шлак. Это обеспечивается подачей максимального, исходя из недопущения образования канального хода газа, расхода на пробки.

По сравнению с периодом десульфурации расход газа продувки в период легирования должен быть несколько снижен для достижения оптимального баланса между усвоением подаваемого в сталь материала и продолжающимися реакциями десульфурации и удалением неметаллических включений. В период присадки ферросплавов целесообразно повышать интенсивность продувки, а при вводе порошковой проволоки - снижать.

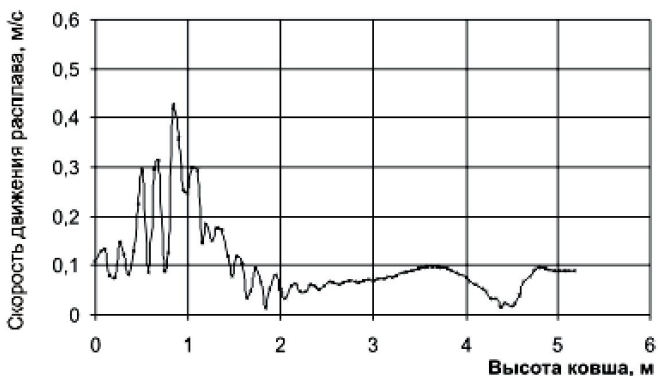
Турбулентность газовой струи учитывается в работе [2], авторы которой предложили математическую модель для оценки перемешивания и усреднения стали в ковшах на базе универсального CFD пакета с использованием программы инженерного анализа ANSYS.

В предложенной математической модели решается система, состоящая из уравнений тепло- и массообмена. Исходными уравнениями являются уравнения передачи энергии и уравнение Навье-Стокса – уравнение движения. Перемешивание стали в ковше струей газа описывается при помощи уравнения конвективно-диффузионного переноса. Кроме того, для учета турбулизации расплава используется SST модель турбулентности.

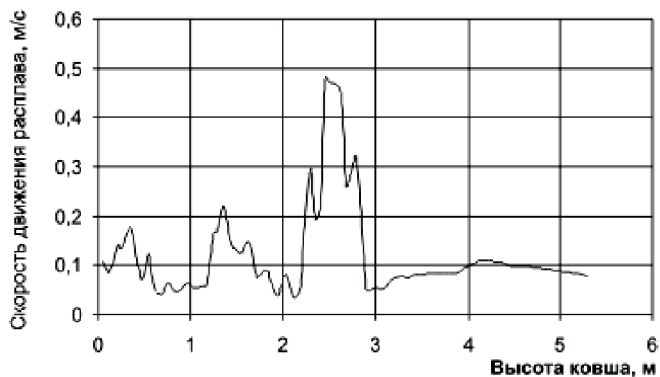
Для оценки качества перемешивания всего объема ковша в данной модели исследуемый объем равномерно рассекается на N условных плоскостей, при этом анализируется движение стали в каждой из них.

Анализ полученных данных показал неравномерность перемешивания металла, как по высоте, так и по ширине ковша.

Также в работе [2] отмечено, что зона наиболее интенсивного движения стали смещается по высоте ковша в зависимости от расхода продувочного газа. Это иллюстрируется на рис.1. При этом, так как продувочные пробки, расположенные в днище ковша, смещены от центра к его стенкам, происходит локальное повышение скорости по центральной оси. Данное явление объясняется возникновением циркуляционных зон при продувке, высота которых изменяется в зависимости от интенсивности продувки.



а)



б)

Рис.1. Изменение скорости стали по вертикальной центральной оси ковша: а) расход аргона 300 л/мин на каждую пробку; б) расход аргона 600 л/мин на каждую пробку [2]

Моделирование в среде ANSYS позволяет использовать современные достижения в области моделирования турбулентных струй применительно к различным металлургическим агрегатам. Однако данная модель рассчитывается достаточно продолжительное время и ее результаты не всегда могут быть экспортированы, что затрудняет использование данной модели для обучения технологического персонала в режиме реального времени при изменяющихся условиях продувки.

Так, при работе реального агрегата печь-ковш часто возникают проблемы с «заморозкой» пробок. Образовавшийся настыл может препятствовать возобновлению продувки. В таких случаях необходимо резкое увеличение давления газа для перемешивания свыше 6 бар, же-

лательно в импульсном режиме (кратковременная подача и кратковременная пауза). Кроме того, на реальном производстве часто одновременно с донной продувкой ведут продувку через верхнюю продувочную фурму, которая к тому же обычно работает в режиме «качания» (например, на Новолипецком металлургическом комбинате) с целью улучшения перемешивания стали. При этом режим «качания» включается только на некоторых стадиях процесса, а оператор должен задавать параметры «качания».

Для обоснования оптимального режима качания, для обучения технологического персонала верному режиму продувки и для демонстрации различных отклонений процесса плавки, возникающих при неверной продувке необходима модель, которая будет достаточно быстро в режиме реального времени обчислять данные ситуации и показывать результат оператору. Поэтому было принято решение отказаться от сложных моделей, подобных ANSYS, и использовать более простые модели турбулентной струи.

В работе [3] для моделирования пространственной трехмерной турбулентной струи используется метод эквивалентной задачи теории теплопроводности.

Система уравнений трехмерного пограничного слоя имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho u^2}{\partial x} + \frac{\partial \rho u v}{\partial y} + \frac{\partial \rho u w}{\partial z} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}, \\ \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (7)$$

где ρ – плотность газа; u – основная продольная составляющая скорости; v и w – поперечные составляющие скорости; x, y, z – пространственные координаты; τ_{xy}, τ_{xz} – турбулентные касательные напряжения трения.

При этом граничные условия для этой системы уравнений имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \overline{\rho u^2} &= \frac{\rho u^2}{\rho u_0^2} = F_0(y, z) && \text{при } x = 0, \\ \overline{\rho u^2} &\rightarrow 0 && \text{при } y \rightarrow \infty, z \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Метод эквивалентной задачи теории теплопроводности сводится к отысканию опытной связи между физическим пространством и фиктивным пространством, в котором уравнения линейны, для одной только продольной координаты скорости $\xi(x)$. При этом опытная связь определяется экспериментально, например, по зависимости ско-

ростного давления ρu^2 на оси струи от расстояния. Тогда остальные две координаты η и ζ принимаются в первом приближении совпадающими с координатами y и x .

При этом система уравнений трехмерного пограничного слоя сводится к двумерному уравнению типа теплопроводности:

$$\frac{\partial \rho u^2}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 \rho u^2}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 \rho u^2}{\partial \zeta^2}, \quad (8)$$

где $\xi = \xi(x)$, $\eta = y$, $\zeta = z$ с аналогичными граничными условиями: $\overline{\rho u^2} = F_0(\eta, \zeta)$ при $\xi = 0$, $\overline{\rho u^2} \rightarrow 0$ при $\eta \rightarrow \infty$, $\xi \rightarrow \infty$.

Исходная система уравнений трехмерного пограничного слоя (7), предложенная в работе [3] не является замкнутой, так как для трех компонент скорости содержит всего два уравнения. При переходе к эффективному пространству получается одно уравнение для определения основной, продольной составляющей скорости u .

Однако в качестве замыкающего соотношения можно применить гипотезу о том, что скорость расширения струи пропорциональна поперечной пульсационной скорости [4]. Эта гипотеза приводит к следующему соотношению для интенсивности нарастания толщины V вдоль струи:

$$\frac{dv}{dx} = k \left(\frac{1+n}{2} \right) \left(\frac{1-m}{1+m} \right), \quad (9)$$

где n и m – отношения плотностей и скоростей спутного потока и струи ($n = \rho_2 / \rho_1$, $m = u_2 / u_1$); k – константа.

Решение уравнения типа теплопроводности может быть получено методом суммирования источников в виде:

$$\frac{\rho u^2}{(\rho u^2)_0} = \frac{1}{4\pi\xi} \int \int_{-b-c}^{+b+c} F_0(y, z) \exp \left[-\frac{(y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2}{4\xi} \right] d\eta d\zeta, \quad (10)$$

где b и c – стороны прямоугольного насадка, из которого вытекает струя газа, по осям y и z .

Если принять, что начальный профиль однороден, то решение можно представить в виде:

$$\frac{\rho u^2}{(\rho u^2)_0} = \frac{1}{4} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{y+b}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-b}{2\sqrt{\xi}} \right) \right] \left[\operatorname{erf} \left(\frac{z+c}{2\sqrt{\xi}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{z-c}{2\sqrt{\xi}} \right) \right], \quad (11)$$

где $erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$ – неэлементарная функция ошибок, используемая в теории дифференциальных уравнений в частных производных.

Для зависимости $(\rho u^2)_m$ от координаты ξ имеем:

$$\frac{(\rho u^2)_m}{(\rho u^2)_0} = erf\left(\frac{b}{2\sqrt{\xi}}\right) erf\left(\frac{c}{2\sqrt{\xi}}\right). \quad (12)$$

Выражение (12) служит для сравнения с экспериментом и установления связи координат ξ и x .

Используя систему уравнений трехмерного пограничного слоя (7), предложенную в работе [3], и замыкающее соотношение (9), предложенное в работе [4], была разработана модель пространственной трехмерной турбулентной струи, параметры которой (n, m, k) подбирались таким образом, чтобы результаты моделирования процесса перемешивания стали максимально соответствовали данным моделирования, приведенным в работе [2]. Данная модель была реализована на языке программирования Delphi.

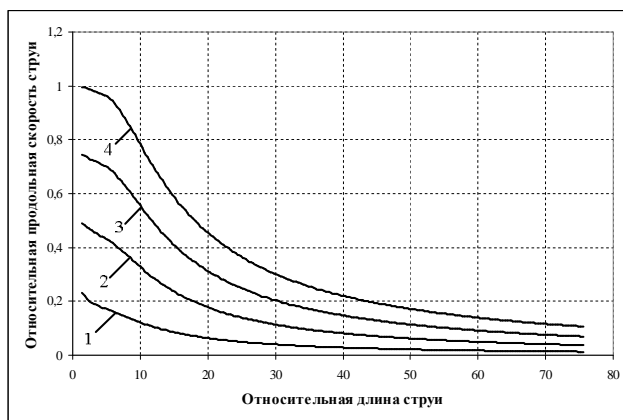
Наибольшего соответствия результатам работы [2] удалось достичь при следующих параметрах: $n \approx 25, m = 0, k = 1 \cdot 10^{-5}$.

Отношение скоростей спутного потока и струи приняли равным нулю, так как газ распространяется в жидком расплаве со скоростью, существенно превосходящей скорость движения расплава.

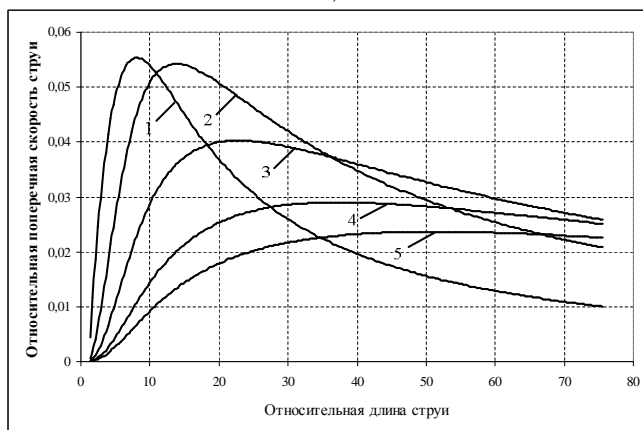
В результате моделирования процесса перемешивания стали были получены зависимости относительных скоростей струи (продольной и поперечной) от относительной длины струи для разных расходов газа (рис. 2). При этом продольная компонента скорости нормирована относительно параметров струи при расходе 1200 л/мин.

Анализируя зависимости, приведенные на рис. 2, можно сделать вывод, что при малом расходе аргона (300 л/мин) струя газа обладает небольшой энергией и достаточно быстро затухает, однако при этом в нижней части ковша у скорости струи большая поперечная составляющая, что приводит к хорошему перемешиванию расплава. При большом расходе аргона (1200 л/мин) струя газа обладает большой энергией и гораздо медленнее затухает, однако поперечная составляющая скорости струи при этом значительно меньше, но в то же время поперечная составляющая скорости не уменьшается по высоте ковша, поэтому при большом расходе аргона наблюдается хорошее перемешивание расплава в верхней части ковша. При дальнейшем увеличении расхода аргона (больше, чем 1200 л/мин) наступает «про-

бой» металла, что приводит к снижению эффективности перемешивания стали (рис.2 а, зависимость 5).



а)



б)

Рис.2. Зависимости относительных скоростей струи (а – продольной и б – поперечной) от относительной длины струи для разных расходов аргона: 1 – 300 л/мин; 2 – 600 л/мин; 3 – 900 л/мин; 4 – 1200 л/мин; 5 – 1400 л/мин

Результаты совместных расчетов с использованием модели турбулентной струи и рассмотренной ранее модели перемешивания металла в ковше, предложенной в работе [1], позволяют моделировать изменения, возникающие в процессе перемешивания, при различных расходах аргона на продувку.

На рис.3 приведено изменение векторной скорости расплава в секущих плоскостях в нижней и верхней частях ковша.

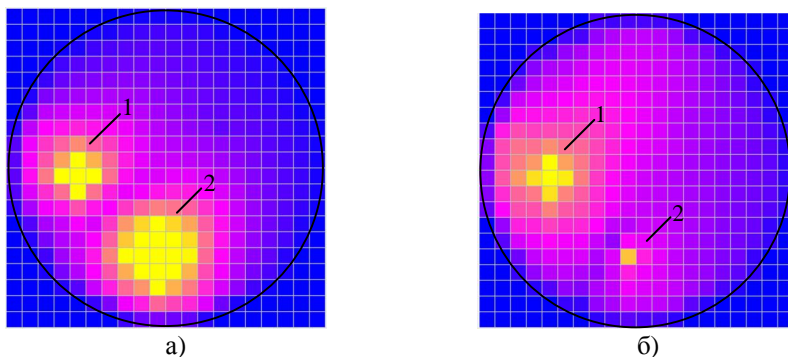


Рис.3. Изменение векторной скорости расплава в секущих плоскостях в нижней (а) и верхней (б) частях ковша: 1 – расхода аргона 1000 л/мин; 2 – расход аргона 400 л/мин

Анализируя рис. 3, можно сделать вывод, что в нижней части ковша энергия перемешивания расплава больше у струи с меньшим расходом аргона, а в верхней части ковша энергия перемешивания расплава больше для струи с большим расходом аргона.

При моделировании использовалась сетка, состоящая из кубов одинакового размера. Однако при расчетах параметры граничных кубов пересчитываются с учетом их неполного объема и площади контакта со средами, что не учтено в системе визуализации, где распределение скорости движения материала в горизонтальном сечении показано с помощью набора одинаковых по размеру конечных объемов.

Разработанная модель позволяет в реальном времени моделировать процесс перемешивания стали в АПК и совместно с другими моделями (теплообмена, электрического режима, химических реакций) может быть использована для обучения оператора-технолога управлению реальным агрегатом печь-ковш.

Проверка достоверности созданной модели должна проводиться в комплексе со средствами оперативного контроля температуры металла, что возможно, например, за счет использования многозонных термопар [4].

Модель может быть полезна при изучении особенностей нагрева металла энергией электрической дуги. Для этого необходима интеграция модели перемешивания с моделью горения дуги [5], учитывающей степень заглублиения дуги в металл и отклонения от вертикали дуги переменного тока. Решение данной задачи позволяет вплотную приблизиться к проблеме оперативной оптимизации мощности выделяе-

мой в дуге по различным критериям, включая максимум производительности и КПД дуги [6, 7], а также включая способы, основанные на использовании систем нечеткого регулирования [8, 9].

Список литературы

1. Производство стали. Том 1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки / Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. – М.: «Теплотехник», 2008. – 528 с.
2. Ерофеев М.М., Агапитов Е.Б. Математическое моделирование нестационарного перемешивания стали в агрегате ковш-печь / Режим доступа: http://www.delcam-ural.ru/files/Modelirovanie_nestacionarnogo_peremeshivaniya_stali_kovsh-pech_Elektrometallurgiya_2008.pdf
3. Вулис Л.А., Кашкаров В.П. Теория струй вязкой жидкости. – М.: издательство «Наука», 1965. – 431 с.
4. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Непрерывное измерение температуры жидкого металла в промышленных агрегатах и установках внепечной обработки стали // Энергосбережение, теплоэнергетика и металлургическая теплотехника: Межвузовский сб.тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2003. –С 53-57.
5. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю. Реализация модели электрического контура трехфазной цепи ДСП в программной среде VisSim // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов /под ред. А.С. Сарварова, М.В. Вечеркина. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып. 20. –С. 327-331.
6. Парсункин Б.Н., Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Андреев С.М. Разработка поисковой системы оптимального управления энергетическим режимом ДСП, использующей принципы нечеткого экстремального регулирования // Научные труды международной заочной конференции, посвященной 15-летию со дня создания Регионального Уральского отделения Академии Инженерных Наук им. А.М. Прохорова, «Инженерная поддержка инновации и модернизации» 1-10 декабря 2010 г. Выпуск 1. Екатеринбург: ИВТОБ, 2010, –С. 91-93.
7. Парсункин Б.Н., Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю. и др. Разработка двухуровневой системы управления энергетическим режимом дуговой сталеплавильной печи // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. тр. Часть 1. – Липецк: Издательство ЛГТУ, 2010. – С.125-129.
8. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса из-

мельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 5-9.

9. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 65-69.

УДК 378.146:004.032.26

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Т.А. Степаненко, Е.А. Ильина*, М.Ю. Зарубин***

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
stepanenko26@mail.ru*

***РГКП «Рудненский индустриальный институт»
Казахстан, г. Рудный*

Традиционная система контроля и оценки знаний студентов имеет, наряду с достоинствами, целый ряд недостатков. Основным из них является проявление субъективности в оценке знаний, которая является отражением индивидуальности преподавателя. Известны исследования, показывающие, что совпадение оценок двух экзаменаторов, проверявших независимо друг от друга знания одного и того же испытуемого в одной и той же области знаний путем устного опроса, совпадают не более чем в 60% случаев.

Педагогическое тестирование (форма измерения знаний учащихся, основанная на применении педагогических тестов. Педагогический тест — это инструмент, предназначенный для измерения обученности студента, и состоящий из системы тестовых заданий, стандартизированной процедуры проведения, обработки и анализа результатов) во многом свободно от недостатков, присущих традиционной системе контроля. В настоящее время существует несколько методов автоматизированной оценки знаний. Наибольшее распространение получил педагогический тест линейной структуры, то есть тест, в котором последовательно предъявляются вопросы, не связанные с уже выбранными ответами. Такой тест предъявляет жесткие требования к процессу его разработки и испытания. Необходимо обеспечить полное соответствие содержания тестового задания цели изучения материала, значимость предоставляемых вопросов, их достоверность, системность, компактность и сбалансированность, дифференциацию по уровню усвоения, кумулятивность (полнота, законченность), однозначность и четкость языка, регламентированность по времени (ограниченность его определенными временными рамками), краткость, определенную меру трудности, отсутствие косвенных признаков правильного ответа, вариатив-

ность, взаимосвязь содержания и формы тестового задания. Кроме того, тест должен быть проверен на валидность (способность теста измерять некоторые качества личности), надежность и эффективность. Однако такие тесты чаще всего создаются наспех лицами, не имеющими требуемой квалификации. Поэтому тестирующая система на основе линейного теста нередко оценивает уровень знаний весьма условно.

Повысить качество теста, прежде всего его валидность, можно, связывая задаваемые вопросы с теми ответами, которые были уже получены. Однако, даже в простейшем случае, такая тест-система представляет собой фактически экспертную систему, содержащую в базе знаний правила «если, то...». Создание такой базы знаний достаточно сложная задача. Адаптивные системы формирования и пополнения базы знаний требуют организации функционирования целого комплекса исследований по изучению уровней обучения.

Рассмотрим задачу настройки линейного теста для оценки знаний с использованием искусственных нейронных сетей. Например, пусть линейный тест содержит 20 вопросов, из которых каждый будет содержать пять возможных вариантов ответов. Тогда входы нейронной сети – это все варианты предлагаемых ответов на вопросы теста. Таким образом, входы выбраны бинарными, то есть двоичными: «1» – ответ выбран тестируемым лицом, «0» – ответ не выбран.

Выход нейросети – это оценка знаний студента. Можно, например, как это обычно принято оценивать знания оценками «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично», тогда имеем четыре бинарных выхода сети. Значение «1» на первом выходе соответствует оценке «неудовлетворительно», значение «1» на последнем – оценке «отлично».

В основе принципа действия системы лежит свойство нейронных сетей обучаться. Обучение системы заключается в изменении весов связей (весовые коэффициенты связей между нейронами) нейронов сети по заданным алгоритмам, называемым правилами обучения. Целью обучения является сопоставление оценок, выставяемых по ответам теста нейронной сетью, с оценками, полученными при прохождении первоначального тестирования с целью выявления уровней подготовки студента и его индивидуальных способностей.

В качестве нейронной сети исследован многослойный перцептрон и полносвязные сети, в которых каждый нейрон передает свой выходной сигнал на вход остальных нейронов, а также самому себе.

Перцептрон состоит из элементов 3-х типов: S-элементов, A-элементов и одного R-элемента. S-элементы – это слой сенсоров, или рецепторов. Каждый рецептор может находиться в одном из двух состояний – покоя или возбуждения, и только в последнем случае он

передаёт единичный сигнал в следующий слой, ассоциативным элементам – А-элементам. Они называются ассоциативными, потому что каждому такому элементу, как правило, соответствует целый набор (ассоциация) S-элементов. А-элемент активизируется, как только количество сигналов от S-элементов на его входе превысило некоторую величину δ . Сигналы от возбуждёвшихся А-элементов, в свою очередь, передаются в сумматор R, причём сигнал от i-го ассоциативного элемента передаётся с коэффициентом ω_i . Этот коэффициент называется весом А—R связи. Так же как и А-элементы, R-элемент подсчитывает сумму значений входных сигналов, помноженных на веса:

$$f(x) = s \left(\sum_{i=1}^n \omega_i x_i - \delta \right),$$

где s – входной сигнал.

Обучение перцептрона состоит в изменении весовых коэффициентов ω_i связей А—R.

После обучения перцептрон готов работать в режиме распознавания. В этом режиме перцептрону предъявляются ранее неизвестные ему объекты, и перцептрон должен установить, к какому классу они принадлежат. Работа перцептрона состоит в следующем: при предъявлении объекта, возбуждёвшиеся А-элементы передают сигнал R-элементу, равный сумме соответствующих коэффициентов ω_i . Если эта сумма положительна, то принимается решение, что данный объект принадлежит к первому классу (например, отличник), а если она отрицательна — то ко второму (например, троечник). Если сумма входных сигналов равна нулю, выход считается либо равным нулю, либо неопределённым. На рис. 1 схематично представлена работа перцептрона.

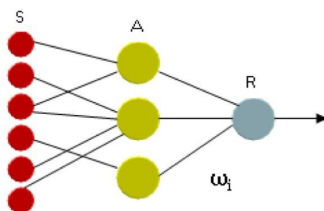


Рис. 1. Схема перцептрона

Веса S—А связей могут иметь значения -1 , $+1$ или 0 (то есть отсутствие связи). Веса А—R связей ω могут быть любыми.

Многослойный перцептрон – это перцептрон, в котором присутствуют дополнительные слои А-элементов.

Возможное количество обучающих выборок для теста, состоящего из 20 вопросов, которые имеют по 5 вариантов ответов, составляет $20^5=3200000$. Размер обучающей выборки можно ограничить величиной 10000 вариантов ответов на тест. Это всего 0.3% возможных вариантов ответов. Такой размер выборки можно принять, так как имеется вполне определенная зависимость между относительной погрешностью оценки теста нейронной сетью и размером обучающей выборки. Эта зависимость приведена на рис. 2.

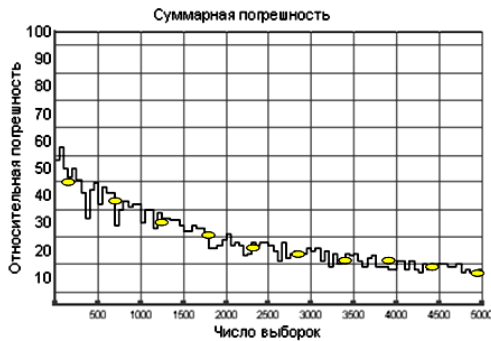


Рис 2. Зависимость относительной погрешности оценки теста искусственной нейронной сетью от числа обучающих выборок

Аппроксимация (приближенное решение сложной функции с помощью более простых, или известных, что ускоряет и упрощает решение задачи) зависимости относительной погрешности от размера обучающей выборки может быть выполнена с помощью алгебраического полинома:

$$V_x = (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000)$$

$$V_y = (45, 36, 28, 23, 20, 19, 15, 15, 14, 13)$$

$$F_x = \left(1, \frac{1}{x}, \frac{1}{x^2}, \frac{1}{x^3}\right)$$

Минимально возможная погрешность обучения составляет 5.821%, она достигается при выборке в 3200000 вариантов ответов. Допустимая для тестирования точность 10% достигнута при числе обучающих выборок приблизительно 9300.

Минимально возможная погрешность обучения составляет 5.821%, она достигается при выборке в 3200000 вариантов ответов. Допустимая для тестирования точность 10% достигнута при числе обучающих выборок приблизительно 9300.

Очевидно, что прямое обучение нейронной сети для оценки знаний является неприемлемым из-за огромного числа выборки для точности тестирования и минимальной погрешности ответов, то есть огромного количества наблюдений. Предлагаются процедуры адаптивного обучения, а также процедуры сочетания модельного обучения (имитация различных обучающих ситуаций) с адаптацией, с применением нечетких нейронных сетей.

Список литературы

1. Степаненко Т. А., Ильина Е. А. Из истории адаптивного обучения // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Выпуск 4. Том 13. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – ЦИТ 412-0381 – С. 6-10.

2. Степаненко Т.А. Об адаптивном обучении в LMS Moodle // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2012. – №2 – С. 371-372.

3. Эндрю А. Искусственный интеллект: Пер. с англ./Под ред. и с предисл. Д. А. Поспелова. – М.: Мир, 1985. – 264 с.

4. Горюшкин Е. И. Использование нейросетевых технологий в адаптивном тестировании по информатике в вузе: диссертация кандидата педагогических наук: 13.00.02. Курск, 2009.

5. Круглов В.В., Борисов В.В., Быстров А.В. Современные информационные технологии. Основы построения и применения искусственных нейронных сетей, Смоленск: СмолГУ, 2006. – 92 с.

6. Сенькина Г.Е., Емельченков Е.П., Киселева О.М. Методы математического моделирования в обучении: монография /Смол.гос.ун-т.-Смоленск, 2007. – 112 с.

7. Ильина Е.А., Файнштейн С.И., Торчинский В.Е. Системы искусственного интеллекта – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТЕСТОВОЙ ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ НА ОЛИМПИАДАХ ПО ИНФОРМАТИКЕ
(НА ПРИМЕРЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ)**

*Гаев Л.В. *, Кукина С.М.***

**ФГБОУ Липецкий государственный технический университет
gaev@stu.lipetsk.ru*

***АОНО ВПО «Институт менеджмента, маркетинга и финансов», Липецкий
филиал*

Всероссийская олимпиада школьников имеет многолетнюю историю. Так, например, еще в XIX веке «Олимпиады для учащейся молодежи» проводило Астрономическое общество Российской Империи. Ежегодно министерство образования выделяет значительные материальные ресурсы на проведение этого мероприятия по различным предметам школьного курса обучения. Поскольку регламент олимпиады предполагает наличие четырёх этапов [4] (школьный, муниципальный, региональный и заключительный), то денежные затраты на организацию и проведение олимпиады требуются и от соответствующих органов управления образованием. В условиях недостатка средств актуальным становится вопрос оптимизации затрат на проведение подобных олимпиад. Естественным является желание автоматизировать процессы, протекающие в ходе соревнования и проверки его результатов. Другой стороной автоматизации проверки решений является её объективность и невозможность повлиять на членов жюри.

Возражением против автоматизации проверки решений олимпиадных задач обычно является ссылка на большую долю творческого процесса в ходе поиска ответа на сформулированные проблемы. Эти пути решения не могут быть формализованы и, соответственно, однозначные критерии оценивания, включающие алгоритмизированные процедуры их применения, не могут быть сформулированы. В целом, такие доводы соответствуют действительности. Но в отношении информатики их можно отвергнуть. Это связано со спецификой проведения соревнований [1].

Важной особенностью задач, используемых при проведении олимпиады по информатике, является ориентация их на проверку развития у школьников теоретического мышления, логики, а также творческих способностей и интуиции. В отличие от задач ЕГЭ или студенческих олимпиад по информатике, которые, помимо всего прочего, направлены еще и на проверку обученности участников, задачи олимпиад должны предоставлять возможность школьникам без специаль-

ных знаний решать нестандартные и новые для них задачи. Каждая задача должна позволять участникам сделать для себя небольшое открытие и в полной мере раскрыть имеющийся у них творческий потенциал [2].

Такая установка в разработке заданий предполагает, что участники будут предлагать какие-то приближённые алгоритмы решения задач. А определение их пригодности с точки зрения оценивания членами жюри крайне затруднено. При этом требуется очень высокая квалификация и в рассматриваемой тематике задачи, и в методах алгоритмизации, и в соответствующих языках программирования. При этом анализ таких приближённых решений требует затрат времени значительно больших, чем возможное эталонное решение (которое, в принципе, возможно в различных предметах школьной программы, но для информатики, с учётом большого разнообразия используемых языков программирования и особенностей используемых в них структур данных, предполагает наличие нескольких эталонов). С учётом большого разнообразия задач, предлагаемых на олимпиадах по информатике, из описанных условий соревнований следует, что жюри должно состоять из большого числа высококвалифицированных специалистов.

В то же время в образовательных учреждениях Липецкой области (впрочем, и в других регионах) есть тенденция к уменьшению количества учебных часов отведенных на информатику. В лучшем случае учителю информатики приходится вести другие учебные предметы, но чаще всего привлекаются учителя предметники для проведения уроков информатики. Указанное положение дел можно проиллюстрировать следующей диаграммой (*рис. 1*).

Как видно, почти половина учителей имеет малый стаж работы по информатике (до 5 лет). Причём чаще всего эти учителя имеют большой стаж по другим предметам. Эти две противоборствующие тенденции ведут к тому, что эти учителя просто не могут быстро набрать опыт в области олимпиадных задач по информатике, и, соответственно, выступать в качестве экспертов, корректно оценивающих решения участников. Это приводит к тому, что затраты времени на проверку решений очень велики, а соответственно и выплаты зарплаты за работу в жюри тоже большие.

Количество участников соревнований и членов жюри представлено на диаграмме (*рис. 2*).

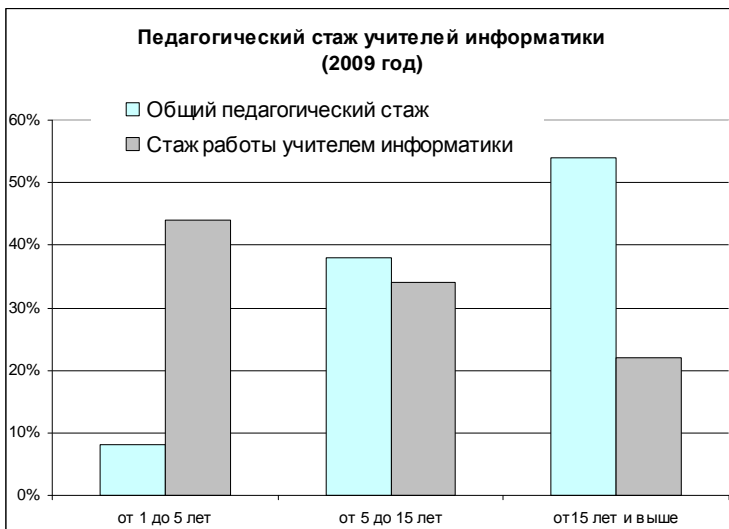


Рис.1. Распределение учителей информатики по педагогическому стажу

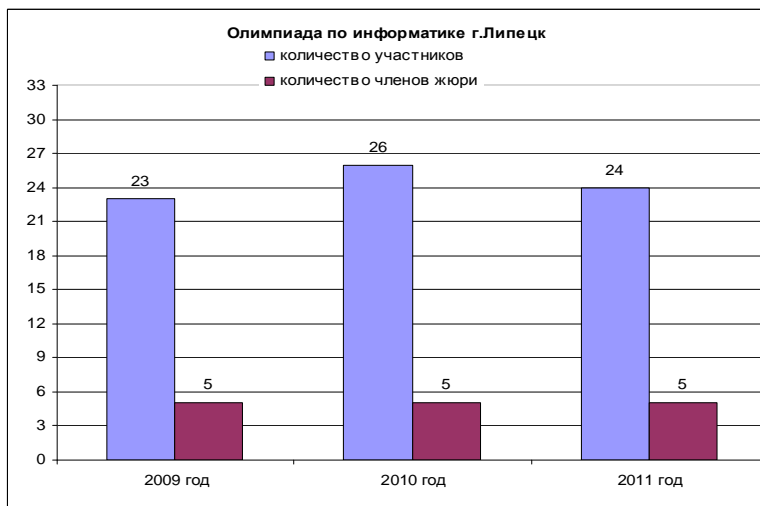


Рис.2. Соответствие участников и членов жюри по годам

То есть на каждого члена жюри приходится проверка в среднем 5-6 участников. Каждая олимпиада предполагает решение 3-4 задач. Таким образом, приходится проверять до 24 решений. Если на каждую

задачу отвести один час, то видно, что для качественного проведения работы жюри требуется почти неделя рабочего времени.

В то же время, использование систем автоматической проверки решений [4], применяемых в олимпиаде на заключительном этапе (а последние два года и на региональном), позволяют перенести основные затраты времени на этап разработки тестовых заданий, когда выбираются типовые подходы, дающие частичные решения поставленных задач. Это требует обычно 5-6 часов для одной задачи, и работа 1-2 человек (из многолетнего практического опыта одного из авторов статьи). То есть обслуживание всего процесса проверки 3-4 задач олимпиады предполагает затраты до 40 человеко-часов. Сама же проверка решений на олимпиаде проходит в течение не более часа после завершения соревнования.

Таким образом, применение системы автоматической тестовой проверки результатов решения олимпиадных задач по информатике снижает трудозатраты на проведение олимпиады практически втрое, соответственно уменьшая денежные затраты.

Список литературы

1. Кирюхин В. М. Информатика. Всероссийские олимпиады. Выпуск 1.- М.: Просвещение, 2008.- 220 с.

2. Кирюхин В.М. Методические рекомендации по разработке заданий для школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады школьников по информатике в 2011/2012 учебном году.- М.: 2011.- 40 с.

3. Матюхин В.А. Преподавание программирования с использованием системы автоматической проверки решений.// Московские олимпиады по информатике / Под ред. Е.В. Андреевой, В.М. Гуровица, В.А. Матюхина. - М.: МЦНМО, 2006.- С. 246-252.

4. Приказ Минобрнауки России от 2 декабря 2009 г. № 695 «Об утверждении Положения о всероссийской олимпиаде школьников».

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Е.А. Ильина

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
dar_nas@mail.ru*

Актуальность работы

Повышение качества профессиональной подготовки в системе отечественного высшего образования связана с обновлением программного обеспечения образовательного процесса, опирающегося на современные возможности инновационных технологий.

Реальная оценка сложившейся ситуации побуждает искать новые подходы к качественному изменению состояния системы профессионального образования. Система образования должна обеспечить человеку непрерывность образования в течение всей его жизни; вариативность образовательных траекторий, способствующих индивидуализации образования; разработку программ, основанных на информационных и интерактивных технологиях обучения [1].

Основные проблемы и решения

В информационное образовательное пространство как соподчиненная категория входит информационная образовательная среда. Анализ множества определений «информационной образовательной среды», приведенный в монографии Е.М. Разинкиной [2] позволяет сделать вывод о том, что: информационная образовательная среда – это сложная система, аккумулирующая посредством сетевых технологий, интеллектуальные, социокультурные, программно-методические, организационные и технические ресурсы и обеспечивающая возможность осуществления непрерывной опережающей профессиональной подготовки кадров в условиях университетского комплекса.

Информационная образовательная среда является одной из средств информационной технологии, в которую входят электронные средства обучения, такие как электронные учебники, компьютерные средства обучения, тренажеры и т.д. В связи с этим рассмотрим определение информационной технологии [3].

Информационную технологию в самом широком смысле ученые считают программно-аппаратными средствами вычислительной техники в какой-либо предметной области.

Определение «информационной технологии» исследователи рассматривают с разных теоретических позиций. Авторы [4] считают, что

это способ и средства сбора, обработки и передачи информации для получения новых сведений об изучаемом объекте. По сути дела, в данной трактовке авторов речь идет о работе с информацией.

Другой подход определяет информационную технологию как совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, обработку, хранение, распространение и отображение информации с целью снижения трудоемкости процессов использования информационного ресурса, а также для повышения ее надежности и оперативности [5, 6]. Сторонникам данного подхода свойственно рассматривать ее как компьютерные средства работы с информацией.

Информационные технологии предполагают не только работу с информацией, но и наличие инновационных программно-технических средств. Такой подход предполагает использование информационной образовательной среды в учебном процессе.

Анализ педагогической литературы и опыт работы с информационной образовательной средой позволил выявить недостатки в предложенных авторами [7, 8] структурных схемах и внести в нее некоторые корректировки (рис. 1).



Рис. 1. Структурно-функциональная схема педагогического процесса с использованием информационной образовательной среды

Содержательный аспект структурно-функциональной схемы позволяет организовать управление обучением посредством двух взаимосвязанных процессов: организацию деятельности студента и непо-

средственно контроль этой деятельности. Эти процессы непрерывно взаимодействуют через информационную образовательную среду. В ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» при формировании информационной образовательной среды используется порталная технология *LMS Moodle*. Спроектированная и апробированная среда позволяет автоматизировать следующие процедуры [7]:

- сбор и регистрацию данных (после прохождения идентификации пользователей, вся имеющаяся информация фиксируется в базе данных);

- подготовку входных данных (администратор формирует список студентов и преподавателей, назначает их на курсы, преподаватель формирует структуру разрабатываемого курса и учебно-методического материала для занесения в информационную образовательную среду);

- обработку, накопление и хранение данных (информационная образовательная среда сохраняет информацию по работе субъектов учебно-воспитательного процесса);

- формирование результативной информации (среда формирует отчеты и выполняет анализ имеющейся информации);

- передачу данных от источников возникновения к месту обработки, а результатов – к преподавателям для принятия решения о коррекции учебного процесса (портальные технологии позволяют работать как в глобальной сети Internet, так и в локальной сети дистанционная передача информации с помощью современных коммуникационных средств).

Выводы

Реализация информационной модели формализует процессы обработки данных в условиях новой технологии, позволяя студенту и преподавателю взаимодействовать через прямые и обратные информационные связи, а также вводит в систему и выводит из нее потоки внешних информационных связей. Составляющими элементами этой схемы являются преподаватель и студент. Преподаватель организует работу студента с учебно-методическими средствами посредством информационной образовательной среды; определяет цели и формы занятия; контролирует работу студента со своего рабочего места и, в случае необходимости, вмешивается в процесс взаимодействия студента с учебным материалом. Обучаемый (студент), пользуясь предоставляемыми средствами автоматизации, может: изучать необходимый учебно-методический материал, тренироваться в решении задач, производить вычисления, моделировать исследуемые объекты, контролировать свои знания.

Список литературы

1. Гершунский Б. С. Образовательно-педагогическая прогностика. Теория, методология, практика : учеб. пособие. – М. : Флинта; Наука, 2003. – 768 с.

2. Разинкина Е.М. Профессиональный потенциал студентов вуза и новые информационные технологии / Е.М. Разинкина : монография. – Магнитогорск : МаГУ, 2005. – 347 с.

3. Ильина Е. А. Организация самостоятельной работы студентов вуза с использованием автоматизированной обучающей системы: дис.. канд. пед. наук / Е. А. Ильина; Магнитогорск. гос. ун-т. – Магнитогорск, 2010. – 191 с.

4. Григорьев Л. И. Опыт организации обучения в высокотехнологичных информационных средах / Л. И. Григорьев и др. – М., 1998. – 60 с. – (Новые информационные технологии в образовании: Аналитические обзоры по основным направлениям развития высшего образования / НИИВО; Вып. 10.)

5. Коджаспирова Г.М. Технические средства обучения и методика их использования : учеб. пособие для студ. высш. пед. учебных заведений / Г. М. Коджаспирова, К. В. Петров. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 256 с.

6. Трайнев В.А. Информационные коммуникационные педагогические технологии (обобщения и рекомендации) : учеб. пособие / В.А. Трайнев, И.В. Трайнев. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2005. – 280 с.

7. Автоматизированные информационные технологии в экономике : учебник / под ред. проф. Г.А. Титаренко. – М. : ЮНИТИ, 2006. – 417 с.

8. Башмаков А. И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – М. : Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – 616 с.

УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

А.А. Шпоцько, С.А. Линьков**

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск,
xx_linkov@rambler.ru*

Сложные в управлении мехатронные системы, в настоящее время, вызвали спрос на обучение квалифицированных специалистов, которые бы смогли обслуживать и настраивать данные системы. Такие мехатронные системы, как станки для обработки металлических деталей с числовым программным управлением (ЧПУ) имеют в своём арсенале множество электроприводов с шаговыми и серво приводами. Компактные, малогабаритные и мощные шаговые электродвигатели способны обрабатывать достаточно малые углы поворота (доли градуса), а в комплекте со специальными прецизионными редукторами, могут использоваться в сверхточных станках и перемещать резец на доли микрона.

Для изучения работы мехатронной системы с шаговым двигателем на кафедре «Автоматизированного электропривода и мехатроники» МГТУ, разработан учебный лабораторный стенд. Также разработана программа для персонального компьютера, позволяющая управлять шаговым двигателем и контролировать параметры его работы с помощью микропроцессорного контролера. На рис. 1 показан внешний вид учебного лабораторного стенда.

Стенд изготовлен в горизонтальном исполнении и уместается на рабочем столе или парте вместе с персональным компьютером. Питание установки осуществляется от сети переменного тока через блок питания. Блок системы управления подает управляющие импульсы на шаговый двигатель в зависимости от программы управления, которая пишется студентом. Обмен данными между ПК и контролером осуществляется по последовательному порту стандарта RS 485. На рис. 2 изображен шаговый двигатель DUNAZUN 4SHG-023A 39S (Япония) и схема соединения его обмоток. В табл. 1 приведены технические характеристики шагового двигателя.

Механическая система, моделирующая рабочий орган перемещения резца ЧПУ, реализована с помощью зубчатой передачи двигателя с линейкой горизонтального перемещения. Линейка перемещается влево и вправо по направляющим роликам. По краям линейки имеются стрелки для удобства визуального наблюдения точного перемещения

по миллиметровой шкале. Концевые выключатели ограничивают перемещение линейки, подавая сигнал в систему управления на запрет перемещения.

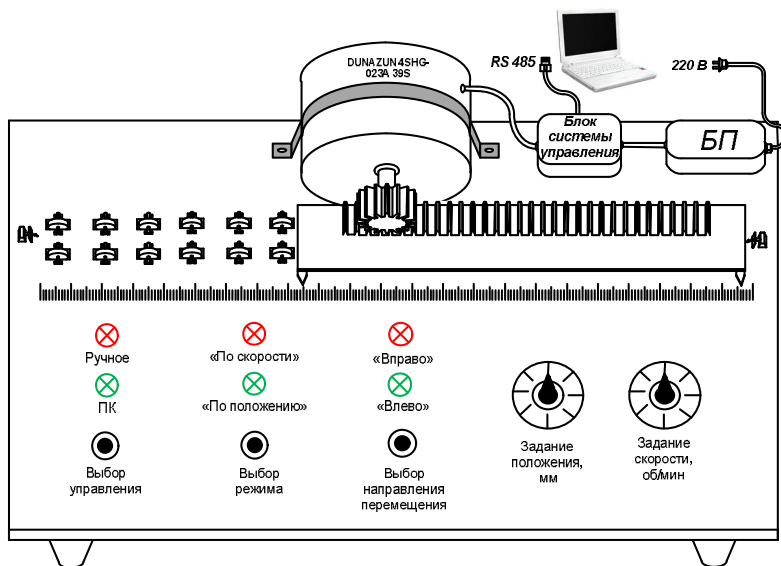


Рис. 1. Внешний вид учебного лабораторного стенда



Рис. 2. Шаговый двигатель

Таблица 1

Технические характеристики шагового двигателя

Общие характеристики	
Размер	57мм гибридный ШД
Величина полного шага, град.	1.8
Точность шага	±5% (full step, no load)
Количество фаз, шт.	2
Максимально допустимая температура нагрева ШД	80 °С
Температурный диапазон эксплуатации	-20°С... +50°С
Диэлектрические испытания	500 VDC 1 мин.
Класс изоляции	B
Сопротивление изоляции	100MΩ Min 500V DC
Радиальное биение вала	0.02Max. (450 g-load)
Осевое биение вала	0.08Max. (450 g-load)
MAX радиальная нагрузка	75H (20мм от фланца)
MAX осевая нагрузка	15H
Технические характеристики ШД	
Нормировочное напряжение, В	2.8
Рабочий ток обмотки, А	1.56
Сопротивление обмотки, Ом	1.8
Индуктивность обмотки, мГн (на частоте 1кГц)	3.6
Момент удержания ротора, кг·см (2 фазы запитаны)	4.0
Кол-во выводов, шт.	6
Момент инерции ротора, г·см ²	57
Вес двигателя, г	0.54
Длина двигателя, мм	41

Последовательным нажатием кнопкой «Выбор режима» можно выбрать режим работы – «По скорости» или «По положению». Светодиоды сигнализируют, в каком режиме в данный момент находится привод. В режиме управления скоростью двигатель будет работать с заданной скоростью и с заданным ускорением. Ручное управление даёт возможность управлять скоростью двигателя или положением перемещения линейки от потенциометров «Задание скорости» или «Задание положения». Кнопкой «Выбор направления перемещения» задается реверс двигателя или перемещение рабочей линейки влево – вправо.

Для управления шаговым двигателем с персонального компьютера разработана программа, написанная на языке Delphi 7. На рис. 3 изображена программная оболочка «Управление и контроль работы шагового двигателя». Данная программа существенно расширяет возможности исследования мехатронной системы. Во время вращения вала двигателя оператор может контролировать количество сделанных шагов и потребляемый двигателем ток.

На экране ПК во время работы программы отображаются следующие формы:

- “Управление” - предназначена для управления шаговым двигателем: выбора режима работы, выбора указателей положения вала, интервала времени между шагами, ввода последовательности инструкций в программу управления;

- “Заданные параметры” - отображает текущие заданные параметры работы: положение вала, интервал времени между шагами, изменение интервала времени за один шаг, частоту вращения;
- “Положение вала” - отображает реальное положение вала двигателя, срабатывание концевого выключателя, количество пропущенных шагов за один оборот.
- “Статистика” - показывает изменение во времени тока потребления двигателем, частоты вращения вала или интервал времени между шагами, а также количество пропущенных шагов и максимальный потребляемый двигателем ток.

Задать положение вала можно с помощью колесика мыши или в поле ввода “текущий угол”. Интервал времени между шагами и, следовательно, частоту вращения, можно задать с помощью переменного резистора контролера или в поле ввода “время”. В форме “Положение вала” отображается состояние концевого выключателя и при его срабатывании определяется количество пропущенных шагов.

Для динамического управления шаговым двигателем студент может вручную прописать последовательность инструкций введенных в поле “Программа управления”. Одна инструкция содержит три параметра, записанных в строке поля ввода:

- 1) поворот вала на заданное количество шагов, с учетом знака (“+” поворот по часовой стрелке);
- 2) начальный интервал времени между шагами;
- 3) изменение интервала времени за один шаг (“+” увеличение, “0” без изменений).

Для записи инструкции используются следующие ключевые слова: step – количество шагов, t – интервал времени между шагами в мс, dt – изменение интервала времени между шагами в мс. Например, инструкция: “step=+100, t=1, dt=+0,1”. При данных значениях вал двигателя повернется на определенный угол, пропорциональный 100 шагам, по часовой стрелке. Интервал времени между шагами будет увеличиваться от 1 мс до 11 мс на 0,1 мс за один шаг. Количество выполненных инструкций отображается в поле “шаг программы”.

Лабораторный стенд внедрен в процесс обучения и исследования мехатронной системы на базе шагового двигателя на кафедре АЭПиМ, для студентов бакалавров и магистров направления 221000 «Мехатроника и робототехника». Установка может совершенствоваться добавлением в неё как электронной начинки, так и программы системы управления.

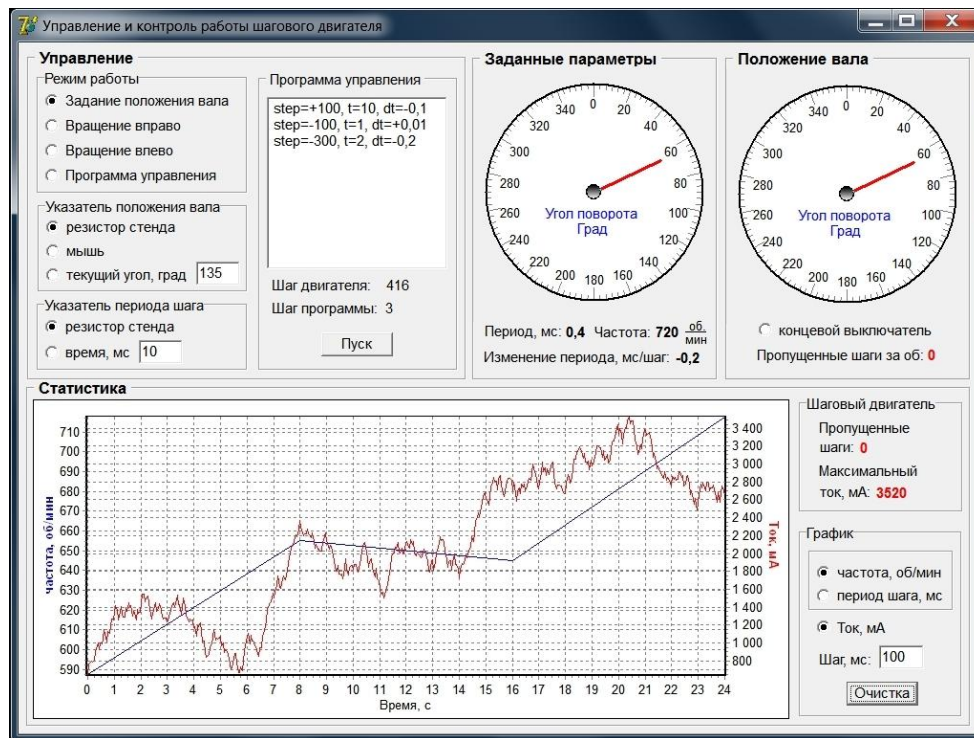


Рис. 2. Программа управления и контроля шагового двигателя

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РЕФЛЕКСИИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

*Р.Г. Нургалина *, Е.А. Ильина **

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск
regina_23.90@mail.ru*

Актуальность работы

Повышение эффективности качества профессиональной подготовки в системе высшего образования связана с социально-экономическими преобразованиями и научно-техническим прогрессом.

Развитие общества требует новых подходов к развитию образовательной среды. Модернизация российского образования одним из своих приоритетов выделяет информатизацию образования, главной задачей которой является создание единого информационно-образовательного пространства, рассматривающейся как одно из условий достижения нового качества образования [1].

Информационно-образовательное пространство, в условиях которого осуществляется подготовка студентов, требует навыков самостоятельной работы. Эффективная учебная деятельность невозможна без творческой самореализации, умения самостоятельного усвоения большого количества информации, анализа и преобразования своей деятельности неотъемлемым компонентом которой является рефлексия.

Рефлексия позволяет осознать собственные способы мышления, неэффективность их применения, провести анализ и преобразование собственных действий, что позволяет увидеть результаты своей деятельности и выработать эффективные способы её реализации [2].

Основные проблемы и решения

Теоретико-множественный анализ проводился по методике, изложенной в работе [3] и позволил определить структуру объекта и методы дальнейшего его представления.

В ходе теоретико-множественного анализа были выделены подсистемы и взаимосвязи между ними для образовательного процесса технического университета [4]. Результаты построенной модели приведены на рис. 1.

Для основного объекта А определены входы $X=\{x_1, x_2, x_3\}$ и выходы $Y=\{y_1, y_2, y_3\}$, где x_1 – учебный контент; x_2 – проект анкеты; x_3 (y_2) – результаты анкетирования; y_1 – показатель усвоения учебного

контента; $y_2(x_3)$ – результаты анкетирования; y_3 – решение об уровне рефлексии студентов.

На вход множества A_1 подается проект анкеты, после прохождения анкетирования получаем начальный уровень рефлексии. По результатам анкетирования на вход множества A_2 подается учебный контент виде лекционных материалов, электронных ресурсов, практических работ, методических материалов для самостоятельного изучения, предназначенных для повышения уровня рефлексии. После усвоения студентами предложенного контента необходимо принять решение о полученном уровне рефлексии студентов на основе результатов анкетирования. Таким образом, на вход множества A_3 подается проект анкеты, а на вход множества A_1 – результаты анкетирования студентов, и измеряется уровень рефлексии, с помощью системы принятия решений.

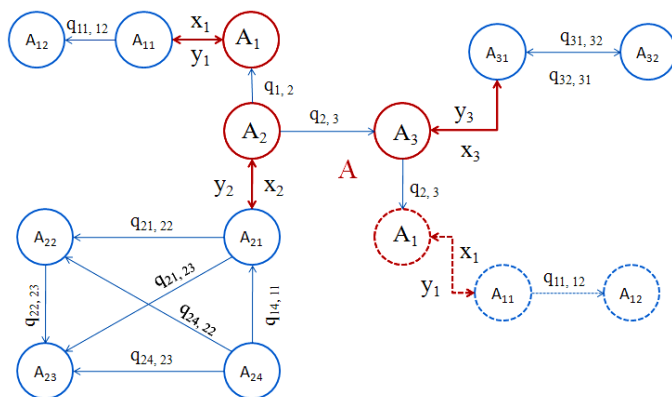


Рис.1. Множественная модель образовательного процесса

В основу этой системы положены формализованные в виде нечеткой базы знаний лингвистические высказывания (1):

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_{81}\}, \quad (1)$$

где x_1 – уровень рефлексивности; x_2 – уровень самокритичности; x_3 – уровень коллективности; x_4 – уровень автономности.

Нечеткая модель представляет собой аппроксимацию зависимости «входы-выход» на основе лингвистических высказываний типа «ЕСЛИ-ТО» и операций нечеткого логического вывода.

Нечеткая модель содержит следующие блоки:

1) фаззификатор преобразует фиксированный вектор влияющих факторов в вектор нечетких множеств, необходимых для выполнения нечеткого логического вывода;

2) нечеткая база знаний содержит информацию о зависимости в виде лингвистических правил типа «ЕСЛИ-ТО»;

3) машина нечеткого логического вывода на основе правил базы знаний определяет значение выходной переменной в виде нечеткого множества, соответствующего нечетким значениям входных переменных;

4) дефаззификатор преобразует выходное нечеткое множество в четкое число;

5) принятие решений об уровне рефлексии с выдачей рекомендаций по модификации образовательного процесса.

Для нечеткого моделирования зависимости (1) необходимо:

– представить входные (x_1 - x_4) и выходную (y) переменные в виде лингвистических переменных;

– формализовать в виде нечеткой базы знаний экспертные лингвистические высказывания о взаимосвязи входов и выхода;

– обучить нечеткую модель путем настройки функций принадлежности и весов правил с целью минимизации отклонения между результатами моделирования и экспериментальными данными.

Для лингвистической оценки входных переменных будем использовать терм-множества, приведенные в табл. 1.

Дефаззификация осуществляется по методу центра тяжести и вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)}. \quad (2)$$

После получения четкого числа и определения полученного уровня рефлексии. Для повышения уровня рефлексии предлагаем рекомендации для изменения траектории учебного процесса и повышения уровня рефлексии, табл. 2.

Опишем методику измерения уровня рефлексии с помощью разработанной системы принятия решений. Студент, прошедший анкетирование набрал следующие весовые коэффициенты: рефлексивность – 8; коллективность – 11; самокритичность – 1; автономность – 13.

Таблица 1

Терм-множества входных переменных

<i>Переменная</i>	<i>Терм-множества</i>	<i>Функция принадлежности</i>
x ₁	Низкий (Н)	0
	Средний (С)	0,1224x-0,6014
	Высокий (В)	-0,089x+1,724
x ₂	Низкий (Н)	0
	Средний (С)	0,089x-0,47
	Высокий (В)	-0,021x+0,749
x ₃	Низкий (Н)	0
	Средний (С)	0,02x+0,255
	Высокий (В)	0,133x+0,066
x ₄	Низкий (Н)	0
	Средний (С)	0,021x+0,087
	Высокий (В)	0,029x+0,005

Таблица 2

Рекомендации по модификации учебного процесса

<i>Критерий</i>	<i>Уровень</i>	<i>Решение</i>
Рефлексивность	Низкий	Работа по восприятию и осмыслению учебного материала на лекциях; ведение конспекта лекций; изучение учебной литературы; работа с книгой; работа с автоматизирующими обучающими системами
	Средний	Закрепление знаний путем решения задач, ответов на вопросы; выполнения различных упражнений; проработка материалов по электронным учебникам; анализ конкретных ситуаций; «Метод проектов»
Самокритичность	Низкий	Выполнение упражнений; ответы на вопросы; тестирование; курсовые работы
	Средний	Анализ конкретных ситуаций; «Мозговая атака»; выполнение лабораторных работ; выбор того или иного решения для задачи и обоснование его
Коллективность	Низкий	Лабораторные работы в группах; практические работы в группах; участие в семинарах; проведение дискуссий
	Средний	Участие в семинарах; участия в дискуссиях; подготовка рефератов, докладов для выступления; участие в видеоконференциях, форумах, Интернет-конференциях, вебинарах

<i>Критерий</i>	<i>Уровень</i>	<i>Решение</i>
Автономность	Низкий	Работа с книгой; чтение и доработка конспекта лекций; конспектирование источников; поиск информации в Интернете
	Средний	Работа с электронными библиотеками; участие в конференциях; исследовательская работа; написание статей и тезисов

Рассчитываем функции принадлежности по каждому критерию:

$$\begin{aligned}
 x_1(C) &= 0,1224 \cdot 8 - 0,6014 = 0,3778; & x_1(B) &= -0,089 \cdot 8 + 1,724 = 1,012; \\
 x_2(C) &= 0,089 \cdot 1 - 0,47 = -0,381; & x_2(B) &= -0,021 \cdot 1 + 0,749 = 0,728; \\
 x_3(C) &= 0,02 \cdot 11 + 0,255 = 0,475; & x_3(B) &= 0,133 \cdot 11 + 0,066 = 1,529; \\
 x_4(C) &= 0,021 \cdot 13 + 0,087 = 0,36; & x_4(B) &= 0,029 \cdot 13 + 0,005 = 1,01.
 \end{aligned}$$

Заметим, функция принадлежности не может быть больше единицы и отрицательной, поэтому берем следующие значения функций принадлежности: $x_1(C) = 0,3778$; $x_2(B) = 0,728$; $x_3(C) = 0,475$; $x_4(C) = 0,36$.

Отсюда делаем вывод: уровень рефлексивности – средний; уровень самокритичности – высокий; уровень коллективности – средний; уровень автономности – средний. Затем по матрице знаний определяем уровень рефлексии – средний.

Заключение

Таким образом, в образовательном процессе рефлексия выступает как средство обратной связи, позволяющее студентам проанализировать собственную деятельность, а преподавателю с помощью системы принятия решений измерить уровень рефлексии и получить соответствующие рекомендации для его повышения.

В работе предложена система принятия решений для измерения уровня рефлексии студентов. В основу метода положена формализация лингвистических высказываний – правил в виде нечеткой базы знаний. Предлагаемые рекомендации позволяют преподавателю скорректировать траекторию образовательного процесса, тем самым повысить уровень рефлексии студентов. Предложенная модель может использоваться при оценивании качества образовательного процесса.

Список литературы

1. Логунова О.С., Королева В.В. Оценка социального заказа подготовки специалистов в многоуровневой системе образования России. // Проблемы теории и практики управления. – 2010. – № 5. – С. 43 – 52.
2. Нургалина Р.Г., Ильина Е.А. Функциональная модель измерения уровня рефлексии // Вестник магистратуры. – 2012. – № 9-10 – С. 54-56.
3. Логунова О.С., Ильина Е.А. Методика исследования предметной области на основе теоретико-множественного анализа // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2012. – №2. – С.281-291.
4. Нургалина Р.Г., Ильина Е.А. Принятие решений при измерении уровня рефлексии в системе дистанционного обучения // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2012. – №2. – С. 250-256.

УДК 621.746.047-52

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ

И.И. Мацко¹, О.С. Логунова², И.В. Посохов³, В.В. Павлов⁴

^{1, 2, 3}ФГБОУ ВПО «Магнитогорского государственного

технического университета им Г.И. Носова», г. Магнитогорск

*⁴ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Центральная
лаборатория контроля, электросталеплавильная, г. Магнитогорск*

¹matskoigor@gmail.com, ²logunova66@gmail.com, ³posohoff@bk.ru,

⁴pavlov.vv@mmk.ru

Современные металлургические предприятия применяют автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и в большинстве случаев выполняется независимое управление отдельными цепочками полного цикла производства. Использование каскадного управления технологическими цепочками, является одним из комплексных подходов к АСУ ТП, позволяющим управлять внешними воздействиями, передающимися с предыдущих технологических этапов производства. С целью повышения эффективности функционирования систем управления разрабатывается концепция адаптивных систем, способных приспосабливаться к изменяющимся условиям существования этой системы. Не является исключением АСУ ТП производства непрерывнолитой заготовки. Управление и идентификация производственных процессов выплавки, обработки и разлива стали выполняется на основе разработанных систем мониторинга с возможностью корректировки технологии каждого из процессов. Непрерывный мониторинг позволяет выполнить систематическое наблюдение за состоянием объектов для оценки, контроля и прогноза. В условиях электросталеплавильного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») функционирует система управления и идентификации трех металлургических переделов, разработанная компанией Siemens. В основу системы мониторинга и управления положена иерархическая структура, состоящая из трех основных ветвей (табл. 1).

Все модули функционирующей системы реализованы на основе SCADA-технологий. Связывание информации, получаемой на каждом из этапов передела, осуществляется с помощью идентификационного

поля номер плавки. Вид некоторых окон системы управления и мониторинга для технологического этапа выплавки стали в электродуговой печи приведен на рис 1. Комплексный анализ структуры существующей системы управления и мониторинга, проведенный авторами работы, показал, что в настоящее время не предусмотрена визуализация качества получаемой заготовки на текущее и предыдущее время протекания всех процессов.

Таблица 1

Перечень диалоговых окон системы управления и мониторинга, функционирующей в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «ММК»

Этап передела	Перечень диалоговых окон
Выплавка стали в электродуговой печи (ДСП)	Общий вид
	Электрический режим
	Состояние газокислородных горелок
	Электрический режим
	Загрузка материалов
	Состояние газоочистки
	Температура подины печи
	Назначение уставок для параметров управления
Обработка стали на установке печь-ковш (УПК)	Общий вид
	Состояние загрузки ферросплавов и сыпучих материалов
	Температура металла в ковше
	Режим продувки аргоном
	Состояние трайб-аппарата для подачи алюминиевой проволоки
	Режим работы электродов
	Состояние газоочистки
Непрерывная разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)	Общий вид
	Уровень металла в кристаллизаторе
	Уровень металла в промежуточном ковше
	Диаграмма скорости вытягивания
	Расходы и давление воды и воздуха в системе охлаждения
	Температура металла в кристаллизаторе

Развитие действующей системы мониторинга и управления технологическими процессами производства непрерывнолитой заготовки

требует введения дополнительных научно-обоснованных решений, которые позволяют отображать качество получаемой продукции в реальном времени и возможные решения для изменения значений технологических параметров управления технологическими процессами.

Целью предлагаемых решений является расширение информативных функций системы мониторинга и управления производства непрерывной заготовки для оперативного изменения технологических параметров в направлении снижения среднего балла внутренних дефектов.

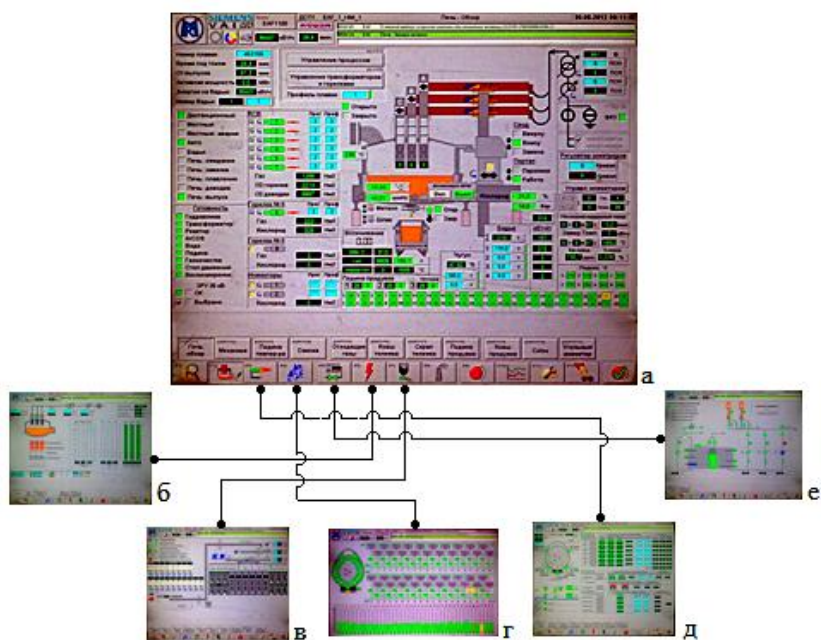


Рис. 1. Вид диалоговых окон системы управления и мониторинга для этапа выплавки стали: а – общий вид печи; б – система управления электрическим режимом; в – система загрузки материалов; г – система охлаждения панели; е – состояние бака гидравлики

Для достижения этой цели были разработаны методика сбора и улучшения изображений образцов для оценки внутренних дефектов заготовки [1, 2], модуль принятия решений о корректировке технологических параметров на основе адаптивного нечеткого дерева с дина-

мической структурой [3], схема интеграции модулей обработки изображений образцов и принятия решений о корректировке технологических параметров в действующую систему управления производством.

Перечисленные решения позволяют построить систему для организации обратной связи реализованной в виде дополнительных диалоговых окон, дополняющих структуру системы управления и мониторинга производства непрерывнолитой заготовки (рис. 2).

На схеме, приведенной на рис. 2, введены новые блоки для системы обработки изображений образца и классификации дефектов и для системы визуализации и выработки управляющего воздействия. В свою очередь система обработки изображения образца и классификации дефектов состоит из модулей:

- улучшения, сегментации изображения на основе операций морфологического анализа изображений по алгоритмам, предлагаемым в [4] и образующих методику, описанную в [1];
- классификации дефектов с помощью адаптивного нечеткого дерева с динамической структурой [2];
- принятия решений о корректировке значений технологических параметров, входящих в метрологическое обеспечение, рассматриваемых процессов.

Результаты текущей работы системы обработки изображения и классификации дефектов не должны входить в систему визуализации, так как выполняют предварительную подготовку и обработку графической информации. Работа с этими модулями производится в лаборатории, выполняющей функции оценки внутреннего качества заготовки окончательные результаты работы модулей передаются в систему мониторинга в виде улучшенных изображений, на которых выполнена сегментация областей нерегулярной формы, соответствующих каждому виду дефекта, и таблицы параметров значений для каждого вида дефектов, определяющих балл развития и их количество.

Модуль принятия решения о корректировке значений технологических параметров использует базу знаний, сформированную на основе анализа причин возникновения и развития трещин, перпендикулярных граням заготовки, осевых дефектов и точечной неоднородности. Причинно-следственные взаимосвязи для выполнения прогнозирования развития дефектов установлены на основе результатов корреляционного анализа эмпирической информации. Учитывая, что каждый вид дефекта в своем формировании имеет «историю», определенную на каждом из этапов производства, разработаны три диалоговых окна для системы мониторинга.

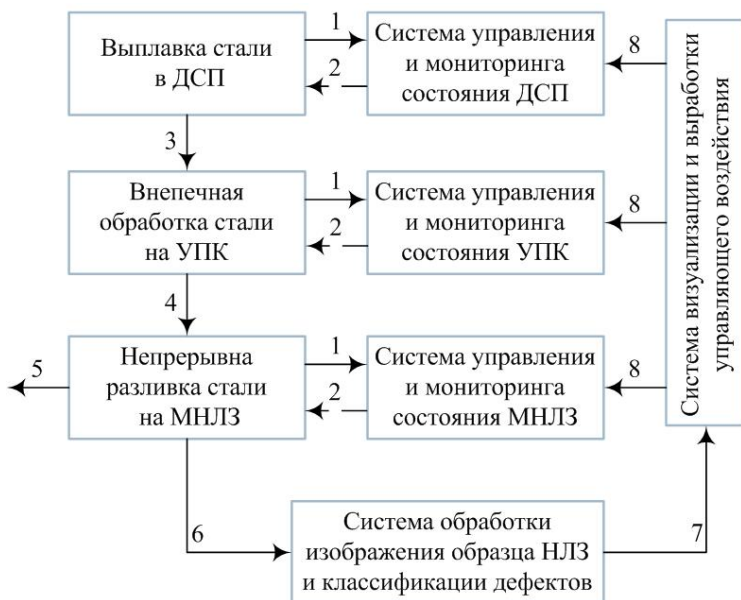


Рис. 2. Схема развития системы мониторинга за технологическим процессом производства заготовки:
 1 – информация о значениях технологических параметров каждого агрегата, получаемых с полевого уровня; 2 – информация о состоянии процесса, получаемая оператором в системе мониторинга; 3 – расплав, получаемый в ДСП; 4 – расплав, получаемый в УПК; 5 – непрерывнолитая заготовка; 6 – изображение образца для оценки качества; 7 – информация о качестве получаемой заготовки; 8 – информация о текущем качестве заготовки и возможности изменения значений технологических параметров

Все окна имеют аналогичную структуру, включающую область для отображения текущего и предыдущих изображений образцов с выделенными дефектами, область для отображения результатов количественной оценки дефектов по каждому изображению и изображение адаптивного нечеткого дерева с динамической структурой и индикацией критических значений параметров управляющего воздействия. Вид одного из окон, разработанных для дополнения системы информационного мониторинга, представлен на рис. 3.

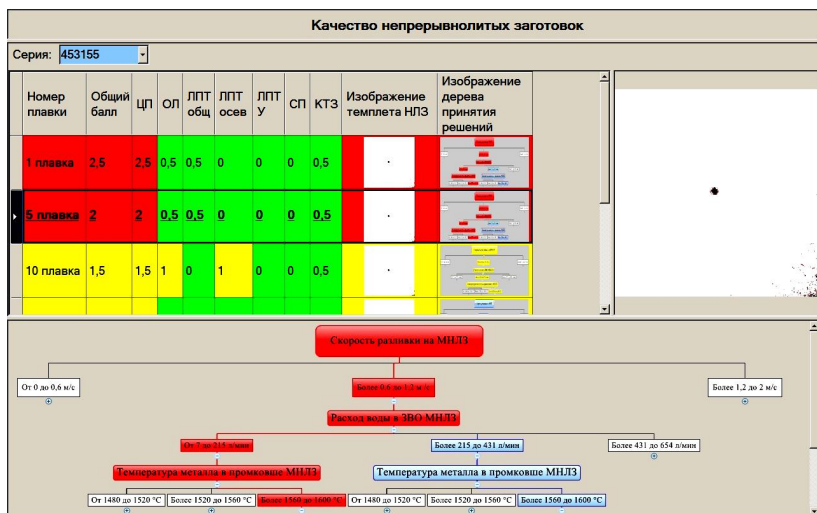


Рис. 3. Вид диалогового окна системы информационного мониторинга автоматизированного рабочего места на участке выплавки стали

Мониторинг предполагает систематический отбор образцов от нескольких плавков в одной серии. В настоящее время каждая серия включает в себя до 60 плавков. Каждая плавка находится на каждом агрегате от 40 до 60 минут. Это время является достаточным для изготовления образцов, его оценки и передачи информации в систему управления производством.

Развитие внутренних дефектов заготовки происходит в «историческом» развитии с увеличением балльной оценки, если не будут приняты меры по коррекции технологии. На рис. 4 приведен пример исторического развития трещины, перпендикулярной грани заготовки, которая в последствии привела к прорыву твердой корочки заготовки и аварийной ситуации на МНЛЗ.

Предлагаемые информационные расширения позволяет в динамике определить тенденцию образования и развития внутренних дефектов непосредственно на постах управления ДСП, УПК и МНЛЗ. Учитывая, что паспорт каждой плавки заполняется на трех металлургических переделах, появляется возможность построить единую структуру формирования записи о нарушениях технологии в автоматическом режиме, исключая субъективный фактор и предоставляющий полную и достоверную информацию.

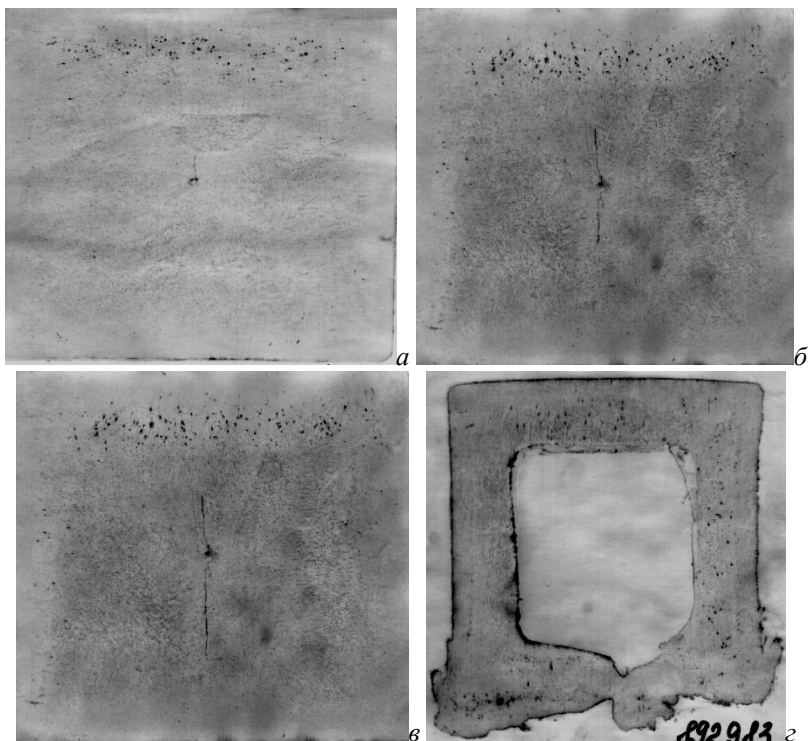


Рис. 4.1. «История» развития трещины, перпендикулярной грани заготовки: а – изображение серного отпечатка от 5 заготовки в первой плавки сериш; б – изображение серного отпечатка от 5 заготовки в третьей плавки сериш; в – изображение серного отпечатка от 5 заготовки в пятой плавки сериш; г – изображение серного отпечатка оболочки заготовки после прорыва в восьмой плавки сериш

Таким образом, в ходе проведенных исследований выполнены:

- 1) комплексный анализ системы управления и мониторинга производства непрерывнолитой заготовки, показавший отсутствие информационного сопровождения качества, получаемой продукции;
- 2) разработка концепции по развитию системы информационного мониторинга с включением дополнительных диалоговых окон для демонстрации актуального состояния качества выпускаемой продукции;
- 3) проектирование и разработка интерфейса диалоговых окон для трех участков производственных подразделений электросталеплавильного цеха ОАО «ММК, включающих научно-обоснованные рекомен-

дации по изменению значений параметров для корректировки управляющих воздействий.

Список литературы

1. Data acquisition, preparation and processing methods by means of continuously-casted billets' quality analysis software / I.I. Matsko, Y.V. Snegirev, V.V. Pavlov [et al.] // International Journal of Applied Physics and Mathematics. – Vol. 1. – №. 2, 2011. – Pp. 106-111.

2. Мацко И.И., Логунова О.С. Автоматизированная система принятия решения о качестве непрерывно-литой заготовки: методики улучшения и сегментации изображения непрерывно-литой заготовки // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 36. – С. 115-121.

3. Matsko I.I., Logunova O.S. Adaptive Fuzzy Decision Tree with Dynamic Structure for Automatic Process Control System of Continuous Cast Billet Production // IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). – Vol. 2. – № 8, 2012. – Pp. 53 – 55.

4. Gonzalez Rafael C., Woods Richard E. Digital image processing. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 2008. – 976 p.

ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА

И.В. Лобачев

ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный технический университет»,

г. Вологда

lbvavik@mail.ru

В настоящее время ведение бухгалтерского учета малоэффективно без компьютерной обработки данных. На рынке существует множество бухгалтерских программ, которые способны удовлетворить самые разные требования, предъявляемые к ним. Поэтому среди множества предлагаемых решений достаточно сложно выбрать программу для своего предприятия.

Существующие прикладные системы бухгалтерского учета очень разнообразны и неоднородны. Чаще всего выделяют следующие классы программ:

- ориентация на размер предприятия;
- локальные и сетевые версии;
- ориентация на бухгалтерский учет в различных сферах деятельности, а также ориентация на бюджетный учет;
- отечественные и зарубежные программы.

Основным же классификационным признаком бухгалтерских программ остается ориентация на размер предприятия и состав выполняемых ими функций. Накопленный опыт составления и применения программ компьютеризации бухгалтерского учета позволяет выделить и их группы: пакеты «Мини-бухгалтерия», пакеты «Интегрированная бухгалтерская система», пакеты «Комплексная система бухгалтерского учета». [1]

Рассмотрение достаточно большого количества бухгалтерских программ позволяет сделать ряд выводов. Несмотря на все преимущества, которые предоставляют данные программы (позволяют перевести бухгалтерский учет с ручного труда на машинную обработку, способствуют уменьшению трудоёмкости учета, позволяют в полной мере сделать его оперативным, сократить сроки на составление отчетности), они имеют и ряд недостатков. Одни из них являются громоздкими и дорогими («Пролог», «Галактика»), другие обладают сложным и малопонятным интерфейсом («Абасус»), для работы с которым требуется подробная документация. Некоторые являются закрытыми и не могут быть изменены пользователем («БЭСТ» – компания-разработчик сама проводит модификацию базовых модулей, приспособлявая их к специфике конкретного

предприятия). Одним из основных недостатков является то, что большинство предлагаемых программных продуктов привязано к конкретной платформе и не предоставляет свободы выбора. В частности, они работают исключительно на операционных системах семейства Microsoft Windows, которые, как известно, являются платными. Это приводит к дополнительным затратам компании, что зачастую неоправданно, так как поставленные задачи можно успешно решать с использованием открытого программного обеспечения.

Поэтому, на некоторых предприятиях, целесообразнее использовать программное обеспечение, написанное под узкую специализацию. Кроме того, в случае обнаружения непредвиденных ошибок, есть возможность оперативно их исправить, пока программа находится в тестовом режиме.

Сервисный центр – небольшая компания, занимающаяся оказанием услуг по ремонту бытовой и офисной техники. Как и любой компании, сервисному центру необходимо вести учет своей деятельности. С точки зрения бухгалтерии учет должен охватывать вопросы связанные с оказанием услуг, затратами на ремонт, клиентами (контрагентами), сотрудниками, банком, заработной платой, уплатой налогов и т.д.

Было принято решение создать единую базу данных по всем участкам учета и соответствующую программу бухгалтерского учета. Данная программа должна обеспечить все необходимые функции, для автоматизации бухгалтерского учета. Разрабатываемое средство должно удовлетворять следующим критериям:

- программа должна полностью соответствовать правилам и практическим рекомендациям по ведению бухгалтерского учета;
- программа должна позволять получать необходимые первичные документы в печатном виде;
- программа должна содержать все необходимые отчеты, как для внутреннего пользования, так и для сдачи в контролирующие органы;
- программа должна быть удобна и проста в эксплуатации;
- программа должна обеспечивать безопасность и конфиденциальность данных;
- программа не должна быть привязана к конкретной платформе и нацелена на использование открытого программного обеспечения;
- программа должна иметь архитектуру «клиент-сервер» для использования в локальной вычислительной сети.

Программа разрабатывается с использованием архитектуры «клиент-сервер», для которой необходим протокол общения между клиентом и сервером. Основным протоколом такого вида на сегодняшний день является HTTP – протокол прикладного уровня передачи данных. [2]

В качестве клиента, работающего с протоколом HTTP, используется веб-браузер. Самыми известными на сегодня являются Internet Explorer, Mozilla FireFox, Opera, Safari, Google Chrome. Все вышеперечисленные браузеры являются свободными. Выбор конкретного браузера остается за пользователем.

Для использования протокола HTTP на стороне сервера необходим веб-сервер. На текущий момент существует большое количество веб-серверов под все возможные платформы. Для разработки выбран «Apache». Это бесплатный HTTP сервер. Является один из самых популярных web-серверов на сегодняшний день. [2]

Для реализации бизнес логики программы будет использован язык Python.

В качестве системы управления базами данных выбрана MySQL – это одна из самых популярных и самых распространенных СУБД для веб-приложений. Поддержка сервера MySQL автоматически включается в поставку Python. [2]

Для повышения скорости разработки, быстрого решения стандартных задач и создания структуры приложения используются framework'и, существующие практически для любого языка, в том числе и Python. Для языка Python существует несколько фреймворков, из которых самыми популярными являются два: Pylons и Django. Выбор Django, а не Pylons, был сделан по двум причинам: скорость разработки на Django значительно выше, документация по Django наиболее полная и понятная. [3]

В результате была разработана программа для ведения бухгалтерского учета в сервисном центре. Ниже приведено ее краткое описание.

Для удобства пользователей интерфейс представлен в виде набора рабочих столов с возможностью переключения между ними.

Каждый рабочий стол позволяет выполнять ряд логически сгруппированных действий. Введение нескольких рабочих столов позволяет распределить большое количество элементов управления между несколькими рабочими зонами, из которых в конкретный момент времени видна лишь одна. Рабочие зоны (рабочие столы) являются независимыми и существуют одновременно. Это позволяет, выполняя какое-либо действие, прерваться, перейти на другой рабочий стол, выполнить необходимую операцию и вернуться к прерванному действию.

Для бухгалтера предусмотрен следующий набор рабочих столов:

- касса – выполнение операций по движению наличных денежных средств;
- банк – выполнение операций по движению безналичных денежных средств;
- покупка – приобретение товаров и услуг;

- продажа – реализация товаров и услуг;
- склад – оприходование деталей и списание их на производство;
- зарплата - начисление, удержание налогов и выплата зарплаты;
- кадры – управление информацией о сотрудниках фирмы;
- отчеты – формирование отчетов;
- контрагенты - управление информацией о контрагентах фирмы.

Каждый рабочий стол представлен в виде одного или двух списков, который содержат информацию о соответствующих документах (рис. 1).

Номер	Дата	Вид документа	Сумма	Валюта	Контрагент	Договор
00000001	21.05.2010	Реализация товаров и услуг	150.0	руб.	Физические лица	Основной договор
00000002	21.05.2010	Счет-фактура выданный	150.0	руб.	Физические лица	Основной договор
00000003	21.05.2010	Реализация товаров и услуг	1250.0	руб.	Физические лица	Основной договор
00000004	21.05.2010	Счет-фактура выданный	1250.0	руб.	Физические лица	Основной договор

Рис. 1. Пример рабочего стола

Для каждого списка предусмотрен поиск и сортировка. Основные действия, выполняемые пользователем, одинаковы для каждого рабочего стола: добавление, редактирование или удаление документа. Для добавления документа предусмотрена кнопка «Добавить». При нажатии открывается форма добавление (рис. 2).

№	Номиналтура	Количество	Цена	Сумма	Счет учета
1	Ремонт CRT TV AWA	1.00	900.00	900.00	43
Всего(руб.)					900.00

Рис. 2. Пример добавления нового документа

Ввод может осуществляться как пошагово, если необходимо выбрать вид документа или тип операции, так и непосредственно в форму ввода, если документ по данной операции единственный. После ввода всех реквизитов для сохранения документа в базе необходимо нажать кнопку «Сохранить». Для отказа от ввода предусмотрена кнопка «Отмена». Для редактирования уже введенного документа необходимо дважды щелкнуть по соответствующей записи в списке.

Откроется форма редактирования, где можно внести необходимые исправления, сохранить их или отказаться от редактирования. Для печати первичных документов как после ввода реквизитов, так и при редактировании предусмотрена кнопка «Печать». Для удаления документа нужно выбрать необходимый документ в списке и нажать кнопку «Удалить». Удалять документы можно по одному или списком. Для избегания случайного удаления предусмотрено диалоговое окно подтверждения, в котором содержится название удаляемого элемента. Можно продолжить удаление, нажав кнопку «Да» или отказаться – «Отмена».

Разработанная программа обеспечивает все необходимые функции, для автоматизации бухгалтерского учета и учитывает особенности его ведения, использует для работы только бесплатное программное обеспечение и является кроссплатформенной.

Программа не требует особых навыков в обучении, проста и удобна для пользователя, создана специально для бухгалтера. Решает все основные проблемы, которые были до ее внедрения:

- освобождает бухгалтера от проведения рутинных операций, связанных с вводом первичных данных и выполнением необходимых расчетов;
- позволяет получить необходимые первичные документы в печатном виде;
- содержит необходимые отчеты, как для внутреннего пользования, так и для сдачи в контролирующие органы;
- отвечает требованиям безопасности и конфиденциальности данных.

Данная программа была разработана для сервисного центра «Электронные системы и сервис», где проходила тестирование и была успешно внедрена.

Список литературы

1. Информационные системы в экономике / Под ред. Г.А. Титоренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 463 с.
2. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>
3. Джефф Форсье, Пол Биссекс, Уэсли Чан Django. Разработка веб-приложений на Python. – Пер. с англ. - СПб: Символ-Плюс, 2009. – 456 с.

СТРУКТУРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ (СМИС)

А.А. Онучин

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
art_EM44@mail.ru*

Введение

Вопрос о создании структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами при проектировании потенциально опасных, технически сложных и уникальных объектов становится наиболее актуальным в 2005 году после вступления в силу ГОСТ Р 22.1.12-2005 "Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования".

Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС) это: - построенная на базе программно-технических средств система, предназначенная для осуществления мониторинга технологических процессов и процессов обеспечения функционирования оборудования на соответствующих категориях объектов и передачи информации об их состоянии по каналам связи в дежурно-диспетчерские службы (ДДС) этих объектов для последующей обработки с целью оценки, *предупреждения и ликвидации* последствий дестабилизирующих факторов *в режиме реального времени*. Так же, в случае необходимости передача информации о прогнозируемом/фактическом возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС), в т.ч. вызванной террористическими актами передается в единую дежурно-диспетчерскую службу (ЕДДС).

Эта система создается в целях обеспечения гарантированной устойчивости функционирования систем, процессов жизнеобеспечения требуемого качества на контролируемых объектах и выступают как средство информационной поддержки при принятии решений по предупреждению и ликвидации инцидентов, аварий, пожаров, ЧС, в т.ч. вызванных террористическими актами.

СМИС является неотъемлемым элементом автоматизированных систем объекта. Под объектом мониторинга понимается инженерная система, подсистема, оборудование, передающая важную для обеспечения безопасности информацию о своем состоянии и функционировании в СМИС. Место СМИС в структуре предприятия представлено на рис. 1.

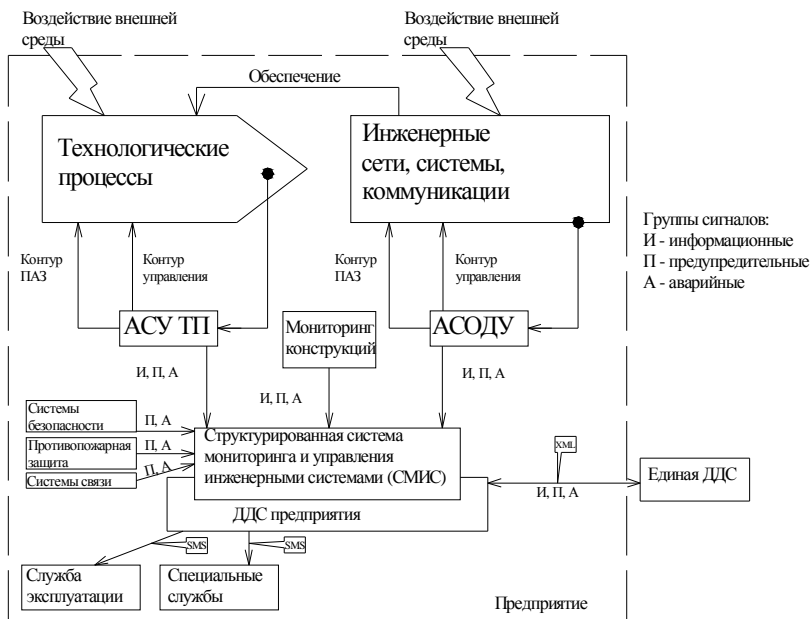


Рис. 1. Место СМИС в структуре предприятия

- * АСОДУ (автоматизированная система оперативного диспетчерского управления);
- * Контур ПАЗ (контур противоаварийной защиты).

Назначение СМИС:

- информирование в режиме реального времени ЕДДС муниципального образования о предаварийном, аварийном состоянии технологических систем, систем жизнеобеспечения, систем безопасности, систем противопожарной защиты, систем связи, террористических проявлениях;
- обеспечение через ЕДДС муниципального образования соответствующих служб и подразделений (экстренного вызова, дежурно-диспетчерских, оперативно-дежурных, аварийно-спасательных) информацией, необходимой для проведения аварийно-спасательных работ и ликвидации последствий аварий, пожаров, ЧС.

Функции СМИС:

- прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций;
- непрерывный сбор, передачу и обработку информации;
- формирование и передачу формализованной оперативной информации в ДДС объекта;

- формирование и передачу формализованного сообщения о ЧС в ЕДДС;
- автоматизированный или принудительный запуск системы оповещения населения о произошедшей чрезвычайной ситуации;
- автоматизированное или принудительное оповещение специалистов, отвечающих за безопасность объектов;
- автоматизированный или принудительный запуск систем предупреждения или ликвидации ЧС для конкретного объекта и конкретного вида ЧС;
- документирование и регистрацию аварийных ситуаций. (структура построения систем позволяет производить поэтапный пуск в эксплуатацию и допускает возможность объединения с другими информационными системами мониторинга и управления)

Основные решаемые проблемы СМИС:

- снижение потери среди персонала, сокращение материального и экологического ущерба за счет повышения оперативности предупреждения (оповещения) о возможности и возникновении аварийных, чрезвычайных ситуаций, пожаров;
- обеспечение требуемого качества и гарантированной устойчивости функционирования систем жизнеобеспечения, безопасности, противопожарной защиты, технологических и производственных систем;
- обеспечение гарантированной устойчивой связи и управления в условиях действия дестабилизирующих факторов во время ликвидации ЧС, в том числе вызванных террористическими актами.

СМИС обеспечивает прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций путем контроля за параметрами процессов обеспечения функционирования объектов и определения отклонений их текущих значений от нормальных, непрерывность сбора, передачи и обработки информации о значениях параметров процессов обеспечения функционирования объектов, формирования и передачи формализованной оперативной информации о состоянии технологических систем и изменении состояния инженерно-технических конструкций объектов в ДДС объекта, формирование и передачу формализованного сообщения ЧС на объектах в ЕДДС.

Данная система подразумевает под собой отдельно установленный сервер, с соответствующим программным обеспечением, для сбора и обработки информации от оборудования инженерных систем и передачи критических изменений состояний на центральный диспетчерский пункт (ДДС/ЕДДС).

В соответствии с существующей нормативно-технической документацией в состав СМИС входят следующие компоненты:

- комплекс измерительных средств, средств автоматизации и исполнительных механизмов;

- многофункциональная кабельная система;
- сеть передачи информации;
- автоматизированная система диспетчерского управления инженерными системами объектов;
- административные ресурсы [1].

Другой составляющей частью СМИС является система мониторинга инженерных (несущих) конструкций (СМИК).

Цели СМИК:

- обеспечение безопасности персонала путём автоматического, в режиме реального времени мониторинга интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, своевременного информирования дежурно-диспетчерской службы здания, сооружения и ЕДДС города/района об их критическом изменении;

- снижение риска утраты несущей конструкцией свойств, определяющих ее надежность посредством своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения состояния (напряженно-деформированного состояния) несущих конструкций, которое может привести к их разрушению и повлечь людские потери, переход здания, сооружения в ограниченно работоспособное, аварийное состояние, к полной или частичной потере несущей способности.

Назначение СМИК:

- своевременное оповещение о критическом изменении состояния несущих конструкций комплекса и обеспечение принятия обоснованных решений по обеспечению безопасности посетителей и персонала, безопасной эксплуатации; прекращения эксплуатации;

- мониторинг и регистрация в течение всего срока эксплуатации изменений состояния несущих конструкций вследствие накопления в них эксплуатационных дефектов, которые с течением времени могут привести здание, сооружение в предельное состояние, требующее соответствующего ремонта или прекращения эксплуатации.

Система сбора информации осуществляет сбор данных от следующих объектов мониторинга объекта:

- АСУ ТП;
- инженерных систем;
- систем противопожарной защиты;
- систем безопасности;
- систем связи;
- СМИК;
- СУКС (система управления в кризисных ситуациях).

Сопряжение СМИС объекта с РСЧС (Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций) представлена на рис. 2.

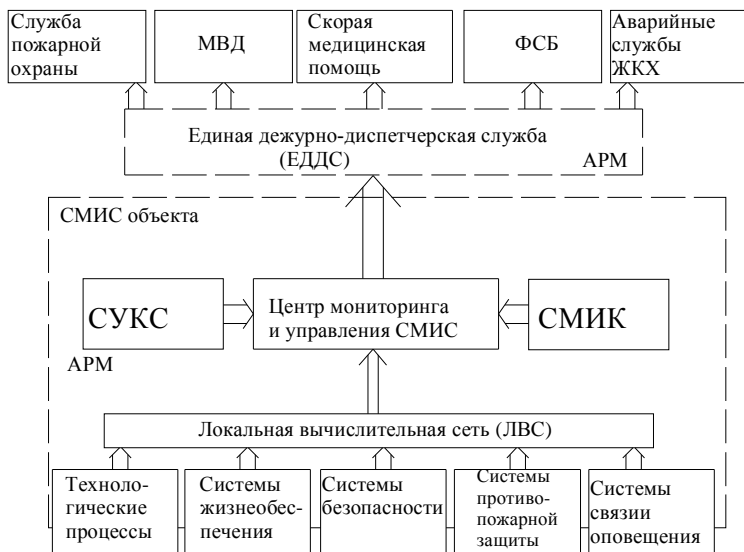


Рис. 2. Сопряжение СМИС объекта с РСЧС

При проектировании интегрированных систем мониторинга определение объёма является одним из наиболее важных и трудоёмких этапов проектирования СМИС, которому предшествует анализ характеристик технологической установки или производства в целом как объекта мониторинга.

Запуск систем предупреждения или ликвидации ЧС производится по определенным алгоритмам для конкретного объекта и конкретного вида ЧС, которые утверждены установленным порядком (прекращение подачи газа, воды, включения средств пожаротушения и т.п.).

Алгоритмы обеспечивают комплексную, взаимосвязанную работу всех необходимых систем безопасности и жизнеобеспечения с целью предупреждения и ликвидации ЧС. Для каждого ЧС, в т.ч. вызванных террористическими актами, разработаны свои алгоритмы предупреждения и ликвидации ЧС, документирования и регистрации аварийных ситуаций, а также действий ДДС объектов.

При определении критериев для оценки значений параметров технологических параметров используются следующие состояния:

- норма;
- предаварийное состояние;
- авария.

Дальнейший анализ характеристик безопасности сводится к выделению групп сценариев, наиболее опасных и наиболее вероятных ава-

рийных ситуаций из всех возможных аварийных ситуаций на комплексе/установки [2].

Поскольку оборудование обладает модульной архитектурой, то оно предназначено и для использования в промышленных целях, т.е. для работы в экстремальных условиях производственного предприятия:

- сильные электромагнитные излучения;
- паразитная электромагнитная интерференции;
- высокие температуры;
- резкие перепады температур;
- сильные вибрации;
- вредные выбросы (пыль, гарь, копоть и т.п.) и т. п.

Заключение

Характерной особенностью современных городов является высокая плотность населения, значительная концентрация промышленного производства и транспортной инфраструктуры, наличие потенциально опасных объектов (ПОО). Это определяет высокую вероятность возникновения ЧС, в т.ч. и представляет опасность для жизни и здоровья городского населения.

Автоматизированные системы предотвращения ЧС (прерывание подачи газа, воды, электричества и т.д.), входящие в автоматизированные системы наблюдения и контроля на ПОО, зданиях и сооружениях, могут спасти жизнь и здоровье многих сотен людей и (по предварительным оценкам) не менее чем на 15-20% сократить материальные потери от ЧС, а в некоторых случаях полностью исключить их. Исходя из этого, экономический эффект от уменьшения материальных потерь от ЧС, вызванных пожарами на различных промышленных и жилых строениях, составил бы не менее 8 млрд. рублей (г. Москва).

Создание СМИС позволит примерно на 15% уменьшить количество возникающих ЧС и существенно снизить тяжесть их последствий. Исходя из этого, необходимое количество постоянных сил и средств, требуемых для предупреждения и ликвидации ЧС, может быть снижено примерно на 10%.

Внедрение СМИС позволит существенно повысить безопасность людей, снизить ущерб от техногенных аварий и ЧС.

Таким образом, целесообразность внедрения СМИС обеспечивается существенным повышением оперативности устранения нештатных ситуаций за счет автоматизации аппаратными и программными средствами процессов прогнозирования и обнаружения отказа, его идентификации и передачи информации о нем соответствующим службам.

Список литературы

1. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 22.1.12-2005 "Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 марта 2005 г. N 65-ст).

2. ФЗ от 30.12.2009г. №384-ФЗ Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений».

**ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО
ИНЖИНИРИНГА НА ОСНОВЕ PLM-СИСТЕМЫ TEAMCENTER
НА ОАО "ПО "СТРЕЛА"**

В.Б. Кузнецова*, А.И. Сергеев*, А.В. Попов*

**ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,
valyosha@list.ru*

В последние годы российские предприятия, в первую очередь предприятия оборонно-промышленного комплекса, приступили к реализации отдельных стадий жизненного цикла изделия. Россия стала участником международного разделения труда, равноправным поставщиком на глобальном рынке, в котором стандарты PLM являются промышленной нормой.

Применение PLM основано на использовании интегрированных моделей данных об изделии и бизнес-процессов предприятия. PLM предполагает новые методы работы с информацией об изделии, позволяя тесно увязать ее с процессами, обеспечивая одновременный доступ к данным различных категорий сотрудников, позволяя в полной мере реализовать принципы параллельного проектирования изделий.

В PDM-системе формируется полный набор конструкторско-технологической информации, готовый для в ERP-систему (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия). Эта информация включает в себя структуру изделия, технологических операций и используемых ресурсов (оборудование, оснастка, инструмент).

Система Teamcenter занимает лидирующую позицию на мировом рынке среди систем подобного класса, а также применяется на большинстве предприятий отечественного авиастроения, вертолетостроения и других отраслей. Она обеспечивает решение задач, связанных с управлением данными об изделии на протяжении всего жизненного цикла, от замысла, постановки, требований на изделие, его проектирования и подготовки производства до автоматизации процессов послепродажного технического обслуживания и ремонта, создавая единое информационное пространство в рамках всего предприятия или нескольких предприятий, ведущих совместную работу над изделиями.

Teamcenter – платформа для разнородных приложений (так называемая multi-CAD-платформа), которая интегрирована не только с приложениями от Siemens PLM Software в области проектирования и анализа, но и с другими продуктами, предоставляющими средства проектирования машиностроения, приборостроения, строительства и т.п. Это продукты Autodesk, Dassault, Systems, PTC, ECAD-системы – Mentor, Cadence, Synopsys и др.

Целью внедрения PLM-системы Teamcenter на ОАО "ПО "Стрела" является организация управления технической информацией по проекту, в объеме, необходимом для организации процесса проектирования и производства. Для этого решаются вопросы связи геометрических данных по конструкции изделия с негеометрическими данными и документацией, задачи управления конфигурацией, интеграция Teamcenter с системами инженерных расчетов, системами технологической подготовки производства.

Полное электронное описание изделия – совокупность данных в электронном виде, полученных на разных этапах жизненного цикла изделия, максимально полно описывающее изделие. Эти данные должны быть взаимоувязаны, обладать свойством наследуемости при переходе изделия от одного этапа жизненного цикла изделия к другому, управляемости, быть доступными в соответствии с правами доступа пользователей – участников проектирования, постройки, эксплуатации. Основной массив данных организован в виде технических электронных документов, имеющих аналоги технических документов, которые создаются при традиционной системе проектирования. Полное электронное описание изделий создается с применением набора систем автоматизированного проектирования, инженерных расчетов, технологической подготовки производства, управления данными изделия (CAD/CAE/CAM/PDM), системы интегрированной логистической поддержки изделия и др. [1].

Методология проектирования с использованием информационных технологий определяется как параллельное разделенное по этапам проектирование с использованием и накоплением знаний.

Основными принципами этой методологии являются: процесс проектирования разделяется на этапы; каждому этапу соответствуют специализации пользователей по ролям, по представлениям данных, по видам моделей, по правам доступа; при переходе к следующему этапу модели наследуют только те данные, которые необходимы для работы на этом этапе; ограничение по ролям обеспечивает для каждого пользователя ролевой группы видимость (доступность) только тех данных предыдущих этапов, которые специально определены как необходимые на текущем этапе; сохраняется ассоциативная ссылочность на данные предыдущих этапов проектирования. Система Teamcenter занимает лидирующую позицию на мировом рынке среди систем подобного класса, а также применяется на большинстве предприятий ответственного авиастроения, вертолетостроения и других отраслей. Она обеспечивает решение задач, связанных с управлением данными об изделии на протяжении всего жизненного цикла, от замысла, постановки, требований на изделие, его проектирования и подготовки производства до автоматизации процессов послепродажного технического

обслуживания и ремонта, создавая единое информационное пространство в рамках всего предприятия или нескольких предприятий, ведущих совместную работу над изделиями [1].

В результате внедрения методики параллельного инжиниринга PLM системы Teamcenter на ОАО «ПО «Стрела» будет достигнуто расширение номенклатуры выпускаемых изделий, увеличение выпуска продукции, своевременное исполнение контрактов и оборонного заказа России.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013 годы», проект № 14.В37.21.0697 «Повышение эффективности производства авиационной техники на ОАО «ПО "Стрела"».

Список литературы

1. Погосян М.А., Львова Г.В. Полное электронное описание изделия SSJ 100. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А.Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. – 608 с.

МОДЕЛЬ СТАТИСТИКИ ПОСЕЩАЕМОСТИ САЙТА

*Б.Б. Зобнин *, А. Н. Овчинников**

**Уральский Горный Государственный Университет, г. Екатеринбург
CoderAx27@mail.ru*

Актуальность

Ведение статистики посещаемых страниц своего сайта или сайтов других компаний всегда необходимо для оптимизирования интерфейсов и бизнес-аналитики. Подобные статистики есть в готовых движках для сайтов, но не всегда они могут подойти под задачи разрабатываемого проекта. Своя статистика всегда лучше, потому что делается под конкретный проект со своими особенностями.

Введение в архитектуру

Иллюстрируемое приложение разработано в среде Microsoft Visual Studio 2010, на технологии ASP .NET 4.5. Клиентская часть приложения использует HTML и CSS стили. Приложение является многопользовательским и для этого используются объекты Membership.

База данных выбранная под проект MS SQL. Данные хранятся на Microsoft SQL Server 2008 — системе управления реляционными базами данных (СУБД), разработанной корпорацией Microsoft. Используется для работы с базами данных размером от персональных до крупных баз данных масштаба предприятия; конкурирует с другими СУБД в этом сегменте рынка. Данное решение идеально подходит, а для связи с базой используется ORM Entity Framework.

Введение в ORM Entity Framework

ADO.NET Entity Framework (EF) — объектно-ориентированная технология доступа к данным, является object-relational mapping (ORM) решением для .NET Framework от Microsoft. Предоставляет возможность взаимодействия с объектами как посредством LINQ в виде LINQ to Entities, так и с использованием Entity SQL. Для облегчения построения web-решений используется как ADO.NET Data Services (Astoria), так и связка из Windows Communication Foundation и Windows Presentation Foundation, позволяющая строить многоуровневые приложения, реализуя один из шаблонов проектирования MVC, MVP или MVVM.

На рис 1. Представлена упрощенная схема связанных таблиц. Реальные БД в разы больше, которые поместить в данную статью не представляется возможным, из-за большого количества таблиц.

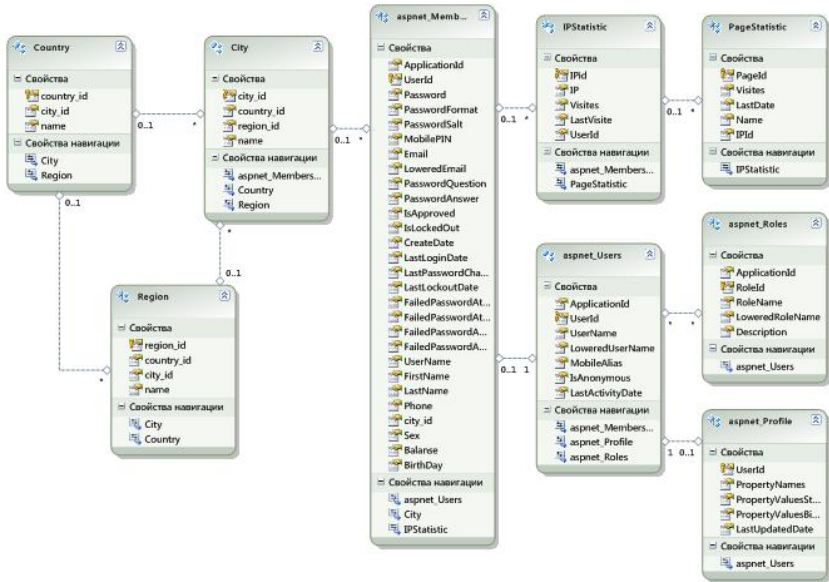


Рис. 1. Структура базы данных модели статистики

Возможности статистики модели

Особенности модели приведенной в рис. 1, позволяют:

- 1) Возможность просмотра и поиска пользователей по Странам, регионам, городам
- 2) У каждого пользователя есть список прикрепленных IP адресов с которых он заходил
- 3) Если пользователь не был зарегистрирован, статистика сохраняется, но IP адрес не привязан ни к одному из существующих пользователей
- 4) У каждого IP адреса есть список посещаемых страниц/сайтов с сохраненным временем последнего посещения, количеством посещений
- 5) Возможность обобщения статистики по выбранной стране, региону, городу
- 6) Запрос статистики на конкретный интервал времени, например с 11:00 до 15:00
- 7) При масштабировании через IP адрес или имя пользователя можно просматривать как данные пользователя, так и другие данные привязанные к пользователю, например, историю покупок.

- 8) Эта модель отлажена и реализована на таких сайтах как Time-Child.ru и SunShop.su, позже вошла в движок интернет-магазинов RungineShop.
- 9) Перенос готовой модели с одного сайта на другой не составляет большого труда и занимает не более 5 минут (без модификации)
- 10) Легко поддается масштабированию, благодаря своей гибкости, что проверено на проектах указанных в п. (8).

Для вывода используется оформление данных в формате html. Данные представляются в виде таблиц. В таблицах присутствуют как вычисленные данные, так и ссылки на просмотр статистики по выбранным параметрам. Т.е. навигация между различными статистическими параметрами перехода между таблицами выбирается стандартная по данной модели плюс дополнительная, которая уникальна только для разрабатываемого проекта.

Пример генерирования html (рис 2):

ID	IP	Визитов	Последний визит	Пользователь
42	178.211.167.130	9	12/7/2012 1:29:58 PM	ttt Профиль
286	79.104.39.106	0	12/7/2012 1:28:09 PM	Демо Профиль
65	195.239.178.205	3	12/7/2012 5:28:54 AM	-

Рис. 2. Пример генерирования html

Заключение

Разработанная модель может использоваться для ведения статистики посещаемости сайта и может быть внедрена практически в любом прикладном проекте данной сферы.

Список литературы

1. Glenn Johnson – Accessing Data width Microsoft .NET Framework 4.
2. Northrup T., Snell M. - Web Applications Development with Microsoft .NET Framework 4 – 2010.
3. Glenn Johnson, Tony Northrup - TS: Microsoft .NET Framework 2.0 - Web-based Client Development.

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ГРУППЕ КОМПАНИЙ ОАО «ММК»

А.В. Феоктистов

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск*

Finik000000@mail.ru

Актуальность работы

На сегодняшний день, согласно экспертной оценке, стоимость одного стандартного пакета бумажных документов на отгрузку металлопродукции ОАО «ММК» с учетом печати, хранения, затрат на обработку и доставку почтой составляет от 80 до 100 рублей. При существующем объеме документов внутри группы компаний ОАО «ММК» затраты составляют несколько десятков млн. рублей ежегодно.

Для передачи и хранения того же объема документов в электронном виде необходимо около 500 тыс. руб. в год, из них: 200 тыс. руб. – ежегодное продление лицензий на программное обеспечение; 300 тыс. руб. – оплата за объем переданных документов.

Таким образом, очевидно, что переход на электронный документооборот с контрагентами несет существенные выгоды, а именно:

- Сокращение времени согласования и доставки документов
- Отказ от бумажного документооборота
- Уменьшение трудозатрат на обработку документов
- Повышение достоверности вносимых в учетные системы данных
- Сокращение затрат на доставку, обработку и хранение документов

Приказом ФНС России [1] утверждены форматы электронных счетов-фактур, книг покупок, продаж и журнала учета выставленных и полученных счетов-фактур. Таким образом, законодательно установлена возможность предприятий перейти на электронный обмен счетами-фактурами.

Основные проблемы и решения

В настоящее время подавляющее большинство сделок на территории РФ сопровождается документами, оформленными в бумажном виде (рис. 1). При этом у российских компаний есть законодательно обеспеченная возможность использовать при взаимодействии со своими контрагентами не бумажную, а электронную версию документов. И передать документы по сделке не почтой (или курьером), а по телекоммуникационным каналам связи – через Интернет.



Рис. 1. Недостатки бумажного документооборота

Предлагаю рассмотреть систему ЭДО Диадок компании ЗАО «ПФ СКБ Контур». Диадок — это система обмена электронными юридически значимыми документами между компаниями. Начало работы может проходить по-разному. Небольшой компании достаточно отправить заявку с сайта [2], подписать лицензионный договор и заявление о присоединении к регламенту и получить электронную подпись. Крупному бизнесу потребуются интеграция и пилотные проекты.

Документы, в которых информация представлена в электронно-цифровой форме, называются электронными (см. ст.3, гл. I ФЗ РФ №1-ФЗ).

Электронные документы, подписанные электронной подписью, при взаимном согласии сторон являются юридически значимыми оригиналами (согласно ФЗ РФ от 10.01.2002 №1-ФЗ). Их не нужно распечатывать и хранить в бумажных архивах. Они мгновенно доставляются адресатам на любые расстояния через интернет и доступны по первому запросу. С последними поправками в законодательстве весь документооборот между организациями можно перевести в электронный вид (рис. 2.).

Уже сегодня через Диадок можно передавать:

- Первичные и учетные бухгалтерские документы (договоры, акты выполненных работ, платежные поручения, накладные, счета-фактуры);
- Организационно-распорядительные и оправдательные документы (доверенности, приходные ордера, приказы, распоряжения);
- Любые другие типы документов, сопровождающие деятельность компании (рекламные материалы, информационные письма, отчеты по тем или иным направлениям и т.д.).



Рис. 2. Преимущества электронного документооборота

Технические характеристики Диадок, обеспечивающие безопасность: доступ к Диадок осуществляется по сертификату электронной цифровой подписи, что гарантирует защиту от несанкционированного доступа; передача данных идет по защищенным каналам связи, для чего используется HTTPS-протоколирование (данные «упаковываются» в особый криптографический протокол, что обеспечивает их защиту); защита от потери или повреждения обеспечивается трехкратным резервным копированием документов и хранением копий на разных серверах.

Немаловажной особенностью системы Диадок является взаимодействие со всеми бухгалтерскими системами, не зависимо от того, какое учетное ПО стоит в вашей организации: 1С, SAP, Oracle и другие — Диадок сможет легко встроиться в бизнес-процессы организации. Самый простой вариант интеграции — «Диадок-Принтер», совместимый с любой бухгалтерской системой. Для 1С разработан специальный модуль «Диадок», позволяющий мгновенно начать отправлять электронные счета-фактуры прямо из системы.

Заключение

Использование Диадок позволяет в разы сократить издержки компании на почтовую пересылку, услуги курьера, хранение в архиве, печать и обработку бумажных документов. Кроме того, Диадок избавляет бухгалтерию от необходимости хранить колоссальный объем бумажных документов и существенно экономит время при поиске нужного документа.

Список литературы

1. Приказ Федеральной налоговой службы (ФНС России) от 5 марта 2012 г. N ММВ-7-6/138

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Н.Н. Забродский**

**Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
Украина, г. Киев
zabrn@i.ua*

Актуальность

Исследованием динамики работы, созданием теорий рабочих процессов и методик расчета основных параметров машин для производства строительных материалов посвящены работы таких ученых, как Бауман В.А., Быховский И.И., Гольдштейн Б.Г., Петрунькин Л.П., Миклашевский Е.П., Борщевский О.О., Гарнец В.Н., Клушанцев Б.В., Ловейкин В.С., Маргинов В.Д., Назаренко И.И., Сивко В.Й., Сергеев В.П., Чубук Ю.Ф., Кабалкин В.А., Десов А.Е., Шмигальский В.Н., Шипилов А.С., Маслов В.Г., Эмельянова И.А., Яковенко В.Б. и др [1-5].

В результате обзора установлено, что подходы на которых основываются существующие методики расчета не отвечают современным требованиям подготовки входной и выходной информации для проектирования машин. В своем большинстве они представлены в общем виде или существуют отдельно для каждого вида оборудования, иногда имеют ограничения относительно типоразмера, не имеют общих подходов в структуре проектного расчета, не проверялись на точность для расчета множества машин, присутствуют противоречия в определении параметров рабочего процесса и мощности привода.

Анализ уровня внедрения информационных технологий в процесс проектирования оборудования показал отсутствие программного обеспечения предназначенного для автоматизации проектного расчета машин для производства строительных материалов. Существующие программные продукты САЕ (Computer-aided engineering) возможно использовать только начиная из стадии эскизного проектирования, когда известна конструкция машины и основные технические параметры. Начальные этапы проектирования, к которым относятся проектные расчеты (рис.1) не имеют поддержки со стороны современных информационных технологий [6,7].

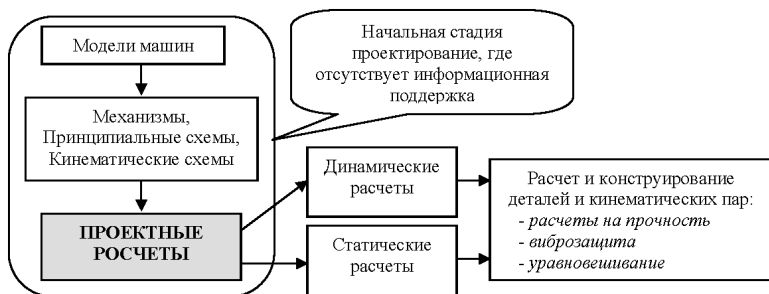


Рис. 1. Процессы и стадии расчета и проектирования машин для производства строительных материалов

Основные проблемы и решения

Учитывая существующие проблемы, становится актуальным систематизация существующих методик расчета и применение информационных технологий в процессе проектирования машин для производства строительных материалов. Для решения этой проблема предложено и обоснованно использование системного подхода для построения методик проектного расчета, и их дальнейшей реализации в алгоритме работы компьютерной программы предназначенной для автоматизации расчета основных параметров машин строительной индустрии.

Проведен системный анализ технологии производства стройматериалов, рабочих процессов машин которые в этих технологиях применяются. В результате таких исследований определены современные требования, которые предъявляются для качества входной и выходной информации в процессе проектирования машин. Выполнена декомпозиция процесса проектирования механического оборудования и установлена степень важности проектных расчетов в общей системе проектирования [8-10]. Учитывая проведенные исследования и системный анализ проектных расчетов, создана системная модель методики проектного расчета основных параметров машин для производства строительных материалов (рис.2).

При создании системных моделей используется параметрическая оптимизация. Целевая функция имеет вид:

$$F(U) = \Delta Y \rightarrow \min$$

данная функция выбирается по энергетическому критерию, как разность между паспортной и расчетной мощностью привода

$$\Delta Y = P_n - P_p \rightarrow \min \cdot$$

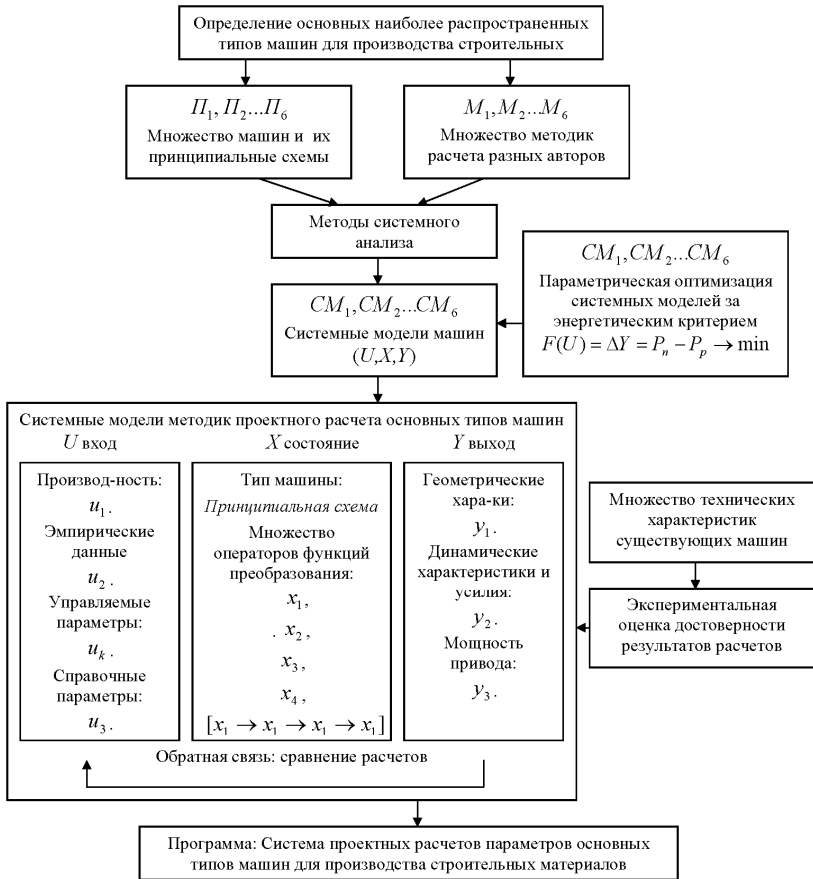


Рис. 2. Системные модели методик проектного расчета и их параметрическая оптимизация

Вектор управляемых параметров $U = (u_1, u_2, u_3 \dots u_k)$ состоит из трех типов переменных:

u_1 - определяющие переменные, за которыми фиксируется типоразмер машины и P_n ;

u_2 - эмпирические переменные, из которых выделяют управляемые параметры и один наиболее влиятельный ключевой параметр u_k ;

u_3 - справочные данные.

Состояние X определяется принципиальной схемой машины и множеством операторов, как функций преобразования входных параметров в выходные.

Вектор выходных параметров Y , который состоит из:

y_1 - геометрические или массовоинерционные характеристики;

y_2 - динамические характеристики и усилия;

y_3 - расчетная мощность привода $y_3 = P_p$.

$\Delta Y = P_n - P_p$ скаляр исходных параметров. При вариации ключевого параметра u_k обеспечивается минимум целевой функции:

$$F(U(u_1, u_2, u_k)) = P_n - P_p \rightarrow \min.$$

Данная модель является универсальной и может быть применена для методики проектного расчета любого типа оборудования.

Выводы

Опираясь на существующие методики, списки экспериментальных и справочных данных, множество технических характеристик, были созданы новые системные методики расчета основных параметров для каждого типа оборудования, а именно: щековая дробилка со сложным качанием щеки, вибрационный грохот с круговыми колебаниями, гравитационный смеситель, роторный смеситель, виброплощадка с вертикально направленными колебаниями, глубинный вибратор. Системный подход позволил системно представить проектный расчет каждого типа оборудования, в результате чего было установлено и уточнено значение всех экспериментальных и справочных данных, составленная системная математическая модель расчета в которой все параметры находятся во взаимодействии между собой. Такое взаимодействие и системное представление позволило улучшить результаты расчета основных параметров для множества типоразмеров существующих моделей машин отдельно взятого типа оборудования.

Список литературы

1. Гольдштейн Б.Г. Глубинные вибраторы для уплотнения бетона./ Гольдштейн Б.Г., Петрунькин Л.П. – М.: Машиностроение, 1966. – 172 с.
2. Миклашевский Е.П. Глубинное вибрирование бетонной смеси/ Миклашевский Е.П. – М.: Стройиздат, 1981. – 176 с.
3. Сівко В.Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів: Підручник./ Сівко В.Й. –К.: ІСДО, 1994.- 359 с.
4. Назаренко І.І. Машини для виробництва будівельних матеріалів / Назаренко Й.І.- Підручник. - К.: КНУБА, - 1999.- 488 с.

5. Яковенко В.Б. Моделирование и расчет вибрационных систем. Учеб. пособие/ В.Б. Яковенко. –К.: УМК ВО.– 1988., 232 с. 2. Малюх В.А. Введение в современные САПР. / В. А. Малюх, – ДМК Пресс, 2010.– 192 с.
6. Ковальов Р.В. Введение в моделирование динамики механических систем/ Ковальов Р.В., Даниленко Д.В.- М., 2009 – 120 с.
7. Васильев В.В. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB/SIMULINK. Учебное пособие для студентов и аспирантов / В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбникова. – К.: НАН Украины, 2008. – 91 с.
8. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ. / Тарасенко Ф.П. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 186
9. Кондрахин В.П. «Системный подход к моделированию рабочих процессов породоразрушающих машин» // Известия вузов. Горный журнал. 1998.-№2.- С 73 по 77 стр.
10. Чикуров Н.Г. Моделирование технических систем: учебное пособие./ Чикуров Н.Г., Уфимск. Гос. Авиац. Техн. Ун-т; – Уфа: УГАТУ 2009. – 357 с.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

*Е.А. Рафальская**

**Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
Украина, г. Киев
R-Lena@bigmir.net*

На сегодняшний день одной из главных составляющих учебного процесса являются информационные технологии. Внедрение информационных технологий в высших учебных заведениях повышает качество учебного процесса, подготовки будущих специалистов, комплексного управления ВУЗом. Компьютеризации образовательного процесса посвящены исследования таких ученых, как Батигин Г., Гершунский Б., Зуб М., Ильин Г., Казакова Е., Навроцкий А., Старикова Л., Шаронова Н.

Актуальность

В современных условиях большое значение приобретает самостоятельная работа студентов, которая организовывается и курируется преподавателем на основе новейших методов и средств обучения. Согласно Положению Министерства образования и науки Украины “Об организации учебного процесса в высших учебных заведениях” на самостоятельную работу студента предусмотрено до 2/3 общего объема времени, отведенного на изучение конкретной дисциплины. Речь идет не только об увеличении количества часов на самостоятельное обучение, а о принципиальном пересмотре организации учебного процесса в ВУЗе, который должен строиться так, чтобы развивать умение учить, формировать у студента способности к саморазвитию, творческому применению полученных знаний, способов адаптации к профессиональной деятельности.

Таким образом, основная задача высшего образования заключается не в том, чтобы дать выпускникам знания и навыки, а в том чтобы научить их учиться, благодаря чему они в дальнейшем, на протяжении всей жизни, смогут обогащать свои знания и совершенствовать свой опыт, анализировать и использовать в своей профессиональной деятельности достижения науки и техники.

Для эффективной организации процесса обучения важным компонентом является система управления учебным процессом. Именно этому компоненту - автоматизированной системе управления учебным

процессом в высшем учебном заведении (АСУ УП в ВУЗ) - мы уделим внимание.

Задача разработки эффективной АСУ УП в ВУЗ является одной из наиболее актуальных задач общей проблемы информатизации образования. Достижение основной цели процесса обучения в системе высшего учебного заведения - формирование всесторонне развитой личности студента. Она зависит непосредственно от управления этим процессом.

Основные проблемы и решения

Работы по созданию систем управления учебным процессом были начаты еще в 1969 г. в пределах проекта АСУ ВУЗ [1;2;3]. Отсутствие теоретической базы по управлению ВУЗ, неопределенность общих компонентов модели высшего учебного заведения, довольно низкий уровень развития компьютерной техники не позволяли разработать и реализовать общую модель системы организационного управления высшим учебным заведением, поэтому каждая группа разработчиков создавала системы, которые отображали потребности конкретного ВУЗа.

Сегодня среди известных в Украине автоматизированных систем управления учебным процессом можно выделить следующие:

- автоматизированная система управления учебным процессом для высших учебных заведений всех уровней аккредитации АСК “ВУЗ”, разработанная в НИИ прикладных информационных технологий, которая является частью информационно-производственной системы “Образование” [4];
- система управления учебным процессом для высших учебных заведений “Директива”, разработанная в ООО “Компьютерные информационные технологии” [5];
- пакет программ “Деканат”, разработанный ЧП “Политек-СОФТ”, в состав которого входит модуль “ПС Студент”.

Наряду с выше перечисленными системами во многих больших ВУЗах функционируют и собственные разработки подобных систем. К ним можно зачислить:

- информационно-аналитическую систему управления высшим учебным заведением “Университет” Херсонского государственного университета;
- автоматизированную базу данных Центрального института последиplomного педагогического образования;
- средства автоматизации управления учебным заведением, которые действуют в НУ “Львовская политехника” и ЛНУ имени Ивана Франко;

- автоматизированную информационную систему “Электронный университет”, созданную в Хмельницком национальном университете;
- комплексную систему автоматизации управления учебным процессом, разработанную и введенную в эксплуатацию в Львовском институте банковского дела Университета банковского дела, г. Киев [6].

Анализируя функции перечисленных систем управления можно утверждать, что эти системы, как правило, ориентированы на задачи управления учебным заведением, т.е. являются реализациями класса автоматизированных систем управления предприятием (АСУП).

Данные системы управления обеспечивают оперативный доступ к информации, которая сопровождает учебный процесс. В тот же время основным технологическим процессом ВУЗа есть именно учебный процесс. Известно, что эффективность любой системы управления прямо связана с тем, насколько полно она решает задачи основного процесса этой системы. АСУ УП в ВУЗ должны также выполнять функцию принятия решений в построении траектории процесса обучения конкретного студента по определенной дисциплине.

Выводы

Функции и задачи автоматизированной системы управления учебным процессом должны стать первоочередным объектом теоретических исследований и практических разработок, поскольку проблема разработки эффективной АСУ ЧП в ВУЗ актуальна.

Список литературы

1. Савельев А.Я. Автоматизация управления вузом / А. Я. Савельев, Ю. Б. Зубарев, В.Е.Коваленко, Т.А. Колоскова. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
2. Ямпольский В.З. Автоматизация управления высшей школой / В. З. Ямпольский, О. М. Петров, И. Л. Чудинов, В. В. Валентинов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1987. – 176 с.
3. Анализ состояния разработки АСУ ВП: Обзорная информация. – М.: НИИВШ, 1979. – Вып. 1. – 64 с.
4. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ndipit.com.ua>.
5. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kitsoft.com.ua>
6. Петрович Й. М. Інформаційні системи управління навчальним процесом у ВНЗ: порівняльний аналіз / Й. М. Петрович, Ю. М. Римар // Логістика : [збірник наукових праць] - Львів, 2012.

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ

УДК 004.383.8.032.26

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ АДАПТИВНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ

В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный**

** Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, г. Харьков, Украина
arcade@i.ua*

Постановка проблемы и анализ литературы

Ужесточение требований к безопасности и недостаточное финансирование железнодорожного транспорта вновь выносит в перечень первоочередных задач, вопросы повышения надежности, эффективности и долговечности используемого в подвижном составе электромеханического оборудования, например асинхронного тягового электропривода. Основным направлением выхода из сложившейся ситуации, является путь разработки и внедрения, на всех основных этапах жизненного цикла электропривода, автоматизированных систем управления и диагностики. Это связано с тем, что качество работы электропривода в значительной степени зависит от тех систем диагностики, которые используются при его изготовлении и эксплуатации. Подтверждением этого служит тот факт, что на этапе изготовления привода, для увеличения уровня бездефектности, контрольно-диагностические системы составляют примерно 45-50% от общего числа используемого оборудования. На этапе эксплуатации, главной задачей диагностических систем, является определение технического состояния электропривода, определение причин отклонения контролируемых параметров от их номинальных значений, а также прогнозирование дальнейшего технического состояния используемого оборудования.

Диагностика электромеханического оборудования является чрезвычайно сложной и трудоемкой задачей, из-за слишком больших временных затрат необходимых для обработки полученной информации и сложных методов анализа отдельных диагностических параметров. Классические методы технической диагностики оказываются недостаточно эффективными при построении на их основе надежных автоматизированных систем управления. Это связано с тем, что классические

методы технической диагностики характеризуются сложной реализацией и несовершенством применяемых в них математических аппаратов [1]. Они также не позволяют адаптироваться к внешним и внутренним изменениям, происходящим в объекте управления, и не предоставляют достоверную диагностическую информацию при взаимосвязанных изменениях диагностических параметров [2]. Для решения такого рода проблем в настоящее время все чаще используются методы интеллектуальной нейросетевой диагностики, которые позволяют, не смотря на все трудности, осуществлять диагностику и прогнозирование технического состояния сложных электромеханических объектов [3]. Главным достоинством этих методов, является то, что построенные на их основе системы диагностики, отличаются высокой эффективностью, надежностью и быстродействием. В настоящее время существует целый ряд систем интеллектуальной диагностики, в который входят системы, построенные как на базе микропроцессоров, так и на базе такого математического аппарата, как нейронные сети. Применение микропроцессоров, при построении интеллектуальных систем диагностики, обуславливается в первую очередь такими неотъемлемыми их характеристиками как надежность и высокая скорость обработки информации. Также микропроцессорные системы диагностики отличаются универсальностью и широким спектром задач, которые можно решать с их помощью. В свою очередь применение различных видов нейронных сетей, при построении интеллектуальных систем диагностики, обусловлено их бесспорным лидерством при распознавании нелинейно-связанных и динамически изменяющихся диагностических параметров. Кроме того, применение нейронных сетей в диагностике, связано с тем, что нейронные сети представляют собой наилучший способ классификации образов, а также аппроксимации и экстраполяции нелинейных функций. Наличие множества разнообразных функций активации в многослойных нейронных сетях, таких как нейронные сети Хопфилда, Хемминга, нейронные сети, обучаемые методом обратного распространения и генетическими алгоритмами, обуславливает наиболее эффективную реализацию достаточно гибких нелинейных преобразований для управления и диагностики сложными динамическими объектами с взаимосвязанными нелинейными характеристиками. Также высокая степень параллелизма, которая имеет место в нейронных сетях, является предпосылкой эффективной реализации программно-аппаратной поддержки нейросетевых контроллеров в контуре управления электроприводом.

Примерами подобных систем являются системы диагностики для наиболее распространенных типов асинхронных электроприводов, таких как преобразователи частоты (*рис. 1*) и машины двойного питания с преобразователем и звеном постоянного тока (*рис. 2*). На *рис. 1* и

рис. 2 приняты следующие обозначения: МВ1-МВ3 – фазные модули выпрямителя, МИ1-МИ3 – фазные модули инвертора; ДТ1-ДТ3 – датчики фазных токов; ДН1-ДН3 – датчики линейных напряжений.

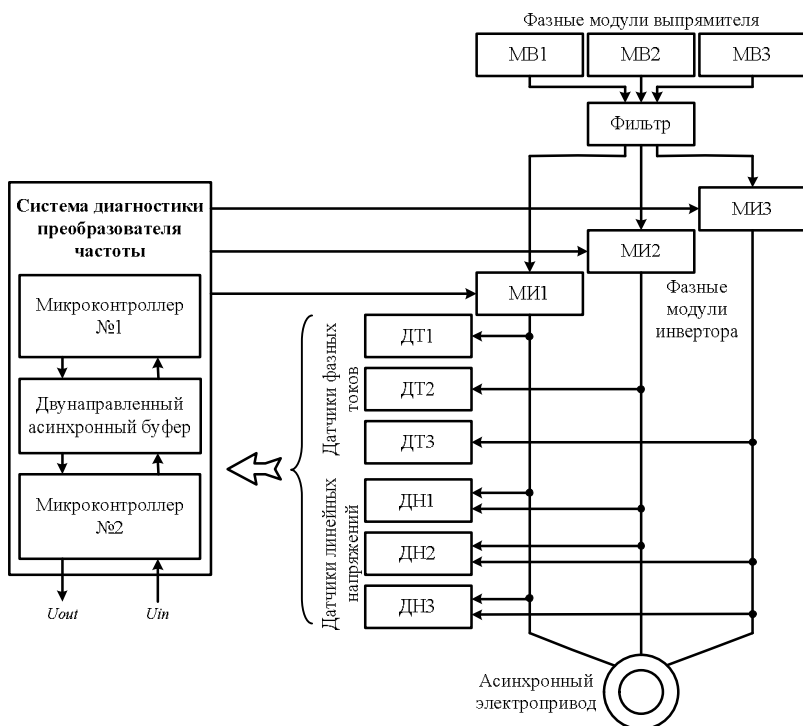


Рис. 1. Функциональная схема системы диагностики преобразователя частоты

Приведенные системы диагностики (рис. 1 и 2), разных типов асинхронных электроприводов, выделяют дефектные функциональные элемент только тогда, когда на их входы поступают допустимые входные сигналы, а на их выходе получают сигналы, которые выходят за пределы допустимых значений. При этом предполагается, что в объекте диагностирования возможен дефект лишь одного функционального элемента. Кроме того, примененный в рассматриваемых системах диагностики математический подход, позволяет легко обойти сложившиеся противоречия, между универсальностью и специализацией средств диагностики. Это становится возможным за счет разбиения используемых диагностирующих автоматов на иерархические структуры. При этом устройство верхних уровней иерархии будет универ-

сальным, а устройство нижних уровней довольно простым, с возможностью индивидуальной разработки для каждого типа асинхронного электропривода.

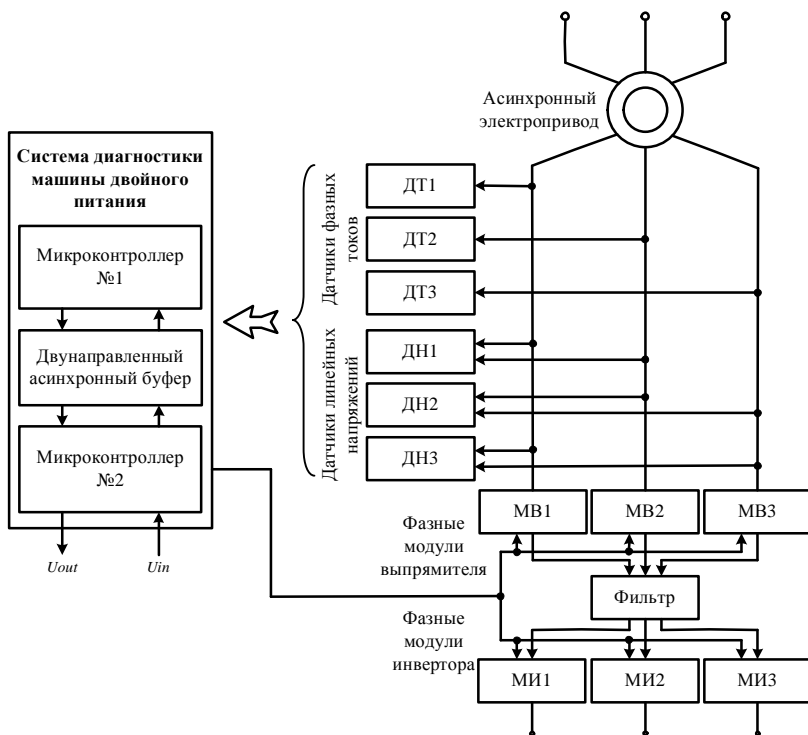


Рис. 2. Функциональная схема системы диагностики машины двойного питания с преобразователем и звеном постоянного тока

В устройстве нижнего уровня объединяется первичный датчик измеряемого параметра и схему анализа, которая дает на выходе информацию о том, вышел или нет данный параметр за установленные границы. Функциональная схема такого датчика для рассматриваемой системы диагностики приведена на рис. 3.

Датчики (рис. 3) микропроцессорной системы диагностики при адекватном проектировании, изготовлении и эксплуатации обладают достаточно высокой надежностью и могут быть унифицированы. В качестве первичных датчиков используются типовые датчики тока, напряжения и т.п. Что касается схем анализа, то они строятся либо на базе компараторов, либо на многоканальных операционных усилителях. В качестве схем сопряжения датчиков с системой управления, используется регистр с тремя выходными состояниями. Сфера приме-

нения таких датчиков не ограничивается оперативной диагностикой. С их помощью микропроцессорная система диагностики может прогнозировать аварийные режимы и обнаруживать дефектные узлы. Эти же датчики могут также обеспечивать аппаратные средства защиты электроприводов.

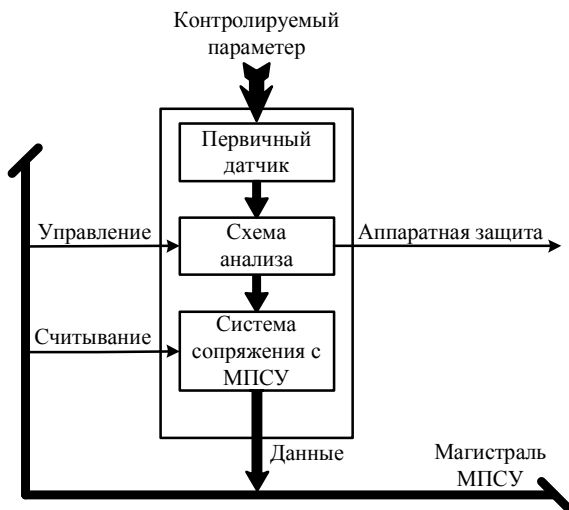


Рис. 3. Функциональная схема датчика

Верхний уровень диагностирующего автомата выполняет весьма простой набор функций опроса датчиков и выдачу соответствующей итоговой информации.

Еще одним примером системы интеллектуальной диагностики, которая позволяет осуществлять диагностику и прогнозирование технического состояния асинхронного электропривода, являются система, построенная на основе прямослойной модели нейронной сети обучаемой по алгоритму обратного распространения ошибки (рис. 4).

Данная системы интеллектуальной диагностики позволяет наряду с диагностикой осуществлять и прогнозирование технического состояния асинхронного электропривода. Это нужно для своевременного предупреждения отказов и применения таких режимов работы оборудования, при которых наилучшим образом обеспечивается заданная надежность. В данной системе технического состояния асинхронного электропривода определяется по совокупностям диагностических параметров, которые измеряются в фиксированные моменты времени. Все диагностические параметры в данной системе разделены на четыре основные группы: показатели технического состояния обмоток (активное сопротивление обмоток $R_{обм}$, индуктивность обмоток $L_{обм}$, вза-

имные индуктивности между обмотками L_m , добротность обмоток $Q_{обм}$), показатели технического состояния двигателя в динамическом режиме (максимальный момент M_{max} , момент инерции ротора J , момент сопротивления M_0), режиме холостого хода (ток холостого хода I_{xx} , угловая скорость в режиме холостого хода ω_{xx} , КПД двигателя η) и в режиме короткого замыкания (пусковой ток I_n , пусковой момент M_n). В данной диагностической системе каждая неисправность кодируется последовательностью нулей и единиц. В качестве входов нейросетевой модели используются значения каждой группы диагностических параметров, которые могут, как оказывать так и не оказывать влияние на появление различных видов неисправностей.

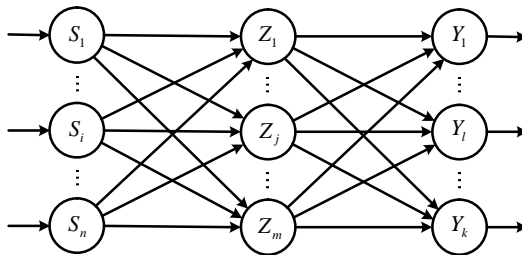


Рис. 4. Архитектура прямослойной модели нейронной сети для диагностики неисправностей асинхронного электропривода

Все рассмотренные системы диагностики ориентированы только на работу со статическими или установившимися параметрами, которые в фиксированные моменты времени характеризуют текущее техническое состояние сложных объектов управления. Но для электромеханического оборудования подвижного состава, в частности для асинхронного тягового электропривода, обязательным является контроль динамически изменяющихся диагностических параметров, как в режиме короткого замыкания, так и в режиме обрыва фазы. Таким образом, задачи разработки интеллектуальных систем управления и диагностики, способных наряду со статическими величинами осуществлять обработку и динамически изменяющихся параметров, являются на сегодняшний день актуальными и перспективными, а также представляют научный и практический интерес.

Целью статьи является разработка интеллектуальной нейросетевой системы диагностики асинхронного тягового электропривода, которая способна осуществлять контроль динамически изменяющихся параметров, к которым относится перекос фаз электропривода.

Основной раздел

Системы диагностики перекося фаз асинхронного тягового электропривода, построенная на базе иерархической нейронной сети, состоит из четырех уровней – L_0 , L_1 , L_2 и L_3 . Первый уровень иерархической нейронной сети L_0 , состоит из трех параллельно работающих модулей, каждый из которых представляет собой дискретную нейронную сеть АРТ-1У (рис. 5).

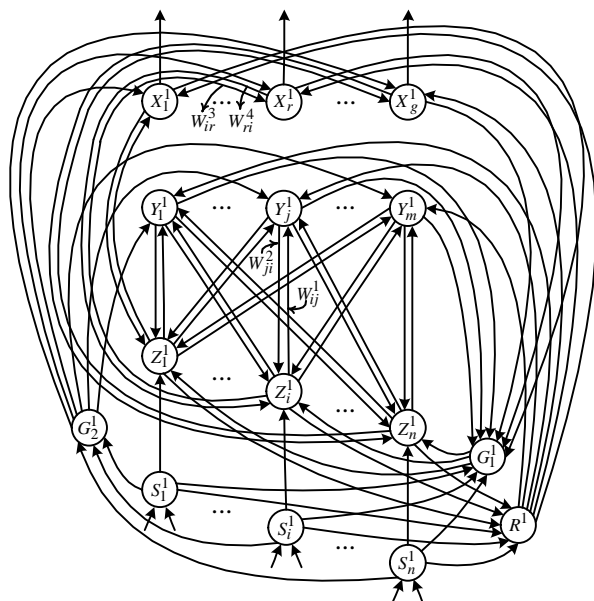


Рис. 5. Архитектура нейронной сети АРТ-1У

Базовая архитектура нейронной сети АРТ-1У (рис. 5) включает в себя сеть АРТ-1 и дополнительный слой X-нейронов. Архитектура и алгоритмы функционирования сети АРТ-1 хорошо известны и описаны в работах [4–6].

Архитектура нейронной сети АРТ-1У (рис. 5) включает в себя входной слой элементов $S^1 = (S_1^1, \dots, S_i^1, \dots, S_n^1)$, который принимает пары изображений, описывающие соответствующие фазы привода и передает их разность нейронам интерфейсного слоя Z^1 , а также активизирует и управляющие нейроны G_1^1 , G_2^1 и R^1 . Элементы интерфейсного слоя Z_i^1 ($i = 1, \dots, n$) связаны с элементами распознающих

слоев Y_j^1 ($j = 1, \dots, m$) и X_r^1 ($r = 1, \dots, g$) взвешенными связями с весами W_{ij}^1 , W_{ji}^2 ($i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$) и W_{ir}^3 , W_{ri}^4 ($i = 1, \dots, n$; $r = 1, \dots, g$). Слои распознающих элементов X^1 , Y^1 являются слоями соревнующихся нейронов, в котором каждый из элементов Y_j^1 ($j = 1, \dots, m$), X_r^1 ($r = 1, \dots, g$) может находиться в одном из трех состояний: активном, неактивном, заторможенном [6, 7]. Элементы G_1^1 и G_2^1 используются для обеспечения управления нейронами интерфейсного и распознающих слоев. С помощью нейрона R^1 определяется параметр сходства входного изображения и изображения, хранящегося в весах связей победившего нейрона, а также осуществляется затормаживание нейронов распознающих слоев Y^1 или X^1 . Y -нейроны используются в режиме распознавания, для запоминания новой информации, и в режиме обучения. Первая стадия обучения сети АРТ-1У может выполняться так же, как и в обычных сетях АРТ-1. Учитель на этой стадии только фиксирует номера нейронов, распознающих сигналы, относящиеся к каждому из заданного числа запоминаемых образов. На второй стадии обучения учитель на основе множеств весов связей между нейронами Y - и Z -слоев, относящихся к каждому из заданных образов, формирует матрицы весов связей между X - и Z -слоями элементов. Однако такой подход может требовать чрезмерного увеличения числа элементов в Y -слое, поскольку необходимо хранить информацию обо всех входных изображениях всех классов. Поэтому были разработаны алгоритмы последовательного обучения сети заданному числу образов и последовательному формированию весов связей между X - и Z -слоями нейронов. X -нейроны функционируют лишь в режиме распознавания, при этом они выполняют только распознавание, а новую информацию усваивает слой Y -нейронов. Новая информация передается в X -слой с помощью учителя в специальных режимах дообучения X -слоя нейронов.

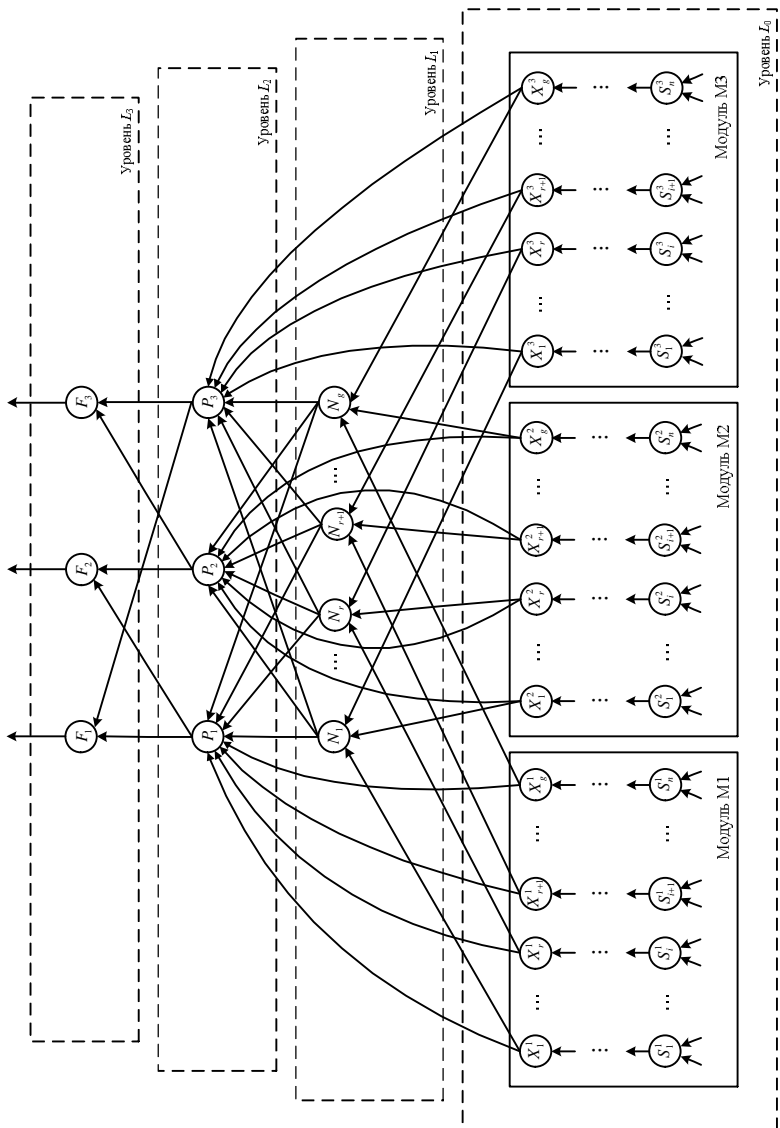


Рис. 6. Архитектура иерархической нейронной сети

Каждая из трех модулей уровня L_0 (рис. 6) на этапе обучения запоминает множество изображений, которые описывают зоны возможных изменений контролируемого параметра. При этом все множество возможных значений контролируемого параметра разбивается на зоны таким образом, чтобы они перекрывали всю область допустимых значений параметра, и каждая верхняя граница зоны отмечалась на уровне, который на 5% больше уровня верхней границы предыдущей зоны. Схематично это показано на рис. 7. Это связано с тем, что в данной системе перекосям считается отличие соответствующих фаз сдвинутых на 120 градусов, на величину более 5%. По этому нахождение контролируемого параметра в разных зонах является свидетельством того, что в данной системе произошел сбой.

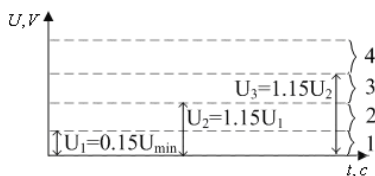


Рис. 7. Принцип разбиения множества возможных значений контролируемого параметра на зоны

На входы сенсорных нейронов каждого из трех модулей уровня L_0 подаются бинарные изображения, описывающие динамическое изменение соответствующих для каждого из модулей фаз привода. Так на модуль М1 подаются изображения описывающие изменение первой и второй фазы, на модуль М2 подаются изображения описывающие изменение второй и третьей фазы, а на модуль М3 соответственно изображения описывающие изменение первой и третьей фазы. На выходе каждого из модулей уровня L_0 получается вектор, который несет в себе информацию о принадлежности каждого преобразованного на сенсорных нейронах входного изображения (попарной разности между соответствующими фазами) к запомненным в весах связей нейронной сети зонам. На этапе обучения нейроны следующих иерархических уровней участия не принимает, они активизируются лишь на этапе работы нейронной сети в режиме распознавания входных изображений.

N -нейроны L_1 уровня предназначены для определения номера зоны, куда в результате распознавания попали более двух входных изображений. Количество этих нейронов напрямую зависит от количества зон, на которые планируется разбить все множество возможных значений контролируемого параметра. Каждый нейрон N_r ($r = 1, \dots, g$) уровня L_1 получает соответствующую информацию о

принадлежности к r -й зоне входных изображений в виде разностей соответствующих фаз, только от r -х нейронов распознающих X -слоев трех параллельно работающих модулей уровня L_0 .

На нейронах P -слоя L_2 уровня осуществляют переход от номера зоны, куда в результате распознавания попали более двух входных изображений, к номерам модулей уровня L_0 , на которые поступили изображения содержащие фазу, в которой произошел сбой. Это становится возможным благодаря тому, что на входы нейронов P -слоя L_2 уровня поступают как выходные сигналы всех нейронов предыдущего уровня L_1 , так и соответствующие им бинарные выходные вектора трех параллельно работающих модулей уровня L_0 .

На нейронах F -слоя последнего уровня L_3 анализируются выходные сигналы нейронов предыдущего уровня, и на их основе однозначно определяется номер фазы, в которой произошел сбой. Однозначное определение фазы, в которой произошел перекося, происходит за счет выявления общей фазы в изображениях подаваемых на входы соответствующих модулей уровня L_0 , номера которых были определены на уровне L_2 . На выходе нейронов уровня L_3 не исключается ситуация, когда все три нейрона F -слоя будут указывать на ошибку, т.е. на выходе F -слоя не появится ни одного единичного сигнала. Это свидетельствует о том, что все входные изображения уровня L_0 , которые описывают изменение поведения соответствующих фаз асинхронного электропривода, друг относительно друга превышают минимально разрешенный уровень более чем на 5%. Ситуация, когда на выходе F нейронов уровня L_3 появится вектор состоящий из всех единиц, будет свидетельствовать о том, что ни одно из входных изображений описывающих разность соответствующих фаз асинхронного электропривода не было классифицировано как перекося фаз.

На этапе обучения иерархической нейронной сети информация о зонах, которые необходимо запомнить, сохраняется непосредственно в весах связей трех параллельно работающих модулей L_0 уровня. При этом другие нейроны разных уровней задействуются только в процессе распознавания входных изображений. Процесс обучения трех параллельно работающих модулей, каждый из которых представляет собой дискретную нейронную сеть АРТ-1У, подобен процессу обучения дискретных нейронных сетей АРТ-1, но имеет и свои особенности. В нашем случае на вход сенсорных S нейронов каждого модуля L_0 уровня поступают пары входных векторов, которые описывают изображения соответствующих фаз. На S -слое нейронов каждого модуля L_0 уровня вычисляется разность между парами входных изображений, которая в последствии подается на следующие уровни обработки.

При этом возможны два способа разбиения всего множества допустимых значений контролируемого параметра на зоны. Первый способ допускает разбиение всего множества допустимых значений на две равные части по нулевой границе. Расположение зон в таком случае будет симметричным относительно нулевого уровня. При этом первая зона будет представлять собой неразрывное изображение, а все остальные будут разбиты на две равные части расположенные симметрично относительно нулевой границы.

Второй способ аналогичен первому способу и заключается в разбиении всего множества допустимых значений контролируемого параметра на зоны, но только для положительной составляющей входного изображения. А отрицательная составляющая изображения, которые также подлежат классификации, при этом инвертируется относительно нуля, т.е. над вектором, описывающим изображение, выполняется операция взятия по модулю, т.о. входной сигнал нейронов будет выглядеть как совокупность множества положительных составных.

Оба способа разбиения всего множества допустимых значений контролируемого параметра на зоны абсолютно одинаковы в плане точности получаемых результатов, однако по простоте реализации на первое место выходит второй способ, который и был взят за основу при построении системы диагностики перекоса фаз асинхронного тягового электропривода.

Алгоритм обучения модулей новой иерархической нейронной сети.

В алгоритмах приняты следующие обозначения:

m – максимальное число классов изображений;

n – число бинарных компонентов во входных векторах;

L – константа, которая превосходит единицу, рекомендованное значение: $L = 2$;

p – параметр сходства между входным вектором и вектором, который хранится в весах связей победившего нейрона; диапазон допустимых значений: $0 < p \leq 1$;

q – максимальное число зон на которое можно разбить все множество допустимых значений контролируемого параметра;

W_{ij}^1 ($i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$) – веса связей от элементов интерфейсного слоя к элементам распознающего слоя; диапазон

допустимых начальных значений $0 < W_{ij}^1 \leq \frac{1}{L-1+n}$; рекомендованное

начальное значение при обучении $W_{ij}^1 = \frac{1}{1+n}$;

W_{ji}^2 ($j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$) – веса связей от элементов распознающего слоя к элементам интерфейсного слоя; рекомендованное начальное значение при обучении $W_{ji}^2 = 1$ ($j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$);

$U_{\text{вх}.Y_j^1}$ и $U_{\text{вых}.Y_j^1}$ ($j = 1, \dots, m$) – соответственно входные и выходные сигналы элементов распознающего слоя;

$U_{\text{вх}.S_i^1}$ и $U_{\text{вых}.S_i^1}$ ($i = 1, \dots, n$) – соответственно входные и выходные сигналы элементов сенсорного S-слоя;

$U_{\text{вх}.Z_i^1}$ и $U_{\text{вых}.Z_i^1}$ ($i = 1, \dots, n$) – соответственно входные и выходные сигналы элементов интерфейсного слоя;

$S_r^1 = (S_{r1}^1, \dots, S_{rm}^1)$, $r = 1, \dots, q$ – бинарные входные вектора;

$\|X\|$ – норма вектора X ;

Алгоритм обучения новой нейронной сети предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Иницируются параметры сходства и веса связей всех модулей нейронной сети.

Шаг 2. Задаются нулевые выходные сигналы всех распознающих элементов модулей M1, M2 и M3 нейронной сети:

$$U_{\text{вых}.Y_j^1} = 0; U_{\text{вых}.Y_j^2} = 0; U_{\text{вых}.Y_j^3} = 0; j = 1, \dots, m.$$

Шаг 3. Для каждого входного изображения $S_r^1 = (S_{r1}^1, \dots, S_{rm}^1)$, $r = 1, \dots, q$ выполняются шаги 4 – 14. Рассмотрим принцип обучения нейронной сети на примере первого модуля M1, остальные модули (M2 и M3) обучаются аналогичным образом.

Шаг 4. Соответствующими входными векторами S_r^1 , $r = 1, \dots, q$ активируются элементы сенсорного слоя S_i^1 ($i = 1, \dots, n$) первого модуля нейронной сети:

$$U_{\text{вх}.S_{1i}^1} = S_{1i}^1; U_{\text{вх}.S_{2i}^1} = S_{2i}^1; i = 1, \dots, n.$$

Шаг 5. Определяется выходной вектор элементов сенсорного слоя S_i^1 ($i = 1, \dots, n$), как разность между соответствующими входными векторами S_r^1 , $r = 1, \dots, q$ первого модуля нейронной сети:

$$U_{\text{вых}.S_i^1} = S_{1i}^1 - S_{2i}^1, i = 1, \dots, n.$$

Шаг 6. Определяется норма вектора выходного сигнала нейронов сенсорного слоя:

$$\|U_{\text{вых.}S^1}\| = \sum_{i=1}^n U_{\text{вых.}S_i^1}$$

Шаг 7. Формируются входные и выходные сигналы элементов интерфейсного слоя:

$$U_{\text{вх.}Z_i^1} = U_{\text{вых.}S_i^1}; U_{\text{вых.}Z_i^1} = U_{\text{вх.}Z_i^1}; i = 1, \dots, n.$$

Шаг 8. Для каждого незаторможенного распознающего Y -нейрона, рассчитываются его выходные сигналы:

$$U_{\text{вых.}Y_j^1} = \sum_{i=1}^n W_{ij}^1 U_{\text{вых.}Z_i^1}, \text{ если } U_{\text{вых.}Y_j^1} \neq -1, j = 1, \dots, m.$$

Шаг 9. Пока не найден нейрон-победитель, весовой вектора которого в соответствии с заданным значением параметра сходства p , соответствует входному вектору S_r^1 ($r = 1, \dots, q$), выполняются шаги 10 – 13.

Шаг 10. В Y -слое определяются нейрон Y_j^1 , который удовлетворяют условию:

$$U_{\text{вых.}Y_j^1} \geq U_{\text{вых.}Y_j^1}, j = 1, \dots, m.$$

Если таких элементов несколько, то выбираются элементы с наименьшими индексами. Если $U_{\text{вых.}Y_{j_1}^1} = -1$, то все распознающие элементы заторможены и входное изображение не может быть запомнено.

Шаг 11. Рассчитываются выходные сигналы элементов интерфейсного слоя Z_i^1 ($i = 1, \dots, n$):

$$U_{\text{вых.}Z_i^1} = U_{\text{вых.}Y_j^1} W_{ji}^2, i = 1, \dots, n.$$

Шаг 12. Рассчитывается норма вектора выходных сигналов нейронов интерфейсного слоя:

$$\|U_{\text{вых.}Z^1}\| = \sum_{i=1}^n U_{\text{вых.}Z_i^1}.$$

Шаг 13. Проверяется по параметру сходства p правильность выбора нейрона-победителя Y_j^1 . Если $p_0 = \frac{\|U_{\text{вых.}Z^1}\|}{\|U_{\text{вых.}S^1}\|} < p$, то условие не

выполняется, элемент Y_j^1 затормаживается: $U_{\text{вых.}Y_j^1} = -1$; осуществляется переход к шагу 9 алгоритма. Если $p_0 \geq p$, то условие,

которое подтверждает правильность выбора нейрона-победителя Y_j^1 выполняется и осуществляется переход к следующему шагу алгоритма. При этом нейрону-победителю присваивается единичное значение выходного сигнала $U_{вых.Y_j^1} = 1$, а все остальные нейроны распознающего слоя, переводятся в неактивное состояние: $U_{вых.Y_j^1} = 0$, $j = 1, \dots, m, j \neq J$.

Шаг 14. Адаптируются веса связей элементов Y_j^1 :

$$W_{ij}^1 = \frac{LU_{вых.Z_i^1}}{L - 1 + \|U_{вых.Z_i^1}\|}, W_{ji}^2 = U_{вых.Z_i^1}, i = 1, \dots, n.$$

Шаг 15. Проверяется условие окончания обучения нейронной сети, если оно не выполняется, то осуществляется продолжение обучения, в противном случае осуществляется переход на следующий шаг алгоритма.

Шаг 16. Останов.

Алгоритм работы новой иерархической нейронной сети.

Сигналами, поступающими на входы сенсорных нейронов трех параллельно работающих модулей уровня L_0 , являются пары бинарных векторов, которые описывают изображения динамически изменяющихся фаз асинхронного тягового электропривода. При этом на соответствующие входы всех модулей уровня L_0 поступают следующие изображения: на входы модуля М1 поступают изображения первой и второй фазы, на входы модуля М2 – второй и третьей фазы, а на входы модуля М3 – первой и третьей фазы. На сенсорном S -слое нейронов каждого модуля уровня L_0 происходит вычитание соответствующих векторов, которые описывают изображения изменяющихся фаз асинхронного тягового электропривода. Полученный в результате вычитания вектор поступает на выходы нейронов S -слоя. Далее вектор передается нейронам интерфейсного Z -слоя, которые передают его на входы распознающих Y -нейронов для поиска соответствующего нейрона-победителя. Нейрон-победитель каждого модуля определяется в результате соревнования нейронов распознающего слоя, при этом его вектор весовых коэффициентов, в соответствии с заданным значением параметра сходства, должен соответствовать входному изображению. Полученные на выходе трех модулей уровня L_0 бинарные сигналы однозначно указывают на номера зон, в которые попали входные вектора, описывающие разности между соответствующими для каждого модуля фазами. При этом выходной сигнал распознающих Y -нейронов любого из трех модулей уровня L_0 всегда будет указывать

только на одну из обученных зон, это связано с условием однозначного распознавания сетями АРТ-1У входных наборов данных. Например, модуль М1 уровня L_0 обучен распознавать пять зон, а разность между соответствующими фазами поступающими на вход модуля М1 принадлежит к третьей зоне. Тогда выходным вектором модуля М1 будет бинарный вектор $\{0,0,1,0,0\}$.

Выходные вектора трех модулей уровня L_0 поступают одновременно на входы нейронов следующих иерархических уровней L_1 и L_2 . Уровень L_1 представляет собой последовательность N -нейронов, количество которых равно количеству планируемых зон для обучения всех модулей L_0 уровня. Каждый из N -нейронов выдает выходной сигнал только в том случае, если на его вход поступает два или более активных входных сигналов, т.е. номер активного нейрона N -слоя показывает номер зоны, в которую попали два или более входных изображения. Например, все модули нейронной сети L_0 уровня обучены распознавать входные изображения по пяти зонам. Имеется также и три входных изображения, которые представляют собой разности соответствующих фаз. Допустим, что разности между первой и второй фазами, а также между второй и третьей фазами принадлежат к четвертой зоне, а разность между первой и третьей фазой принадлежит к первой зоне, т.е. сбой произошел во второй фазе. Тогда выходные вектора трех модулей L_0 уровня будут иметь следующий вид: выходной вектор модуля М1 равен $\{0,0,0,1,0\}$, модуля М2 равен $\{0,0,0,1,0\}$ и модуля М3 равен $\{1,0,0,0,0\}$. Следовательно на вход нейрона N_1 придет следующая входная последовательность $\{0,0,1\}$, на вход $N_2 - \{0,0,0\}$, на вход $N_3 - \{0,0,0\}$, на вход $N_4 - \{1,1,0\}$, а на вход $N_5 - \{0,0,0\}$. Согласно правилу работы всех нейронов N -слоя, единичный выходной сигнал появится на выходе только четвертого N -нейрона, что указывает на принадлежность сигнала содержащего ошибки к четвертой зоне.

Уровень L_2 представляет собой последовательность P -нейронов на входы которых поступают выходные сигналы не только с предыдущего иерархического уровня L_1 , но и с уровня L_0 . Принцип работы всех нейронов P -слоя заключается в том, что они выдают единичные выходные сигналы только в том случае, когда общая сумма произведений соответствующих элементов векторов получаемых с уровня L_1 и с уровня L_0 , больше либо равна единице. Например, определим, какими будут выходные сигналы нейронов P -слоя, для рассмотренного ранее примера. На входы первого нейрона P -слоя придут следующие два вектора: $\{0,0,0,1,0\}$ – выходной вектор модуля М1 уровня L_0 нейронной сети и $\{0,0,0,1,0\}$ – выходной вектор нейронов N -слоя уровня L_1 . Тогда выходной сигнал первого нейрона P -слоя L_2 уровня будет равен $U_{выхP_1} = 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 = 1$,

аналогичным образом вычисляются все выходные сигналы остальных нейронов P -слоя: $U_{выхP_2} = 1$, $U_{выхP_3} = 0$.

В свою очередь F -нейроны L_3 уровня работают по принципу логического “И”, т.е. единичный выходной сигнал на любом из этих нейронов будет появляться только в том случае, когда на его входы придут два активных единичных сигнала. Такой принцип работы нейронов F -слоя связан с тем, что при нарушении уровня сигнала в одной конкретной фазе, уровень сигнала в двух других фазах будет приблизительно одинаковым, а значит и разности с фазой, в которой произошел сбой, будут также существенно отличаться от разности между двумя фазами без сбоя. Значит, зная разности соответствующих фаз, можно однозначно определить номер фазы, в которой произошел сбой. При этом все множество возможных выходных сигналов F -слоя L_3 уровня нейронной сети сводится к пяти комбинациям: $\{1;0;0\}$ – сбой в первой фазе, $\{0;1;0\}$ – сбой во второй фазе, $\{0;0;1\}$ – сбой в третьей фазе, $\{1;1;1\}$ – в системе нет сбоя и $\{0;0;0\}$ – общий сбой в системе, т.е. сбоят все три фазы. Все остальные комбинации $\{0;1;1\}$, $\{1;0;1\}$, $\{1;1;0\}$ в данной системе, с данным правилом срабатывания нейронов F -слоя, возникнуть не могут. Например, определим, какими будут выходные сигналы нейронов F -слоя L_3 уровня, для рассмотренного ранее примера, в котором сбой состоялся во второй фазе. Разности между первой и второй фазами, а также между второй и третьей фазами существенно отличаются от разности первой и третьей фазы, об этом свидетельствует выходной вектор уровня L_2 . В нашем примере эти разности принадлежат к четвертой зоне. При этом на входы первого нейрон F_1 уровня L_3 придет вектор $\{1;0\}$, на входы второго нейрона F_2 – $\{1;1\}$, а на входы последнего нейрона F_3 – $\{1;0\}$. Согласно правилу работы всех нейронов F -слоя, единичный выходной сигнал появится на выходе только второго F -нейрона $\{0;1;0\}$, что однозначно указывает на вторую фазу, как на фазу, в которой произошел сбой.

Математическое моделирование архитектуры и алгоритмов функционирования иерархической нейронной сети, построенной на основе дискретных нейронных сетей адаптивной резонансной теории, подтвердило работоспособность предложенной модели при распознавании перекоса фаз асинхронного тягового электропривода.

Выводы.

Разработана интеллектуальная нейросетевая системы диагностики асинхронного тягового электропривода, которая способна осуществлять контроль динамически изменяющихся параметров, к которым относится перекося фаз электропривода. На основе этой

системы могут разрабатываться системы диагностики способные самообучаться в процессе своего функционирования.

Список литературы

1. Кучерук В.Ю. Развитие теории та принципів побудови інформаційно-вимірювальних систем технічного діагностування силових електромеханічних перетворювачів: Автореф. дис. д-ра техн. наука: 05.11.16 / Вінницький нац. техн. ун-т. – Вінниця, 2005. – 35 с.

2. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры и их применение на рубеже тысячелетий в Китае. Т.2. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. –464 с.

3. Дубровин В.И., Субботин С.А., Богуслаев А.В., Яценко В.К. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей: Монография. – Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2003. – 279 с.

4. Carpenter G.A., Grossberg S. A. massively parallel architecture for self-organising neural pattern recognition machine // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54 – 115.

5. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance // Cognitive Science. – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63.

6. Fausett L. Fundamentals of Neural Networks. Architectures, Algorithms and Applications. – New Jersey: Prentice Hall Int., Inc., 1994. – 461 p.

7. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И. Основы теории нейронных сетей. – Белгород: БИИММАП, 2001. – 159 с.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС

*В.М. Салганик *, Е.Ю. Мухина *, П.П. Полецков **

** ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск
mukhinaeu@mail.ru*

В условиях рыночной экономики повышение эффективности производства и стабильность показателей качества проката часто становятся главенствующими, поскольку от них решающим образом зависит цена металла, возможность его реализации и рентабельность производства.

В настоящее время общемировые тенденции развития черной металлургии заключаются в гибком удовлетворении спроса и оптимизации технологии, снижении цен и повышении качества в целях сохранения конкурентоспособности [1].

В зависимости от назначения холоднокатаной стали к ней предъявляют различные требования, в том числе требование соответствующей отделки ее поверхности. Эти требования оговорены соответствующими стандартами и техническими условиями.

«Излом» является одним из основных дефектов холоднокатаных полос, исследования влияния различных технологических факторов на его появление проводятся постоянно.

Главными причинами образования дефекта «излом» считаются [2-4]:

- поперечный профиль подката;
- натяжение полосы при смотке на стане холодной прокатки;
- планшетность полосы после холоднокатаной прокатки;
- шероховатость полосы после холодной прокатки;
- режимы термообработки;
- условия размотки рулона на разматывателе дрессировочного стана.

Некоторые исследователи выделяют 14 причин образования рассматриваемого дефекта [5]:

- пластическая деформация металла вследствие изгиба полосы, вызывающая у ее поверхности напряжения, достигающие предела текучести;
- неправильная настройке s-образных натяжных устройств, петлевание полос при травлении;

- внутренние напряжения, возникающие в металле при структурных превращениях;
- пластическая деформация металла вследствие слияния витков полосы в рулоне при отжиге;
- высокие контактные напряжения между витками;
- высокое удельное натяжение при смотке полосы в рулон;
- высокие температуры и завышенная продолжительность отжига;
- малая шероховатость поверхности полос;
- замятие кромок полосы, наличие местных искажений профиля и формы полосы;
- неплоскостность полосы;
- неравномерная вытяжка по ширине полосы;
- наличие управляющих воздействий;
- состояние инструмента;
- высокий уровень натяжения полосы и рывки размотателя и натяжного устройства дрессировочного стана.

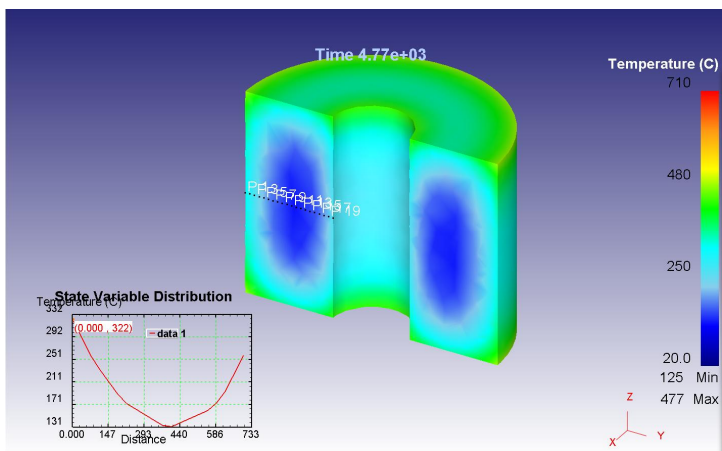
В 2008 году в ЛПЦ-5 ОАО «ММК» были рассмотрены следующие направления снижения дефекта «излом»:

- оптимизация режимов термообработки;
- оптимизация режимов натяжений на стане 2500 холодной прокатки.

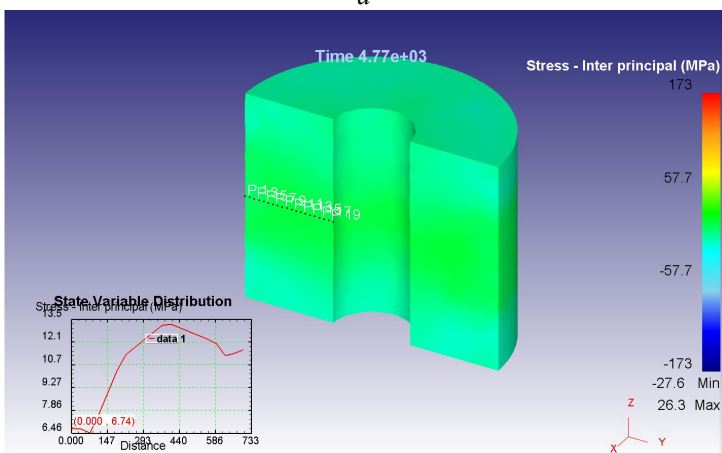
Эти мероприятия позволили снизить количество переводов в несоответствующую продукцию по дефекту «излом» к концу 2008 года до 200-400 тонн (что составляет 0,10-0,17 %) и получить экономический эффект от уменьшения количества НП за 2008 год 7,01 млн. рублей.

Технические решения в области термообработки холоднокатаных полос являются важными направлениями при устранении дефекта «излом». На данный момент (март 2012г.) в ЛПЦ-5 применяются режимы отжига в водородных печах холоднокатаного металла из ЛПЦ-11, которые базируются на принципе медленного (регулируемого с подачей тепла и без подачи под колпаком) охлаждения для снижения сжимающих напряжений в теле рулонов при остывании после отжига. Тем самым предотвращается свариваемость витков металла.

В программной среде Deform-3D был проанализирован уровень внутренних напряжений в рулонах при таких режимах отжига. Результаты моделирования представлены на рис. 1.



a



б

Рис. 1. Фрагмент расчетов полей температур и полей напряжений в теле рулона в процессе отжига в колпаковой печи в программной среде Deform-3D: а - расчет температурного поля, б - расчет поля напряжений

На основании моделирования был предложен другой принцип формирования режимов рекристаллизационного отжига, сущность которого заключается в снижении внутренних напряжений не только в процессе остывания, но и в процессе нагрева. Для этого предлагается снизить температуру по зональной термопаре и градиент температур между стендовой термопарой и ядром рулона. Для гарантированной процедуры рекристаллизации температура ядра остается прежней. Ос-

тивание металла после отжига ограничивается технологией используемой для обычного металла (выдержка под колпаком до 5 часов).

За счет исключения регулируемого охлаждения в процессе остывания металла после отжига при опытном варианте режима термической обработки не задействована работа исполнительного механизма управления процессом в колпаковой печи, что увеличивает ресурс службы оборудования (при регулируемом охлаждении этот механизм срабатывает в среднем 15 раз). Применение разработанных режимов снижает вероятность образования дефекта «излом» в 1,7 раза и увеличивает ресурс службы исполнительных механизмов управления процессом.

Список литературы

1. Pengelly A.E.S. Perspective for steel at the millenium. - "Steel Times I.t.", 1995, v. 19, №2, p. 15-19.

2. Анализ факторов, влияющих на образование дефектов поверхности холоднокатаных полос / В. М. Салганик, Т. В. Коляда, А. И. Бруссыянина // Сталь. - 2008. - №2. - С. 60-62.

3. Стринжа С. В., Горелик П. Б., Добромилов В. А., Антонов В. Ю. Анализ причин образования излома на переделах для цехов холодной прокатки. // Сталь. 1994. - №11. -С. 49 - 50.

4. Настич В. П., Блюмин С. Л., Божков А. И., Гуляев Н. И. Исследование влияния технологических факторов процесса холоднойпрокатой на образование дефекта "излом" // В кн.: Теория и практика тонколистовой прокатки. Воронеж: ВорПИ. 1986. - С. 119 - 128.

5. Причины образования дефектов «излом» и «линии скольжения» в условиях ЛПЦ-5 ОАО ММК. А. В. Горбунов, Т. М. Кочнева, А. П. Буданов, В. Н. Якименко, Т. В. Коляда. // Производство проката. 2006. – №1. – С. 8 - 10.

ВНЕДРЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ

Ф.В. Свирипов, Н.Х. Буй

*ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический
университет», г. Астрахань
post@astu.org*

На современном этапе технического развития широкое применение получили беспроводные системы передачи данных. Среди них наиболее успешные технологии: Ethernet, Wi-Fi, WiMAX, GPRS/EDGE, CDMA2000/EV-DO и xDSL. Постепенно они вытесняют проводные сети и коммуникации, так как постоянно совершенствуются и обладают рядом известных преимуществ над последними [1]. С каждым годом увеличивается мощность и радиус действия приемопередающей аппаратуры, а также их помехоустойчивость и стабильность, что повышает качество сигнала. Но, к сожалению, на судах при передаче как отдельных сигналов, так и пакетов данных приоритетными остаются кабельные линии, что увеличивает проектные, монтажные и эксплуатационные работы, а также затраты на материалы и оборудование, используемые в судостроении.

В данной статье затрагивается вопрос эффективности использования беспроводных каналов передачи данных в системах судовой диагностики, так как данные системы получают информацию о состоянии объекта диагностирования посредством датчиков и локальных контроллеров [2]. Число датчиков и измерительных устройств, устанавливаемых для диагностики судовых энергетических установок (СЭУ), достигает от нескольких десятков [3] до сотен. Для передачи сигналов от них к аналитической части диагностической системы используются длинные кабельные линии, так как эти объекты являются удаленными друг от друга на значительное расстояние. Устанавливаются дополнительные усилители и преобразователи сигналов, что снижает надежность функционирования системы в целом. Кроме того, усложнен процесс обмена информацией между оператором и техническим персоналом, который осуществляет непосредственное измерение на двигателе. Стоимость такого типа систем остается достаточно высокой, поскольку состоит из стоимости не только датчиков и первичных преобразователей, но и всего промежуточного оборудования плюс стоимость вычислительного комплекса и программного обеспечения [4]. Как следствие, системы диагностического контроля параметров технического состояния СЭУ в настоящее время недостаточно распространены на судах морского флота, несмотря на важность своевременного

получения данных о техническом состоянии и возникших дефектах. Таким образом, внедрение беспроводных каналов передачи данных в диагностические системы позволит снизить их стоимость и трудоемкость монтажа и, как следствие, повысить их востребованность на флоте.

Беспроводные системы и кабельные линии связи

Основные преимущества кабельных линий: скорость, высокий уровень безопасности передачи данных; при использовании на судах теряют свою значимость. Сокращение числа кабельных линий к датчикам - сейчас основная тенденция развития связи в промышленных условиях. Наиболее часто применяемые при автоматизации технологических процессов аналоговые линии 4...20mA, а также цифровые шинные системы, например Profibus PA и Foundation Fieldbus, являются двухпроводными. И хотя в случае кабельного соединения приборов можно говорить о простоте проверки сигнала и малых издержках на обучение персонала, такие системы связи требуют заметно более высоких затрат на проектирование, монтаж и обслуживание[5].

Поиск поврежденного участка кабельной линии зачастую требует отключения связанного с ним оборудования, применение специального инструмента и сам по себе является затруднительным в связи со сложностью конструкции судна. Применение систем беспроводной связи благодаря отсутствию расходов на кабельные материалы и низкой стоимости компонентов для подключения, распределения и дальнейшей передачи сигнала, сокращения времени простоев и расходов на обслуживание значительно снижает затраты на монтаж и эксплуатацию [5]. Повреждение одного из устройств беспроводной связи благодаря встроенной функции самодиагностики всегда локализовано в пространстве. Прокладка кабельных линий на судах снижает герметичность переборок, пожаровзрывобезопасность помещений в связи с возможным искрообразованием, требует больших затрат, дополнительных расчетов.

Преимущества беспроводного соединения

- Незначительные монтажные расходы
- Отсутствие кросса
- Меньше панель переключения
- Меньше проектной документации
- Простота проектирования
- Простота монтажа и пуска в эксплуатацию
- Наличие функции самодиагностики
- Простота обслуживания
- Простота дальнейшего расширения системы
- Простота доступа
- Новейший уровень техники

Принцип действия беспроводной линии связи

Устройства радиосвязи обеспечивают передачу сигналов на уровне 4 ... 20mA и состояний переключения, при этом используется цифровой промышленный протокол передачи данных HART-протокол. Передающее устройство подключается к датчику через соединительный кабель и принимает сигнал от датчика, одновременно являясь для него источником питания. Принимающее устройство получает сигнал по радиоканалу и выдает его через выход 4 ... 20mA или на подключаемое устройство формирования сигнала (рис. 1). После этого поступивший сигнал может обрабатываться непосредственно системой диагностики. Достаточно одного принимающего устройства, чтобы формировать несколько сигналов с датчиков для их дальнейшего использования системой диагностики (при большом количестве обрабатываемых сигналов, распределении в пространстве целесообразно формировать беспроводную сеть обработки данных).



Рис. 1. Стандартная конфигурация беспроводной сети

Замена кабельной линии связи беспроводной системой

Для замены кабельной линии связи беспроводной системой был выбран комплекс радиосвязи PLICSRADIO немецкой компании VEGA Grieshaber KG (далее VEGA). Ниже представлен сравнительный график затрат, предоставленный компанией VEGA (рис. 2) [5].

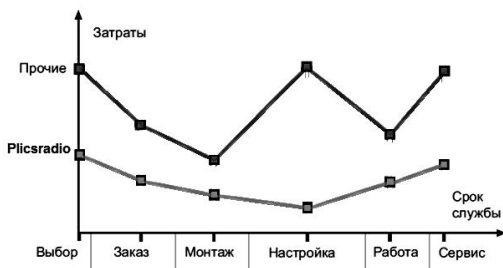


Рис. 2. Сравнительная диаграмма затрат при применении системы plics® (прочие – аналогичный продукт, представленный на рынке)

Передающие устройства PLICSRADIO оснащаются ISM-модулями в двух диапазонах частот с нелицензируемой дальностью радиосвязи. Стандартное устройство работает в диапазоне 2,4GHz. VEGA применяет высокочувствительные принимающие устройства, поэтому излучаемая мощность передатчиков составляет всего 17dBm (50mW) или 21,5dBm (140mW). Рабочий диапазон стандартного ISM-модуля 2,4GHz – до 1000м, что вполне достаточно при использовании на судне. Приемник и передатчик PLICSRADIO работают с циклической сменой 25 различных частот. Надежность увеличивается за счет высокой частотности передачи малых пакетов. Технология FHSS (скачкообразная смена рабочей частоты с расширением спектра) защищает систему от электромагнитных помех и позволяет одновременно эксплуатировать несколько подобных систем. При обнаружении помех на какой-либо частоте поврежденный пакет данных отклоняется, и после смены частоты происходит актуализация данных. Каждый приемник и передатчик необходимо подключить к токовой сети, в целом же расход кабельных материалов незначителен и возможность ошибок при прокладке кабеля минимальна, устройства PLICSRADIO выполнены в искробезопасном исполнении, не требуется разрешение на прокладку кабелей через препятствия.

Одноканальный и многоканальный способы подключения

Рассмотрим два способа подключения. Одноканальный способ подразумевает передачу сигнала от одного датчика к одному принимающему устройству. При этом не требуется дополнительного устройства формирования сигнала. Одноканальный передатчик PLICSRADIO T61 и одноканальный приемник PLICSRADIO R61 обеспечивают линию радиосвязи между датчиком HART и системой диагностирования. Передатчик подключается к датчику, а приемник устанавливается рядом с системой управления и передает на нее принятый радиосигнал в виде соответствующего сигнала 4 ... 20mA (рис. 1). Этот способ удобен для расширения установки, например, когда требуется установить дополнительные датчики в уже существующую систему. Для полной замены кабельных линий выгоднее использовать многоканальный способ.

Многоканальный способ используется при одновременной передаче сигналов с разных датчиков. При этом используемые датчики подключают к передающему устройству, которое отправляет пакеты данных на один приемник, способный обрабатывать сразу несколько сигналов. Такой приемник называют многоканальным. Многоканальный передатчик PLICSRADIO T62 и многоканальный приемник PLICSRADIO R62 обеспечивают передачу и прием сигналов HART, сигнала 4 ... 20mA и двоичных переключающих сигналов. К устройству PLICSRADIO T62 можно подключить три датчика непрерывного

измерения и два переключающих устройства. С приемника сигналы передаются на устройство формирования сигнала PLICSRADIO C62, которое обеспечивает выдачу информации через аналоговые выходы и релейные выходы, а также через интерфейсы RS232 (для модемной связи) или Ethernet (рис. 3). Для визуализации данных, передаваемых через беспроводной передатчик T61 или T62, используется беспроводное устройство индикации PLICSRADIO D61[3].

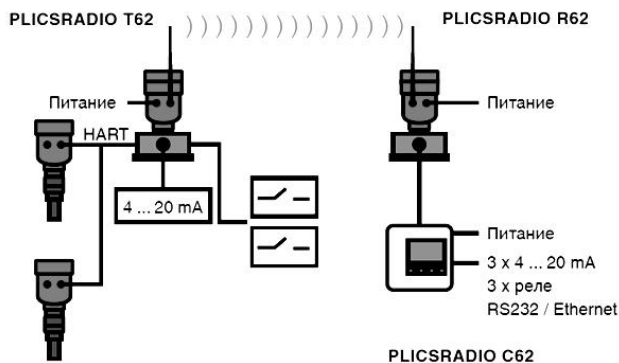


Рис. 3. Многоканальная версия беспроводной связи

Заключение

Применение беспроводных линий связи снижает стоимость монтажа и оборудования в целом, а также расходы на проектировку и обслуживание. Выбранный комплекс радиосвязи Plicsradio компании VEGA исключает использование внешних усилителей мощности, что позволяет решить задачу со значительно меньшим количеством внешних компонентов. Также возможно свободно выбирать любую комбинацию датчика, присоединения, электроники и корпуса, что облегчает проектирование, сокращает время и расходы на поставку, упрощает подключение и пуск в эксплуатацию [5, 6]. Благодаря сокращению числа кабельных линий к датчикам возрастает надежность системы диагностики, что является одним из основных критериев качества судовых систем. Бурное развитие беспроводных сетей и рост соответствующих продуктов на мировом рынке [1, 7] неизбежно повлияет на конструктивные решения в области судостроения в ближайшие годы в сторону гибридизации каналов связи и создания сетевых ресурсов, которые позволят обрабатывать возросшие объемы информации в связи с процессом технической интеллектуализации автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) без ви-

димого усложнения своей собственной структуры (беспроводный канал передачи данных не требует места для его размещения и монтажа).

Список литературы

1. Волокитин Д.А., Неретин Е.С., Резник Ю.О., Соловьев С.Ю., Чубаров О.Ю. Настоящее и будущее Ethernet-технологий в системах учета энергоресурсов // Журнал «ИСУП» 2008. № 1(17). С. 1-3.

2. Свирепов Ф.В. Интеллектуальная система управления и диагностирования судовых ДВС // Маг. дис. Астрахань, 2012. С. 13.

3. Ле Ван Диём. Модели и алгоритмы технического диагностирования судовых дизельных установок в процессе эксплуатации // Дис. ... канд. техн. наук. – СПб. 2006. С. 20.

4. Варбанец Р.А. Диагностический контроль рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации // Дис. ... докт. техн. наук. Одесса, 2010. С. 3.

5. <http://www.vega.com/downloads/PR/RU/33491-RU.PDF>

6. <http://www.vega.com/downloads/PD/RU/34773-RU.PDF>

7. Гайкович Г.Ф., Фур П. Беспроводные технологии и их применение в промышленности // Журнал «Электронные компоненты» 2010. №4. С. 46.

**СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО
РЕСУРСА НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
НА ПРИМЕРЕ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ**

Новоженин М.Б., Лютов А.Г.

*Уфимский Государственный Авиационный Технический
Университет, г. Уфа
novozhenin.maxim@yandex.ru*

При длительной эксплуатации оборудования нефтехимических производств неизбежно возникают повреждения или нарушения работоспособности его элементов даже при отсутствии дефектов изготовления и соблюдении правил эксплуатации. Это обусловлено особенностями нефтехимических производств: высокой коррозионной активностью технологических сред, высокими температурой, давлением и скоростью технологических потоков, наличием переменных температурных деформаций и сложного напряженного состояния металла оборудования.[1] Кроме того, даже при соблюдении технологической дисциплины при эксплуатации оборудования неизбежны колебания состава сырья и реагентов, в том числе содержания в них агрессивных компонентов; колебания регулируемых параметров (температуры, давления, расхода и др.), обусловленные запаздыванием регулирования: колебания внешних воздействий (напряжения электропитания, температуры и давления технологического пара, охлаждающей воды и др.).

Воздействие указанных факторов в течение длительного времени вызывает повреждение металла. Развитие микродефектов на поверхностях нагруженных элементов оборудования или отложение на них осадков, препятствующих протеканию технологического процесса. В некоторые моменты функционирования оборудования могут возникать такие сочетания параметров, которые нарушают его работоспособность, т.е. вызывают отказы.

Остаточный ресурс оборудования может иметь не только до истечения расчетного срока службы, но и после него. Это обусловлено действующими нормами и правилами расчета сроков службы оборудования, предусматривающими обеспечение прочности и износостойкости изделий при наиболее неблагоприятных режимах нагружения в заданных условиях эксплуатации, а также при минимальных уровнях механических характеристик конструкционных материалов, обеспечиваемых по государственным стандартам. Фактические режимы нагружения при соблюдении правил эксплуатации оказываются, как правило, менее напряженными, чем расчетные, что снижает интенсивность

расходования заложенных запасов (по прочности, износо- и коррозионной стойкости) обеспечивает резерв по остаточному ресурсу оборудования.[2]

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий:

- известны параметры, определяющие техническое состояние оборудования (ПТС);
- известны критерии предельного состояния оборудования;
- имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений ПТС.

По многим характерным для нефтехимического оборудования деградационным процессам (сплошной коррозии, изнашиванию, ползучести и др.) указанные условия выполняются. По другим видам повреждений (например, образованию трещин, межкристаллитной коррозии) не все условия, необходимые для прогнозирования остаточного ресурса, по данной методике могут выполняться; в таких случаях требуется проведение специальных исследований. Возможность эксплуатации сосудов, работающих под давлением, у которых будут выявлены дефекты, превышающие допустимые нормы, определяют с привлечением специализированной научно-исследовательской организации (по ОСТ 26-291-87).

Прогнозирование надежности оборудования обычно осуществляется следующей по схеме. Через определенные периоды эксплуатации t_1, t_2, \dots и т.д. измеряют максимальные величины возникших повреждений (износа, коррозии, деформаций) h_1, h_2, \dots и т.д. и экстраполируют зависимость до предельно допустимой величины повреждений h_n . Такой метод позволяет получить достаточно точные оценки показателей надежности, если известен вид зависимости $h(t)$ и при измерениях значений h определяются действительно максимальные значения повреждений, т.е. осуществляется сплошной контроль поверхностей оборудования.[3]

Вид зависимости $h(t)$ установлен для многих видов разрушения. При некоторых видах коррозии и изнашивания (трение, эрозионное) зависимость износа от времени линейная: $h(t) = h_0 + C \cdot t$, где h_0 и C - постоянные величины для заданных условий.

В зависимости от требуемой достоверности прогноза и возможностей получения информации применяют два подхода к прогнозированию: упрощенный, основанный на детерминистических оценках показателей, и уточненный, основанный на вероятностных оценках.

В данной работе предлагается подсистема интеллектуальной диагностики оборудования на базе искусственных нейронных сетей, когда существующая система технической диагностики дополнена интеллектуальной подсистемой, реализующей функции прогнозирования

диагностических параметров в реальном времени и планирования оптимальных сроков технического обслуживания и ремонта для предотвращения отказа в процессе работы оборудования.

Подсистема прогнозирования диагностических параметров и планирования оптимальных сроков технического обслуживания решает сложные, ресурсоемкие и трудно формализуемые задачи. Реализация этой подсистемы осуществляется на базе методов искусственного интеллекта, в частности, искусственных нейронных сетей, нечеткой логики и генетических алгоритмов. Подсистема реализована как внешнее аппаратно-программное устройство и работает параллельно с существующей системой технической диагностики. Для реализации подсистемы предлагается трехмерная сеть из унифицированных аппаратных модулей, которые работают как единое устройство. Каждый модуль реализует отдельную подзадачу и аппаратно выполнен как фрагмент обученной нейронной сети. В процессе работы можно добавлять или удалять модули и переобучать имеющиеся модули в реальном времени.

Коррозия является одной из основных причин снижения остаточного ресурса. Остановка процесса ректификации по причине износа стенок аппарата часто означает большие затраты в экономическом плане и может привести к остановке производственной линии.

Информация об интенсивности коррозии позволяет оптимизировать параметры технологического процесса, причем процедура выбора оптимальных технологических параметров является трудно формализуемой задачей.

Поэтому задача прогнозирования состояния ректификационной колонны и обнаружения состояния критического износа на ранних стадиях является актуальной.

Методы контроля можно разделить на две группы: прямого и косвенного контроля. Прямые методы контроля основаны на непосредственном определении размеров деталей с помощью электромеханических, оптико-телевизионных, лазерных, ультразвуковых и пневматических средств измерений. Общим недостатком данных методов является невозможность их использования во время выполнения технологического процесса (активный метод контроля).

Косвенные методы измерения состояния ректификационной колонны более универсальны и позволяют осуществлять его во время технологического процесса, т. е. не требуют дополнительного времени на измерения. Косвенные методы контроля состояния основаны на измерении различных физических величин, сопутствующих технологическому процессу: температуры, термо-ЭДС, электропроводности, виброакустических явлений.

В связи со сложностью измерения величины коррозии прямыми методами во время технологического процесса, целесообразнее применение косвенных признаков коррозии колонны.

К системе контроля состояния ректификационной колонны предъявляются следующие требования:

- учёта нелинейного и неравномерного характера изменения остаточной стойкости ректификационной колонны;
- учёта нелинейного изменения свойств материала стенок аппарата;
- прогнозирования и оптимизации параметров процесса образования коррозии;
- прогнозирование момента критического состояния ректификационной колонны;
- планирование замены ректификационной колонны.

Система диагностики должна, не останавливая процесс ректификации, в реальном времени, определить по косвенным параметрам степень износа аппарата и сравнить ее с критическим пороговым значением, при котором требуется замена колонны. Система прогнозирования должна принять решение о дальнейшей программе действий:

- оптимизировать параметры процесса резания, чтобы завершить выполнение очередной операции, без замены аппарата;
- выполнить замену аппарата после очередной операции;
- остановить процесс ректификации, чтобы выполнить замену аппарата.

В данной работе предлагается применение искусственных нейронных сетей с объемно-модульной архитектурой для решения задачи прогнозирования состояния нефтехимического аппарата, см. рис.1. При такой архитектуре нейронная сеть состоит из отдельных унифицированных модулей, представляющих собой фрагменты обученной нейронной сети, связанных между собой с помощью трехмерной сети. Применение объемно-модульной архитектуры позволяет лучше масштабировать нейронную сеть и создавать нейронные сети с большим количеством нейронов.

На вход нейронной сети подается результат обработки сигналов с датчиков, приборов и результатов анализа в виде коэффициентов разложения входного сигнала в ряд по функциям Тейлора, Фурье или Бесселя, что позволяет выделить полезные составляющие сигналов с датчиков на фоне значительного уровня помех, вызванных вибрациями, шумами и т.п.

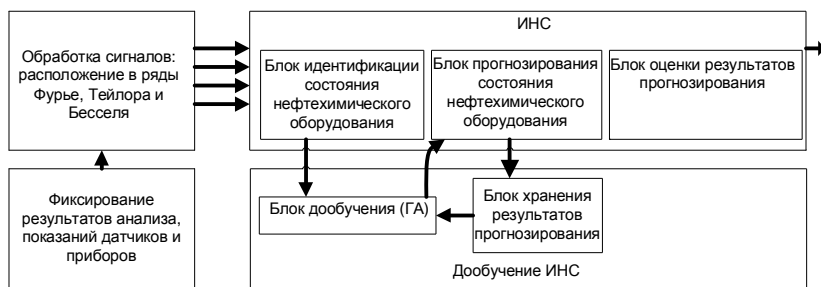


Рис.1. Функциональная схема системы диагностики состояния нефтехимического оборудования

В искусственной нейронной сети можно выделить три основных функциональных блока:

1. Блок идентификации текущего состояния нефтехимического оборудования, т.е. текущей величины износа;
2. Блок прогнозирования времени до критического износа;
3. Блок оценки результата прогнозирования, осуществляющий оценку возможности продолжения процесса оектификации на основе прогноза.

Каждый блок реализуется отдельным фрагментом обученной нейронной сети [4].

Блок идентификации определяет текущее значение величины коррозии по косвенным признакам. Блок идентификации текущего состояния нефтехимического оборудования обучается перед началом работы системы технической диагностики на основе начальной экспериментальной обучающей выборки, при этом задают необходимую точность для метода обратного распространения ошибки. Блок прогнозирования состояния нефтехимического оборудования в процессе работы обучается на основе текущих фактических данных. На вход блока прогнозирования подается текущее значение коррозии. Выходом является оценка времени до наступления критического износа.

Блок оценки результата прогнозирования получает входные данные с входов датчиков, а также с выходов блоков идентификации и прогнозирования, а на выходе формирует сигналы управления. Этими сигналами могут быть - продолжить процесс ректификации с заданными параметрами, оптимизировать параметры ректификации, приостановить процесс ректификации и произвести замену нефтехимического оборудования.

Обучение интеллектуальных блоков происходит в два этапа:

- первичное обучение при помощи метода обратного распространения ошибки;

- дополнительное обучение во время работы системы при помощи генетических алгоритмов.

На первом этапе обучения при помощи метода обратного распространения ошибки создается заведомо большая по числу нейронов сеть и большое значение среднеквадратичной ошибки обучения. В последующем при дополнительном обучении устанавливается допустимое значение среднеквадратичной ошибки, и уменьшается размерность сети за счет удаления мало значимых нейронов [5].

Дополнительное обучение производится с применением генетических алгоритмов, что позволяет обеспечить необходимую скорость и качество обучения так, чтобы следующий прогноз был более достоверным.

Исходной популяцией для генетического алгоритма является весовые коэффициенты изначально обученной нейронной сети при помощи метода обратного распространения ошибки. В дальнейшем вследствие применения генетических операторов сеть обучается.

Целесообразность применения генетических алгоритмов для обучения нейронной сети обуславливается тем, что:

- увеличивается скорость обучения, за счет меньшего количества итераций обучения;

- уменьшается вероятность преждевременной остановки обучения из-за попадания в область локального минимума.

Подсистема обучения блоков включает в себя устройство памяти для хранения результатов обучения нейронной сети и блок дополнительное обучения в процессе работы.

Оценка текущего состояния нефтехимического оборудования сравнивается с прогнозным значением, полученным на предыдущей итерации работы системы. С учетом этого, при необходимости, производится дополнительное обучение блока прогнозирования. Время дополнительного обучения с помощью генетического алгоритма должно быть меньше временного интервала формирования и выдачи выходных сигналов в нейронной сети.

Таким образом, предполагается следующая система диагностики, которая позволяет:

- строить модель динамики изменения остаточного ресурса;
- учитывая нелинейность технологических параметров ректификации колонны;
- проводить постоянное дополнительное обучение на основе фактических данных при помощи генетических алгоритмов.

Использование интеллектуальной системы диагностики в автоматизированном производстве позволяет повысить надежность и безопасность за счет своевременной замены изношенного нефтехимиче-

ского оборудования и ввода корректировок управляемых параметров при ректификации.

Список литературы

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. -М.: Машиностроение, 1978.-240 с.

2. Вудфорд Д. Повреждение при ползучести и концепция остаточной долговечности. - Теоретические основы инженерных расчётов. (TR.ASME),1979, т.101, №4 с-1-8.

3. Михляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудрявцев В.Г. Кинетика разрушения. - М.: Металлургия, 1979.-279с.

4. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс/ пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006.

5. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001, - 382с.

КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО АГЛОМЕРАТА

*М.Ю. Рябчиков**, *В.В.Гребенникова**, *Бурдина О.В.**

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
mr_mgn@mail.ru, greb 1981@mail.ru*

Комплексная оценка качества металлургического агломерата является актуальной задачей с момента появления процесса агломерации железных руд. Проблемами, связанными с созданием комплексной модели качества агломерата, являются: значительное число факторов, влияющих на процесс при отсутствии достаточного объема результатов экспериментов, где факторы поддерживались бы на четко заданных уровнях, а также сложность постановки и проведения таких экспериментов в условиях действующего производства. Разрозненная информация по агломашинам, обладающими существенными различиями в конструкциях элементов и в режимах работы, затрудняет создание единой статистической модели.

На показатели качества оказывают влияние как химико-минералогический состав шихты, так и технологические факторы ведения процесса. При выборе рациональных режимов работы агломашины следует учитывать, что изменения одних и тех же факторов могут существенно разнонаправлено влиять на показатели качества. В таких условиях важной является задача выбора некоторого компромисса – например, путем оптимизации процесса агломерации, исходя из некоторого комплексного критерия качества, учитывающего связь технологии с химико-минералогическим составом.

Одним из показателей качества в холодном состоянии является механическая прочность агломерата (TI - Tumble Index), которая находится в прямо пропорциональной зависимости от продолжительности высокотемпературной выдержки материала, влияние которой на горячую прочность агломерата (RDI - Reduction Degradation Index) прямо противоположно. Как правило, RDI ухудшается (т.е. увеличивается количество образовавшейся при восстановлении мелочи) с увеличением продолжительности выдержки спекаемого материала при высокой температуре [1].

На рис. 1 показана связь между металлургическими свойствами агломерата и продолжительностью высокотемпературной выдержки (временем пребывания при высокой температуре) материала при спекании. Горизонтальными пунктирными линиями на рисунке выделен диапазон качественных характеристик агломерата, удовлетворяющий

предъявляемым требованиям к металлургическим свойствам. Приведенный рисунок показывает, что для получения приемлемых величин холодной и горячей прочности агломерата существуют предельные уровни верхнего и нижнего пределов продолжительности выдержки, выход за которые снижает качество агломерата.

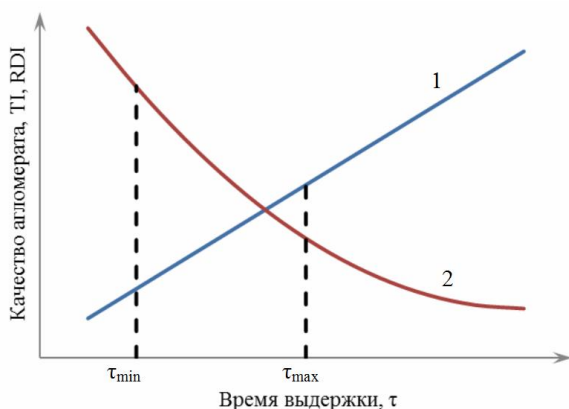


Рис. 1. Зависимость качества агломерата от продолжительности высокотемпературной выдержки материала: 1 - механическая (холодная) прочность (TI); 2 - прочность при восстановлении (RDI)

Снижение степени восстановления и увеличение содержания закиси железа в железорудных материалах приводит к снижению температур размягчения материала и увеличению интервала температур от размягчения до расплавления, образованию вязких масс с низкой газопроницаемостью и увеличением перепада давления в этой зоне. В результате при хорошем отсеве мелочи из агломерата и достаточной прочности его при восстановлении в твердом (сыпучем) состоянии «запирающей» зоной станет зона размягчения-плавления.

Повышение горячей прочности за счет снижения восстановимости возможно только при наличии большого количества мелочи в скиповом агломерате и низкой начальной горячей прочности при восстановлении до температур размягчения. Предположительно увеличение восстановимости при низком значении TI приводит к существенному снижению горячей прочности (RDI - растет). При высоком значении TI увеличение восстановимости в меньшей степени сказывается на значении RDI.

Если время высокотемпературной выдержки является одним из ведущих технологических факторов, то с позиции химического состава ведущим показателем является основность агломерата ($\text{CaO} / \text{SiO}_2$).

На рис. 2, 3 приведены зависимости восстановимости агломерата RI и механической прочности TI от основности для условий ОАО «ММК».

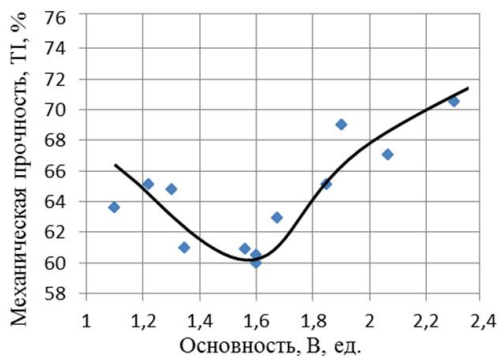


Рис. 2. Влияние основности на холодную прочность агломерата

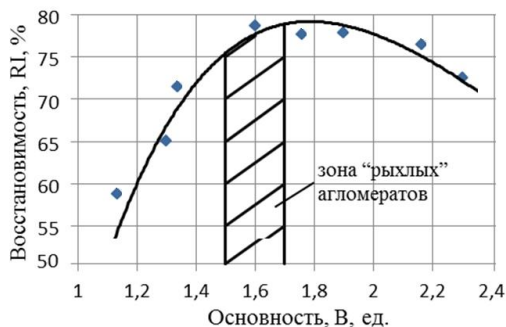


Рис. 3. Влияние основности на восстановимость агломерата

Из рис. 2 видно, что для условий ОАО «ММК» интервал критической прочности наблюдается при основности 1,4-1,7, а минимум холодной прочности приходится на основность 1,6.

Для руд различных типов повышение основности сказывается на изменении прочности в различной степени. Концентраты из железистых кварцитов являются тонкозернистыми материалами, основным породным минералом которых является кварц. Например, для оленегорского концентрата введение известняка сопровождается уменьшением выхода класса 0 – 2 мм в агломерате. При увеличении основности до 0,75 наблюдается увеличение содержания в агломерате класса >15 мм и некоторое повышение содержания класса 2-10 мм. Дальнейшее повышение основности до 1,4 резко снижает содержание класса

>15 мм в результате увеличения количества зерен размером 2 – 10 мм. Таким образом, повышение основности до уровня порядка 1,45 позволяет снизить долю крупных фракций, максимально увеличив долю минимально допустимых фракций порядка 7 – 10 мм.

Наибольшее негативное воздействие SiO_2 на механическую прочность оказывает в диапазоне основности ($\text{CaO} / \text{SiO}_2$) 0,6 – 1,6. Минимальная прочность агломерата при наличии существенных количеств SiO_2 обычно соответствует основности 1,3 – 1,5. Вредное воздействие оказывает присутствие в структурах агломерата хрупкого стекла, в особенности двухкальциевого силиката. Последний при охлаждении куска агломерата (675°C) претерпевает полиморфное превращение от $\text{B-Ca}_2\text{SiO}_4$ к $\text{Y-Ca}_2\text{SiO}_4$, в ходе которого объем этой фазы возрастает на 11 – 12%. Это создает огромное внутреннее напряжение в куске агломерата, его прочность резко снижается. Дальнейшее увеличение основности приводит к появлению Ca_3SiO_5 , не подверженного полиморфным превращениям. Уменьшается количество хрупкого стекла, появляется новая прочная связка - ферриты кальция; структура агломерата становится более однородной. Все это способствует повышению прочности агломерата. Таким образом, высокоосновный агломерат оказывается таким же прочным, как нефлюсованный агломерат. Необходимо отметить, что CaO , содержащийся в рудной части, не допускает перехода к $\text{Y} - \text{Ca}_2\text{SiO}_4$ форме.

Наличие Al_2O_3 задерживает образование силикатов кальция, которые появляются в агломератах при значительно более высоких степенях основности (выше 1,5), что обусловлено расходом CaO на образование геленита. Кроме того, Al_2O_3 повышает склонность расплава к стеклообразованию. Минимум механической прочности при умеренном содержании Al_2O_3 1,5 – 3% в шихте смещается в область основности 1,6 – 1,7. Схожее действие на прочность оказывает P_2O_5 , однако его добавление, как правило, в большей степени предотвращает переход к $\text{Y} - \text{Ca}_2\text{SiO}_4$.

Несмотря на то, что для условий ОАО «ММК» диапазон критической с точки зрения механической прочности основности приходится на интервал 1,5-1,7, именно такой агломерат и производится в силу того, что на данный интервал приходится максимум восстановимости RI , см. рис. 3.

Для связи показателей качества производимого агломерата введём комплексный критерий качества, учитывающий не только влияние исходного состава шихтовых материалов, но и время пребывания материала в высокотемпературном состоянии. Комплексный критерий основан на кривых желательности показателей качества, представленных на рис. 4 и 5, которые являются нормальным гауссовым распределением. При этом на практике зависимости TI и RDI постоянно дрей-

фуют в зависимости от основности и скорости аглоленты (времени выдержки). Зависимости на рис. 4 получены с применением математической модели [2].

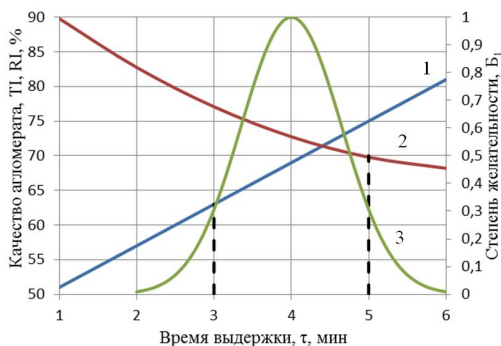


Рис. 4. Функция желательности для времени высокотемпературной выдержки агломерата: 1 - механическая (холодная) прочность (TI); 2 - восстановимость агломерата (RI); 3 - функция желательности

Н.Р. Мансуровой рекомендуется в условиях ОАО «ММК» получать агломерат низкой и высокой основности. В связи с этим функция желательности на рис. 5 находится в двух диапазонах основности 1,1-1,5 и 1,7-2,1.

Комплексный критерий является функцией зависимости механической прочности и восстановимости агломерата от времени выдержки в высокотемпературном состоянии и функцией зависимости механической прочности от основности, которая учитывает влияние химико-минералогического состава шихтовых материалов. Математически комплексный критерий можно представить в виде функции взвешенного среднего:

$$B_{\text{общ}} = \frac{a_1 B_1 + a_2 B_2}{a_1 + a_2},$$

где $B_{\text{общ}}$ – комплексный критерий качества агломерата; a_1 – коэффициент влияния времени выдержки в высокотемпературном состоянии; B_1 – функция зависимости механической прочности и восстановимости агломерата от времени выдержки в высокотемпературном состоянии; a_2 – коэффициент влияния химико-минералогического состава аглошихты; B_2 – функция зависимости механической прочности от основности.

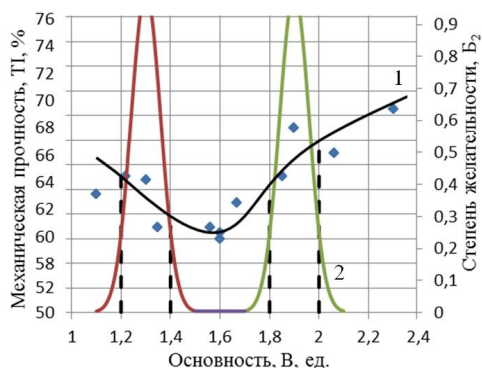


Рис. 5. Функция желательности для основности: 1 - механическая (холодная) прочность (TI); 2 - функция желательности

С применением динамической математической модели агломерационного процесса, основанной на представлении слоя пирога набором конечных объемов [2] рассчитали изменение комплексного критерия в зависимости от основности и содержания коксика и представлено в табл. 1.

Таблица 1

Комплексный критерий качества при разных режимах работы

Параметры агломерата				Параметры процесса	
Основность, ед.	TI, %	RI, %	B _{общ}	Производительность, т/ч	Содержание коксика, %
1,3	64,94	75,39	0,92	117,88	2,8
	68,25	68,14	0,90	109,56	4,0
	66,61	69,58	0,98	112,37	3,5
1,65	61,69	77,94	0,50	114,43	2,7
	60,66	75,57	0,24	121,88	3,4
	62,28	74,64	0,48	115,75	3,8
1,9	72,69	75,85	0,80	120,56	2,6
	71,66	70,41	1,00	113,24	3,6
	72,28	73,22	0,89	118,51	3,1

В настоящее время на ОАО «ММК» получают высоковосстановимый агломерат с относительно низкой механической прочностью, который, предположительно, может служить причиной некоторого снижения производительности доменной печи из-за уменьшения газопроницаемости столба шихтовых материалов в верхней части шахты, снижению доли косвенного восстановления за счёт реакций протек-

кающих при умеренных температурах до поступления материала в зоны фурменных очагов, что также может приводить к увеличению расхода кокса.

Предложенный критерий затрагивает только качество агломерата, не учитывая расход коксика и производительность агломашины, которые при желании также могут быть интегрированы в данный показатель с определёнными весовыми коэффициентами, варьируя которые можно менять значимость отдельных составляющих комплексного критерия качества.

Предложенный критерий позволяет управлять производством агломерата гибко, не в одном экспериментально найденном режиме, а варьируя производительностью и расходом коксика для получения агломерата заданной основности с заданными значениями показателей качества с использованием результатов математического моделирования агломерационного процесса [3, 4].

Список литературы

1. Чижикова В.М. Агломерация: Современный аспект / Н.А. Савчук, В.М. Чижикова - М.: Metallurgia, 2004. - 124 с.

2. В.И. Коротич, Ю.А. Фролов и др. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003.

3. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, С.М. Андреев, В.В. Гребенникова. Модель качества металлургического агломерата. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – № 2012619150. ОБ ПБДТ. 2012. № 1.

4. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, В.В. Гребенникова. Имитационная модель процесса агломерации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – № 2012619151. ОБ ПБДТ. 2012. № 1.

ПЕРЕСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХОЛОДНОЙ ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО АГЛОМЕРАТА В РАЗЛИЧНЫЕ СИСТЕМЫ

М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова*, О.С. Гиляев**

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
mr_mgn@mail.ru, greb 1981@mail.ru*

Оценка качества металлургического агломерата является актуальной задачей с момента появления данного процесса. Одной из проблем оценки является наличие нескольких действующих стандартов на методы экспериментального определения показателей качества агломерата, что затрудняет разработку моделей качества агломерата [1, 2]. Общеизвестными показателями качества оценки свойств агломерата являются [3]:

- механическая холодная прочность (TI);
- прочность на истирание (g);
- восстановимость (RI);
- прочность после восстановления (RDI);
- температура размягчения – начальная и конечная;
- температурный интервал размягчения.

При оценке свойств агломерата в СССР использовали методы ГОСТ. Например, ГОСТ 15137-77 регламентирует оценку барабанных показателей холодной механической прочности как процентное содержание фракции +5 мм в годном агломерате после 8 мин обработки во вращающемся с частотой 25 об./мин барабане диаметром 1000 и длиной 500 мм, снабженном по внутренней поверхности двумя уголками [4].

В мировой практике получил распространение стандарт ISO, согласно которому показателем холодной механической прочности является индекс ISO TI (Tumble Index) – процентный выход материала фракции более +6,3 мм после проведения испытания, при котором 15 кг агломерата фракции от 10 до 40 мм помещается в барабан диаметром 1 м и делается 200 оборотов со скоростью 25 оборотов в минуту.

Существует огромная база данных старых, не нормированных по современным требованиям, в этой статье предлагается пересчитать эти данные, чтобы создать единую базу данных.

Для примера возьмём следующие данные, представленные в табл.1.

Таблица 1

Исходные данные

№ п/п	Основ-ность	расход кокса, уд.ед.	доля 0-2 мм	доля 2-10 мм	доля 10-15 мм	Доля >15 мм
1	1,2	2,5	13	36,5	15	32,5
2	1,2	3	13	37,5	15	34
3	1,2	3,5	14	40	16,5	31
4	1,2	4	15	43	21	25
5	1,2	5	16	40	18,5	27,5
6	1,2	6	16,5	37	16	30

По мировым стандартам нам необходимо знать процентный выход материала фракции более +6,3 мм.

Для расчёта возьмем вариант №6.

Сначала необходимо рассчитать функцию плотности распределения, для этого можно использовать формулу:

$$P_i = \frac{v_i}{\Delta D_i},$$

v_i - доля появления в диапазоне ΔD_i ; P_i - значение функции плотности распределения появления в диапазоне ΔD_i .

Рассчитаем:

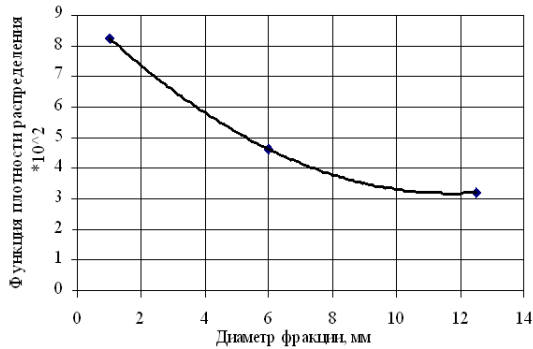
- для $v_i=16,5$; $\Delta D_i=2$; $P_i = \frac{16,5}{2} = 8,25$;

- для $v_i=37$; $\Delta D_i=8$; $P_i = \frac{37}{8} = 4,625$;

- для $v_i=16$ $\Delta D_i=5$; $P_i = \frac{16}{5} = 3,2$.

Построим точки на графике, рис. 1.

Определим функциональную зависимость между функцией плотности распределения и долей фракции. Аппроксимировать можно либо квадратичной функцией, при условии, что в исследуемой области отсутствует экстремум либо степенной функцией. В данном расчёте применим квадратичную функцию.



$$p = 0,034783 v^2 - 0,843478 v + 8,808696$$

Рис. 1. Функция плотности распределения

Чтобы получить долю появления фракции в диапазоне больше 6,3 мм рассчитаем:

$$V_{>6,3} = V_{>15} + V_{10-15} + V_{6,3-10}$$

Для этого возьмём интеграл от функции в диапазоне от 6,3 до 10 мм:

$$\begin{aligned} v_{6,3-10} &= \int_{6,3}^{10} p_i dv = \int_{6,3}^{10} (0,034783v^2 - 0,843478v + 8,808696) dv = \\ &= \left(\frac{0,34783}{3} 10^3 - \frac{0,843478}{2} 10^2 + 8,808696 \cdot 10 \right) - \\ &- \left(\frac{0,34783}{3} 10^3 - \frac{0,843478}{2} 10^2 + 8,808696 \cdot 10 \right) = 15,8523 \end{aligned}$$

Для того чтобы рассчитать $v_{>6,3}$:

$$v_{>6,3} = v_{>15} + v_{10-15} + v_{6,3-10} = 30 + 16 + 15,8523$$

Аналогичным образом рассчитаем остальные строки табл.1 получим данные представленные в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные и полученные расчётные значения

№ п/п	Основность	Расход кокса, уд.ед.	доля 0-2 мм	доля 2-10 мм	доля 10-15 мм	Доля >15 мм	Доля > 6.3 мм
1	1,2	2,5	13	36,5	15	32,5	59,0
2	1,2	3	13	37,5	15	34	60,8
3	1,2	3,5	14	40	16,5	31	60,2
4	1,2	4	15	43	21	25	60,1
5	1,2	5	16	40	18,5	27,5	58,3
6	1,2	6	16,5	37	16	30	61,8

Таким образом, был проведен пересчет показателя механической холодной прочности Т1 (доля > 6.3 мм).

Список литературы

1. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, С.М. Андреев, В.В. Гребенникова. Модель качества металлургического агломерата. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – № 2012619150. ОБ ПБДТ. 2012. № 1.

2. М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, В.В. Гребенникова. Имитационная модель процесса агломерации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – № 2012619151. ОБ ПБДТ. 2012. № 1.

3. Чижикова В.М. Агломерация: Современный аспект / Н.А. Савчук, В.М. Чижикова - М.: Металлургия, 2004. - 124 с.

4. В.И. Коротич, Ю.А. Фролов и др. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003.

СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ШАХТНЫХ ПОГРУЗО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН

А.В. Макаров, М.В. Вечеркин

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
makarov@mgn.ru, max_vecherkin@mail.ru*

В настоящее время распространенным типом погрузочного горного оборудования, работающего на подземных зарубежных рудниках, являются высокопроизводительные погрузочно-доставочные машины (ПДМ). Они применяются при камерно-столбовой системе разработки, системе горизонтальных слоев с закладкой, при системах с магазинированием руды, подэтажного и этажного обрушения, а также на горнопроходческих работах. Применение ПДМ предусматривается также в проектах строительства новых горнорудных предприятий.

На очистных и проходческих работах эксплуатируется несколько видов погрузочно-доставочных машин. Можно выделить две основные группы: машины с аккумулярующей емкостью, загружающие руду ковшем в свой бункер для последующей доставки, к которым относятся «Транслодер» и «Экспаскуп» фирмы «Джой» (США, Франция), «Аутолодер» фирмы «Атлас Коп ко» (Швеция) и некоторые модели «Эймко» (США); машины, транспортирующие руду в ковше, к которым относятся ЛНД фирмы «Эймко», «Скуп Трем» фирмы «Вагнер» (США). ПДМ фирмы «Шопф» (ФРГ) и «Скупмобиль» фирмы «Вабко» (США).

На рис. 1 и рис.2 показаны ПДМ со вторым вариантом погрузки руды. Первая машина (рис. 1) производителя «CatterPillar» R1700G, вторая ПДМ-95-02 производства магнитогорского завода «УралСпецМаш» (рис. 2). На сегодняшний день конструкции обеих машин тщательно проработаны, не без влияния требований заказчика.

Внешне эти машины являются аналогами. Металлоконструкции во многом схожи. Паспортная грузоподъемность ПДМ «CatterPillar» на 2,5 тонны больше ПДМ-95-02 и составляет 12,5 тонн.

Принципиальное отличие этих машин заключается в значительном упрощении электрических схем и отказ от электронной системы взвешивания, диагностирования и контроля в ПДМ-95-02. Этот шаг обусловлен как условиями эксплуатации, так и в значительной степени особенностями психологии обслуживающего персонала российских предприятий.



Рис.1. Погрузо-доставочная машина R1700G «CatterPillar»



Рис. 2. Погрузо-доставочная машина ПДМ-95-02

Погрузо-доставочные машины эксплуатируются в тяжелых условиях высокой запылённости и влажности, при значительных механических нагрузках циклического и ударного характера. Несмотря на то, что все электрические соединения выполнены с высокой степенью защиты, под действием вибраций или других факторов, соединения могут быть нарушены. При любом нарушении соединения электронная система контроля будет сообщать об этом оператору, выводя соответствующую ошибку на рабочий монитор. При некоторых, даже незначительных нарушениях, контроллер машины будет блокировать системы, пока ошибка не будет исправлена. Пуск машины в этом случае невозможен.

В процессе работы ПДМ высока вероятность обвала породы. В такой ситуации оператор должен вывести машину из-под обвала. Однако система контроля может заблокировать движение машины даже при незначительных повреждениях, в результате чего машина может остаться под завалом, что кроме материальных потерь несет прямую

угрозу жизни и здоровью человека. Сама возможность подобной ситуации крайне негативно сказывается на психологическом состоянии оператора.

Кроме этого, наличие даже незначительных неисправностей вызывает срабатывание защиты и, как следствие, простой в работе ПДМ. Даже кратковременные простои, связанные с ожиданием сервисных служб, вызывают негативную реакцию обслуживающего персонала, заработная плата которого напрямую зависит от объемов перевезенной руды.

Наличие системы автоматического взвешивания руды в ПДМ R1700G «CatterPillar» не дает возможность завышать объемы выработки, что в российских условиях часто приводило к умышленной порче таких систем.

Совокупность упомянутых проблем заставила разработчиков существенно упростить электрическую часть, включая систему контроля. От системы взвешивания на ПДМ-95-02 было решено отказаться. При этом на контрольную панель оператора (рис. 3) выведены лишь наиболее важные для работы и безопасности показатели, такие как давление масла в двигателе, температура головок двигателя, температура масла в двигателе, уровень топлива, уровень заряда аккумуляторов. Набор этих данных является достаточным для работы оператора.



Рис. 3. Панель оператора ПДМ-95-02

Контроль остальных параметров, а также оценку общего технического состояния ПДМ должна осуществлять специально обученная сервисная служба. Однако, как показывает практика, такая служба не всегда ответственно подходит к своим обязанностям, а может и не существовать как таковая. В то же время, отсутствие контроля за некоторыми параметрами ПДМ может привести с существенным материальным затратам. Например, если не контролировать давление масла в коробке передач, то банальную операцию по доливке масла придётся в итоге заменить ее ремонтом или заменой.

Для исключения подобных ситуаций изначально и была придумана электронная система контроля на R1700G «CatterPillar». При достаточном профессионализме и ответственности оператора, а также нали-

чии сервисной службы существование подобной системы позволяет значительно продлить срок эксплуатации машины и избежать неоправданных расходов на ремонт.

С учетом опыта эксплуатации ПМД в российских условиях предлагается создание системы контроля, в которой будут сохранены большинство функций контроля и диагностирования R1700G «Catter-Pillar», но информация поступает не оператору, а ответственному лицу (диспетчеру), на которого возлагается обязанность обеспечивать бесперебойную работу ПМД и их своевременный ремонт.

В этой системе значительная часть информации о состоянии машины не отображается на экране оператора, а передается диспетчеру по каналу Wi-Fi (рис. 4).

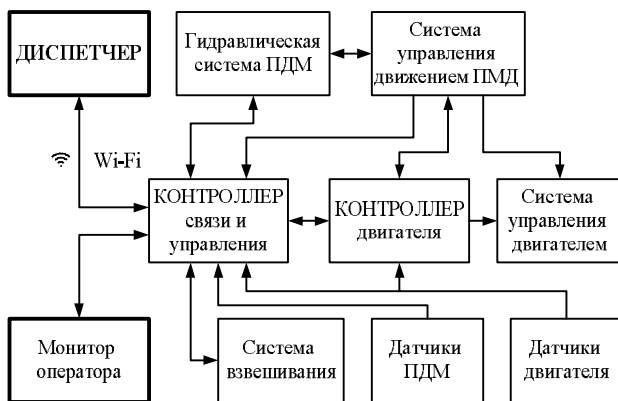


Рис. 4. Структура системы контроля и управления ПМД

Наличие канала радиосвязи позволит не только оценивать техническое состояние ПМД в процессе эксплуатации, но и контролировать местоположение машины, а также обеспечивает возможность голосовой связи между оператором и диспетчером для координации их действий.

Современные радиомодули Wi-Fi достаточно дешевы и их внедрение не требует существенных материальных затрат. Радиомодули могут быть размещены вдоль линии электропроводки на расстояниях, обеспечивающих устойчивую связь между ними.

Основой системы является контроллер связи и управления, на который поступают информационные сигналы со всех систем двигателя. Так, существующие на R1700G датчики позволяют получать следующую информацию:

- давление масла в коробке передач и двигателе;

- температура масла в гидравлической системе;
- температура масла коробке передач и двигателе;
- температура тормозной жидкости;
- наличие воды в топливе;
- засор фильтра топливного бака;
- засор воздушных фильтров и др.

Контроллер связи и управления непрерывно анализирует сигналы и оценивает их соответствие установленным уровням. При наличии несоответствий контроллер передает информацию о состоянии ПДМ диспетчеру. При отсутствии связи по радиоканалу информация записывается в оперативную память контроллера и сохраняется в ней до момента появления связи.

Подобный подход избавляет оператора от анализа большого объема второстепенной информации. Система не предусматривает возможности блокировки движения ПМД при незначительных неисправностях, что дает оператору уверенность в управляемости машины в различных нештатных ситуациях. В то же время,

Информация о состоянии ПМД по радиоканалу может собираться в автоматическом режиме и сохраняться для дальнейшего анализа диспетчером или специалистами-ремонтниками. Это делает диагностику более оперативной, можно ознакомиться с проблемой заранее, у сервисной службы появляется возможность подготовиться к её устранению.

Наличие системы диспетчеризации обеспечивает связь между операторами машин и диспетчером, который находится на поверхности. Это позволит сократить время транспортировки грузов, так как в некоторых шахтах размер тоннеля недостаточен для разъезда двух встречно идущих машин. Кроме этого, существенно повышается безопасность труда, так как наличие связи позволит быстрее реагировать в опасных ситуациях.

Таким образом, разработка и внедрение предложенной системы контроля позволит повысить качество управления горнодобывающим производством, использующим шахтные погрузо-доставочные машины.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

*П. И. Каландаров * , Б. П. Искандаров ***

** Ташкентский Государственный технический
университет, Ташкент, Узбекистан,*

*** Азиатский Тихоокеанский университет технологии и инновации (УСТИ),
Куала-Лумпур, Малайзия*

** Polvon_1955@yahoo.com, ** bek3006@bk.ru*

Актуальность работы

Технический процесс в агропромышленном комплексе (АПК) требует необходимости создания агрегатов и линий большой единичной мощности, реализации безотходных энергосберегающих и экологически сбалансированных технологических схем. Для решения этой проблемы в промышленности АПК должны функционировать только оптимально организационные схемы и агрегаты, оснащенные современным средством контроля качества и свойств основных продуктов.

В этих условиях значительно возрастает актуальность проблемы совершенствования и повышения эффективности управления технологическими процессами и агрегатами. В наиболее завершенном виде решения этой проблемы воплощаются в создании и внедрении автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

Централизация средств автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, блокировки и сигнализации создает благоприятные условия для реализации АСУТП. Отсутствие приборов контроля над качеством сырья, полуфабрикатов и готовой продукции предприятий АПК сужает возможности АСУТП в области управления технологией производства продуктов АПК и выпуска продукции высшего качества.

Основные проблемы и решения

Обратимся к процессам экстракционного производства хлопкового масла с твердой фазой, куда относятся:

1. Кондиционирование хлопковых семян по влажности (сушка или увлажнение в зависимости от исходной влажности материала).
2. Кондиционирование шрота по содержанию растворителя, влаги и температуры.

Следовательно, основными технологическими процессами маслоэкстракционного производства с твердой фазой является сушка и увлажнение.

Для сохранения качества масличных семян в хранилищах, а также для стабилизации технологических процессов маслодобывания, помимо очищения хлопковых семян от посторонних примесей, необходимо кондиционирование их по влажности. Оптимальная влажность, необходимая для нормального протекания технологических процессов для большинства семян, проходящих обрушивание, лежит ниже их влажности при хранении. В связи с этим на маслозаводах проводится сушка хлопковых семян, предназначенных для длительного хранения. Увлажнение хлопковых семян производится преимущественно перед подачей их в производство [1].

Кондиционирование масличных семян оказывает влияние не только на подготовительные операции, но и на последующие основные технологические процессы. Так, при переработке хлопковых семян влажностью до 10-11% не только улучшает работу подготовительного отделения и снижает масличность шелухи, но и улучшает проходимость процесса жарения. Введение воды в семена при кондиционировании приводит к повышению влажности ядра, следовательно, и влажности мятки. Это способствует более равномерному распределению воды в ядре и в частицах мятки, чем при увлажнении сухой мятки перед жарением. Ввиду этого кондиционирование масличных семян способствует снижению масличности жмыха, связыванию госсипола в процессе жарения, следовательно, получению легко рафинируемого масла, жмыхов и шротов с минимальным содержанием свободного госсипола.

Кондиционирование имеет важное значение, особенно для переработки хлопковых семян в условиях Республики Узбекистан, где влажность семян в жаркие месяцы иногда снижается до 5-6%, в дождливые, осенние месяцы повышается до значительных величин (до 13% и выше).

Семена, получаемые из хлопка-сырца убранные в дождливую погоду, содержат излишнюю влагу. При переработке семян с высокой влажностью ухудшается работа шелушильных отделений вследствие затрудненного разрушения влажной шелухи, а также ухудшается процесс измельчения на вальцовых станках.

В связи с этим, на маслодобывающих заводах все хлопковые семена подвергаются сушке с доведением их до определенной влажности.

Она производится в сушильном аппарате с кипящим слоем представляющая собой четырех секционную камеру прямоугольного сечения с лопастным шнеком.

Шнек служит для транспортировки пуха, задержанного на перфорированной решетке. Расход сжижающего агента измеряется при помощи дифференциального манометра и вторичного измерительного прибора.

Регулирование расхода сжижающего агента осуществляется с помощью задвижек, установленных на всасывающей и нагнетательной стороне вентилятора высокого давления. Для измерения гидравлических сопротивлений псевдосжиженного слоя материала и воздухораспределительной решетки в трех точках по длине аппарата установлены дифференциальные манометры и вторичные приборы.

Температура входного материала измеряется медным термометром сопротивления, подключенного в цепь электронного автоматического моста типа КСМ-2. Температура теплоносителя на входе измеряется медным термометром сопротивления. Температура теплоносителя на выходе измеряется медным термометром сопротивления и электронным автоматическим мостом. Влажность выходного материала измеряется методом высушивания отобранных проб до постоянного веса.

Процесс кондиционирования шрота по содержанию растворителя, влажности и температуры состоит из следующих последовательных процессов: 1) отгонка растворителя из шрота; 2) увлажнение шрота; 3) охлаждение шрота.

Процесс отгонки растворителя из шрота с помощью тепла, с точки зрения закономерностей тепло- и массопереноса аналогичен процессу сушки, однако в отличие от сушки, при которой в высушенном материале остается определенное количество влаги, целью отгонки является полное удаление растворителя.

Повышение влажности шрота вызывает слеживаемость, что ухудшает качество шрота и приводит к самовозгоранию, а также усложняет внутри складские перевозки и погрузочные работы. Низкая влажность шрота, помимо развития в нем окислительных процессов, приводит при его транспортировании в склад к образованию большого количества пыли и статического электричества.

При транспортировании пересушенного шрота в экстракционном цехе и складских помещениях увеличивается концентрация шротовой пыли в воздухе, что может явиться причиной возникновения взрыва. Отсюда и вытекает необходимость в стабилизации влагосодержания и температуры хлопковых шротов.

Технологическая схема кондиционирования шрота состоит из четырех секций, из которых три секции предназначены для проведения процесса увлажнения шрота, а в последующих секциях проводится процесс охлаждения увлажненного материала.

Аппарат для кондиционирования шрота условно делится на две зоны: 1) зона увлажнения; 2) зона охлаждения.

В зоне увлажнения с помощью форсунок распыляется горячая вода в псевдо сжиженный слой, а во второй зоне происходит охлаждение увлажненного материала под действием потока воздуха. В смеситель поступает вода и конденсат в необходимом соотношении, которое поддерживается с помощью термометра сопротивления, электронным автоматическим мостом и исполнительным механизмом. Вода с температурой около 70°C при помощи насоса подается на форсунки, которые укреплены на боковой стороне камеры над газораспределительной решеткой. Материал - горячий шрот загружается в бункер, откуда выгружается в аппарат с помощью питателя, приводом которого является синхронный двигатель. В передней части аппарата имеются четыре смотровых окна для визуального наблюдения и специальные устройства для отбора проб материала из аппарата.

Гидравлические сопротивления псевдо сжиженного слоя измеряются в трех точках по длине аппарата с помощью дифференциальных манометров и вторичных приборов. Расход сжижающего агента измеряется сужающим устройством, дифференциальным манометром и вторичным прибором, который нагнетается вентилятором типа ВВО-6. Температура псевдосжиженного слоя измеряется в трех точках термометром сопротивления, вторичным прибором. Температура шрота, поступающая в аппарат, измеряется термометром сопротивления и вторичным прибором. Температура сжижающего агента и отходящих газов измеряется термометром сопротивления и регистрируется вторичным прибором.

Научная значимость постановки проблемы

Процесс кондиционирования шрота в кипящем слое позволяет получить готовый продукт почти с нулевым содержанием растворителя, что является предпосылкой создания нормальных и безопасных условий хранения и транспортировки шрота и улучшения санитарно-гигиенических условий рабочих в экстракционном цехе и складских помещениях.

Внедрения современных средств автоматизации на предприятиях АПК нельзя признать достаточными. Отсюда вытекает важность задачи разработки новых эффективных преобразователей для контроля за качественными показателями сырья, полупродуктов и конечной продукции АПК. Практическое использование методов и приборов для автоматического контроля состава и свойств веществ в промышленности АПК все еще имеет ограниченный характер, и затрудняет вследствие сложности и неоднородности сырья и разнообразия его физико-химических свойств. Анализ состояния контроля влажности сыпучих материалов производств АПК, а также автоматизации технологиче-

ских процессов, ход протекания которых наиболее полно характеризуется влажностью твердых сыпучих тел, показывают, что здесь преобладают лабораторные арбитражные методы анализа, и в основном часть информации о перерабатываемом сырье и продуктах выдается с большим опозданием. Это резко снижает ценность получаемой информации и сужает возможности её использования для оперативного управления производствами, где показатель влажности материалов АПК и продуктов их переработки занимает важное место среди технологических параметров, характеризующих качество протекания целого ряда производственных процессов. В этой связи решение задач информационного обеспечения основных производств АПК по отношению к такому показателю технологического процесса, как влажность сыпучих материалов, имеет первостепенное значение на пути создания АСУТП этих производств.

Анализ условий производственно-технологического контроля за влажностью материалов в промышленности АПК, можно отметить, приборы контроля влажности должны обеспечивать возможность автоматически измерять влажность в пределах от 0,1% до 30% [2].

Практическая значимость работы

Исходя из результатов проведенных нами исследований [3,4], определены такие специфические требования к измерительным устройствам (влажномерам) как элементам системы контроля влажности в технологических процессах продуктов АПК:

- диапазон измерения - от 0,1% до 30%;
- время реакции, с, не более
 - для влагомеров исходной влажности - 100;
 - для влагомеров конечной влажности - 500;
- допустимая динамическая погрешность, % - 0,2;
- время выработки на отказ, час - 1000;
- возможность введения поправок по неинформативным параметрам и связи с ЭВМ, что требует включения в состав влагомера микроконтроллера. Требования к микроконтроллеру:
 - разрядность, десятичных разрядок - 4;
 - быстродействие, время выполнения одной операции, 100 нс
 - количество входных каналов, не менее - 2.

Выводы

Резюмируя, необходимо отметить, при решении вопросов автоматизации контроля влажности сыпучих материалов, в АПК необходимо вести исследования в следующих направлениях:

- анализ методов и приборов контроля влажности, наиболее пригодных для решения поставленной задачи;

- обобщение задач контроля влажности и определение требований к приборам на основе анализа технологических процессов в АПК и исследования математических моделей систем управления этими процессами;

- исследование и разработка методов контроля, способствующих созданию новых автоматических измерителей влажности основных материалов и продуктов их промышленной переработки, удовлетворяющих требованиям промышленности АПК;

- проработка вопросов применения разрабатываемых приборов контроля влажности в системах автоматического регулирования и управления технологическими процессами влаготепловой обработки масличных семян, а также вопросов сопряжения автоматических приборов контроля влажности с управляющими цифровыми вычислительными машинами, входящими в состав АСУ ТП.

В результате выполненных исследований решается актуальная задача синтеза высокочастотного прибора для контроля влажности сыпучих материалов, обладающего высокой экспрессностью и удовлетворяющего метрологическую практику.

Список литературы

1. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров. Типовые и принципиальные технологические оборудование и его эксплуатация, технология производственных процессов, технологические инструкции. // Под ред. Сергеева А.С., т.1.кн.1. - М.:, 1975, 762 с.

2. Исматуллаев П.Р. Методы и технические средства контроля влажности в производстве хлопкового масла. -Ташкент, “Фан”, 1983, 105 с.

3. Каландаров П.И. О фазовом методе контроля влажности в масложировой промышленности. // Химическая технология. Контроль и управление. 2008. №5. с.26-28.

4. Каландаров П.И., Исматуллаев П.Р Сравнительные исследования методов при контроле влажности материалов АПК. //Вестник ТашГТУ, №1-2, 1994, с.74-80.

ПУСК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ

К.В. Лицин *, С.Н. Басков **

** ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск*

*** ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицкий филиал*

** k.litsin@rambler.ru, ** s.baskov@mail.ru*

Парк двигателей переменного тока в различных отраслях весьма велик, при этом большинство из них до сих пор включаются в работу путем прямого подключения к сети. Известно, что метод пуска асинхронных или синхронных электродвигателей прямым подключением к сети имеет три серьезных недостатка – влияние на сам двигатель, на сеть и на технологический процесс.

Влияние на сам двигатель сопровождается пиковыми бросками тока в переходном процессе пуска (6-7-кратные по отношению к номинальному). Они приводят к значительным усилиям на проводники, расположенные в лобовых частях обмотки электродвигателя, и как следствие - к ослаблению бандажирования обмотки, постепенному нарушению (перетиранию) изоляции и преждевременному выходу двигателя из строя по причине короткого замыкания витков обмотки.

Влияние на питающую сеть сказывается при питании от автономных генераторов. Особенно в конце линии электропередачи, падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника питания и этой линии при протекании больших пусковых токов приводит к просадке напряжения в сети. Это отрицательно сказывается на работе другого подключенного к ней оборудования (компьютеры, связь, терминалы релейной защиты и др.), а сам двигатель может не запуститься из-за снижения его момента пропорционально квадрату просадки напряжения.

Влияние на технологический процесс проявляется при пиковых моментах переменного знака, развиваемых двигателем при пуске (4-5-кратные по отношению к номинальному). Это приводит к постепенному увеличению зазоров в механических соединениях между двигателем и механизмом. В ряде случаев вредно сказываются на технологическом процессе, где такие механические нагрузки недопустимы (например, магистральные конвейеры, когда происходит вытягивание приводного ремня, вентиляторы и смесители в случае опасности деформирования лопастей, системы транспортировки развешанных,

уложенных или хрупких материалов при возможности их раскачивания, падения или рассыпания и т.д.) [1].

Для того чтобы постараться избежать перечисленных выше проблем используются трансформаторные схемные решения для пуска высоковольтных двигателей.

В схеме преобразователя, изображенного на рис. 1, осуществляется двойная трансформация напряжения с помощью понижающего (Тр1) и повышающего (Тр2) высоковольтных трансформаторов. Преобразователи отличаются относительная дешевизна и простота практической реализации. Вследствие этого они наиболее часто применяются для управления высоковольтными электродвигателями в диапазоне мощностей до 1 – 1,5 МВт.

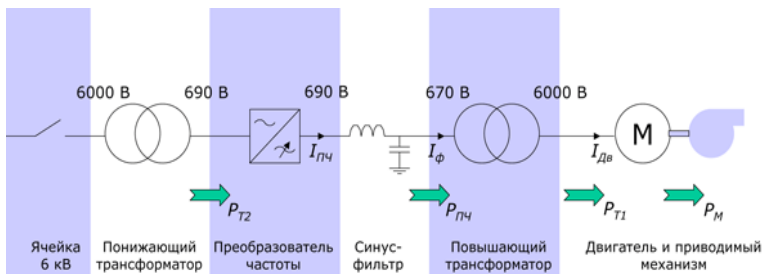


Рис.1. Двухтрансформаторная схема

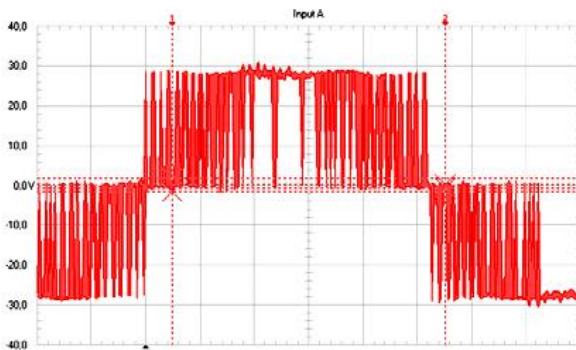


Рис. 2. Напряжение на выходе преобразователя частоты

Кроме того, данная система предполагает использование синус-фильтра, который устанавливается на выходе ПЧ, перед повышающим трансформатором. Синус-фильтр сглаживает высокочастотные составляющие, имеющие место в кривой напряжения как следствие широтно-импульсной модуляции. Благодаря этому на повышающий транс-

форматор, а значит и на двигатель поступает синусоидальное напряжение.

Для сравнения на рис. 2 представлена осциллограмма напряжения на выходе преобразователя частоты. На рис.3 показана осциллограмма напряжения на выходе синус-фильтра.

Применение синусоидального фильтра увеличивает срок эксплуатации двигателя за счет снижения старения изоляции обмоток статора.

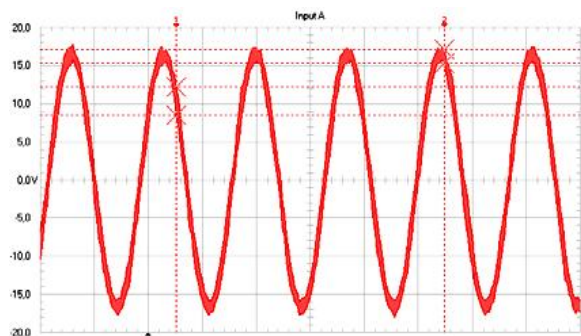


Рис. 3. Напряжение на выходе синус-фильтра

Таким образом, преимущества двухтрансформаторной схемы заключаются в следующем:

- низкая цена в сравнении с высоковольтными ПЧ;
- проверенная опытом низковольтная технология;
- отсутствие воздействия высших гармоник на двигатель – электромагнитная совместимость и увеличение ресурса работы двигателя;
- отсутствие подшипниковых токов;
- трансформаторы могут находиться на расстоянии от ПЧ;
- гальваническая изоляция системы благодаря наличию трансформаторов.

Список литературы

1. Д.А. Поздеев, Г.С. Нудельман, А.Н. Ерезеев, Высоковольтные устройства плавного пуска синхронных и асинхронных электродвигателей // Система безударного пуска высоковольтных электродвигателей, 2006.

2. Решения компании Vacoop для управления высоковольтными электродвигателями //Техническое руководство – М.: 2009.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

УДК 681.142.2+621.746

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

О.С. Логунова *, *И.А. Посохов* *, *Е.Г. Филиппов* *, *Ю.Е. Милов* *,
П.И. Каландаров **

* ФБГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Носова», г. Магнитогорск

** Ташкентский Государственный технический
университет, Ташкент, Узбекистан

* *logunova66@mail.ru*

Актуальность исследования

Выплавка стали в дуговых электросталеплавильных печах (ДСП) переменного тока в настоящее время нашла широкое применение на Российских и зарубежных предприятиях. Производства стали, выплавляемой таких печах, постоянно возрастает и в 2012 году достигнет 23215,0 тыс. т и в 2013 году – 24247,2 тыс. т [1], что составляет ≈4,5 и 9% прироста по сравнению с выпуском электростали в 2011 году.

Увеличение объемов производства требует разработки новых научно-обоснованных технологий загрузки исходных шихтовых материалов, ведения выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки стали. Комплексная схема автоматизации металлургического предприятия включает систему блоков, относящихся к каждому переделу [2, 3]. Каждый блок содержит входные параметры, которые позволяют оказать управляющее воздействие на протекание не только выбранного металлургического процесса, но и всей технологической цепочки получения непрерывно-литой заготовки (выплавка – доводка – разливка). Принятие решения о выборе режимов работы металлургических агрегатов должно базироваться на использовании автоматизированной системы оценки качества заготовки, позволяющей повысить достоверность и объективность получаемой информации [4, 5].

В условиях ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») для выплавки стали в ДСП используется два вида сырья – металлический лом и жидкий передельный чугун. Формирование химического состава получаемого полупродукта во многом определяется составом металлического лома. Экспериментальное исследование

химического состава металлического лома позволило выявить его структуру и процентное содержание остаточных элементов (хром, никель и медь) приносимых с ним в шихту (табл. 1).

Для получаемой стали выдвигаются требования по содержанию остаточных элементов в стали таких как хром, никель и медь, в зависимости от марки стали. Пример рекомендуемых значений процентного содержания остаточных элементов в стали, приведен в табл. 2.

Таблица 1

Процентное содержание остаточных элементов, приносимых в шихту с металлическим ломом

Вид металлолома	[Cr], %	[Ni], %	[Cu], %
Полосовой и сортовой лом	0,10	0,15	0,15
Металлические конструкции	0,15	0,20	0,20
Тонкие трубы	0,30	0,15	0,25
Рельсы, накладки	0,15	0,20	0,25
Лом автомобильный	0,10	0,15	0,15

Таблица 2

Рекомендуемое процентное содержание остаточных элементов в сталях различного назначения

Назначение стали	[Cr], %	[Ni], %	[Cu], %
08Ю ВОСВ ГОСТ 9045*	0,02	0,04	0,04
Корд	0,05	0,05	0,05
Катанка ТУ 14-1-5317	0,1	0,1	0,15
Сталь по ГОСТ 380	0,3	0,3	0,3

*ВОСВ – весьма особо сложная вытяжка.

Стратегия постановки задачи многокритериальной оптимизации. Эффективность математического описания технологических процессов в различных отраслях во многом определяется полнотой и корректностью постановки задачи [6]. Для задач определяющих состав шихтовых материалов на первое место выносятся проблемы оценки теплового и материального баланса при заданных соотношениях шихтовых материалов. Практически в таких исследованиях отсутствуют работы по постановке задач оптимизации и принятия решений в многокритериальной среде. Авторами исследования была определена проблема определения процентного соотношения металлического лома и чугуна в шихте ДСП, а также структурного состава лома, при которых может быть достигнуто минимальное значение остаточных элементов в стали в пределах рекомендуемых значений.

Сформулированную проблему можно определить как многокритериальную задачу оптимизации о смесях. Стратегия постановки задачи включает рассмотрение двух взаимосвязанных частей:

- определение массы металлического лома, подаваемого в ДСП, при которой будет достигнуто минимальное значение для процентного содержания хрома, никеля и меди в расплаве при наличии ограничений на суммарную массу лома и чугуна, определенную производственными возможностями ДСП;
- определение массовой структуры металлического лома (табл. 1), позволяющего получить минимальное содержание хрома, никеля и меди в общей массе лома при наличии ограничений на исходный и получаемый химический состав стали.

В качестве отличительных особенностей задачи можно указать, что:

- задачи являются многокритериальными, в которых в качестве целевой функции выступают: задача 1 – значения процентного содержания остаточных элементов в стали; задача 2 – значения массы вносимых остаточных элементов;
- определение параметров целевой функции выполняется на основе экспериментального исследования;
- выявление технологических параметров для записи уравнений и неравенств выполняется на основе проведения корреляционного анализа выбранных величин;
- система ограничений образует систему взаимосвязанных уравнений и неравенств, в которые зависимая величина может входить и как независимый фактор и как зависимый признак.

Для решения указанных оптимизационных задач введем допущения:

- в постановке задачи рассматривается три остаточных элемента – хром, никель, медь, которые определяют наиболее важные потребительские свойства стали;
- в ходе экспериментального исследования зависимостей получены линейные формы для выбранных целевых функций и уравнений и неравенств системы ограничений.

Постановка задачи многокритериальной оптимизации для определения структурного состава металлического лома.

Этап 1 – постановка задачи по определению массы металлического лома и чугуна; процентного содержания серы, фосфора и кислорода в готовой стали; температуры металла на выпуске из ДСП, при которых возможно получение минимального процентного содержания остаточных элементов – хрома, никеля и меди.

Шаг 1.1. Введем обозначения независимых переменных и функций (табл. 3).

Таблица 3

Математические обозначения переменных и функций,
принятые для задачи 1

Искомые переменные		Целевые функции	
Масса металлического лома, т	m_l	Содержание никеля, %	S_{Ni}
Масса чугуна, т	$m_ч$	Содержание хрома, %	S_{Cr}
Температура металла на вы- пуске, $^{\circ}C$	T	Содержание меди, %	S_{Cu}
Содержание серы, %	S_S		
Содержание фосфора, %	S_P		
Содержание фосфора, %	S_{O_2}		

Шаг 1.2. Устанавливаем эмпирические зависимости для выбранных величин, образующих систему взаимозависимых уравнений:

$$\begin{cases} S_{Ni} = a_{11}m_l + a_{12}m_ч + \xi_1, \\ S_{Cu} = a_{21}m_l + a_{22}m_ч + \xi_2, \\ S_{O_2} = b_{31}S_{Ni} + a_{33}T + \xi_3, \\ S_S = b_{42}S_{Cu} + b_{45}S_P + b_{46}S_{Cr} + \xi_4, \\ S_P = b_{55}S_S + b_{56}S_{Cr} + \xi_5, \\ S_{Cr} = b_{62}S_{Cu} + b_{64}S_S + b_{65}S_P + \xi_6, \end{cases} \quad (1)$$

где $\{S_{Ni}, S_{Cu}, S_{O_2}, S_S, S_P, S_{Cr}\}$ – множество эндогенных переменных, $\{m_l, m_ч, T\}$ – множество экзогенных переменных; a_{ij} – эмпирические коэффициенты для экзогенных переменных; b_{ij} – эмпирические коэффициенты для эндогенных переменных; ξ_j – эмпирический показатель, оценивающий влияние неучтенных факторов.

Шаг 1.3. Определяем вектор целевых функций на основании (1) и направление улучшения их значений:

$$\begin{aligned} S_{Ni} &= a_{11}m_l + a_{12}m_ч \rightarrow \min, \\ S_{Cu} &= a_{21}m_l + a_{22}m_ч \rightarrow \min, \\ S_{Cr} &= b_{62}S_{Cu} + b_{64}S_S + b_{65}S_P \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (2)$$

Шаг 1.4. Определяем ограничения для искомых переменных на основании существующих рекомендаций для каждого параметра:

$$\left\{ \begin{array}{l} m^{\min} \leq m_{\text{л}} + m_{\text{ч}} \leq m^{\max}, \\ m_x^{\min} \leq m_{\text{л}} \leq m_x^{\max}, \\ m_v^{\min} \leq m_{\text{ч}} \leq m_v^{\max}, \\ T^{\min} \leq T \leq T^{\max}, \\ S_{O_2}^{\min} \leq S_{O_2} \leq S_{O_2}^{\max}, \\ S_S^{\min} \leq S_S \leq S_S^{\max}, \\ S_P^{\min} \leq S_P \leq S_P^{\max}, \end{array} \right. \quad (3)$$

где для параметров $\{S_{O_2}, S_S, S_P\}$ – используются выражения из системы (1).

Таким образом, математическая постановка задачи 1 включает: три целевые функции (2) и систему ограничений (3).

Этап 2 – постановка задачи по определению структуры металлического лома для массы, определенной в задаче 1, позволяющей получить минимальную массу хрома, никеля и меди в заданном объеме расплава.

Шаг 2.1. Введем обозначения независимых переменных и функций. Пусть общий объем металлического лома $m_{\text{л}}$, определенный в задаче 1, формируется на основе n структурных частей, каждая из которых имеет массу m_j , где $j=1, 2, \dots, n$. Каждая структурная часть вносить соответствующую долю (a_{ij}) , где $i=1, 2, 3$ и $j=1, 2, \dots, n$, хрома ($i=1$), никеля ($i=2$) и меди ($i=3$) в общую массу остаточных элементов. Масса остаточных элементов определяется переменными $m_{[Cr]}$, $m_{[Ni]}$, $m_{[Cu]}$.

Шаг 2.2. Определяем форму целевых функций:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{Cr} = a_{11}m_1 + a_{12}m_2 + \dots + a_{1n}m_n \rightarrow \min, \\ m_{Ni} = a_{21}m_1 + a_{22}m_2 + \dots + a_{2n}m_n \rightarrow \min, \\ m_{Cu} = a_{31}m_{\text{л}} + a_{32}m_{\text{ч}} + \dots + a_{3n}m_n \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (4)$$

Шаг 2.3. Выстраиваем систему ограничений для независимых переменных:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n m_j = m_{\text{л}}, \\ m_j \geq d_j m_{\text{л}}, \quad j = \overline{1, n}, \end{array} \right. \quad (5)$$

где d_j – доля металлического лома j -ого вида, поступившего в подготовительное отделение цеха.

Таким образом, для определения массовой структуры металлического лома получили каноническую многокритериальную задачу на минимум.

Реализация стратегии постановки задачи для ДСП в условиях ОАО «ММК». Приведем постановку задачи согласно приведенной стратегии для экспериментальных данных, полученных в условиях ОАО «ММК» для ДСП 1 в период исследований, проведенных в 2011 году. Для записи системы ограничений использованы практические рекомендации и технологические инструкции, принятые на указанном предприятии.

Предложенная цепочка задач многокритериальной оптимизации состава шихтовых материалов может быть решена методами, приводящими многокритериальную задачу к однокритериальной, такими как метод ограничений, метод уступок и метод свертки [7]. Каждый из методов преобразования задачи приводит к **назначению** вектора весовых коэффициентов или уступок на основе экспертных оценок. Такое априорное назначение этих векторов приводит к необходимости проведения исследования полученных решений на соответствие эмпирической информации.

Выводы

Таким образом, в представленной работе авторами:

- разработана стратегия математической постановки задачи многокритериальной оптимизации формирования структуры шихтовых материалов для выплавки стали в ДСП, отличающаяся от ранее известных походов гибкостью, универсальностью и общностью расширения списка целевых функций и системы ограничений;
- представлено комплексное использование эмпирической и аналитической информации для задачи многокритериальной оптимизации, которое делает возможным автоматизировать постановку многокритериальных задач при разработке имитационных программных продуктов;
- продемонстрировано применение стратегии постановки задачи для одной из наиболее часто выплавляемой марки стали в сортаменте ОАО «ММК», которое показало, что изменяя соотношение шихтовых материалов, подаваемых в дуговую электросталеплавильную печь, можно добиться заданного содержания остаточных элементов в стали.

Список литературы

1. Черная металлургия России. // Анализ и прогноз производства товарных групп, 2010. – Вып. 1.

2. Мацко И.И., Логунова О.С. Интеграция эргатического модуля оценки качества непрерывно-литой заготовки в АСУ ТП металлургического производства / И.И. Мацко, О.С. Логунова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. С. 66 – 72.
3. Обломец В., Филиппов Е., Логунова О. Структура автоматизированной системы управления производством: тенденции развития. // Проблемы теории и практики управления. 2011. № 1. С. 97 – 104.
4. Логунова О.С., Парсункин Б.Н., Суспицын В.Г. Автоматизированная оценка качества непрерывно-литой заготовки // Сталь, 2004. – № 12. – С. 101 – 104.
5. Логунова О.С. Исследование качественных зависимостей образования внутренних дефектов и теплового состояния непрерывнолитой заготовки. // Сталь. 2008. № 10. С. 60 – 63.
6. Логунова О.С., Осипов И.В. Стратегия постановки задачи многокритериальной оптимизации теплового состояния непрерывно-литой заготовки. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2007. № 9. С. 39 – 42.
7. Кузнецов Ю.Н., Кузубов В.И., Волощенко А.Б. Математическое программирование. – М.: Высшая школа, 1985. 302 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ПИРОЛИТИЧЕСКИХ КАРБИДОХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

В.И. Юршев, И.В. Юршев, Р.И. Мукатдаров

*ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,
г. Оренбург
chat_ilya@mail.ru*

Введение

В представленной статье затронута одна из самых актуальных на данный момент времени проблематик – повышение работоспособности и износостойкости деталей машин и режущего инструмента, а также рассмотрены технология и оборудование с автоматической системой регулирования технологических параметров процесса осаждения пиролитических карбидохромовых покрытий (ПКХП) из паровой фазы при разложении металлоорганического соединения (МОС) методом CVD.

Актуальность работы

Современное развитие науки требует создания и внедрения в производство принципиально новых материалов, прогрессивных технологий с использованием встроенных систем автоматического управления и микропроцессоров в оборудование.

Для высокопроизводительных машин, работающих при больших удельных нагрузках, скоростях, температурах, при воздействии различных коррозионных сред и облучения требует разработки прогрессивных технологий поверхностного упрочнения, позволяющих значительно улучшить физико-механические, триботехнические и коррозионные свойства деталей машин и инструмента [1].

Развитие материалов идет в направлении совершенствования методов их получения и нанесения покрытий с целью управления их химическим составом, структурой, свойствами в различных областях применения. При этом состав и свойства износостойких покрытий в значительной степени зависят от материала и технологии их нанесения [2].

Основные проблемы и решения

Разработанные технологии нанесения покрытий на базе карбида титана TiC, карбонитрида титана Ti(C,N) и нитрида титана TiN, также покрытия из окиси алюминия обладают достаточно хорошими эксплуатационными свойствами. Однако, высокие температуры, которыми характеризуются эти процессы, исключают их использование для нанесения покрытий на инструменты из легированной и быстрорежущей стали, подвергнутые полной термической обработке [3].

Перспективной технологией нанесения покрытий на детали машин и инструмент является процесс осаждения защитных износостойких ПКХП из МОС методом CVD.

Данный метод получения защитных покрытий является универсальным вследствие их осаждения на внутренней или внешней поверхности изделий сложной формы, имеющих выступы, изгибы и впадины.

ПКХП благоприятно влияет на качество поверхности инструмента за счет «залечивания» микродефектов материала, не вызывая изменения исходной геометрии режущей части инструмента даже со сложным ее профилем [4].

Для получения ПКХП с заранее заданными эксплуатационными свойствами и параметрами применяют вариацию технологических параметров (температура, давление, различные химические добавки, импульсы тлеющего разряда скорость подачи исходного химического соединения, нагрев ТВЧ и др.).

Анализ процессов осаждения показал, что наилучшие показатели получения покрытий достигаются при автоматизированном управлении установкой, т.к. исключается утомительный монотонный труд и соответственно ошибочные несанкционированные действия персонала, а также предусматривается блокировка и сигнализация аварийных ситуаций.

Процесс проводят в вакууме или атмосфере инертного газа, что обусловлено повышенной способностью большинства МОС к окислению кислородом воздуха [5].

Процесс осаждения ПКХП проводился на разработанной и изготовленной на кафедре «Материаловедение и технология материалов» (МТМ) лабораторной установке при нагреве ТВЧ, общий вид которой показан на рис. 1.

Осаждение ПКХП при атмосферном давлении производится следующим образом: очищенное и подготовленное к нанесению покрытий изделие располагается в реакторе, после этого реактор продувается аргоном для удаления атмосферы воздуха. На входе натекателя аргона давление устанавливается понижающим редуктором и контролируется по манометру. Далее включается нагрев детали токами высокой частоты в реакторе до заданной температуры порядка $(435 \pm 15)^\circ\text{C}$ и испарителя исходного химического соединения до 320°C [6].

Одной из основных составляющих оборудования в процессе осаждения ПКХП является генератор ТВЧ (рис. 1), сконструированный на кафедре «МТМ».

Экспериментальная установка ТВЧ была собрана на базе мостового инвертора с последовательным резонансным контуром.

При применении ТВЧ для нагрева подложки, по сравнению с другими видами нагрева, можно выделить такие преимущества, как разогрев подложки без нагрева стенок камеры и высокая равномерность покрытия на исследуемых образцах.

После нагрева изделия включается дозатор и осуществляется подача МОС в испаритель.

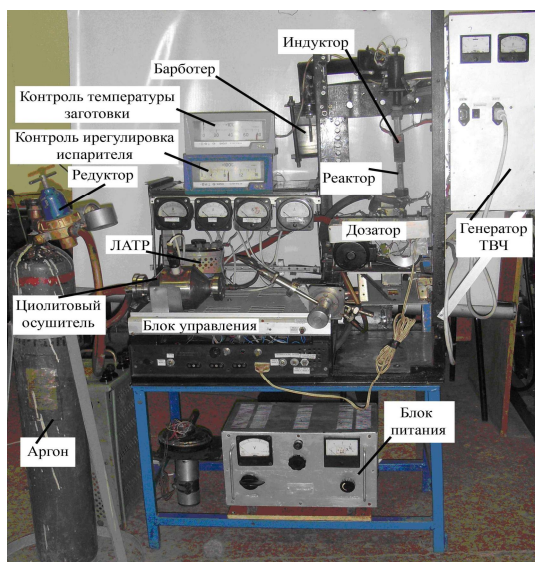


Рис. 1 Общий вид лабораторной установки для осаждения ПКХП при нагреве ТВЧ

Дозатор, сконструированный на кафедре «МТМ», представляет собой поршневую пару, подающую МОС в испаритель с заданной скоростью. Принципиальная электрическая схема дозатора представлена на рис. 2. Поступательное движение поршня обеспечивается приводом, состоящим из электродвигателя, редуктора и системы «винт-гайка».

Изменение скорости подачи от 0,013 до 0,02 мл МОС в испаритель в пределах от 5 до 40 минут достигается за счет изменения частоты вращения электродвигателя электронной схемой [6]. В схеме предусмотрена блокировка конечных перемещений поршневой пары, для предотвращения аварийных ситуаций.

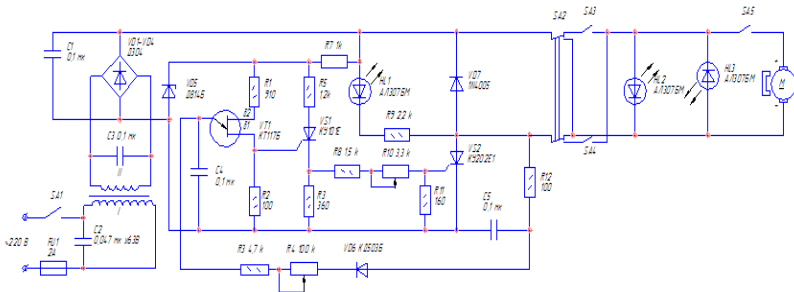


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема дозатора МОС

Исходное МОС из испарителя поступает в виде равномерного потока паров в пространство реактора.

В данном случае испаритель размещен ниже положения уровня подложки по сравнению с вакуумным осаждением с постоянной откачкой паров, где испаритель обычно расположен в верхней части относительно детали. В результате конструкторского решения по расположению реактора можно выделить два преимущества:

1. Пары МОС при нагреве поднимаются вверх и корректируются направлением потока инертного газа.

2. Такая конструкция исключает нежелательное попадание жидкой фазы МОС в зону осаждения, т.к. прореагировав, пары МОС конденсируются на холодном реакторе и стекают в нижнюю часть реактора ниже испарителя. По мере скопления продуктов распада, они удаляются через сливную пробку.

Разложение МОС при атмосферном давлении происходит в среде газа-носителя. При этом длина пробега атома металла в парогазовой смеси значительно меньше, чем в вакууме. Этот недостаток устраняется специальной конструкцией испарителя, для получения равномерного покрытия по толщине и объему детали [7] и за счет увеличения энергии атома в парах МОС, от воздействия ТВЧ.

При этом установлено энергетическое воздействие ТВЧ на единственный атом в парах МОС.

Таким образом, осаждение в инертном газе дает возможность отказать от дорогостоящего вакуумного оборудования. Применение высокочастотного нагрева и дозатора МОС позволяют сократить время процесса осаждения и снизить себестоимость продукции, а улавливание органических продуктов распада МОС специальной конструкцией реактора делают этот способ экологически чистым и безопасным. Конструкция установки (рис. 1) также позволяет производить осаждение ПКХП при пониженном давлении (от 10^{-2} до 10^{-3} Па), при этом

время разогрева подложки и получение вакуума составляет значительную долю времени технологического процесса.

Как видно из описания, установка состоит из различных агрегатов и функциональных устройств и поэтому является сложным объектом управления, при котором отмечается трудность контроля многих измеряемых параметров. Рабочему персоналу достаточно сложно осуществлять технологический процесс осаждения. Качество покрытий существенно зависит от опыта и квалификации рабочего. Для оптимизации процесса осаждения разработан блок автоматического управления технологическими режимами.

Следящая система за технологическими параметрами осуществляет регулировку подачи химического соединения в зависимости от скорости протекания реакции и режима осаждения. Блок управления по пропорциональному интегральному закону формирования регулирующего воздействия осуществляет регулировку подачи МОС.

Разработанный дозатор и блок управления позволяют получить высокую повторяемость результатов, что существенно сказывается на качестве покрытия.

В настоящее время определены области существования покрытий с оптимальным комплексом физико-механических свойств, но отмечается трудность контроля многих измеряемых параметров режима осаждения. Оператору достаточно сложно осуществлять технологический процесс осаждения. Качество покрытий существенно зависит от опыта и квалификации персонала.

Известно, что при ручном управлении установками подавляющая доля потерь в условиях производства появляется из-за ошибок оператора. При существующих скоростях технологии процессов осаждения, человек не всегда в состоянии в нужный момент использовать получаемую информацию систем контроля процесса и своевременно принять решение; при этом управляющее воздействие осуществляется с опозданием, что отражается на качестве покрытия.

Технические средства системы управления располагаются в блоке управления, а датчики и исполнительные элементы на установке. При поступлении сигналов с датчиков блок управления в соответствии с программой формирует управляющее воздействие на исполнительные механизмы.

В распределительных системах каждый агрегат установки управляется отдельным контроллером, который полностью или частично расчленяет функции управления технологическим процессом и в случае сбоя одного контроллера имеется возможность перейти на ручное управление этого блока и закончить процесс нанесения покрытия. Связь между контроллерами, а также управление установкой осуществляется блоком управления.

В связи с доступностью цен на элементы автоматики возможна полная автоматизация процесса, с применением микропроцессорной техники, для регулирования и контроля технологических параметров осаждения. При этом достигается значительное повышение точности поддержания параметров, расширяется возможность систем сигнализации о неполадках и регистрации изменений параметров процесса, облегчается режим работы оператора. Возможна диагностика работы агрегатов и устройств установки с выводом сообщений на экран дисплея. Своевременная информация отклонений параметров процесса от заданных параметров позволяет гарантировать качественные показатели технологии.

Выводы:

1. Данный метод получения защитных покрытий является универсальным;
2. ПКХП благоприятно влияет на качество поверхности инструмента за счет «залечивания» микродефектов материала;
3. Наилучшие показатели получения покрытий достигаются при автоматизированном управлении установкой;
4. Разогрев подложки при применении ТВЧ происходит без нагрева стенок камеры и наблюдается высокая равномерность покрытия на исследуемых образцах;
5. Преимущества экспериментальной установки ТВЧ, используемой в процессе осаждения ПКХП, по сравнению с промышленными образцами заключается в том, что:
 - 5.1. Меньшая стоимость.
 - 5.2. Меньшие затраты на электроэнергию.
 - 5.3. Малые габариты.
6. Испаритель размещен ниже положения уровня подложки по сравнению с вакуумным осаждением, где испаритель обычно расположен в верхней части относительно детали.
7. При атмосферном давлении длина пробега атома металла в парогазовой смеси значительно меньше, чем в вакууме;
8. Возможность отказаться от дорогостоящего вакуумного оборудования;
9. Применение высокочастотного нагрева и дозатора МОС позволяют сократить время процесса осаждения и снизить себестоимость продукции;
10. Улавливание органических продуктов распада МОС специальной конструкцией реактора делают этот способ экологически чистым и безопасным.
11. Установка является сложным объектом управления, при котором отмечается трудность контроля многих измеряемых параметров.

12. Разработанный дозатор и блок управления позволяют получить высокую повторяемость результатов, что существенно сказывается на качестве покрытия.

13. Своевременная информация отклонений параметров процесса от заданных параметров позволяет гарантировать качественные показатели технологии.

Заключение

Осаждение покрытий путём термораспада МОС представляет собой новую область науки и техники, включающую в себя технологию получения материалов с новыми характеристиками, нашедших свое применение в машиностроении, электроники, автомобилестроении, сельском хозяйстве, а также в авиационной, космической и горнодобывающей промышленности.

В последнее время процесс осаждения ПКХП из МОС «Бархос» методом CVD на детали машин и инструмент бурно развивается не только в нашей стране, но и в странах СНГ. Такое пристальное внимание к данному направлению говорит о его актуальности и перспективности, т.к. с применением защитных упрочняющих покрытий повышается износостойкость, коррозионная стойкость и снижается металлоемкость.

Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическим процессом позволяют: гарантировать качественные показатели технологии, поддерживать точность технологических параметров, расширить возможность системы сигнализации о неполадках, облегчить труд оператора.

Список литературы

1. Бойко, С.В. Разработка технологии осаждения пиролитических хромовых покрытий в атмосфере аммиака: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / С.В. Бойко. - М.: [Б. и.], 1990. - 21 с.

2. Максимов, М.А. Износостойкие покрытия как движитель инновационного процесса в технологии инструментальных материалов и современной металлообработке / NanoWeek: еженедельный обзор нанотехнологических событий. – 13 - 19 апреля 2010. - N 106.

3. Упрочнение режущего инструмента нанесением пиролитических хромовых покрытий / А.П. Горовой, Л.Л. Иванов, Т.В. Гуляева // Ресурсосберегающая технология поверхностного упрочнения деталей машин. Сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 1987. – с. 84-86.

4. Иванов, Л.Л. Разработка технологии получения пиролитических хромовых покрытий для упрочнения инструмента : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Л.Л. Иванов. - М.: [Б. и.], 1988. - 21 с.

5. Пиролитическое карбидохромовое покрытие (технология, оборудование, свойства) / В.А. Ильин, А.В. Панарин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2011. - т. 13, №4(2). – с. 357-360.

6. Репах, В. С. Разработка технологии нанесения пиролитических хромовых покрытий при атмосферном давлении: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / В.С. Репах. - Оренбург: ОГУ, 2005. - 143 с.

7. Пиролитические хромовые покрытия и усовершенствование технологии осаждения / В.И. Юршев, В.Н. Михайлов, В.С. Репах, И.В.Юршев // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2003. - N 5. - с.141-143.

**АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ПРОЦЕССОМ МЕХАНООБРАБОТКИ
В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

И.Ф. Месягутов*, С.Г. Гончарова*

**ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический
университет, г. Уфа
kats_ugatu@mail.ru*

Введение

Один из путей повышения эффективности авиационных и машиностроительных производств состоит во внедрении средств автоматизации и управления технологическими процессами, в т.ч. процессами резания (ПР), трудоемкость которой составляет 50–60% от трудоемкости изготовления всего изделия. Системы управления (СУ) ПР позволяют повысить надежность работы оборудования, поднять производительность и снизить себестоимость деталей, улучшить эксплуатационные характеристики изделий в условиях, когда резервы усовершенствования конструкций металлорежущих станков и технологий исчерпаны. Однако СУ ПР не получили столь широкого распространения в производстве, как СУ исполнительными органами технологического оборудования на базе систем ЧПУ. Это объясняется тем, что управление ПР имеет ряд проблем, связанных с неопределенностями при управлении, т.е. с дефицитом и недостоверностью априорной и апостериорной информации. Указанная неопределенность обусловлена погрешностями измерения выходных переменных объекта управления (ОУ), дефицитом средств измерения и контроля многих физических величин ПР, свойствами моделей процесса, характеризующихся дефицитом информации о возможных колебаниях припуска заготовки, об изменениях физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, о величине износа режущей кромки инструмента и его геометрии.

Поэтому наиболее актуальными проблемами управления ПР являются адаптация СУ к производственным условиям и обеспечение робастности систем (слабой чувствительности к возмущениям).

В настоящей работе предложены методика количественной оценки неопределенностей моделей ПР и алгоритм коррекции режимов механообработки во время технологической операции путем формирования компромиссного управляющего сигнала в условиях неснятой неопределенности.

Математическая модель ПР

Математическая модель поведения ПР представляет собой описание в пространстве состояния (1),(2) с нечеткими элементами.

Такая модель позволяет представить случайные величины и случайные процессы инвариантно к их закону распределения, а также формализовать эмпирические и эвристические (экспертные) знания о ПР.

Уравнения состояния:

$$\dot{\bar{x}} = \bar{F}(\bar{x}, u, \bar{\theta}), (\mu_{\bar{y}}(x)) \quad (1)$$

Уравнения наблюдения:

$$\bar{y} = \bar{G}(\bar{x}, u, \bar{\theta}) \quad (2)$$

Начальные условия: $\bar{x}(0) = \bar{D}$, где \bar{x} – нечеткие переменные вектора состояния; u – управляющие переменные, принимающие четкие значения; $\bar{\theta}$ – нечеткие параметры модели; \bar{y} – нечеткие выходные переменные; \bar{F} , \bar{G} – нечеткие функции; $\mu_{\bar{y}}(x)$ – показатели структурных неопределенностей модели.

Функция принадлежности (ФП) задана аналитической зависимостью (3):

$$\mu_{\bar{x}}(x) = \frac{1}{(b_{1\bar{x}}(a_{\bar{x}} - x))^{v_{1\bar{x}}} \frac{\text{sign}(b_{1\bar{x}}(a_{\bar{x}} - x)) + 1}{2} + (b_{2\bar{x}}(x - a_{\bar{x}}))^{v_{2\bar{x}}} \frac{\text{sign}(b_{2\bar{x}}(x - a_{\bar{x}})) + 1}{2} + 1} \quad (3)$$

В формуле (3) коэффициент $a_{\bar{x}}$ представляет моду ФП, коэффициенты $b_{1\bar{x}}$ и $b_{2\bar{x}}$ задают ширину ФП, $v_{1\bar{x}}, v_{2\bar{x}}$ – наклон ФП к оси x , т.е. контрастность.

Например, для обрабатываемого материала ХН77ТЮР, инструментального материала Т15К6, геометрии резца: $\gamma=5^\circ$, $\alpha=\alpha_1=10^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $\varphi=\varphi_1=45^\circ$, $r=0,5$ мм при полустиковой обработке построена нечеткая модель точения, предназначенная для синтеза закона управления главной составляющей силы резания с помощью минутной подачи.

Параметры нечеткого множества (НМ) модели определены путем применения методов идентификации и кластерного анализа на основе экспериментальных данных [3,4,5]. В итоге получен нечеткий переходной процесс, приведенный на *рис. 1*.

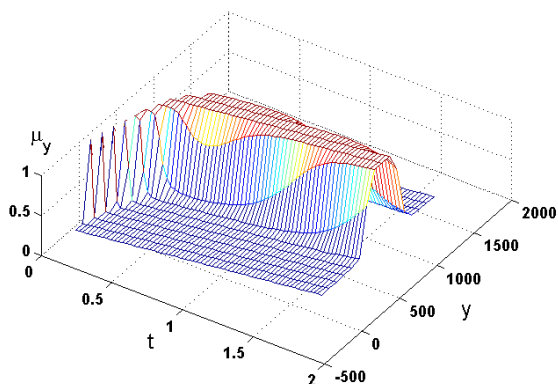


Рис. 1. Нечеткий переходной процесс

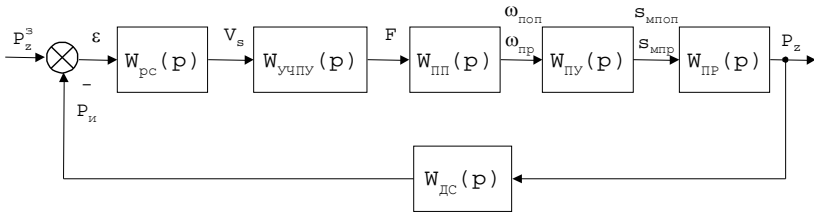
Из расчетов по модели и графика (рис. 1) видно, что вариации изменения силы резания в пределах одного технологического перехода в обычных технологических условиях могут составлять 40% и более. Причем, показатели качества и точности СУ определяются не только наиболее возможными временными характеристиками $a_{\bar{x}}(t), a_{\bar{y}}(t)$, но и параметрами нечеткости $b_{1\bar{x}}(t), b_{2\bar{x}}(t), b_{1\bar{y}}(t), b_{2\bar{y}}(t)$, полученными при решении дифференциальных уравнений. Снизить нечеткость знаний об объекте и соответственно улучшить показатели качества управления можно путем максимизации значений $b_{1\bar{x}}(t), b_{2\bar{x}}(t), b_{1\bar{y}}(t), b_{2\bar{y}}(t)$. Эта идея заложена в основу приведенного ниже алгоритма управления режимами ПР.

Адаптивно-робастный (АР) алгоритм управления ПР

Синтез закона управления выполнен для линеаризованной модели ПР. Исходной информацией при этом является модель обобщенного настраиваемого объекта (ОНО) в форме (1),(2), значения коэффициентов в НМ, отражающих уровень апостериорной неопределенности, т.е. частично снятой неопределенности с помощью АР СУ, а также эталонная модель (ЭМ): $\dot{x}_m = A_m x_m + B_m u_m$, сформированная на основе заданных показателей качества управления, где u_m – задающее воздействие системы.

ОНО представляет собой замкнутую подсистему, в состав которой входят технологическое оборудование (станок), автоматизированный

электропривод, датчики, ПР, ПИ или И регуляторы ПР. Например, при управлении главной составляющей силы резания P_z структурная схема ОНО представлена на *рис. 2*.



РС – регулятор силы, ПП – приводы подачи, ПУ – передаточное устройство, ДС – датчик силы, P_z, H – главная составляющая силы резания, V_s , мм/мин – контурная скорость, F – код подачи, $\omega_{пр}, \omega_{поп}$, рад./с. – частоты вращения приводов подач, $S_{мпр}, S_{мпоп}$, мм/мин – продольная и поперечная минутные подачи.

Рис. 2. Структурная схема ОНО

Входным сигналом для ОНО $u = P_z^a$ является управляющий сигнал с контура адаптации.

Контур адаптации построен на основе сочетания алгоритма скоростного градиента (АСГ) [2] и алгоритма принятия решений в условиях нечеткой информации с моделью типа (1),(2). В качестве критерия управления выбрана минимизация среднего отклонения переменных вектора состояния реального поведения ОНО от эталона.

Закон управления имеет вид [1]:

$$u = k_u(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_{xi}^{\Sigma}(t) \cdot x_i^{\Sigma}(t) \quad (4)$$

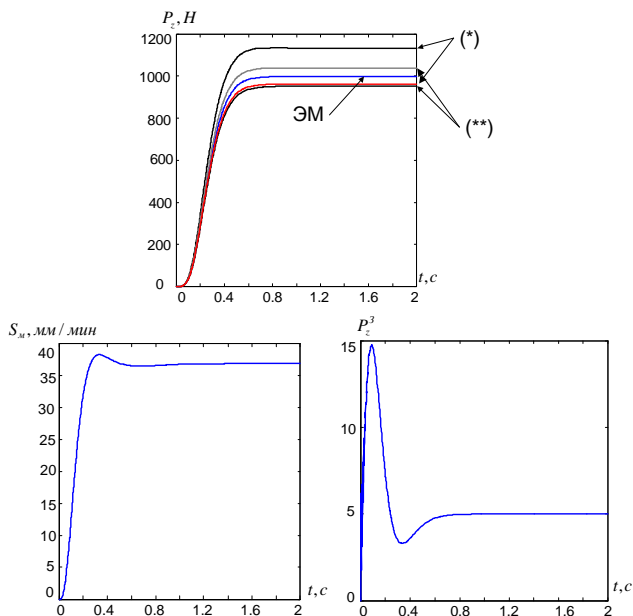
$$k_{xi}^{\Sigma}[t+1] = k_{xi}^{\Sigma}[t](1 - \omega\gamma_3) + \omega(\gamma_5 - \gamma_4)\delta^*[t]x_i^{\Sigma}[t] - \omega\gamma_5\delta^*[t+1]x_i^{\Sigma}[t+1] \quad (5)$$

$$k_u[t+1] = k_u[t](1 - \omega\gamma_1) + \omega(\gamma_6 - \gamma_2)\delta^*[t]u_m[t] - \omega\gamma_6\delta^*[t+1]u_m[t+1], \quad (6)$$

где $t = m\omega, \omega > 0$ – шаг дискретизации, $m = 0, 1, 2, \dots, m_i$; $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6\}$ – параметры адаптивного регулятора; $e_i^{\Sigma} = \int (x_i - x_{im}) \cdot \mu_{\bar{e}_i}(e_i) dx_i$ – рассогласование между переменными вектора x_i состояния и эталонными переменными состояниями, $\mu_{\bar{e}_i}(e_i) = \varphi_1(e_i, a_{\bar{e}_i}, b_{\bar{e}_i}, v_{1\bar{e}_i}, v_{2\bar{e}_i})$ – ФП ошибки; φ_1 – аналитический вид ФП в форме (3); $a_{\bar{e}_i} = a_{\bar{x}_i} - x_{im}, v_{1\bar{e}_i} = v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{e}_i} = v_{2\bar{x}_i}, b_{1\bar{e}_i} = b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{e}_i} = b_{2\bar{x}_i}$;

$x_i^\Sigma = \int_{x_i} dx_i$ – интегрированная переменная вектора состояния;
 $\delta^*[t] = \sum_{i=1}^n h_i \cdot e_i^\Sigma$; h_i – коэффициенты, полученные из коэффициентов матрицы в решении уравнения Ляпунова и матрицы эталонной модели B_M .

На *рис. 3* приведены переходные процессы в разработанной АР СУ главной составляющей силы резания.



(*) – наихудшие случаи переходных процессов в СУ силой резания, синтезированной на основе классического АСГ; (**) – наихудшие случаи переходных процессов в СУ силой резания, синтезированной на основе модифицированного АСГ

Рис. 3. Результаты имитационного моделирования АР СУ силой резания

Рассматривался самый неблагоприятный режим с точки зрения нагрузок на режущий инструмент – процесс врезания. При этом изменение коэффициента передачи модели достигало 10 раз и более.

Заключение

Использование алгоритма формирования квазиоптимальных режимов механообработки в СУ ПР позволяет повысить гибкость СУ, точность СУ в среднем на 15%, обеспечить перерегулирование не выше 3%, снизить время механообработки деталей на 20% по сравнению с существующими адаптивными и оптимальными СУ ПР, сократить время на технологическую подготовку производства на 20 – 30 %.

Список литературы

1. Гончарова С.Г., Месягутов И.Ф. Адаптивно-нечеткий алгоритм управления процессом механообработки // Вестник УГАТУ. 2011. Т.15, № 2(42). С. 153–157
2. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
3. Кудинов В.А. Динамические расчеты станков (основные положения) // СТИН. – 1995. – №8. – С.3–13.
4. Санкин Ю.Н., Санкин Н.Ю. Устойчивость токарных станков при неопределенной характеристике процесса резания // СТИН. – 1998. – №10. – С. 7–11.
5. Постнов В.В. Структурно-энергетический анализ процесса нестационарного течения // Автоматизированные технологические и мехатронные системы в машиностроении: Сб. науч. тр. – Уфа: УГАТУ, 1998. – С. 25–34.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЛИНЕЙНО – ЧАСТОТНО МОДУЛИРУЕМОГО ИМПУЛЬСА ЛАЗЕРА

П.Ю. Халилова

*Ташкентский государственный технический университет, Республика
Узбекистан, г. Ташкент*

linaxw@mail.ru

Актуальность работы

В настоящее время непосредственный практический интерес для современных информационных систем передачи информации, а также автоматизированных систем контроля и управления, представляют дальнейшее совершенствование технологии и синтез оптических материалов для улучшения условий формирования и преобразования оптических сигналов [1] с последующей разработкой приборов для измерения материалов, параметров и изделий.

Рассмотрим работу дискриминатора на примере интерферометра Маха – Цендера с двумя оптическими каналами. Отметим, что для многих двухканальных интерферометров принцип действия аналогичен.

При выполнении измерений с помощью дискриминатора не требуется согласования состояний поляризации для взаимодействующих сигналов, но эти состояния должны оставаться постоянными на протяжении всего измерения. Таким образом, для всех интерферометрических устройств необходимым условием достижения требуемой точности измерений является идентичность состояния поляризации в элементах связи и управления, что обычно обеспечивается применением поляризаторов или сохраняющих поляризацию оптических волокон. При этом волоконная оптика в интерферометрических устройствах выполняет следующие задачи: модуляцию интенсивности луча, демодуляцию частотно-модулированного оптического сигнала и измерение ширины линий.

В связи с этим анализ элементов автоматического контроля и управления волоконно – оптических систем передачи информации и их изучение несет особую актуальность.

Основные проблемы и решения

Анализ работ [2, 3] показывает, что степень искажений сигнала, полученного на выходе оптического волокна, в значительной степени зависит от спектральных характеристик источников и приёмников излучения, а также от компонентов волоконно – оптической линии связи, измерение этих характеристик имеет первостепенное значение.

Данные измерения включают, в частности, измерение линейно - частотно модулируемого импульса (ЛЧМ – импульса), которое позволяет судить о динамике изменения частоты лазера во время модуляции его по интенсивности. В высокоскоростных цифровых линиях связи ЛЧМ - импульс может привести к межсимвольной интерференции, и проявляется он в основном при больших скоростях изменения оптической мощности.

Оценить временную зависимость ЛЧМ - импульса можно с помощью оптических дискриминаторов, которые предназначены для преобразования девиации оптической частоты в обнаруживаемое изменение интенсивности. Возможно выполнение дискриминаторов на основе гетеродинных устройств, оптических фильтров или интерферометров. Также в качестве дискриминаторов можно рассматривать любые линейные оптические компоненты с характеристиками передачи, зависящими от длины волны: двулучепреломляющие кристаллы, оптические волокна, фильтры и интерферометры Майкельсона [3] в объемной или волоконно-оптической форме.

Известно из [2], что для измерения ЛЧМ - импульса лазера возможно применение интерферометра Маха – Цендера. В интерферометре входное модулированное излучение делится на два луча, которые затем распространяются по соответствующим каналам интерферометра с дифференциальной задержкой τ_0 , и объединяются для взаимодействия в выходном ответвителе. Ответвитель направляет половину излучения от каждого канала на фотодиоды (ФД). Необходимо учитывать, что сигнал одного ФД пропорционален средней мощности излучения и высокоскоростному изменению интенсивности, обусловленному вариациями оптической частоты, а второй ФД применяется только для измерения средней мощности. В случае равенства средних значений мощности на фотодиодах интерферометр находится в линейном режиме, и происходит процесс преобразования ЛЧМ - импульса оптической частоты в изменения интенсивности. Канал обратной связи служит для поддержания линейного режима работы интерферометра и стабилизирует рабочую точку путем регулировки τ_0 в пределах оптической длины волны. Эта задержка может быть реализована, например, посредством пьезоэлектрического устройства и для сохранения когерентной интерференции между световыми лучами должна удовлетворять условию:

$$\tau_0 \ll \frac{1}{\Delta\nu}. \quad (1)$$

Для сохранения линейного режима при смещении рабочей точки, связь между средней оптической частотой ν_0 и задержкой τ_0 интерферометра определяется следующим образом:

$$2\pi\nu_0\tau_0 = \frac{\pi}{2} + 2n\pi, \quad (2)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$.

Учитывая, что линейному режиму соответствуют две точки, измерения выполняют с помощью осциллографа, синхронизированного с лазерным источником модуляции путем измерения интервалов времени, при определенных состояниях интерферометра, и последующем расчете ЛЧМ - импульса.

На практике применяют следующие состояния интерферометра: оптические переключатели А и В открыты; переключатель А закрыт, а переключатель В открыт; переключатель А открыт, а переключатель В закрыт. Из анализа временных показателей фототока, соответствующих этим трем состояниям интерферометра, можно вычислить ЛЧМ - импульс.

Средняя выходная мощность от одного порта интерферометра представляет собой сумму мощности канала и элемента интерференции:

$$P_0(t) = P_1(t) + P_2(t) + 2\sqrt{P_1(t)P_2(t)} \cos[\Delta\phi(t, \tau_0) + 2\pi\nu_0\tau_0], \quad (3)$$

где ν_0 - это средняя частота оптического носителя и τ_0 - дифференциальная задержка интерферометра.

Если частотная модуляция отсутствует, то $\Delta\phi(t) = 0$, а при любых изменениях частоты сигнала на входе интерферометра происходит изменение фазы между сигналами на выходе интерферометра. Мгновенные отклонения частоты $\Delta\nu(t)$ оптической несущей являются временной производной фазы:

$$\frac{\Delta\phi(t)}{\Delta\tau} \approx 2\pi\delta\nu(t). \quad (4)$$

Если задержка меньше самых малых периодов модуляции $\tau_0 \ll 1/f_m$, то:

$$\Delta\phi(t, \tau_0) \approx 2\pi\tau_0\delta\nu(t). \quad (5)$$

В этом случае сигнал на выходе дискриминатора будет равен:

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t) + 2\sqrt{P_1(t)P_2(t)} \sin(2\pi\tau_0\delta\nu(t)) . \quad (6)$$

Для определения $\delta\nu(t)$ нужно измерить $P_1(t)$ и $P_2(t)$, что достигается поочередным блокированием каждого из каналов интерферометра. Таким образом, чтобы определить ЛЧМ - импульс $\delta\nu(t)$, выполняется как прямое обнаружение $P_1(t)+P_2(t)$, так и зависимости характеристики дискриминатора от мощности $\sqrt{P_1(t)P_2(t)}$. Окончательно [3]:

$$\delta\nu(t) = \frac{1}{2\pi\tau_0} \arcsin\left(\frac{P_Q(t) - P_1(t) - P_2(t)}{2\sqrt{P_1(t)P_2(t)}}\right). \quad (7)$$

Присоединив источник белого света [2] к интерферометру и наблюдая появление нулей в выходном спектре интерферометра, отображаемом на осциллографе, можно определить задержку τ_0 .

Изменение пиковой частоты $\delta\nu_p$ должно быть меньше одной четвертой свободного спектрального диапазона интерферометра при нахождении максимального ЛЧМ - импульса приблизительно в линейной области характеристики интерферометра:

$$\delta\nu_p \leq \frac{1}{8\tau_0} . \quad (8)$$

Выполнение условия (8) способствует уменьшению шума и обеспечивает сохранение однозначности измерения ЛЧМ – импульса.

Для измерения τ_0 при больших задержках могут использоваться анализатор оптического спектра или источник гармонических колебаний с высокоскоростным осциллографом.

Таким образом, проведение измерений ЛЧМ - импульса данным методом [2, 3] несет практическую значимость. Согласно приведенной выше методике, а также описано в [4], данные измерения основаны на когерентной интерференции для преобразования фазовой или частотной модуляции в измеряемые изменения интенсивности.

Кроме того, для повышения точности контроля измерительных приборов необходимо совершенствовать их элементную базу, в частности, усилители, преобразователи частоты, мультиплексоры и другие.

Особое внимание уделено усилителям на основе активных элементов, которые могли бы обеспечить передачу оптического сигнала на большие расстояния без затухания и с незначительными искаже-

ниями. В последнее время разрабатываются волоконно - оптические усилители на основе оптических материалов (ОМ), легированных редкоземельными элементами (РЗЭ): эрбием EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), празеодимом PDFFA (Praseodymium Doped Fluoride-based Fiber Amplifier), тулием (Thulium Doped Fluoride-based Fiber Amplifier), гольмием, иттербием, диспрозиумом и др.

Таким образом, исследуемые и разрабатываемые технологии легирования ОМ РЗЭ представляют большой практический интерес. Традиционные химические методы легирования ОМ РЗЭ, такие как метод химического парофазного осаждения в трубке и метод испарения хлоридов РЗЭ [5, 6], являются трудно контролируемыми и не могут обеспечить достаточно высокой концентрации легирования по глубине образца. В последнее время исследуется возможность использования термо-ионно-плазменных методов легирования ОМ. В частности, для исследования процессов фотолюминесценции легированных эрбием ОМ, применяли ионные пучки РЗЭ высоких энергий (до 5 МэВ) [7], но данный метод для практического применения не имеет перспектив.

Были проведены исследования по легированию ОМ – кварца методом термоплазменного легирования [8], в результате которых было показано, что имплантация РЗЭ элементов, а именно эрбия, в оптические материалы приводит к увеличению эффекта фотолюминесценции на длине волны 1,54 нм и с относительно большой спектральной шириной – 19 нм. При ионном легировании также происходит процесс сглаживания, а образованные в результате ионной бомбардировки радиационные дефекты можно убрать последующим термическим отжигом. Термический отжиг при температурах свыше 500⁰С (для случаев стекла) приводит к почти полному уничтожению радиационных дефектов, вызванных ионной имплантацией, и является необходимой процедурой для оптимизации фотолюминесцентных свойств материалов.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования подобных оптических материалов при разработке приборов измерения материалов, параметров и изделий в составе проектирования автоматизированных системы контроля и управления линейно – частотно модулируемого импульса лазера.

Список литературы

1. Abdullaev F.Kh., Garnier J. Progress in Optics, Chapter 2. – 2005. – P. 35-106.
2. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. - М.: Комп. Сайрус Системс, 1999. - 658 с.

3. Dericsson Dennis. Fiber Optic Test and Measurement. Prentice Hall PRT, 1998.
4. Коммуникационные системы. Элементы и системы управления. Учебно-методическое пособие / Халилова П.Ю. – Ташкент: ТашГТУ, 2011. – 160 с.
5. Кудряшов Н.А., Нелинейные волны и солитоны, Сорковский образовательный журнал, № 2, с.85-91, 1997.
6. Делоне Н.Б., Нелинейная оптика, Сорковский образовательный журнал, № 3, с.94-99, 1997.
7. Берикашвили В.Ш., Гапонцев В.П., Заяц А.Н. и др. Одномодовые кварцевые световоды, легированные редкоземельными элементами // Всес. конф. «Волоконная оптика». - М., 1990.
8. Раджабов Т.Д., Халилова П.Ю. Исследование возможности легирования оптических материалов с помощью методов термического и термоплазменного осаждения с целью разработки приборов для измерения материалов, параметров и изделий. Журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, ТашГТУ. 2010, № 4. - С. 26-29.

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСРЕДНЕНИЕМ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Б.Б. Зобнин, А.В. Возжegov

*Уральский государственный горный университет, г.Екатеринбург zob-
ninbb@mail.ru*

Введение

Перспективным направлением внедрения теории, методологии и инструментария мультиагентных систем (МАС) является управления сложными технологическими комплексами, например, комплексами, решающими задачу усреднения железорудного сырья на металлургическом предприятии.

Интеллектуальный агент владеет определенными знаниями о себе и об окружающей среде, и на основе этих знаний он способен определять свое поведение.

Традиционная для объектно-ориентированного программирования схема класс/объект нарушается, так как агент имеет возможность постоянного изменения сценария поведения без его изменения в родительском классе.

Актуальность задачи

Процесс смесеприготовления представляет собой управляемую динамическую систему, состояние которой постоянно изменяется из-за случайных колебаний технологических факторов. Сложность нелинейной динамики управляемых объектов порождает большое разнообразие режимов их поведения, которое необходимо целенаправленно изменять.

В настоящее время большое внимание уделяется автоматизации контроля и управления технологическими процессами в условиях нештатных и аварийных ситуаций. Но уровень их сложности настолько высок, что оператор физически не в состоянии быстро и адекватно отреагировать на опасные ситуации и тем более их спрогнозировать.

Разработка программ, автоматизирующих этот процесс, пока также не приносит желаемых результатов ввиду сложной логики принятия решений. Традиционные пути решения этой проблемы состоят во введении различного рода экспертных систем (в том числе, использующих технологии искусственных нейронных сетей). Однако эти системы очень дороги и не всегда надежны, поэтому решение проблемы будет гораздо более простым и дешевым, если спроектировать модель объекта управления более высокого уровня, чем та, которая эму-

лируется в контроллерах и синхронно эмулировать ее на ПК верхнего уровня. Тогда любые команды оператора сначала следует подавать на вход модели верхнего уровня. Это позволит в реальном масштабе времени, спрогнозировать на ней возможные опасные отклонения технологического процесса. Если, в результате воздействия команды оператора, модель не перешла в аварийное состояние - сигнал управления пропускается в контроллеры нижнего уровня.

Для усреднительных технологических комплексов характерно возникновение конфликтных ситуаций, препятствующих формированию гомогенной шихты для процесса агломерации. Конфликтные ситуации связаны, в частности, с невозможностью реализовать графика задания, определяющие соотношения компонентов шихты, из которых формируется железорудное сырье (ЖРС), объемные и качественные показатели которого соответствуют производственному плану; с прерываниями на длительное время материальных потоков компонентов шихты; с ограниченными запасами компонентов шихты; с несоответствием фактического качества компонентов шихты результатам анализов и т.д.

Для эффективного управления рассматриваемым технологическим комплексом необходимо предвидеть его переходы в нежелательное состояние и с упреждением выполнять мероприятия, обеспечивающие оптимальное функционирование комплекса с привлечением необходимых ресурсов.

Основные проблемы и решения

Разработка систем управления сложными развивающимися технологическими комплексами требует использования адаптивной MES системы, гибко настраиваемой на изменения характеристик компонентов сырья, структуру технологического комплекса, вариации требований к качеству готовой продукции.

1. Характерной особенностью сложных технологических комплексов является априорная неясность уровня детализации математических моделей, описывающих технологический процесс, которая определяется тем, что из-за большого числа взаимосвязей свойств объекта как между собой, так и с внешней средой, построение полностью адекватной модели практически невозможно. При построении математической модели необходим компромисс между ожидаемой точностью результатов и сложностью модели. Точность модели полностью определяет достоверность тех результатов, которые получаются в процессе оптимизации.

2. Объемная модель штабеля задается распределением качественных характеристик шихты по пространственным координатам $P(x, y, z)$. Штабель можно представить состоящим из $N_c \times P_c$ ячеек, образованных пересечением N_c горизонтальных и P_c

вертикальных слоев, где $P_c = \text{int}(T_p / T_{II})$ – целое число проходов грейферного крана; T_p - длительность разгрузки штабеля; T_{II} – время, необходимое грейферному крану для разгрузки материала из поперечного сечения штабеля. Таким образом, для сетки регулярного типа необходимо выбрать такую степень масштабной детализации, которая удовлетворяет двум конкурирующим условиям: минимальные потери информации и целостность зрительной интерпретации.

Сложности решения этой проблемы обусловлены, прежде всего, высокой размерностью цифровых описаний объектов (например, 3D-описаний поверхностей применительно к задаче формирования штабеля), что существенно затрудняет построение функций отклика, зависящих от векторов высокой размерности, и оптимизации в пространстве таких векторов [1]. Множество цифровых описаний рассматриваемого класса объектов лежат, как правило, вблизи многообразий существенно меньшей размерности, и необходимо «оставаться» вблизи этих многообразий при генерации новых объектов, например, при оптимизации.

Один из способов целенаправленного проецирования в пространства малой размерности (в зарубежной литературе – projecting pursuit) заключается в следующем: найти такое отображение U (способ проецирования) из исходного пространства на двумерную плоскость, которое бы оптимизировало заданный критерий качества Q – некоторый функционал от координат точек данных до и после процедуры проецирования: $Q(U, X)$. Здесь под X понимается весь набор многомерных данных, а Q зависит от параметров отображения.

3. Проблема оценки функционального состояния технологического комплекса.

Основными этапами оценки функционального состояния технологического комплекса являются:

1) формирование характеристического вектора показателей функционального состояния $X = (x_1, x_2, \dots, x_d)$, компонентами которого являются разнотипные показатели (например, средневзвешенное содержание железа в штабеле; «инварианты» - отношения расходов привозного и местного сырья, вычисленные в скользящем окне; отношение грубые/ тонкие). Вектор показателей x_1, x_2, \dots, x_d (d – количество показателей), приводится к точечному количественному виду;

2) формирование вектора классов функциональных состояний $Z = (z_1, \dots, z_k)$, компоненты которого z_1, \dots, z_k – классы состояний (k – количество классов), где $Z = f(X)$;

3) вычисление количественных оценок информативности показателей с последующим выделением наиболее значимых и формирова-

ние моделей линейной зависимости вектора состояний от исходных показателей;

4) ввод разнотипных показателей в интервальном виде и исследование их свойств на основе нейронечеткой модели нелинейной зависимости вектора состояний от исходных показателей, отражающей также нелинейные взаимосвязи между показателями.

На первом этапе формируется характеристический вектор показателей состояния $X = (x_1, x_2, \dots, x_d)$ и выполняется приведение показателей, представленных вербальным описанием и временными рядами, к точечному количественному виду с использованием систем кодирования, определяемых экспертами. Например, в качестве точечной оценки функционального состояния, получаемой из анализа временного ряда, может использоваться показатель варибельности «инвариантов». На втором этапе формируется вектор классов функциональных состояний $Z = (z_1, \dots, z_k)$ на основе технологии кластеризации. Идея технологии состоит в формировании классов функционального состояния, формально представляющих систему ортогональных координат в новом пространстве показателей, образованных с помощью линейной комбинации исходных показателей.

Выбор рационального сценария управления усреднительным комплексом в конкретной технологической ситуации при наличии прогноза ее развития позволяет обеспечить следующие выигрыши:

- выигрыш во времени и качестве оценки ситуации;
- выигрыш в многомерной иллюстрации состояния конкретных проблем, так как интерактивность позволяет с помощью фильтров детализировать и раскрывать ситуацию, определяя первопричину «сбоев»;
- выигрыш в выборе предпочтительных решений, так как обеспечивается возможность интерактивно редактировать результаты решения задач, в частности, по распределению ограниченных ресурсов.

Для разрешения перечисленных проблем рационально использовать понятия распределенного интеллекта, который формируется коллективом агентов, обладающих своим базами знаний и средствами рассуждений. Каждый агент в системе управления, имеющий возможность принимать решения, ведает своим кругом вопросов. Разделение функций принятия решений эффективно в той мере, в которой каждый агент, принимающий решение, может предсказать их последствия. **Для успешного взаимодействия агенты должны уметь сотрудничать, координировать действия и вести переговоры.**

В процессе создания системы управления необходимо адаптировать методы и средства проектирования и реализации прикладных интеллектуальных систем в новую проблемную область: разработку

мультиагентных систем нового поколения. Мультиагентная или много-агентная система — это система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами. Мультиагентные системы могут быть использованы для решения таких проблем, которые сложно или невозможно решить с помощью одного агента или монолитной системы. По существу, при таком подходе мы получаем специализированную экспертную систему, предметной областью которой является автоматизация проектирования и реализации определенного класса *мультиагентных систем.*

Использование совокупности не очень «умных» агентов позволяет решать задачи гораздо более сложные, которые даже не снились самому умному агенту в системе.

Разработчик/пользователь лишь задает агенту задачи в виде правил с помощью элементарных операций. В результате для пользователя агент представляется набором задач, которые он выполняет, и нет необходимости думать о том, каким способом это происходит.

Каждое конкретное поведение агента можно отождествить со значением некоторой дискретной переменной, а мгновенные переключения текущего поведения - с дискретными событиями. Для передачи информации о дискретных событиях в другие блоки используют специальные переменные - сигналы. Набор дискретных состояний вместе с условиями переходов из одного состояния в другое образует обычное дискретное поведение. Алгоритм моделирования процесса изменений состояний технологического комплекса должен содержать правила перехода в момент времени t из состояния z в состояние x . Природа этих переходов может быть вероятностной (при аварийных остановах, переполнении или опустошении емкостей) или детерминированной (при производственных ситуациях, допускающих целенаправленное управление). Управление переходами состояний объектов реализуется с использованием конечно-автоматных алгоритмов, задаваемых системами булевых функций.

Процесс оценки функционального состояния технологического комплекса при этом рассматривается как процесс получения и преобразования информации, описываемый цепочкой операторов, каждый из которых осуществляет преобразование входной информации в выходную. В общем случае алгоритмические цепи преобразования входной измеряемой величины в выходную искомую величину включают в себя последовательность операций. С учетом ошибок, вносимых i -й операцией, последовательные преобразования будут происходить над величинами: $v_1 + \Delta_1, v_2 + \Delta_2, \dots, v_p + \Delta_p$, где v_1, v_2, \dots, v_p — истинные сигналы, которые должны получиться после первого, второго и p -го преобразований [2].

Агенты ориентированы на поэтапную обработку исходной информации, в виде пространственной схемы взаимодействия объектов, которая позволит снизить временные и ресурсные затраты на получение конечного программного продукта. Разработанная пространственная схема построена на основании следующих базовых понятий: пространство функциональных преобразований, пространство функциональных расширений, пространство характеристических расширений; ключ перехода от одного пространства к другому на различных уровнях. На основе разработанной пространственной схемы создана структурная схема комплекса программ для корреляционно-спектрального интеллектуального анализа данных, который, согласно проведенному анализу рынка аналогичных продуктов, является уникальным с точки зрения класса решаемых задач. Математические модели, положенные в основу данного программного продукта, основаны на методе ортогональных разложений функциональных характеристик в ряды Фурье, а для реализации скрытого уровня анализа данных была создана технология аналитической обработки данных, содержанием которой являются организация функционирования и реализация созданных механизмов поиска скрытых закономерностей.

Важным преимуществом *мультиагентной* системы является возможность адаптивного построения и исполнения планов, когда план не строится всякий раз заново при возникновении непредвиденных событий, как это делается в классических пакетных планировщиках, а лишь только корректируется, но при необходимости – с возможностью полной перестройкой расписания, путем выявления конфликтов и достижения компромиссов с помощью переговоров агентов, отвечающих за интересы пользователя, различных ресурсов, операций и т.д.

У агента должна быть модель внешнего мира, знания о своих действиях и их возможных последствиях, а также о необходимых условиях функционирования.

Модель внешнего мира агента описывает функционирование технологического комплекса как управляемой системы, которую можно формально представить в виде:

$$\Xi = (I, X, U, V) \quad (1)$$

Управляемая система находится в каждый момент времени t (из множества I) в одном из возможных состояний x_t (из множества X) и способна переходить во времени из одного состояния в другое под влиянием управляющих U и дестабилизирующих V воздействий, совершая при этом движение $x(t)$. Система управления качеством функционирования технологического комплекса должна решать две основные задачи: определение момента управления и определение

алгоритма управления. Определение момента управления сводится к решению задачи обнаружения разладки технологического режима.

Получение информации о функционировании технологического комплекса связано со следующими особенностями.

Процесс контроля можно рассматривать как процесс получения и преобразования информации, описываемый цепочкой операторов, каждый из которых осуществляет преобразование входной информации в выходную информацию. В общем случае алгоритмические цепи преобразования входной измеряемой величины в выходную искомую величину включают в себя последовательность операций. С учетом ошибок, вносимых i -й операций, последовательные преобразования будут происходить над величинами: $v_1 + \Delta_1, v_2 + \Delta_2, \dots, v_p + \Delta_p$, где v_1, v_2, \dots, v_p – истинные сигналы, которые должны получиться после первого, второго и p -го преобразований [2].

Требуется обеспечить близость не только между данными и их восстановленными (в результате последовательного применения процедур сжатия и восстановления) значениями, но и значениями различных функционалов от них.

Среда функционирования усреднительного технологического комплекса задается потоковой моделью, изображаемой сетью $\tilde{A}_t(J_t, F_t)$, геометрия которой согласуется со схематическим изображением транспортных коммуникаций, соединяющих множество вершин J_t , соответствующих управляемым источникам материальных потоков и производственным участкам, являющимися потребителями этих потоков, т.е. изыятия материальных потоков как ресурса. Множество дуг F соответствует участкам транспортной сети, по которой материальные потоки доставляются на производственные участки. Поток в начале дуги x_{ft}^ω , моделирующей интенсивность поступления материального потока в транспортную сеть от управляемых источников, связан с потоком в ее конце $x_{Ft}^{k\omega}$, моделирующим поступление материальных потоков потребителям, неотрицательным коэффициентом k_{Ft}^ω , соответствующим потерям массы материальных потоков:

$$x_{ft}^{k\omega} = k_{ft}^\omega x_{ft}^\omega, \quad f \in F, t \in T, \omega \in \Omega. \quad (2)$$

Требования потребителей к объемам и соотношениям расходов материальных потоков и ограничения на расходы материальных потоков определяют ограничения сверху и снизу на потоки в дугах:

$$x_{Lfi}^{k\omega} \leq x_{fi}^{\omega} \leq x_{Hfi}^{\omega} \quad (3)$$

Функционирование технологического комплекса может быть представлено как изменение состояния его звеньев: производственных, контролирующих, диагностирующих и звеньев хранения, совокупность которых описывается коллективом агентов. Моделирование происходит в пространстве состояний технологического комплекса, равном декартову произведению множеств состояний его звеньев. В рассматриваемой модели не отражаются внутренние особенности технологических процессов, протекающих в каждом агрегате, а содержится способ описания в дискретном времени последовательности функционирования технологического комплекса.

Примером производственного звена является тракт загрузки руды в штабель, представляющий собой объект с чистым запаздыванием, описываемый уравнением:

$$\frac{\tau}{L} * \frac{\partial \beta(x, t)}{\partial t} = - \frac{\partial \beta(x, t)}{\partial x} \quad (4)$$

При дискретизации только по пространственной координате получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{\tau}{l} * \Delta x * \frac{d q_k(t)}{dt} + q_k(t) = q_{k-1}(t), k = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

Обнаружение событий в процессе контроля сводится к решению трех взаимосвязанных задач:

- выбор базиса пространства наблюдений, в котором производится обнаружение событий;
- определение уравнений границ (дискриминантных функций) между отдельными событиями в пространстве наблюдений;
- разработка алгоритма обхода этих границ в пространстве обнаружения.

Результаты измерения контролируемых переменных позволяют построить динамическую базу знаний, организованную в виде системы нечетких логических операторов, позволяющих реализовать следующие процедуры:

- оценку опасности ситуации и прогноз ее развития;
- непрерывный контроль характеристик динамического объекта;
- преобразование информации в условиях неопределенности и неполноты исходных данных;

исследование характеристик возмущений различного временного масштаба, приводящих к сложной иерархической структуре результирующего движения.

Адаптивное управление производством требует обработки сложных пространственно-временных паттернов в широком диапазоне временных шкал и их интеграции в целостные когерентные представления. Под когерентностью понимаем согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов.

Основным преимуществом многоагентной архитектуры является ее семантическое распределение, обеспечивающее независимую работу агентов на различных уровнях системы.

Каждое конкретное поведение можно отождествить со значением некоторой дискретной переменной, а мгновенные переключения текущего поведения - с дискретными событиями. Для передачи информации о дискретных событиях в другие блоки используют специальные переменные - сигналы. Набор дискретных состояний вместе с условиями переходов из одного состояния в другое образует обычное дискретное поведение. Алгоритм моделирования процесса изменений состояний технологического комплекса должен содержать правила перехода в момент времени t из состояния z в состояние x . Природа этих переходов может быть вероятностной (при аварийных остановах, переполнении или опустошении емкостей) или детерминированной (при производственных ситуациях, допускающих целенаправленное управление). Управление переходами состояний объектов реализуется с использованием конечно-автоматных алгоритмов, задаваемых системами булевых функций.

Заключение

Для эффективного управления усреднением железорудного сырья на металлургическом предприятии предложено использовать систему, образованную несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами. Конфликтные ситуации, препятствующих формированию гомогенной шихты для процесса агломерации, могут быть разрешены с использованием понятия распределенного интеллекта, который формируется коллективом агентов, обладающих своим базами знаний и средствами рассуждений.

Список литературы

1. Кулешов А.П. Когнитивные технологии в адаптивных моделях сложных объектов/ Информационные технологии и вычислительные системы, в N 1, 2008, с. 18 – 29.

2. Зобнин Б.Б. Интеллектуальные системы в задачах мониторинга сложных объектов// Известия Академии инженерных наук РФ, Москва- Н. Новгород, 2001, с.98-110.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СОСТАВЕ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ХОДОМ ПЛАВКИ

М.А. Горохов, Т.Г. Обухова, А.И. Блохин, Е.С. Рябчикова

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

Актуальность работы

Кислородно-конвертерный процесс с верхней продувкой является наиболее распространенным при выплавке стали. Сущность его заключается в продувке жидкого чугуна большим количеством кислорода через погружную фурму. Одним из резервов повышения производительности кислородного конвертера является предупреждение выбросов расплава на корпус конвертера и другое технологическое оборудование. По результатам расчетов, экономический ущерб от одного выброса или перелива шлака через горловину конвертера может достигать 600 тысяч рублей. Это вызвано тем, что длительность ремонтных работ по очистке конвертера от шлака может занимать длительность одной плавки.

Основные проблемы и решения

Возникновение выбросов и их интенсивность зависят от целого ряда причин. Довольно частые выбросы возникают при переокислении шлака. Если содержание окисла железа повысилось в результате холодного начала процесса (низкая температура чугуна или значительное количество легковесного лома в шихте), выбросы возникают при переходе к интенсивному окислению углерода. Выбросы чаще всего образуются в начале второго периода во время резкого ускорения реакции окисления углерода, который наблюдается при холодном ходе первого периода и накопления в шлаке большого количества FeO, интенсивно реагирующего затем с углеродом металла в случае повышения температуры. Выбросы можно устранить путем снижения интенсивности вспенивания шлака, уровня ванны и ее колебания, то есть уменьшения окисленности шлака, скорости окисления углерода, рассредоточив дутье (увеличив высоту подъема фурмы).

На ККЦ ОАО "ММК" был проведен пассивный эксперимент: исследованы 12 плавов без выбросов и 20 плавов с выбросами, проведенные на конвертерах №2 и №3 с целью изучения выбросов и установления возможности их контроля. Состав отходящих газов по ходу плавки с дискретностью 2с представлен на рис. 1.

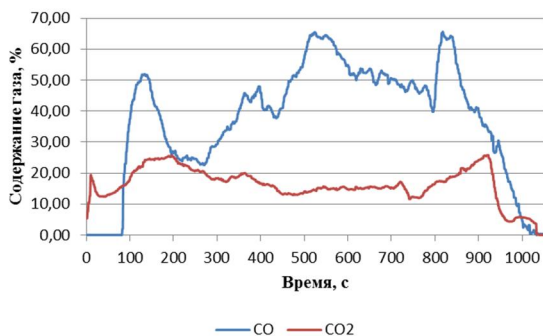


Рис. 1. Состав отходящих газов по ходу плавки

Рассмотрим две плавки, одна имеющая спокойное протекание (без выбросов) и вторая с выбросами. На рис. 2, 3 представлены экспериментальные данные состава отходящих газов при спокойном протекании плавки, данные изменения скорости отношения $CO/(CO+CO_2)$ в этих двух плавках.

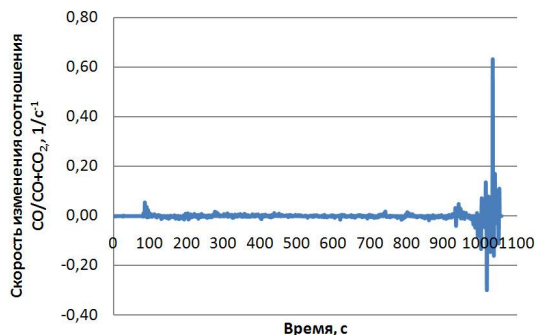


Рис. 2. Изменения величины скорости отношения $CO/(CO+CO_2)$ при спокойном протекании плавки

Из рис. 3 видно, что перед вспениванием ванны скорость изменения отношения $CO/(CO+CO_2)$ сначала уменьшается, а в момент выброса резко увеличивается. При этом отрицательный пик опережает развитие процесса на 6-7 секунд. Это дает возможность принять меры для уменьшения степени вспенивания шлака. Также при управлении надо учитывать, что в начальный период плавки скорость отношения $CO/(CO+CO_2)$ также может как резко увеличиваться, так и резко уменьшаться, до момента «зажигания» плавки. Структурная схема

системы регулирования расхода кислорода и положения фурмы для предотвращения выбросов представлена на рис. 4.

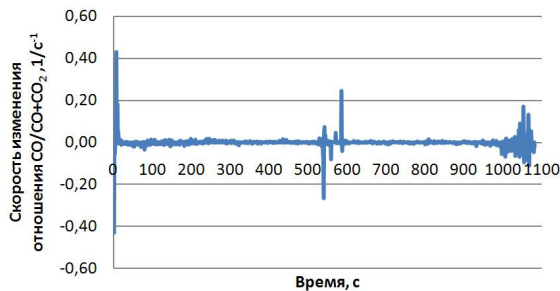


Рис. 3. Изменение величины скорости отношения $CO/(CO+CO_2)$ при вспенивании шлака

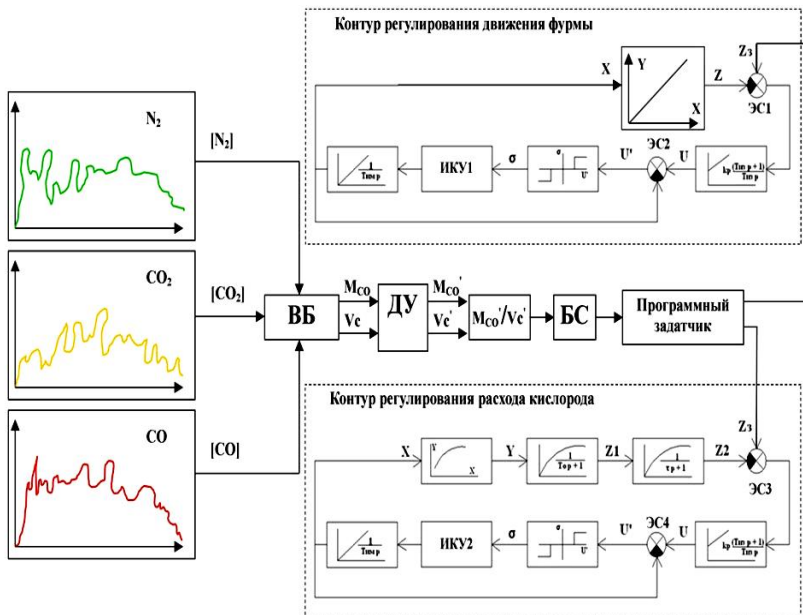


Рис. 4. Структурная схема регулирования положения фурмы и расхода кислорода

Значения концентраций N_2 , CO и CO_2 поступают в вычислительный блок ВБ, где по заложенным формулам вычисляются: расход отходящих газов, скорость обезуглероживания, отношение $CO/(CO+CO_2)$. Значения $CO/(CO+CO_2)$ и V_c затем поступают в диф-

ференцирующее устройство ДУ, затем берется их отношение и полученное значение поступает в блок сравнения БС, в котором сравнивается со значениями, при которых выброс возможен. В зависимости от того, насколько велика вероятность выброса, программный задатчик выбирает программу изменения расхода кислорода и положения фурмы и выдает ее в виде задания в стандартные контуры регулирования расхода кислорода и положения фурмы.

Возможным направлением, совершенствования системы прогноза выброса является использование искусственных нейронных сетей, позволяющих получить прогноз при влиянии на процесс многих факторов [1].

Заключение

Наблюдения за серией плавков показали, что, если скорость обезуглероживания в первом периоде остается относительно низкой, почти всегда наблюдаются выбросы одновременно с резким возрастанием скорости окисления углерода. Изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что основную роль в вспенивании шлака играет выделений пузырей СО и СО₂. Поэтому целесообразно поддерживать плавный характер изменения скорости обезуглероживания с целью предотвращения накопления окислов железа в шлаке. После исчезновения опасности выбросов скорость обезуглероживания увеличивают до максимума путем соответствующей установки параметров дутьевого режима.

Список литературы

1. Рябчиков М.Ю., Корнилова И.Г. и др. Прогнозирование появления дефектной продукции на агрегате непрерывного горячего цинкования ОАО «ММК» с помощью нейросетевой модели // Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвузовский сб. тр. Вып. 3. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. –С. 88-94.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ РАСХОДА КОКСА

М.А. Горохов

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

Актуальность проблемы

Доменный цех является одним из основных цехов металлургического комбината. Снижение расхода кокса, а также уменьшение суммарных энергозатрат – одна из самых актуальных проблем отечественной и зарубежной практики металлургов. Дальнейшее развитие технологии доменной плавки направлено в основном на снижение расхода энергоресурсов, сокращение простоев и увеличение производительности печи [1, 2]. Все эти вопросы непосредственно связаны с заменой кокса другими видами топлива.

Основные проблемы и решения

Зависимость удельного расхода кокса от расхода природного газа при ведении доменной плавки по данным работ [3] представлена на рис. 1. В реальных производственных условиях положение экстремума характеристики неизвестно. В таких условиях для определения рационального удельного расхода природного газа можно определить за счет использования систем экстремального регулирования (СЭР).

Статическая характеристика ОУ

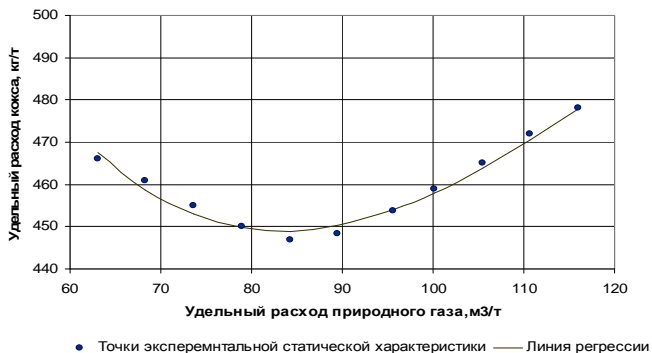


Рис. 1. Аппроксимация статической характеристики

В связи с тем, что доменный процесс имеет большую инерционность, для поиска экстремума целесообразно применять систему автоматической оптимизации (САО) шагового типа с запоминанием максимума приращения выходного параметра. В САО шагового типа изменение величины входного управляющего параметра производится шагами (дискретно) на определенную заданную величину Δx . Структурная схема контура регулирования представлена на рис. 2.

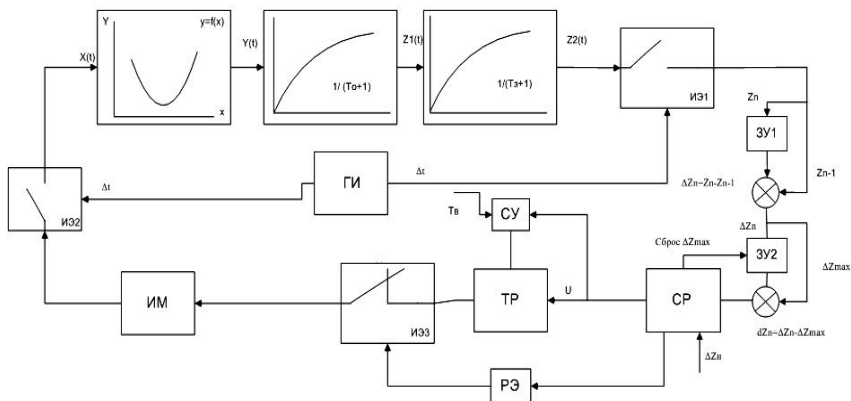


Рис. 2. Структурная схема ШСЭР с запоминанием максимума приращения: ОУ – объект управления; ИЭ1, ИЭ2, ИЭ3 – импульсные элементы; ЗУ1, ЗУ2 – запоминающие устройства; СР – сигнал-реле; ТР – триггер реверса; ИМ – исполнительный механизм; ГИ – генератор импульсов; РЭ – релейный элемент; СУ – стабилизирующее устройство

В рамках поставленной задачи был рассчитаны переходные процессы и исследовано влияние величины шага на показатели качества поискового процесса. При шаге $\Delta X=5 \text{ м}^3/\text{т}$ получились приемлемые показатели качества, и уменьшилось время поиска. При дальнейшем увеличении шага показатели качества стали неудовлетворительны, вследствие значительных потерь на поиск. В то же время снижение шага ниже уровня порядка $\Delta X=3-4 \text{ м}^3/\text{т}$ препятствует выявлению эффекта от изменения расхода природного газа вследствие влияния сторонних возмущений.

Расчетная совмещенная траектория поискового режима работы представлена на рис. 3.

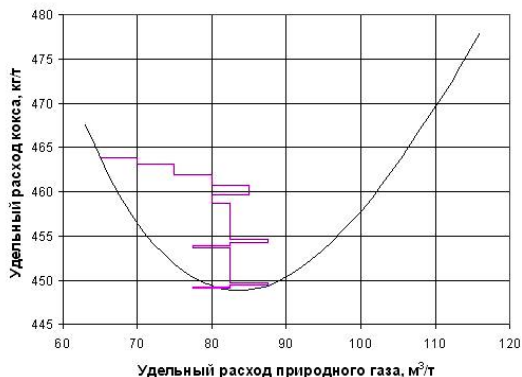


Рис. 3. Расчетная совмещенная траектория поискового режима работы ШСЭР

Заключение

В данной работе исследован процесс подачи природного газа в доменную печь с целью экономии дорогостоящего кокса. Произведен поиск оптимального расхода природного газа, с помощью шаговой системы с запоминанием максимума приращение выходной величины, с целью экономии затрат на дорогостоящие ресурсы.

Список литературы

1. Рябчиков М.Ю., Евстигнеев В.Л. Применение балансовых моделей для корректировки состава доменной шихты с целью экономии кокса // Современная металлургия начала нового тысячелетия: Сборник научных трудов по материалам межгосударственной научно-технической конференции 29 октября – 2 ноября 2001 года. Часть 1. – Липецк: ЛГТУ, 2001. – С.102-106.
2. Рябчиков М.Ю., Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Сеничкин Б.К. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 69-73.
3. Рябчиков М.Ю., Евстигнеев В.Л., Майорова Т.В. Применение балансовой модели для стабилизации показателей доменной плавки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 3. С. 30-33.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВАЕМОГО МЕТАЛЛА

Парсункин Б.Н., Ахметов Т.У., Мухина Е.Ю., Гиляев О.С.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск

andreev.asc@gmail.com

Методические печи для нагрева непрерывнолитых заготовок перед прокаткой, как объекты автоматизированного управления, являются сложными технологическими агрегатами с распределенными параметрами. В каждой из отапливаемых зон печи существуют специфические индивидуальные условия теплообмена между продуктами горения топлива (греющей средой), огнеупорной кладкой рабочего пространства и поверхностью нагреваемых заготовок, различающихся по размерам, теплофизическим свойствам (маркам стали) и перемещающимся с различной скоростью по длине печи в зависимости от текущей производительности прокатного стана.

Общепринятым источником информации при реализации автоматизированного управления тепловым режимом методических печей является температура рабочего пространства $t_{pn}(\tau)$ (температура печи), измеряемая термодарами, установленными в зонах нагрева.

Большинство исследований по обоснованию целесообразности использования $t_{pn}(\tau)$ для управления нагревом металла выполнены для случаев нагрева металла постоянной температуры холодного посада и близких к стационарным режимам работы нагревательных печей [1, 2].

Реальная часовая производительность современного широкополосного стана горячей прокатки 2000 ОАО «ММК» изменяется от 100 до 1000 т/ч. Время нагрева заготовок, различающихся по группам марок стали, физическими размерами и начальной температурой от 0 до 600°C, представлено за одни сутки работы стана 2000 на рис.1.

В методических печах стана 2000 ОАО «ММК» с шагающими балками, со сводовым верхнем и боковым нижнем отоплении природным газом нагреваются заготовки толщиной 250 мм и длиной от 5000 до 12000 мм.

Температура рабочего пространства $t_{pn}(\tau)$ измеряется термопарой в защитном карборундовом чехле или оптическим пирометром, свизированным на дно карборундового стакана, помещенного в рабочее пространство печи, объективно характеризую интенсивность теплообмена между греющей средой и нагреваемыми заготовками в стацио-

нарных условиях, в динамических переходных режимах при смешанном посаде и неравномерной производительности стана, характерных для современного производства, неоднозначно и необъективно отражает текущее тепловое состояние нагреваемого металла.



Рис.1. Изменение времени нагрева заготовок на стане 2000 ОА «ММК»

Достоверным общепринятым показателем качества нагрева металла является температура раската $t_{рм}(\tau)$ заготовки после черновой группы стана, измеряемая оптическим пирометром частичного излучения или спектрального отношения.

Изменение во времени в томильной зоне методической печи №1 толкательного типа с торцевым отоплением стана 2500 ОАО «ММК» температуры рабочего пространства $t_{рп}(\tau)$, измеряемой оптическим пирометром, свизированным на дно карборундового стакана, установленного в своде (линия 3), расхода природного газа в зону (линия 2) и температуры раската $t_{рм}(\tau)$ заготовок, выданных из печи №1 (линия 1) представлено на рис.2.

Температура $t_{рм}(\tau)$ измерялась оптическим пирометром частичного излучения, свизированным на полосу после черновой группы стана.

При продвижении в томильную зону непрогретого металла, что характерно при нагреве 4-5 заготовок холодного посада, среди заготовок горячего посада, при дистанционном режиме управления температура рабочего пространства составляла 1305°С. В то же время температура раската, выданных в прокат заготовок из печи №1 практически находилась на нижнем предельно допустимом 1050°С значении.

В то время как более высокие температуры раската (см. рис.2) поддерживаются при значительно более низких величинах $t_{рп}(\tau)$.

Анализ полученных данных для различных типов печей и различных способов измерения $t_{рп}(\tau)$ и $t_{пов}(\tau)$ показывает, что $t_{рп}(\tau)$ в переходных динамических режимах, характерных при смешанном посаде и неравномерной производительности стана, неоднозначно и неоперативно отражает текущее типовое состояние нагреваемого металла.

При нестационарном режиме работы печей это приводит к увеличению разброса температурного состояния выданных в прокат заготовок.

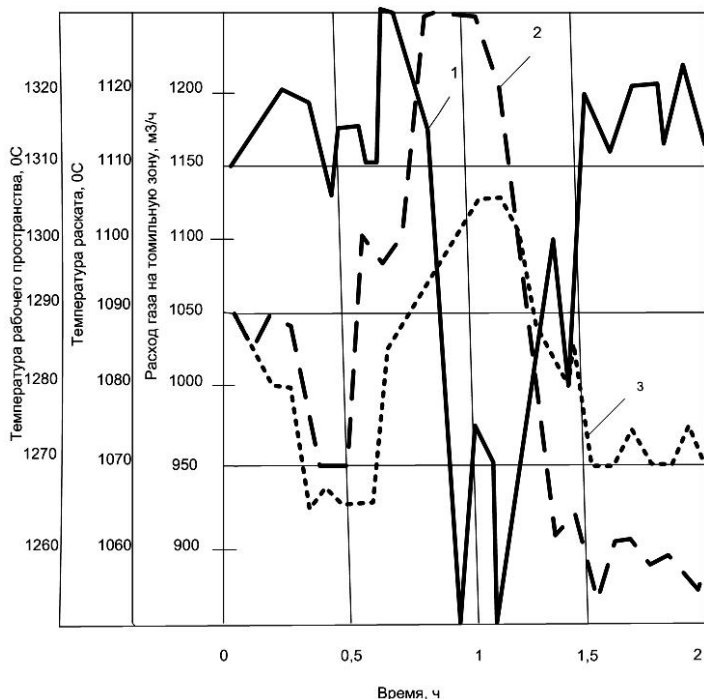


Рис.2. Изменение во времени температуры раската (линия 1), расхода природного газа в томильную зону (линия 2), температуры рабочего пространства (линия 3) в томильной зоне методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК»

Использование информации $t_{пов}(\tau)$ для управления тепловым режимом осознано давно и использовано в США еще в пятидесятых годах прошлого столетия.

Основным препятствием к использованию $t_{пов}(\tau)$ является неоправданно преувеличенное затруднение достоверного оптического измерения температуры окисляющейся поверхности, частично отражающей тепловое излучение кладки рабочего пространства, через излучающий слой продуктов сгорания.

Однако, вполне справедливо отмечая рассматриваемые трудности достоверного измерения $t_{пов}(\tau)$, для автоматического управления режимом нагрева, сторонники использования $t_{пр}(\tau)$ почему-то не учитывают следующие обстоятельства.

При использовании $t_{\text{рп}}(\tau)$ для управления тепловым режимом обеспечивается измерение, даже возможно более точное, только температуры рабочего спая термопары, помещенного в массивный (толщиной не менее 5 мм) карборундовый защитный чехол, помещенный в определенное место отапливаемой зоны, достаточно удаленное от поверхности нагреваемого металла.

Как показано ранее, $t_{\text{рп}}(\tau)$ в условиях смешанного посада и неравномерной (непостоянной) производительности печи неоперативно и необъективно отражает реальное текущее состояние нагреваемого металла. В то время как от системы автоматического управления в таких нестационарных условиях требуется повышенная оперативность и эффективность формирования и реализации управляющих воздействий.

В производственных условиях не все так благополучно и со стабильностью номинальных статических характеристик (НСХ) или градуировок платиносодержащих термопар с рабочим диапазоном 1000-1600°C.

Благодаря пониженному содержанию Al_2O_3 (70-80%), для обеспечения необходимой термостойкости и повышенной пористости (5-10%) материала защитных чехлов, даже незначительное содержание SiO_2 в материале чехла приводит к образованию силицида Pt_2Si_5 , разрушающего платиносодержащие термоэлектроды с неизбежным неконтролируемым изменением НСХ.

Существенным недостатком использования $t_{\text{рп}}(\tau)$, измеряемой термопарой в массивном карборундовом чехле, является инерционность.

Постоянная времени термопары в защитном чехле составляет 150-200 с. В то время как постоянная времени оптического пирометра не превышает 10-15 с.

Следует отметить, что для оперативного управления основным приоритетным фактором является достоверное и объективное отражение динамики изменения регулируемого параметра, особенно в нестационарных режимах работы технологического агрегата.

Обладая более низкой теплопроводностью, измеряемая оптическим пирометром температура поверхностного слоя окалины $t_{\text{пов}}(\tau)$ более оперативно реагирует на изменение условий теплообмена, способствуя при всех прочих равных условиях повышению быстродействия системы автоматического управления тепловым режимом.

В конечном итоге речь идет о повышении быстродействия и объективности работы системы автоматического управления тепловым режимом по температуре сравнительно малоинерционного слоя окалины, непосредственно имеющего контакт с нагреваемым металлом по сравнению с управлением по температуре инерционного массивного карборундового чехла, помещенного в отапливаемой зоне и объектив-

но отражающей тепловое состояние нагреваемого металла только при стационарных режимах работы печи.

Влияние отраженного теплового излучения от кладки рабочего пространства на $t_{\text{пов}}(\tau)$, измеряемого оптическим пирометром уменьшается за счет использования визирной трубы, установленной под углом 25-30° к поверхности заготовки в боковой стене отопляемой зоны. Схема установки пирометра для измерения $t_{\text{пов}}(\tau)$ представлена на рис.3.

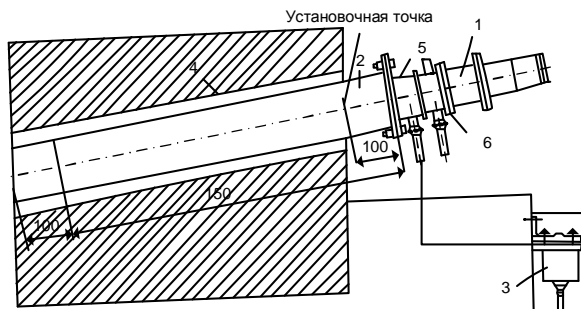


Рис.3. Установка оптического пирометра для измерения температуры поверхности нагреваемого металла $t_{\text{пов}}(\tau)$:
1 – пирометр; 2 – визирная труба; 3 – воздушный фильтр;
4 – огнеупорная масса; 5 – воздушный патрубок; 6 – водяной патрубок

Для защиты оптического пирометра от выбивания продуктов горения в визирную трубу подается отфильтрованный от компрессорного масла сжатый воздух. Защита пирометра от высокой температуры обеспечивается установкой водоохлаждаемого патрубка между воздушным патрубком и пирометром (см. рис.3). Наличие слоя воздуха способствует уменьшению влияния излучающего слоя продуктов горения.

Измерение $t_{\text{пов}}(\tau)$ в современных печах с шагающими балками усложняется при дискретном расположении по длине печи заготовок различной длины и толщины. В этом случае для уменьшения попадания в поле визирования пирометра подины и минимизации площадей боковых граней заготовок в поле визирования необходимо выделить по длине печи зону, в которую будут при любом способе погрузки попадать нагреваемые заготовки.

Затем при установке визирной трубы в кладке ее следует развернуть против хода металла на угол, величина которого определяется диапазоном толщин нагреваемых заготовок и размерами выделенной ближайшей к боковой стене, на которой расположен пирометр, зоны с гарантированным расположением металла. Эту процедуру лучше про-

изводить с использованием электрической лампы или фонаря при ремонте кладки.

В качестве оптических пирометров целесообразно использовать пирометры частичного излучения (яркостные) с требуемым диапазоном измеряемых температур. Опыт использования пирометра спектрального отношения (цветового), имеющего минимальную погрешность, показал низкую эксплуатационную надежность в реальных тяжелых условиях на печах.

С точки зрения снижения капитальных затрат при переходе на управление по $t_{\text{пов}}(\tau)$ заслуживает внимания полученный от использования пирометров полного излучения (радиационных), имеющих нужные динамические параметры, и при условии корректировки их показаний по данным пирометров частичного излучения. В каждом конкретном случае (8÷10 пирометров на печь), имеющей 5 отапливаемых верхних зон.

Опыт практического использования $t_{\text{пов}}(\tau)$ для управления нагревом металла при смешанном посаде и неравномерной производительности показал, что для реализации оперативного управления тепловым режимом и плавного безударного изменения температурного режима при поступлении в зону заготовок с резко различным тепловым состоянием управление подачей топлива целесообразно осуществлять по средневзвешенной $t_{\text{пов}}(\tau)$, формируемой с учетом показаний двух пирометров, расположенных на определенных расстояниях друг от друга по длине отапливаемой зоны.

Задачей энергосберегающего рационального автоматизированного управления нагревом металла в методических печах является обеспечение своевременной подачи на стан нагретых до заданного по сечению температурного состояния заготовок при минимальных затратах топлива на нагрев [3,4].

Критерий (цель) такого энергосберегающего управления можно выразить в виде функционала:

$$J = \left\{ \sum_{i=1}^3 (t_i(T) - t_i^3(\tau))^2 + \beta \int_0^T U^2(\tau) d\tau \right\} \rightarrow \min,$$

где T и τ – фиксированное заданное время нагрева и текущее время; $t_i(T), t_i^3(\tau)$ – действительное и заданное в конце нагрева значение температуры по слоям заготовки; $U(\tau) = kV_T(\tau)$ – управляющее воздействие; $V_T(\tau)$ – текущий расход топлива в зону; k – коэффициент передачи по каналу «расход топлива – температура греющей среды»; β – масштабный коэффициент цели управления.

Связь между расходом топлива (управляющим воздействием) и температурой греющей среды $t_{\text{гс}}(\tau)$ можно представить в виде уравнения:

$$\frac{dt_{rc}(\tau)}{d\tau} = \frac{1}{T_o} [kV_T(\tau) - t_{rc}(\tau)], \text{ при } U_{\min} \leq U(\tau) \leq U_{\max},$$

где T_o – постоянная времени, характеризующая инерционность процесса разогрева греющей среды.

Кроме ограничений на управление реально должны учитываться ограничения по температуре рабочего пространства и температуры поверхности (вернее слоя окалины):

$$t_{rp}(\tau) \leq t_{rp}^{\max} = 1340^{\circ}C; \quad t_{пов}(\tau) \leq t_{пов}^{\max} = 1340^{\circ}C.$$

Теоретически обосновано, что в производственных ситуациях, когда нагревательные печи не являются лимитирующим (узким) звеном в технологическом процессе, энергосберегающий интенсивный режим нагрева в основном должен осуществляться на заключительном интервале заданного времени нагрева T [4].

В этом случае на поддержание металла на высоком температурном уровне приходится меньше времени, при этом затрачивается меньше тепловой энергии. Кроме того, это способствует снижению потерь металла от окисления, и более эффективно используется тепло отходящих продуктов сгорания.

Используемые реальные режимы нагрева, да и конструкция большинства методических печей, имеющих зоны выдержки (томильные), мало способствует реализации энергосберегающего режима нагрева.

В условиях неравномерной производительности стана при смешанном посаде металла и наличии томильных зон (всего около 15% от общей тепловой мощности печи) технологи, вполне обоснованно, стремясь обеспечить некоторый, часто завышенный «запас» нагретого металла, реализуют режим максимальной производительности печи за счет интенсификации процесса нагрева сразу при входе металла в отапливаемые зоны.

Этот, безусловно оправданный и правильный режим при нагреве металла холодного посада или когда нагревательные печи являются узким местом в технологическом процессе при использовании инерционного параметра $t_{rp}(\tau)$, переносится и на режим нагрева заготовок горячего посада.

Использование $t_{пов}(\tau)$ позволяет более оперативно и объективно решать задачу энергосберегающего режима нагрева только за счет эффективного формирования информационного сигнала для управления тепловым режимом в первых (по ходу металла) отапливаемых зонах печи в зависимости от реального теплового состояния поданных на нагрев заготовок.

Заданное директивно (технологической инструкцией) значение $t_{\text{пов}}^{\text{зад}}(\tau)$ в первой зоне корректируется в зависимости от выполнения условия:

$$\varepsilon(\tau) = t_{\text{пов}}^{\text{зад}}(\tau) - k_1(t_1^{(T)} + t_2^{(T)}) - k_2(t_2^{(T)} - t^*),$$

где $\varepsilon(\tau)$ - корректирующее воздействие; $t_2(\tau)$, $t_1(\tau)$ – текущее значение температур поверхности металла соответственно в начале и в конце первой сварочной зоны по ходу металла; t^* - пороговое значение температуры поверхности в начале первой сварочной зоне, соответствующее нулевому корректирующему сигналу; k_1 , k_2 – масштабные коэффициенты, определяемые экспериментально в процессе технологической наладки на реальной печи.

t^* определяет для конкретной печи реальную величину температуры $t_{\text{пов}}(\tau)$, гарантирующей нагрев металла до заданной кондиции в последующих зонах при максимально возможном темпе выдачи заготовок $1140^\circ\text{C} \leq t^* \leq 1180^\circ\text{C}$.

Если $t_2 > t^*$ (горячий посад), то расход газа в первую зону будет уменьшаться. Если $t_2 < t^*$, то увеличиваться, даже на величину больше, чем требуется для условия $t_{\text{пов}}^{\text{зад}}(\tau) = \text{const}$.

Функциональная схема реализации энергосберегающего режима с использованием $t_{\text{пов}}(\tau)$ путем коррекции теплового режима в первой зоне в зависимости от температурного состояния заготовок, подаваемых на нагрев представлена на рис.4.

Разработаны два варианта исполнения: аналоговый, реализуемый на типовых аналоговых технических средствах, и микропроцессорный для реализации на регулирующем контроллере.

Изменение во времени $t_{2 \text{ пов}}(\tau)$ на входе в первую сварочную зону (а) и расхода топлива $V_T(\tau)$ (б) при энергосберегающем режиме управления тепловым режимом представлено на рис.5.

Анализ полученных результатов показывает, что при поступлении в первую зону прохладного металла оперативно увеличивается расход топлива и наоборот.

Эффективность энергосберегающего режима управления по $t_{\text{пов}}(\tau)$ экспериментально подтверждена в реальных производственных условиях работы стана 2500 «ММК».

Зависимости удельного расхода условного топлива от производительности стана при управлении тепловым режимом по $t_{\text{пр}}(\tau) - V_2$ и при управлении по $t_{\text{пов}}(\tau) - V_1$ представлены на рис.6.

При увеличении производительности стана эффективность управления по $t_{\text{пов}}(\tau)$ уменьшается, т.к. в обоих противопоставляемых случаях устанавливаются максимальные тепловые нагрузки, величина которых уже не зависит от информационного сигнала, когда речь идет о поддержании максимально возможной производительности печи.

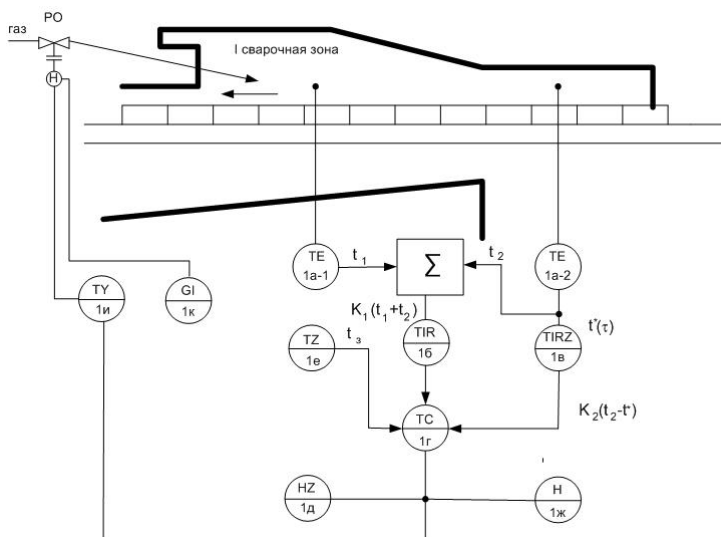


Рис. 4. Функциональная схема системы автоматической коррекции теплового режима первой сварочной зоны по тепловому состоянию заготовок на входе печи

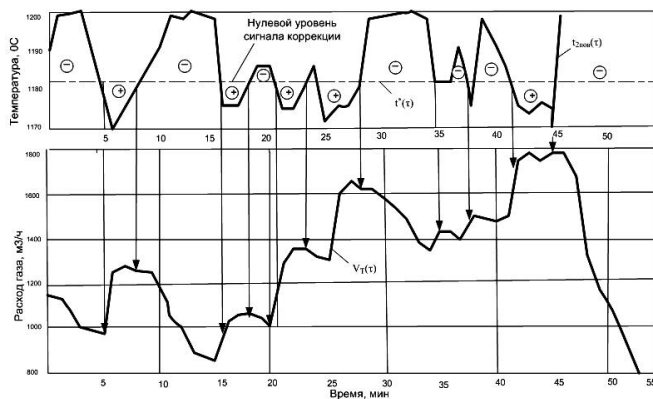


Рис.5. Изменение во времени температуры поверхности металла на входе в первую сварочную зону $t_{2\text{нов}}(\tau)$ и расхода топлива $V_{\gamma}(\tau)$ при работе системы управления по $t_{2\text{нов}}(\tau)$ (стан 2500 «ММК», печь №2)

Энергосберегающее управление режимом нагрева в нижних зонах целесообразно осуществлять в соответствии с принципом объемного пропорционирования расходов [5]:

$$V_{\text{ТН}i}(\tau) = k V_{\text{ТВ}i}(\tau),$$

где $V_{\text{ТН}i}(\tau)$ – текущий расход топлива в нижнюю i -ую зону; $V_{\text{ТВ}i}(\tau)$ – текущий расход топлива в верхнюю зону, расположенную над i -ой нижней зоной; k – коэффициент соотношения тепловых нагрузок верхних и нижних зон, равный 08-09.

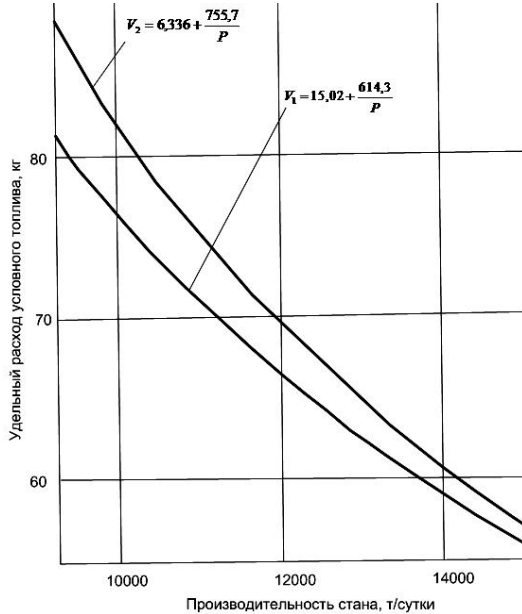


Рис.6. Зависимости удельного расхода условного топлива от суточной производительности стана 2500 «ММК» при различных способах управления тепловым режимом V_1 - по $t_{\text{пов}}(\tau)$, V_2 - по $t_{\text{рн}}(\tau)$

Использование энергосберегающего режима управления нагревом металла по $t_{\text{пов}}(\tau)$ с коррекцией тепловой нагрузки по реальному тепловому состоянию поступающих на нагрев заготовок гарантированно обеспечивает рациональный (технологически обоснованный) запас нагретого металла, снижение удельного расхода топлива на 2-3% при одновременном увеличении температуры раската на 3-5°C и снижение разброса температур раската на методических печах отечественной и зарубежной конструкции при всех условиях за счет повышения оперативности и целенаправленности формирования управляющих воздействий.

Список литературы

1. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Совершенствование управления режимом нагрева металла в методической печи за счет использования модели процесса // Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвузовский сб. тр. Вып. 3. – Магнитогорск: МГТУ, 2009. –С. 131-149.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Модель нагрева металла в методической печи // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки – М.: ВНИИЦ, 2009. – № 50200901094.

3. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Zhadinskiy D.Y., Partin V.N., Chebotov V.M. Energy-saving heating of concast billets / Сталь. 2005. №12. С.44-46.

4. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Жадинский Д.Ю. Исследование энергосберегающего режима нагрева непрерывнолитых заготовок / Сталь. 2007. №4. С. 53-56.

5. Рябчиков М.Ю., Рябчикова Е.С., Обухова Т.Г. Система оптимизации управления процессом сжигания топлива на основе информации о содержании кислорода в отходящих дымовых газах // Электротехнические системы и комплексы: Международ. сб. науч. тр. Вып. 20. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. –С. 316-321.

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА ПРИ
РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ И НАТЯЖЕНИЯ
НЕПРЕРЫВНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА**

Е.Э. Бодров, И.Р. Сафин

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
fortheartist@mail.ru*

В настоящее время в металлургическом производстве широко применяются непрерывные прокатные станы. На них прокатывают основное количество листовой продукции, так как непрерывные станы являются наиболее производительными. Непрерывные станы холодной прокатки по производительности, степени автоматизации и себестоимости прокатываемой продукции для условий прокатки массового сортамента имеют значительные преимущества перед одноклетьевыми реверсивными станами.

В связи с постоянно повышающимися требованиями к качеству листового проката возникает необходимость в модернизации и усовершенствовании существующих систем автоматического регулирования технологических параметров непрерывных прокатных станов.

В качестве объекта исследования был выбран стан 630 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»), схема расположения технологического оборудования которого показана на рис. 1. Необходимость технологической реконструкции главных электроприводов стана потребовала анализа работы всех систем, в том числе и системы автоматического регулирования толщины и натяжения полосы.

Непрерывный прокатный стан, как объект регулирования, представляет собой сложную динамическую многозвенную систему с транспортным запаздыванием, отдельные клетки которой связаны между собой через прокатываемую полосу.

Каждая клеть в свою очередь является многосвязной системой, где два управляющих воздействия – перемещение нажимного механизма и скорость клетки – влияют на переднее натяжение, выходную толщину полосы и скорость ее поступления в клеть. Через эти регулируемые переменные данная клеть связана с последующими и предыдущими клетями. Кроме того, к каждой клетке могут быть приложены контролируемые и неконтролируемые возмущения, например, колебания входной толщины и заднего натяжения,

изменение механических свойств полосы, коэффициента трения в валковом зазоре и другие. Поэтому основной показатель качества полосы – продольная разнотолщинность зависит от возмущений, которые возникают как на входе стана, так и во всех его клетях [1].

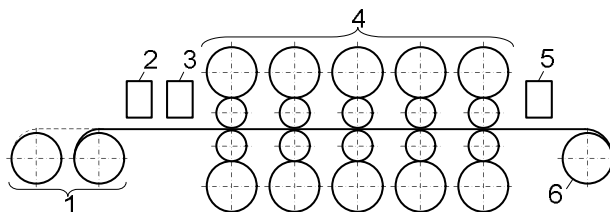


Рис. 1. Схема расположения технологического оборудования непрерывного стана холодной прокатки 630 ОАО «ММК»:

- 1 – два плавающих разматывателя; 2 – гидравлические ножницы;
 3 – правильная машина; 4 – прокатные клетки; 5 – захлестыватель;
 6 – моталка

Таким образом, в исследуемом объекте управления, как и во многих других реальных системах, имеются нелинейные характеристики, сложные для моделирования динамические элементы, неконтролируемые шумы и помехи, множество обратных связей и другие факторы, затрудняющие реализацию стратегий управления. За последние три десятилетия новые стратегии управления в основном развивались на базе современной и классических теорий управления. Как современная (в частности, технологии адаптивного и оптимального управления), так и классическая теория управления в значительной степени базировались на идее линеаризации систем. Для практического применения данного подхода необходима, прежде всего, разработка математических моделей. Однако математическое моделирование, реализуемое на основе предположения о линейности системы, может не отражать ее действительных физических свойств. Даже если удастся построить сложные математические модели, точно отражающие физические соотношения между входом и выходом системы, они могут оказаться бесполезными для целей управления [2].

Из сказанного видно, что необходимым этапом решения задач управления нелинейными динамическими системами является получение их адекватных математических моделей, базирующееся, как правило, на теоретическом и экспериментальном анализе свойств этих систем. Теоретический анализ процессов, происходящих в системе, позволяет получить математическое описание в виде, например, дифференциальных уравнений. Несмотря на огромное количество работ, многообразие видов нелинейностей не позволяет создать

единую теорию идентификации нелинейных систем. Применяемый чаще всего классический подход основан на аппроксимации нелинейностей, например рядами Тейлора, Вольтера, Гаммерштейна, Винера, полиномами Колмогорова-Габора и др. Однако область применения таких моделей ограничена. Кроме того, дополнительные трудности получения адекватного математического описания обусловлено наличием в реальных сигналах помех.

Системы управления, так или иначе использующие искусственные нейронные сети, являются одной из возможных альтернатив классическим методам управления. Возможность использования нейронных сетей для решения задач управления во многом основывается на том, что нейронная сеть, состоящая из двух слоев и имеющая в скрытом слое произвольное большое количество искусственных нейронов, может аппроксимировать любую функцию действительных чисел с заданной степенью точности [3]. Таким образом, для решения задачи управления сложным динамическим объектом может быть использована нейронная сеть даже с одним скрытым слоем.

В настоящее время хорошо разработан и широко используется ряд возможных архитектур построения нейросетевых систем управления [3]. Во всех из них, назначением нейросетевого контроллера является выработка адекватного управляющего сигнала для управления динамикой состояний объекта управления от начального состояния до желаемого итогового состояния. Причем смена состояний должна происходить по оптимальной траектории. Организация контроля за состоянием объекта управления и реализация нейросетевого контроллера в значительной степени зависят от выбранного алгоритма обучения и используемой структуры управления. При этом чаще всего в качестве алгоритма обучения используется алгоритм обратного распространения ошибки.

В методе с использованием нейронных сетей отсутствуют ограничения на линейность системы, он эффективен в условиях шумов и после окончания обучения обеспечивает управление в реальном масштабе времени. Нейросетевые системы управления более гибко настраиваются на реальные условия, образуя модели, полностью адекватные поставленной задаче, не содержащие ограничений, связанных с построением формальных систем. Кроме того, нейросетевые системы управления не только реализуют стандартные адаптивные методы управления, но и предлагают свои алгоритмические подходы к ряду задач, решение которых вызывает затруднение вследствие неформализованности [3].

Большинство схем нейронного управления, разработанных до настоящего времени, основаны на следующих подходах:

1. Последовательная схема управления. Нейронная сеть непосредственно обучается отображению желаемых (опорных) сигналов в управляющие воздействия, необходимые для получения таких сигналов.

2. Параллельная схема управления. Нейронная схема используется для компенсации управляющего воздействия, задаваемого обычным контроллером. Компенсация производится таким образом, чтобы выходной сигнал объекта управления поддерживался как можно ближе к желаемому.

3. Схема управления с самонастройкой. Нейронная сеть настраивает параметры управления, задающие работу обычного контроллера, таким образом, чтобы выходной сигнал объекта управления поддерживался как можно ближе к желаемому.

4. Схема управления с эмулятором и контроллером, или схема обратного распространения во времени. Максимизируется некоторая мера полезности или эффективности во времени, однако при этом эффективный учет действия шумов не обеспечивается, и действительное обучение в реальном времени не достигается (из-за медленной сходимости процесса обучения).

5. Адаптивно-критическая схема. Эта схема приближена к динамическому программированию, т.е. к реализации оптимального управления во времени в условиях шумов и нелинейностей.

На *рис. 2* приведена блок-схема общей схемы управления. Для получения желаемых результатов управления, т.е. для поддержания максимального соответствия выходного сигнала объекта управления опорному сигналу r , можно настраивать два элемента схемы: контроллер прямой связи (КПС) и контроллер обратной связи (КОС).

Контроллер обратной связи (КОС) используется для стабилизации замкнутой системы. Стабилизация достигается на основе сигнала ошибки e , представляющего собой разность между опорным сигналом и выходным сигналом объекта управления y . Если объект управления имеет существенное временное запаздывание, то воздействие управляющего входного сигнала u на выход объекта управления будет проявляться с запаздыванием; получаемый таким образом выходной сигнал будет подаваться обратно (по цепи обратной связи) и сравниваться с опорным сигналом. По разности между сигналами определяется очередной входной управляющий сигнал (управляющее воздействие). Таким образом, временное запаздывание может привести к тому, что замкнутая система потеряет устойчивость.

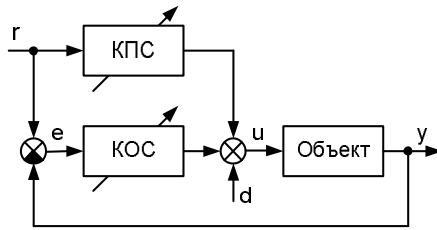


Рис. 2. Общая схема нейронного управления

При отсутствии возмущений d контроллер прямой связи (КПС) не обеспечивает полной гарантии того, что выходной сигнал объекта управления будет соответствовать опорному сигналу, однако обеспечивает быструю передачу выработанного входного сигнала на объект управления. В результате обеспечивается высокая скорость реакции системы. Проще говоря, КОС обеспечивает стабильность системы, а КПС – быстроту ее реакции. Таким образом, если требуется, чтобы выходной сигнал объекта управления быстро изменялся в соответствии с опорным сигналом, то следует использовать КОС [2].

В области управления нейронные сети оказались подходящим средством для решения сложных нелинейных задач управления, для которых обычные методы управления не дают удовлетворительной с практической точки зрения решений. Основные причины, породившие интерес к применению нейронных сетей для задач управления в качестве альтернативы традиционным методам, заключаются в следующем [2].

Во-первых, нейронные сети могут обучаться любым функциям. Требуется только, чтобы в процессе обучения был предоставлен достаточно большой объем информации, а также правильный выбор самой нейронной модели. Таким образом, способность нейронных сетей к самообучению избавляет от необходимости использовать сложный математический аппарат в отличие от многих традиционных методов адаптивного и оптимального управления.

Во-вторых, включение сигмоидальных функций активации (или некоторых нелинейных функций общего вида) в скрытые нейроны многослойных нейронных сетей обеспечивает возможность реализации нелинейных отображений. Это важно для решения задач управления с существенными нелинейностями, для которых традиционные подходы пока не дают практически реализуемых решений. Возможно, это достоинство нейронных сетей – наиболее важное с точки зрения теории управления.

В-третьих, необходимым условием применения традиционных методов оптимального и адаптивного управления является наличие большого объема априорной информации об объекте управления, например данных математического моделирования. Благодаря способности нейронных сетей к самообучению, для нейроконтроллеров такой объем информации не требуется. В связи с этим можно полагать, что нейроконтроллеры пригодны для управления в условиях существенных неопределенностей.

В-четвертых, высокая степень параллельности нейронных сетей позволяет реализовывать очень быстрые методы мультипроцессорной обработки на основе использования нейронных кристаллов или параллельных аппаратных средств.

В-пятых, благодаря реализуемой в нейронной сети архитектуре параллельной обработки, повреждение отдельных элементов технических средств сети не может существенно влиять на работу сети в целом.

Искусственные нейронные сети представляют собой математические модели, разработанные для практического использования принципов, на основе которых, как предполагается, действуют биологические системы. Можно ожидать, что использование таких принципов позволит в некоторой степени имитировать возможности биологических систем по обработке информации. Результатом современных разработок в области применения нейронных сетей в управлении динамическими процессами стало еще недостаточно развитое, но очень перспективное направление в нейронном управлении. Его можно рассматривать как нетрадиционное (коннекционистское) направление в теории адаптивного управления.

Интерес к нейронному управлению, возникший у специалистов по системам управления, можно объяснить тремя основными причинами.

1. Имеются живые образцы интеллектуальных адаптивных контроллеров – биологические нервные системы.

2. Нейронные сети, по существу, представляют собой адаптивные системы, способные обучаться решению сложных задач.

3. Есть основания считать, что нейронные технологии управления позволяют преодолеть многие сложности, возникающие при работе с нелинейными объектами или с объектами неизвестной структуры и неразрешимые с помощью обычных методов адаптивного управления.

Вообще говоря, нейронные сети могут обучаться решению задач управления в оперативном или автономном режиме, в зависимости оттого, выполняет нейронная сеть полезную работу в процессе обучения или нет. Хотя автономное обучение обычно осуществляется достаточно быстро, обобщение результатов автономного обучения на конкретные условия управления представляет значительные сложности. В

связи с этим практически для всех реальных задач управления необходимо оперативное обучение. В идеальном случае обучение должно быть только оперативным. Сеть должна быстро обучаться, начиная с некоторого начального набора весов.

Для обучения инверсной динамике объекта управления по результатам наблюдения соотношений между его входными и выходными процессами были предложены нейроконтроллеры на основе нейронных сетей. Хотя такие нейроконтроллеры доказали свою эффективность в управлении сложными системами, из-за необходимого для них длительного времени обучения во многих практических ситуациях более эффективными оказываются контроллеры, построенные на основе обычных технологий. Медленная сходимость процесса обучения нейроконтроллеров приводит к плохим характеристикам управления и низкой надежности, особенно на начальных стадиях обучения. Чтобы нейронное управление стало действительной альтернативой традиционным методам, необходимы эффективные алгоритмы оперативного обучения нейроконтроллеров.

В обычных адаптивных системах, где выполняется одна корректирующая операция за период дискретизации, повышение частоты дискретизации кажется естественным способом улучшения характеристик. Однако во многих реальных ситуациях частота дискретизации не может превышать некоторого предельного значения. С учетом этого ограничения предложены новые методы оперативного обучения, основанные на эффективном использовании данных о соотношении вход-выход объекта управления. В этих методах различаются понятия частоты дискретизации и частоты обучения.

Большая часть литературы по нейронному управлению посвящена именно многослойным нейронным сетям. Этот вид нейронных сетей представляет особый интерес для специалистов по управлению по следующим причинам [2].

1. Такие сети представляют собой структуры с прямыми связями, в которых информация передается в прямом направлении, от входов к выходам, через скрытые слои. Это свойство особенно удобно для работы с системами, которые можно представить в виде блоков с входами и выходами, но не в виде рекуррентных сетей, как, например, сеть Хопфилда.

2. Сети всего с одним скрытым слоем, использующие произвольную сигмоидную функцию активации, могут выполнять любое нелинейное отображение между двумя пространствами конечной размерности с любой заданной точностью; для этого требуется лишь достаточное количество скрытых элементов (нейронов). Другими словами, многослойные нейронные сети обеспечивают самые разнообразные отображения с любой желаемой точностью. Обычно в системах управ-

ления многие блоки могут рассматриваться как отображающие элементы, поэтому для их эмуляции можно использовать многослойные нейронные сети с входами и выходами.

3. Основным алгоритмом обучения многослойных нейронных сетей – алгоритмом обратного распространения – относится к широкому классу градиентных методов наискорейшего спуска, широко применяемых в оптимальном управлении и поэтому известных специалистам по теории управления.

Указанные достоинства многослойных нейронных сетей свидетельствуют о том, что они могут рассматриваться как блоки, пригодные как для обучения, так и для отображения. На основе этой способности к отображению предложены две общие структуры нейронного управления: эмулятор объекта управления и контроллер, показанные на рис. 3, где \hat{y} – оценка предсказания действительного выхода.

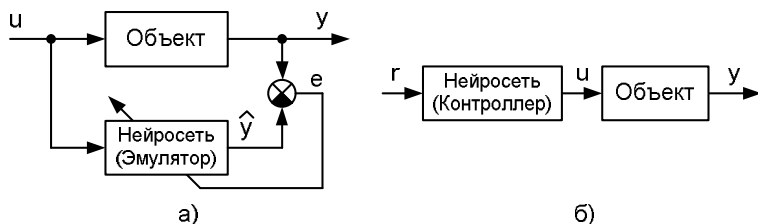


Рис. 3. Схема обучения нейросети для получения нейроэмулятора (а) и последовательная схема нейронного управления с использованием нейросети в качестве контроллера (б)

Первоначально многослойные нейронные сети и алгоритм обратного распространения были разработаны для задач распознавания образов, где обучающие образцы являются статическими, процедура обучения и функция ошибки – однозначные, и обучение в реальном времени не требуется. В управлении обучающие образцы для нейронной сети изменяются со временем, возможно несколько алгоритмов обучения и функций ошибки, а обучение в реальном времени необходимо. Медленная сходимость — основной недостаток многослойных нейронных сетей, серьезно ограничивающий практическое применение нейронного управления. Предложено несколько подходов для ускорения сходимости в нейронном управлении [2].

1. Разработка эффективных алгоритмов обратного распространения.

2. Встраивание знаний о структуре объекта управления в структуру многослойных нейронных сетей.

3. Применение гибридных сетей, в которых искусственные нейронные сети связываются со структурами управления, полученными на основе других (отличных от нейронных) технологий.

4. Предварительное обучение и эффективные процедуры инициализации.

В системах управления с дискретным временем период дискретизации T обычно выбирается по следующему эмпирическому правилу: величина $2\pi/T$ должна значительно превышать максимальную частоту, имеющуюся в системе с непрерывным временем. Обычно повышение частоты дискретизации улучшает характеристики системы, однако это улучшение быстро прекращается (график изменения характеристик достигает плато). В обычных адаптивных системах управления адаптивные элементы, как правило, корректируются один раз за каждый период дискретизации; таким образом, частоту дискретизации и частоту корректировки (или обучения, или адаптации) можно не различать. Если пренебречь ограничениями на время обработки, то может показаться, что фактическое время обучения можно сократить, повысив частоту дискретизации. Однако во многих практических случаях превышение некоторого предела частоты дискретизации недопустимо или нежелательно.

Использование очень высоких частот дискретизации может привести к полной перестройке системы управления и усложнить ее; может потребоваться учитывать частные процессы и переходные явления, которые при меньших частотах дискретизации можно было бы игнорировать. Пример систем, в которых нельзя использовать произвольно высокую частоту дискретизации – распределенные системы управления, в которых интервалы передачи информации на устройство управления и приема информации с него не зависят от самого устройства управления. Хотя период дискретизации T задает базовый темп работы системы управления, в системах с итерационным обучением частота обучающих операций может рассматриваться как еще одна основа для отсчета времени. На практике период дискретизации T обычно значительно превышает время T_L , затрачиваемое на одну обучающую итерацию, т.е. на корректировку всех весов сети; по мере появления реализаций многослойных сетей с более высоким быстродействием (за счет улучшения их программной или аппаратной реализации) отношение T/T_L повышается. Таким образом, если имеется соответствующая информация о входе и выходе объекта управления, и интерес представляет только время, то за период дискретизации может выполняться несколько обучающих итераций.

Проанализировав современную теорию и практику нейронных сетей, можно выделить некоторые её недостатки. К которым можно отнести довольно долгий алгоритм обучения нейронной сети,

возможность наступления так называемого «переобучения» сети при котором приходится начинать процесс обучения заново, а также отсутствие критерия выбора типа используемой сети, количества слоев и нейронов в ней. Но, несмотря на это, можно сделать вывод о том, что будущее интеллектуального управления лежит в сочетании традиционного управления с потенциальными возможностями и перспективами использования систем, основанных на использовании искусственных нейронных сетей.

Список литературы

1. Бодров Е.Э. Система регулирования непрерывного прокатного стана // Электротехнические системы и комплексы: Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 13. – Магнитогорск: МГТУ, 2006. – С. 190 – 192.
2. Нейроуправление и его приложения / Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.
3. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ МЕХАНООБРАБОТКИ

И. П. Хавина, В. В. Лимаренко

*Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков, Украина
slaw_lww@ukr.net*

В современном этапе развития промышленного производства около 80% изделий изготовлены с помощью обработки резаньем. Причина этой ситуации в следующем: процесс формирования поверхностей проходит на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), которые обеспечивают сравнительно низкую себестоимость продукции, при этом геометрия режущего инструмента относительно проста, а его долговечность и себестоимость в достаточной мере сбалансированы за счет применения современных материалов и технологий производства инструмента. Другие виды производства не могут конкурировать с процессами резания, т.к. на существующем уровне технологий обработки поверхностей только обработка резанием обеспечивает требуемую геометрическую точность и шероховатость поверхности [1].

В последние годы проводится большое количество исследований, направленных на улучшение эффективности процессов резания. Основными направлениями совершенствования являются:

- непосредственное совершенствование станков с ЧПУ за счет расширения их функций и улучшения параметров;
- высокая концентрация операций на одном станке;
- улучшение свойств материалов из которых изготавливается режущий инструмент;
- широкое использование гибких производственных систем и модулей;
- применение приложений автоматизированного программирования и интеллектуальных систем управления производством.

Сегодня производители, которые используют станки с ЧПУ, хотя и имеют более эффективные системы планирования и контроля технологического процесса резания. Их требования к данным системам следующие:

- станок должен уметь обрабатывать сложные поверхности;
- использование станков ЧПУ с максимальной степенью автоматизации;
- сокращение времени производства изделия и повышение производительности труда;

- обеспечение максимального качества производства;
- снижение отходов производства, в том числе и за счет снижения брака;
- использование новых компьютерных технологий для поддержки автоматизированного процесса планирования;
- оптимизация использования оборудования и более точное прогнозирование затрат времени;
- возможность создания альтернативных вариантов процесса.

Возможности современного программного обеспечения играют значительную роль в удовлетворении этих требований. CAD/CAM/CAE системы сегодня наиболее часто используются как инструменты автоматизации процесса управления технологическим процессом [2].

CAD (англ. Computer-Aided Design) или САПР (Система автоматизированного проектирования) – программный пакет, предназначенный для создания чертежей, конструкторской и (или) технологической документации и (или) трехмерных моделей. Современные САПР обычно используются совместно с другими системами автоматизации производства.

Обычно САПР охватывает создание геометрических моделей изделия (твердотельных, трехмерных, составных), а также генерацию чертежей изделия и их сопровождение. Следует отметить, что русский термин «САПР» по отношению к промышленным системам имеет более широкое толкование, чем «CAD» – он включает в себя как CAD, так и CAM, и CAE.

CAE (англ. Computer-Aided Engineering) – общее название пакетов, предназначенных для инженерных расчётов, анализа и моделирования физических процессов. CAM (англ. Computer-Aided Manufacturing) – подготовка технологического процесса производства изделий, ориентированная на использование ЭВМ.

Среди наиболее широко применяемых САПР в области машиностроения можно выделить: SALOME, Autodesk, AutoCAD, Cadmech, CATIA, SolidWorks, Pro/Engineer, SolidEdge [3].

В настоящее время появилась возможность предсказания свойств материалов, оценки эффективности технологических процессов и снижения затрат на экспериментальные исследования с использованием компьютерных технологий.

Основными направлениями развития CAD/CAM/CAE систем является совершенствование математического аппарата, совершенствование интерфейсов пользователя и интеграция в информационную среду предприятия.

Рассмотрим некоторые CAD/CAM/CAE системы, применяемые на машиностроительных предприятиях.

В системе CATIA V5 в процессе проектирования создается многопараметрическая управляемая база данных модели-шаблона. В нее входят геометрические параметры, теоретические расчеты, рекомендации, стандарты, базы данных деталей и комплектующих.

При проектировании сложных узлов и деталей можно использовать систему UNIGRAPHICS. На сегодняшний день UNIGRAPHICS является одной из самых мощных систем CAD/CAM/CAE с трехмерным моделированием. В системе UNIGRAPHICS осуществляется также сборка сложных узлов и общая сборка макета устройства в целом. Более простые задачи легко решаются с помощью "средних" САПР, таких как SolidEdge и AutoCAD. Около 60% общемашиностроительных деталей проектируются с использованием этих систем [4].

Основными недостатком данных систем является их очень высокая стоимость, сложность для использования конечным пользователем, и, зачастую, избыточный функционал.

Так же высокую популярность приобрели АСУ ТП (Автоматизированная система управления технологическим процессом) – комплекс программных и технических средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях. Под АСУ ТП обычно понимается комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию основных технологических операций на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно законченный продукт. Составными частями АСУ ТП могут быть отдельные системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные устройства связанные в единый комплекс. Как правило, АСУ ТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматики: датчики, контроллеры, исполнительные устройства. Для информационной связи всех подсистем используются промышленные локальные сети [5].

Но в большинстве случаев невозможно с достаточной полнотой смоделировать физический аспект процесса резки, например технико-экономические параметры, описывающие эффективность процесса резания не возможно предсказать.

Проблема состоит в чрезвычайной сложности процесса резания [6]. В области теории резания была проведена значительная часть научно-исследовательской работы и представлена в виде инженерных справочников и электронных баз данных. Однако, даже наиболее широко используемые приложения не имеют базовых физических моделей. Результаты исследования еще не превратилась в производственную практику. Интуиция опытных техников и операторов по-прежнему играют важную роль в процессе принятия решений [6].

Рассмотрим следующую задачу.

Пусть есть группа изделий, где условия производства были изменены по причине производственной необходимости (смена оборудования, корректировка технических условий, смена исходных заготовок и т.п.). В связи с этим так же изменяются сроки производства, появляется угроза их увеличения (смена техпроцесса, смена заготовки либо требований к качеству выходного продукта и т. п. «замедляющие» факторы). Задача состоит в создании интеллектуальной системы поддержки принятия решений способной реагировать на изменяющиеся условия производства и генерировать новый оптимальный альтернативный план технологического процесса с учетом всех возникших изменений.

Для этого потребуются знания о диапазоне параметров, изменение которых может привести к сокращению времени процесса резки при гарантии сохранения необходимого качества. При этом нужно учитывать, что изменение интенсивности использования инструментов может привести к высокой вероятности увеличения отходов производства (брака).

Использование надежных и альтернативных планов процесса производства позволяют повысить гибкость системы производства. Управление параметрами рабочего процесса будет успешным, если варианты операций будут созданы на этапе разработки (до начала практического производства). Синтез альтернативных решений требует компьютерного моделирования и методов моделирования. Моделирование должно включать в себя технические и геометрические аспекты обработки, а также аспект использования ресурсов и качества продукции.

Одним из направлений дальнейшего совершенствования методов повышения производительности процесса резания является использование элементов искусственного интеллекта, позволяющих упростить вычисления и учесть влияние приведенных выше факторов.

В качестве элементов искусственного интеллекта целесообразно использовать искусственные нейронные сети (ИНС), обладающие способностью реализовать широкий класс функций без априорных допущений о законах их распределения. Повышенный интерес к применению ИНС в подобного рода задачах объясняется простотой и эффективностью, с которой нейронные сети выполняют функциональные преобразования. На основе их обучения может быть обеспечено более точное и оперативное получение искомых параметров в реальном масштабе времени.

На рис. 1 показана структурная поэтапная оптимизация технологического процесса изготовления изделий с помощью лезвийной обработки для топливных насосов авиационных двигателей, где 1 – полу-

чение заготовки; 2 – анализ структуры и характеристики изделий; 3 – выбор оборудования; 4 – выбор инструмента; 5 – выбор приспособлений; 6 – выбор смазочно-охлаждающей технологической среды.

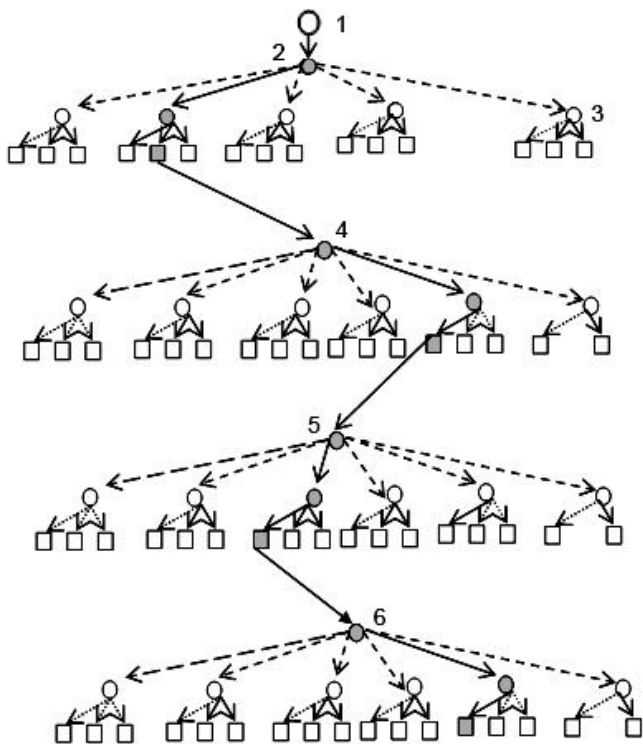


Рис. 1. Структурная иерархическая оптимизация технологического процесса изготовления изделий

Необходимо отметить, что эффективность оптимизации процесса резания целиком и полностью определяется информативностью используемых параметров. Входными параметрами для искусственных нейронных сетей могут быть, как параметры (физические явления) так и факторы, влияющие на параметры процесса резания. В табл. 1 сведены основные физические явления и факторы, влияющие на параметры процесса резания, которые должны быть использованы в качестве входных параметров.

Таблица 1

Явления и факторы	Зависимые параметры
Сила резания	Износ, поломка инструмента, качество и форма поверхности
Крутящий момент на шпинделе	Износ, внезапные поломки инструмента
Температура в зоне резания	Износ, внезапные поломки инструмента, качества поверхности
Вибрации, акустические сигналы	Качество поверхности, износ инструмента
Материал детали, режущего инструмента, покрытие режущего инструмента	Структура, текстура, твердость, прочность на растяжение, прочность на сжатие, прочность на разрыв, ударная вязкость и хрупкость, усталость, ползучесть, кристаллическая структура, скольжение и дислокации, химический состав, коэффициент трения, теплопроводность, склонность к адгезии, внутреннее напряжение, стоимость
Геометрия реза	Задний угол, передний угол, угол наклона режущей кромки, главный угол в плане, угол заострения, вспомогательный угол в плане, угол при вершине, угол закругления
Смазывающе-охлаждающая жидкость	Химический состав, коэффициент трения, теплопроводность, стоимость
Станок	Жесткость станка
Другие влияющие величины	Условия контакта режущего инструмента с деталью, трение в зоне контакта, механизм образования стружки, глубина резания, подача, скорость резания, стоимость операций, заготовки, инструмента

Благодаря обучению, ИНС могут использоваться даже в случаях, когда нет точных данных о взаимосвязях между различными параметрами процесса. Например: для определения точного значения глубины резания будет использована искусственная нейронная сеть. Входами данной нейронной сети являются: частота вращения шпинделя, продольная подача, радиальная сила в точке контакта, а выходом – мгновенная глубина резания.

В качестве нейронной сети, определяющей мгновенную глубину резания целесообразно использовать сеть, обучающуюся с учителем, по алгоритму обратного распространения ошибки.

Данная нейронная сеть не учитывает параметры инструмента и заготовки, поэтому для каждой пары «инструмент-заготовка» необходимо создать отдельную обучающую выборку.

Аналогичным образом может быть решена задача получения необходимой шероховатости поверхности.

Самый простой подход при построении модели оптимизации процесса резания – это использование всех входных параметров для построения одной искусственной нейронной сети и ее обучение на основе существующей базы знаний. Для данного подхода, даже для упрощенной модели, необходим набор параметров для полного описания модели. В связи с большим объемом входных параметров целесообразно разбить модель на подмодели, использовать смешанный подход для решения задачи, создать упрощенную нейронную сеть-модель процесса, которую можно подвергнуть анализу и выявить степень влияния параметров модели на процесс резания.

Подчеркивая важность точности моделей процесса при контроле технологического процесса, разработке и применении моделей процесса на основе ИНС, необходимо обратить особое внимание на полноту входных данных для создания модели и строгое соблюдение взаимосвязи и влияния входных параметров, как друг на друга, так и на результат, а также учесть все технологические ограничения процессов резания для заданных материалов. В настоящее время идет работа по компьютерному моделированию нейронных сетей с помощью пакета NeuroPro. Целью данного моделирования является определение наиболее оптимальной модели ИНС.

Список литературы

1. I. Davim, J. Paulo. Machining: fundamental and recent advanced // London: Springer, – 2008. – 364 p.
2. F. Erdélyi, O. Hornyák. Advanced simulation of NC turning operations // Production Systems and Information Engineering, Miskolc, V. 1. 2003, pp. 41-53.
3. Вейц В. Л., Максаров В. В., Лонщик П. А. Динамика и моделирование процессов резания при механической обработке. – Иркутск: РИО ИГИУВа, 2000.-189 с.
4. Щербаков М. Е. Повышение производительности процесса точения за счёт использования аппарата искусственных нейронных сетей // Автоматизация и современные технологии. 2007 №9. С. 3 - 7.
5. Sandford A. Новые аргументы в пользу автоматизации производственных процессов, // Metalworking Production. 2003. V. 147. № 9 (сентябрь), с. 17, 18.
6. Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ПРОДУВКИ КИСЛОРОДОМ В КОНВЕРТЕРЕ ПО АНАЛИЗУ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Коваленко А.И., Обухова Т.Г., Рябчикова Е.С.

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им.Г.И.Носова», г. Магнитогорск
Alexsmartman@gmail.com*

Актуальность проблемы

Кислородно-конвертерный цех является одним из важнейших цехов на металлургическом предприятии. Отсутствие средств непрерывного контроля состава и температуры конвертерной ванны при высоком темпе производства и времени продувки менее 20 мин., необходимость точного дозирования шихтовых материалов и определение момента остановки продувки по достижении заданного химического состава и температуры металла заставили искать косвенные методы управления плавкой. С сегодняшними возможностями вычислительных комплексов такой подход наиболее приемлем, так как большинство косвенных методик рассчитано на получение большого объема различной информации и сведения её к некоторой математической модели и расчету текущих параметров процесса

Основные проблемы и решения

С самого начала внедрения кислородно-конвертерного способа получения стали, существует проблема контроля и управления параметрами плавки и некоторые проблемы до сих пор не решены. В частности проблема определения концентрации углерода в жидкой ванне во время продувки. Контроль этого параметра очень важен, так как он влияет не только на качество выплавляемой стали, но и на выход годного, при низких содержаниях кислород продувки главным образом идёт на окисление железа. Своевременная и точная остановка продувки на заданной концентрации углерода увеличивает производительность конвертера, снижением времени на плавку и уменьшением додувок. Выбор метода прогноза углерода по химическому анализу отходящих газов обусловлен, по нескольким причинам. Обезуглероживание жидкой стали наиболее четко отражается на показателях отходящих газов, чем на других параметрах процесса поддающихся непрерывному измерению. Наличие быстрого и достаточно точного газоаналитического комплекса ЭМГ-20, используемого для определения состава отходящих газов на ККЦ ОАО «ММК», а также наличие централизованной автоматизированной системы управления плавкой в конвертере позволяет внедрить эту систему на существующей технической базе.

Продуктами окисления углерода являются газообразные окислы CO и CO₂, покидающие конвертер и транспортируемые затем по системе отвода и очистки. Контроль расхода и состава газов позволяет определить скорость и другие характеристики реакции обезуглероживания.

Идея этого метода заключается в сведении баланса газов, поступающих в дымовой тракт из конвертера и атмосферы. Из конвертера во время продувки выделяются углеродсодержащие газы CO и CO₂, а также незначительное количество других газов. Из окружающей конвертер атмосферы в дымовой тракт поступает воздух, часть кислорода которого расходуется на дожигание выделяющегося из конвертера CO до CO₂.

Получая непрерывную информацию о составе и динамике изменения концентраций компонентов отходящих газов, можно вести процесс в оптимальном режиме и оперативно по ходу плавки устранять отдельные источники изменения содержания компонентов конвертерных газов. В частности используя информацию о концентрациях CO и CO₂ в отходящих газах, определяется текущее содержание в конвертере. Сведения о текущем содержании углерода в металле служит для управления продувкой и определения её окончания.

Для определения химического состава отходящих газов на ККЦ ОАО «ММК» использован экспрессный многокомпонентный газоанализатор ЭМГ-20. Схема расположения систем газового анализа по газовым трактам конвертера представлена на рисунке 1 [1].

Метод газового анализа дает возможность осуществлять непрерывный контроль хода процесса обезуглероживания. Сущность метода состоит в том, что количество углерода, удаляемого из ванны за промежуток времени Δt определяется по количеству конвертерного газа и по сумме концентраций углеродосодержащих газов CO + CO₂ в нем.

Текущая концентрация углерода рассчитывается по формуле 1[2]:

$$c(\tau) = \left\{ G(0) \cdot c(0) - 0,536 \int_0^{\tau} Q_{o,z} \cdot ([CO_{o,z}] + [CO_{2o,z}]) d\tau \right\} \cdot \frac{1}{G(\tau)}. \quad (1)$$

Для расчёта необходимо знать следующие исходные данные:

- начальную массу металлической шихты;
- начальное содержание углерода в шихте;
- текущую массу металлической ванны;
- текущий расход отходящих газов;
- концентрации CO и CO₂ в отходящих газах.

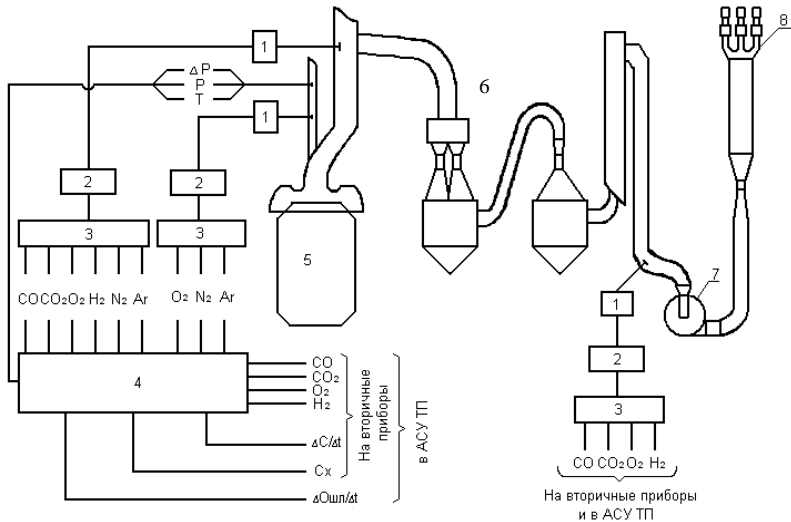


Рис.1. Схема расположения систем газового анализа по газовым трактам конвертера: 1 - пробоотборные устройства; 2 - газообработка; 3 - масс-спектрометр; 4 - ЭВМ; 5 - конвертер; 6 - газоотводящий тракт; 7 - дымосос; 8 - дожигающее устройство; $\Delta C/\Delta t$ - скорость обезуглероживания; C_x - текущее содержание углерода; $\Delta O_{шл}/\Delta t$ - скорость удаления кислорода шлаком

Начальное содержание углерода в конвертере определяется по формуле 2 [2]:

$$C(0) = \frac{M_q \cdot C_q + M_l \cdot C_l}{M_q + M_l}, \quad (2)$$

где M_q и M_l - масса чугуна и металлического лома соответственно, кг; C_q и C_l концентрации углерода в чугуне и ломе соответственно, %.

Эффективность расчёта текущего содержания углерода зависит от множества факторов, в частности от точности измерения химического состава отходящих конвертерных газов, от инерционности измерений, от точности расчёта расхода газов и массы металла. Но в целом, если провести работу над поправками, вычислить постоянную погрешность и учесть её, то можно с инженерной точностью прогнозировать конечное содержание углерода.

Заключение

В данной работе был предложен метод управления конвертерной плавкой по анализу отходящих газов. Применение газоаналитических систем позволяет решить задачу автоматизации процесса прекращения продувки при заданном содержании углерода. Это позволяет улучшить экономические показатели производства, увеличить выход годного и повысить производительность конвертера

Список литературы

1. Туркенич Д. И., - Управление плавкой стали в конвертере. Москва. - 360 с.
2. Парсункин Б. Н., Андреев С.М., Рябчикова Е.С. - Автоматизация технологических процессов и производств в металлургии. – Магнитогорск, 2011. – 151 с.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОСТАДИЙНОГО ДРОБЛЕНИЯ

В.Л. Евстигнеев

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им Г.И. Носова», г. Магнитогорск*

В общем случае многостадийное дробление является одним из технологических звеньев обогатительного процесса, который представляет собой политехнологическое производство [1]. Поэтому, в общем случае, целевая функция многостадийного дробления неавтономна и подчинена иерархии целевых функций (начиная от наиболее высокого уровня – горно-добывающий и обогатительный процессы в целом, включая подготовку горного сырья к последующей переработке – сушка, агломерация, окомкование).

В конкретных случаях, однако, процесс многостадийного дробления с позиции оптимизации может рассматриваться как автономный.

Прежде всего имеются производства, на которых технологический процесс переработки горного сырья ограничен дроблением – дробильно-сортировочные комплексы, конечным продуктом которых является щебень [2, 3].

По-видимому, такой подход (т.е. рассмотрение процесса как автономного) допустим к каждому производству, где после многостадийного дробления осуществляется разделительный процесс (или вообще процесс, имеющий принципиально иную природу). Например, процесс сухой магнитной сепарации состоит из двух технологических операций – дробление и разделение (сепарация), и дробление в этом случае может рассматриваться как автономный процесс (хотя промпродукт в ряде случаев подвергается дополнительной переработке).

Иное дело, когда вслед за циклом дробления следует цикл измельчения (или мелкого дробления). Эти два цикла взаимосвязаны, и автономное рассмотрение процесса дробления в этом случае неправомерно – эффективность измельчения (мелкого дробления) зависит от качества процесса крупного и среднего (многостадийного) дробления и, следовательно, локальные критерии оптимальности этих процессов взаимообусловлены.

Таким образом, при исследовании вопросов оптимизации необходимо рассматривать два случая:

1. Автономный процесс многостадийного дробления.

2. Неавтономный (связанный) процесс многостадийного дробления.

Соответственно целевые функции и критерии оптимальности формулируются различно.

Критерий оптимального управления автономным процессом многостадийного дробления:

$$Q \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничении

$$C = C_3, \quad (2)$$

где C – числовая характеристика крупности продукта многостадийного дробления; C_3 – заданная числовая характеристика крупности продукта многостадийного дробления; Q – производительность многостадийного дробления.

Критерий оптимального управления неавтономным процессом многостадийного дробления:

$$d_{ep} \rightarrow \min \quad (3)$$

при ограничении

$$Q = Q_3 \quad (4)$$

где d_{ep} – средневзвешенный диаметр продукта многостадийного дробления; Q_3 – заданное значение производительности технологической линии многостадийного дробления.

Производительность многостадийного дробления равна пропускной способности лимитирующего агрегата. Для многостадийного дробления, состоящего из n технологических агрегатов:

$$K_{g1} = \frac{Q_u}{Q_1}; \quad K_{g2} = \frac{Q_u}{Q_2}; \quad \dots \quad K_{gn} = \frac{Q_u}{Q_n};$$

где Q_u – количество руды, подаваемой на дробление в технологическую линию; Q_1 ; Q_2 ; ...; Q_n – количество руды, поступающей на каждый агрегат.

$$\begin{array}{l}
Q = Q_n = K_{g1}Q_{p1} \quad \text{при} \\
Q = Q_n = K_{g2}Q_{p2} \quad \text{при} \\
Q = Q_n = K_{gn}Q_{pn} \quad \text{при}
\end{array}
\left\{
\begin{array}{l}
K_{g1}Q_{p1} < K_{g2}Q_{p2}; \\
K_{g1}Q_{p1} < K_{g2}Q_{p2}; \\
\dots\dots\dots \\
K_{g1}Q_{p1} < K_{gn}Q_{pn}; \\
K_{g2}Q_{p2} < K_{g1}Q_{p1}; \\
K_{g2}Q_{p2} < K_{g3}Q_{p3}; \\
\dots\dots\dots \\
K_{g2}Q_{p2} < K_{gn}Q_{pn}; \\
K_{gn}Q_{pn} < K_{g1}Q_{p1}; \\
K_{gn}Q_{pn} < K_{g2}Q_{p2}; \\
\dots\dots\dots \\
K_{gn}Q_{pn} < K_{gn-1}Q_{pn-1},
\end{array}
\right. \quad (5)$$

где Q_n – пропускная способность технологической линии; Q_{p1} ; Q_{p2} ; Q_{p3} ; ... Q_{pn} – пропускные способности технологических агрегатов; K_{g1} ; K_{g2} ; K_{g3} ; ...; K_{gn} – доля потока исходной руды, поступающей на вход каждого технологического агрегата.

Целевую функцию для критерия оптимального управления автономным процессом многостадийного дробления запишем в виде:

$$\begin{array}{l}
\text{или} \\
Q_{p1} \rightarrow \max \quad \text{при} \\
\text{или} \\
Q_{p2} \rightarrow \max \quad \text{при}
\end{array}
\left\{
\begin{array}{l}
Q_n \rightarrow \max \\
Q_{p1} < Q_{p2}; \\
Q_{p1} < Q_{p3}; \\
\dots\dots\dots \\
Q_{p1} < Q_{pn}, \\
Q_{p2} < Q_{p1}; \\
Q_{p2} < Q_{p3}; \\
\dots\dots\dots \\
Q_{p2} < Q_{pn},
\end{array}
\right. \quad (6)$$

$$Q_{pn} \rightarrow \max \quad \text{при} \quad \begin{aligned} Q_{pn} &< Q_{p1}; \\ Q_{pn} &< Q_{p2}; \\ &\dots\dots\dots \\ Q_{pn} &< Q_{pn-1}, \end{aligned}$$

при ограничении

$$C = C_3$$

Получим целевую функцию для критерия оптимального управления для неавтономного многостадийного дробления без рециклов с операцией грохочения перед каждой стадией, не учитывая время перемещения руды между стадиями. Задачу решим в статике.

Продукт многостадийного дробления всегда можно разделить на K узких фракций: $0 \div 5$; $5 \div 10$; $10 \div 15$ мм ... и т.д. до максимального размера кусков руды. Узкие фракции продукта содержатся в исходной руде и образуются при дроблении на каждой стадии.

Выход кусков руды крупнее куска размером d определяется по типовым характеристикам. Аппроксимируем типовые характеристики полиномами, например, вида:

$$\gamma = C_1 + C_2 \frac{d}{B} + \dots + C_m \frac{d^n}{B^n}, \quad (7)$$

где C_1 ; C_2 ; ...; C_m – коэффициенты, зависящие от свойств руды; B – размер разгрузочного отверстия дробилки. Выход узкой фракции определим из соотношения:

$$\gamma_i = \gamma_{dm} - \gamma_{np}; \quad (8)$$

где γ_{dm} – содержание в дробленой руде кусков крупнее минимального, для данной узкой фракции, куска d_m ; γ_{np} – содержание в дробленой руде кусков крупнее предельного, для данной узкой фракции, куска d_{np} .

Подставив в (8), (7) и проведя преобразование, получим:

$$\gamma_i = \frac{C_2(d_m - d_{np})}{B} + \frac{C_3(d_m^2 - d_{np}^2)}{B^2} + \dots + \frac{C_m(d_m^n - d_{np}^n)}{B^n}. \quad (9)$$

Количество i -той фракции, получающейся в результате дробления на j -той стадии, определим:

$$Q_{ji} = \frac{\gamma_i Q_j}{100}; \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, K, \\ j = 1, 2, \dots, l, \end{matrix} \quad (10)$$

где Q_j – количество руды, поступающей на дробление в j -тую стадию; l – число стадий дробления.

Количество i -той фракции в продукте многостадийного дробления:

$$Q_{bi} = \sum_{j=1}^l \frac{\gamma_i Q_j}{100}, \quad (11)$$

Тогда

$$\gamma_{bi} = \frac{Q_{bj} \cdot 100}{Q_b}, \quad (12)$$

где γ_{bi} – содержание i -той фракции в продукте многостадийного дробления, %; Q_b – количество руды, прошедшей многостадийное дробление, м³/ч.

Определим количество руды, поступающей на каждую стадию дробления:

$$Q_1 = \frac{Q_u \cdot \gamma_{d1}^0}{100},$$

где γ_{d1}^0 – содержание кусков руды крупнее ячейки грохота, установленного перед первой стадией, %; Q_1 – количество руды поступающей на первую стадию дробления, м³/ч.

Количество руды, поступающей на вторую стадию, при наличии перед ней грохота с размером ячеек d_2 , равно:

$$Q_2 = Q_{12} - Q_{u2},$$

где Q_{12} – количество кусков руды в продукте дробления первой стадии крупнее размера ячейки грохота, стоящего перед второй стадией, м³/ч; Q_{u2} – количество кусков руды крупнее d_2 , но мельче d_1 , в исходном продукте.

Отсюда следует:

$$Q_2 = \frac{\gamma'_{d2} \cdot Q_1}{100} + \frac{\gamma_{d2}^0 \cdot Q_u}{100} - \frac{\gamma_{d1}^0 \cdot Q_u}{100},$$

где γ'_{d_2} – содержание кусков руды в продукте дробления первой стадии крупнее размера ячейки грохота, стоящего перед второй стадией.

Обозначив $(\gamma^0_{d_2} - \gamma^0_{d_1})$ через $\gamma^0_{g_2}$ получим:

$$Q_2 = \frac{\gamma_{d_2} \cdot Q_1}{100} + \frac{\gamma^0_{g_2} \cdot Q_u}{100},$$

где $\gamma^0_{g_2}$ – содержание кусков руды крупнее d_2 , но мельче d_1 , в исходном продукте.

Аналогично для третьей стадии при наличии перед ней грохота с размерами ячеек d_3 , получим:

$$Q_3 = \frac{\gamma^2_{d_3} \cdot Q_2}{100} + \frac{\gamma^0_{g_3} \cdot Q_u}{100} + \frac{\gamma'_{g_3} \cdot Q_1}{100},$$

где γ'_{g_3} – содержание в продукте дробления первой стадии кусков руды крупнее d_2 , но мельче d_3 , %; $\gamma^2_{d_3}$ – содержание в продукте дробления второй стадии кусков руды крупнее размера ячейки грохота, стоящего перед третьей стадией; $\gamma^0_{g_3}$ – содержание в исходном продукте кусков руды крупнее d_3 , но мельче d_2 , %.

Для l -той стадии запишем:

$$Q_l = \frac{\gamma^{l-1}_{d_l} \cdot Q_{l-1}}{100} + \frac{\gamma^0_{g^l} \cdot Q_u}{100} + \frac{\gamma'_{d_l} \cdot Q_1}{100} + \dots + \frac{\gamma^{l-1}_{g^l} \cdot Q_{l-2}}{100}. \quad (13)$$

Подставив (11) в (12), получим формулу для расчета содержания i -той стадии в продукте многостадийного дробления:

$$\gamma_{bi} = \frac{\sum_{j=1}^l \gamma_j Q_j}{Q_b}. \quad (14)$$

Используя известную формулу, получим аналитическое выражение для расчета средневзвешенного диаметра руды многостадийного дробления:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^K \left(\sum_{i=1}^l \gamma_{ij} \cdot Q_j \right) d_{si}}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} \cdot Q_j}, \quad (15)$$

где d_{si} – средний диаметр кусков для данной узкой фракции, мм.

Установим связь ограничения (4) с выражением (15). Пропускная способность дробящего агрегата в общем виде определяется выражением:

$$Q_p = f(K_1, K_2, B), \quad (16)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий конструктивные параметры агрегата; K_2 – коэффициент, учитывающий свойства руды.

Зная количество руды, поступающей на данную стадию дробления, можно определить минимально допустимые размеры разгрузочных отверстий дробилок на каждой стадии дробления, исходя из условия:

$$Q_{p1} = Q_1; \quad Q_{p2} = Q_2; \quad \dots \quad Q_{pl} = Q_{pl}. \quad (17)$$

Величины разгрузочных отверстий, при которых выполняется условие (17), определим, как:

$$B_{p1} = f_1 \left(\frac{Q_1}{K_{11}, K_2} \right); \quad B_{p2} = f_2 \left(\frac{Q_2}{K_{12}, K_2} \right); \quad \dots \quad B_{pl} = f_l \left(\frac{Q_l}{K_{1l}, K_2} \right). \quad (18)$$

Таким образом, ограничение $Q = Q_3$, приводим к виду:

$$B_1 \geq B_{p1}; \quad B_2 \geq B_{p2}; \quad \dots \quad B_l \geq B_{pl}. \quad (19)$$

Окончательно целевую функцию запишем:

$$\min \left| \frac{\sum_{i=1}^K \left(\sum_{j=1}^l \gamma_{ij} \cdot Q_j \right) d_{si}}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} \cdot Q_j} \right| \quad (20)$$

при ограничениях:

$$B_1 \geq B_{p1}; \quad B_2 \geq B_{p2}; \quad \dots \quad B_l \geq B_{pl}.$$

Анализ целевых функций (6), (20) показывает, что зависимость управляемых параметров от управляющих воздействий нелинейна, нелинеен и характер ограничений. Поэтому определение экстремума целевых функций осуществим методами нелинейного программирования. Альтернативным способом поиска экстремума является использование систем экстремального регулирования. Приведенные расчеты позволяют реализовать управление процессом дробления поэтапно, когда на первом этапе осуществляется оперативный выход в область расчетного оптимума критерия качества, а далее в работу включаются поисковые системы экстремального регулирования [4].

Список литературы

1. Рябчиков М.Ю., Евстигнеев В.Л., Евстигнеева М.В. Повышение точности дозирования компонентов доменной шихты как основа получения высокоэкономичных сталей // Труды седьмого конгресса сталеплавильщиков 15-17 октября, 2002г. – М., 2003. – С.210-214.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 65-69.

3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 5-9.

4. Рябчикова Е.С., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Полько П.Г. Система экстремального регулирования на основе нечеткой логики. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011612244. ОБ ПБТ. 2011. №2.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ И ТРЕВОГ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ ДРОБЛЕНИЯ

*Д. С. Белоконов**

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск
belokon_denis.mgn@mail.ru*

Введение

Измельчительный комплекс представляет собой модульную систему аппаратов. Основными звеньями комплекса являются мельница центробежная со встроенным статическим классификатором, дополнительный модуль классификации, циклонная группа, фильтрационный модуль [1]. Решение задач, связанных с повышением эффективности процесса дробления рассматривалось в работах [2, 3], однако аспекты, связанные с разработкой информационного обеспечения поддержки процесса управления дроблением не рассматривались.

В данной статье описана разработанная система предупреждений и тревог для фильтрационного модуля измельчительного комплекса. Кроме этого на примере конкретной задачи управления Фильтром рукавным (секционным) с импульсной регенерацией рукавов типа «ФРИ–С–8–2 ТУ4863-010-02402470-02» (В дальнейшем “Фильтр”), рассмотрена программа, реализованная на языках ST и LD в среде CoDeSys 2.3 (версии 2.3.9.9) и используемая ПЛК 110-220.60.P “Овен”. Создана визуализированная панель управления Фильтром. Реализованы дополнительные, для данного объекта, режимы работы: “Без МЭО”, “Наладка”, “Обработка данных фильтром скользящего среднего”.

Актуальность работы

Данная тема актуальна в связи с тем, что возрос спрос на системы автоматического управления высокой надёжности, работающее в относительно сложных условиях, а так же потому, что рукавные фильтры получили большое применение в промышленности.

Технологический процесс. Назначение элементов фильтра

Фильтр предназначен для очистки до санитарной нормы запыленных технологических газов с температурой не более 130⁰С и влагосодержанием, исключаяющим конденсацию влаги в фильтре, неагрессивных, нетоксичных видов пыли с диаметром частиц, не менее 0,5 мкм. Областью применения фильтра являются предприятия цементной, химической, металлургической и других отраслей промышленности.

Принцип работы фильтра основан на улавливании пыли фильтрующей тканью при прохождении через нее запыленного воздуха. При осаждении пыли поры в ткани постепенно уменьшаются. Основная масса пыли не проникает в ткань, а оседает снаружи первичного слоя пыли. Загрязненный воздух поступает в фильтр по воздуховоду в камеру "запыленного" воздуха, разделенную перегородками на 4 секции. Камера "запыленного" воздуха представляет собой каркас прямоугольной формы, к которому крепится отсек чистого воздуха с рукавной панелью. В рукавной панели имеются отверстия, в которые со стороны отсека чистого воздуха вставляются фильтрующие элементы-рукава на проволочных каркасах. Воздух проходит через рукава, при этом частицы пыли задерживаются на их наружной поверхности, а очищенный воздух поступает в отсек чистого воздуха и через воздуховод отводится от фильтра. В отсеке чистого воздуха вдоль рукавной панели расположены трубы раздающие, подсоединенные через электромагнитные клапаны к ресиверам и служащие для равномерного распределения сжатого воздуха по рукавам в период регенерации. Воздух из ресивера через электромагнитные клапана поступает в продувочные трубы с отверстиями на каждый рукав. Уловленная пыль собирается в бункере пирамидальной формы, предназначенном для сбора пыли, откуда с помощью выгрузного устройства удаляется из фильтра. После проведения регенерации рукавов, следующая секция включается в работу [1].

Предложенный алгоритм управления фильтром

Автором данной статьи предлагается использовать простой и рациональный алгоритм управления Фильтром (рисунок 1).

Основная часть алгоритма начинает функционировать после нажатия оператором кнопки "Пуск" при условии, что на контроллер пришел сигнал, подтверждающий нормальную работу Аспирации и разрешающий работу фильтра. После чего подается сигнал с контроллера на открытие МЭО первой секции (время открытия МЭО каждой секции фиксировано и составляет 20 мин, по истечению, которого секция отключается по воздуху).

После отключения секции производится перерасчет следующих величин по линейным зависимостям:

Кол-во циклов включения клапанов: $4 \cdot P + 8$;

Время импульсного включения клапанов: $0.28 \cdot P + 0.56$;

Пауза между секциями: $20 \cdot P$;

Пауза между циклами секций: $300 \cdot P$;

Пауза между циклами клапанов: $5 \cdot P$;

где P – давление разрежения в фильтре.

В данных зависимостях числа являются коэффициентами устанавливающими взаимосвязь между требуемым временем работы час-

той алгоритма и существующим давлением разряжения в Фильтре, зависимости выведены экспериментальным путем для данного конкретного случая.

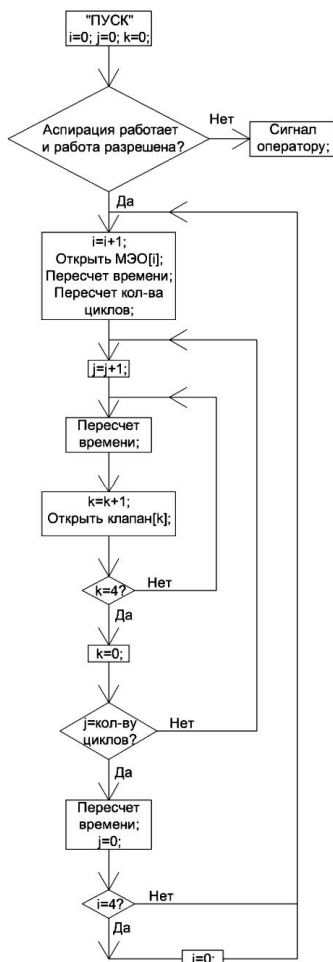


Рис.1. Блок-схема основного алгоритма работы фильтра

Затем с использованием пересчитанного времени производится: поочередная подача кратковременных электрических импульсов на электромагнитные клапана труб раздающих (после включения каждого клапана пересчитывается все время), после чего выдерживается пауза

между открытием клапанов (которая фиксирована и составляет 3 секунды). Пауза между циклами включения клапанов длится в течении рассчитанного времени, а повторение данной части алгоритма производится рассчитанное кол-во раз. На последнем цикле вместо паузы между циклами клапанов используется пауза между секциями, после которой пересчитывается все время (перерасчет количества циклов включения клапанов ведется только после отработки каждого МЭО). После подобные действия производятся над МЭО и клапанами следующей секции. Когда последняя секция закончит импульсную регенерацию, отрабатывается пауза между циклами секций, после которой в работу снова включается первая секция фильтра.

Возможные режимы работы фильтра

С помощью визуализированной панели управления (представленной на рисунке 2) у оператора существует возможность дистанционно управлять процессом работы Фильтра. Используя четыре клавиши, оператор может включить в работу не только сам Фильтр, а так же запускать аспирационный вентилятор и механизмы загрузки-выгрузки. Так же предусмотрены три кнопки активации следующих режимов работы объекта.

Режим “Без МЭО” – в тех случаях, когда поступили сигналы о том, что определенное количество МЭО находится в аварийном состоянии, оператор может переключиться на режим работы Фильтра “Без МЭО”.

Режим “Откл.Фильтр” – при активации отключает фильтр скользящего среднего который выдает среднее значение давления разрежения за последние 60 сек.(Когда в таблице напротив “фильтр скользящего среднего активен” выведено “TRUE” – значит фильтр скользящего среднего действительно показывает среднее значение за минуту, до этого момента ему требуется 1 минута для получения полной информации о давлении разрежения в течении этого времени).

Режим “Наладка” позволяет производить наладку фильтра при установке – блокируются все сигналы об аварийных ситуациях.

Остановка работы фильтра осуществляется повторным нажатием кнопки “ПУСК”. При следующем включении фильтра он всегда начинает свою работу с первой секции.

Аварийные ситуации

Так же рассмотрены и проработаны основные возможные аварийные ситуации для данного объекта.

Предусмотрен контроль открытия и закрытия МЭО: то есть учет времени в течении, которого должна поступить информация о кор-

ректном выполнении открытия или закрытия МЭО (это время постоянно и равно 15 сек). Если такой сигнал не поступает в течении данного времени, то выводится сигнал о том, что МЭО данной секции не функционирует.

Оператор так же может наблюдать сигналы о корректной работе аспирационного вентилятора и механизмов загрузки-выгрузки, в виде соответствующих стрелок на визуализированной панели управления, горящих зеленым светом при нормальной работе и красным в противоположном случае

На контроллер поступает информация о наличии рабочего напряжения на МЭО: если отсутствует такой сигнал о наличии рабочего напряжения на МЭО, то незамедлительно выводится сигнал о том, что МЭО данной секции не функционирует.

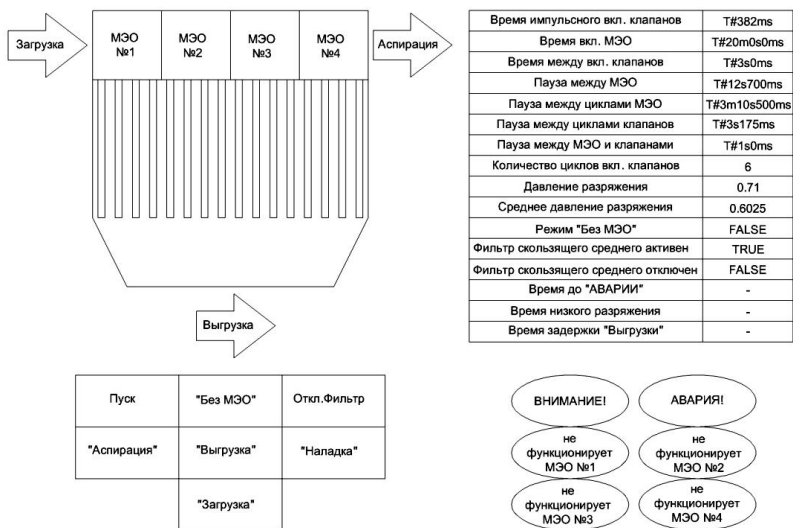


Рис.2. Визуализированная панель управления

Как только любое МЭО признается не функционирующим, начинается обратный отсчет времени (90 мин.) после которого подается сигнал оператору "АВАРИЯ!". Если не функционирующими признается два МЭО время обратного отсчета 60 мин, если три это время будет 30 мин, если же все МЭО не функционируют, сигнал аварии оператору поступает незамедлительно.

И оператор должен принять решение: отключить фильтр от работы и произвести ремонт, либо перейти в режим "Работа без МЭО".

Величина аварийного разряжения (0.5 кПа) – величина ниже которой не должно опускаться давление разрежения в фильтре, как только разрежение становится ниже этой величины выводится сигнал “ВНИМАНИЕ!”; время возможного аварийного разряжения (30 сек) – время по истечении которого поступит сигнал “АВАРИЯ!”; аварийное время простоя выгрузки (50 мин) – время в течении, которого возможен простой “Выгрузки” без поступления сигнала об аварии. Так же по истечению данного времени автоматически прекращается “Загрузка”, при том, что фильтр продолжает свою работу столько, сколько потребуется.

Список литературы

1. ООО “Сфера” [Электронный ресурс]: страница содержит сведения обо всех видах оборудования, поставляемых данной компанией. – Электрон.дан. – Режим доступа: <http://www.sfera-saratov.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 65-69.

3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 5-9.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев

*ФБГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
andreev.asc@gmail.com*

Для повышения эффективности многих производственных процессов требуется снижение удельного энерго-ресурсопотребления или повышение производительности технологического процесса производства. Наиболее эффективно указанные проблемы в условиях действующего производства могут быть решены, без существенных капитальных затрат, за счет использования систем автоматической оптимизации управления (САОУ) или систем экстремального регулирования (СЭР).

Общая теоретическая постановка и решение прикладных задач с использованием САОУ, как нового простейшего класса адаптивных автоматических систем, впервые осуществлена отечественным ученым В.В. Казакевичем в 1944 г. [1]. Заметный вклад в развитие теории и практики систем автоматической оптимизации внесли Казакевич В.В., Растринин Л.А., Красовский А.А., Юркевич А.П., Ципкин Я.З., Морсанов И.С., Ивахненко А.Г., Родов А.Б., Арефьев Б.А. и другие отечественные ученые.

В отечественной и зарубежной литературе 50-60-ых годов прошлого столетия по САОУ рассмотрены, как правило, только результаты многочисленных теоретических исследований или кратковременных опытно-промышленных испытаний САОУ в производственных условиях.

Значительная инерционность при существенном запаздывании реальных оптимизируемых технологических процессов, наличие высокочастотных случайных помех и низкочастотных технологических возмущений обуславливают серьезные проблемы и трудности при практическом использовании САОУ в производственных условиях.

Кроме того, как показал практический опыт использования САОУ при оптимизации управления процессом сжигания топлива в нагревательных печах, негативную оценку производственного персонала получил периодический (автоколебательный) поисковый режим работы этих сложных, но в общем, эффективных систем.

Интенсивное использование при автоматизации технологических процессов программируемых микропроцессорных регулирующих контроллеров (МРК) позволило создавать САОУ, в которых удастся успешно решать многие ранее существующие проблемы по созданию эффективных и помехоустойчивых систем [2].

САОУ или СЭР принципиально отличаются от широко используемых в промышленности локальных систем автоматического управления (САУ), обеспечивающих стабилизацию заданных значений технологических параметров производственного процесса. В САОУ задается не конкретное значение управляемого технологического параметра, а цель управления, заключающаяся в определении и поддержании текущего оптимального (экстремального) значения оптимизируемого параметра производственного процесса.

Необходимым и обязательным условием эффективного использования САОУ технологическими процессами является наличие у объекта оптимизации статической характеристики унимодального вида. Статические характеристики такого вида для реальных технологических процессов, а также возможные варианты использования САОУ для оптимизации управления технологическими процессами в металлургическом производстве приведены в работах [3-10].

Поскольку текущее экстремальное значение оптимизируемого параметра не определено, то для САОУ характерен поисковый режим работы, суть которого заключается в следующем. Первоначальное управляющее воздействие в САОУ осуществляется в случайно выбранном направлении. Затем анализируется результат реакции оптимизируемого объекта (технологического параметра) на первоначальное управляющее воздействие. По результату анализа реакции (отклика) оптимизируемого параметра формируется направление, и величина управляющего воздействия на последующий интервал времени. Если измеренные величины оптимизируемого параметра совпадают по направлению, требуемому для достижения поставленной цели, то выбранное направление изменения управляющего воздействия следует считать правильным и нужно сохранять это направление и на последующий интервал времени. Иначе следует изменить направление управляющего воздействия на противоположное, т.е. произвести реверс исполнительного механизма, формирующего управляющее воздействие.

По принципу формирования управляющего рабочего входного воздействия САОУ делятся на два вида. В САОУ первого вида управляющее воздействие совмещено во времени с поисково-тестирующим входным воздействием [4,5,7-9].

В САО второго вида рабочее входное управляющее воздействие разделено во времени с поисково-тестирующим входным воздействием на оптимизируемый процесс [3,6].

Системы первого вида характеризуются повышенным быстродействием, но обладают меньшей устойчивостью при действии помех. Это часто приводит к сбою в работе САОУ на объектах оптимизации, подверженных интенсивному воздействию технологических помех и возмущений. САОУ второго типа обладают повышенной помехозащищенностью, но характеризуются меньшим быстродействием и сложны при технической реализации. По способу организации динамического поиска экстремума САОУ подразделяются на следующие типы.

- системы с принудительной модуляцией;
- системы с изменением величины и знака изменения выходного оптимизируемого параметра;
- системы с изменением величины и знака производной выходного оптимизируемого параметра во времени и по входному управляющему воздействию;
- системы с запоминанием экстремума выходного оптимизируемого параметра или производных этого параметра по времени или по входному управляющему параметру [4,5];
- системы с интегральной оценкой реакции оптимизируемого процесса на пробное тестирующее входное воздействие определенной формы, которое исключает влияние технологических возмущений на величину интегральной оценки [6];
- системы корреляционного типа, в которых формирование управляющего воздействия определяется по величине и знаку коэффициента корреляции R_{xz} зависимости между выходным оптимизируемым параметром – Z и входным управляющим воздействием – X [9];
- САОУ, формирование управляющего воздействия в которых осуществляется путем использования принципа нечеткой логики и нечетких множеств при использовании базы правил, составленной на основании опыта экспертов по управлению оптимизируемым процессом [7];
- САОУ, формирование управляющего воздействия, в которых осуществляется с использованием искусственных нейронных сетей [10].

Системы автоматической оптимизации управления с совмещенными рабочим и поисково-тестирующим входными воздействиями по способу формирования управляющего воздействия подразделяются на две группы:

- системы непрерывного действия, в которых управляющее воздействие осуществляется без остановки исполнительного и которые

рекомендуется использовать при оптимизации малоинерционных процессов;

- системы дискретного (шагового) действия, в которых управляющее воздействие формируется дискретно, за счет шагового перемещения исполнительного механизма на постоянную величину или пропорциональную приращению выходного параметра на предыдущем шаге управления.

САОУ шагового типа целесообразно использовать при оптимизации управления объектами с очень большими инерционности и запаздыванием, например как показано в [3].

Статическая характеристика оптимизируемого процесса необходима только для теоретического исследования поискового режима в процессе математического моделирования работы системы. В реальных производственных условиях точное положение и вид статической характеристики оптимизируемого процесса в каждый текущий момент времени для САОУ остается неизвестным. Достижение поставленной цели в условиях неполной и недостоверной информации о текущем состоянии оптимизируемого процесса определяет интеллектуальность таких автоматических поисковых систем управления.

Наличие инерционности и запаздывания оптимизируемых процессов оказывает заметное влияние на поисковый режим работы САОУ. Учет этих факторов необходим при исследовании динамики поисковых режимов.

Динамические свойства оптимизации обычно аппроксимируются последовательным соединением статического звена с экстремальной статической характеристикой $Y = f(x)$ и двух инерционных звеньев с передаточными функциями $W_1(P) = \frac{1}{T_{об}P + 1}$ и $W_2(P) = \frac{1}{\tau_3P + 1}$, где

$T_{об}$ и τ_3 – соответственно постоянные времени, характеризующие инерционность и время запаздывания оптимизируемого объекта. Справедливость заметы передаточной функции звена запаздывания передаточной функцией инерционного звена определяется выполнением условия $T_{об} \gg \tau_3$ [11].

Практический опыт использования САОУ показал, что наиболее приемлемым методом поиска для систем непрерывного и дискретного способа формирования выходного сигнала является метод запоминания экстремума выходного параметра или производной этого параметра [2].

В САОУ с запоминанием экстремума параметра процесса, например при поиске максимума, управляющее воздействие формируется с учетом величины и знака разности между наибольшим,

достигнутым в предыдущий момент времени, и текущим значениями оптимизируемого параметра.

Для компенсации негативного влияния инерционности и запаздывания на эффективность работы САОУ предложено вместо оптимизируемого параметра использовать его первую производную, т.е. скорость изменения этого параметра во времени [2,4,5]. В этом случае время поиска экстремума сокращается примерно на порядок по сравнению с системами поиска с запоминанием параметра. Однако, переходные процессы в такой системе при поиске экстремума являются колебательными, что приводит к снижению эксплуатационной надежности технических средств, особенно исполнительных устройств, реализующих управляющие воздействия на объекте.

Для исключения колебательного режима работы поисковой системы в [2, 4, 5] предложен метод, в котором при достижении экстремума скорости изменения параметра происходит не реверсирование, а остановка исполнительного механизма формирующего управляющее воздействие на некоторое время, определяемое динамическими характеристиками процесса. После истечения этого времени процесс поиска начинается заново.

В этом случае динамика поискового процесса в САОУ определяется системой уравнений и логических условий

$$x(\tau) = x_0 + \sigma(\tau)K_{им}\tau, \quad \sigma(\tau) \in \{+1; -1\}$$

$$y[x(\tau)] = a_0 + a_1x(\tau) + a_2x^2(\tau) + \dots + a_nx^n(\tau)$$

$$T_0 \frac{dZ_1}{d\tau} + Z_1(\tau) = y[x(\tau)]$$

$$\tau_3 \frac{dZ}{d\tau} + Z(\tau) = Z_1(\tau)$$

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} \geq 0 \quad U(\tau) = \begin{cases} +1, & \text{если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau-1)}^{\text{MAX}} + \Delta \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_n > 0 \\ 0, & \text{если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau-1)}^{\text{MAX}} + \Delta \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_n \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} < 0 \quad U(\tau) = -1, \quad \text{если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)} + \Delta \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_n < 0$$

$$\text{При } U(\tau) = +1, \quad \text{если } \sigma(\tau+1) = \sigma(\tau)$$

$$\text{При } U(\tau) = 0, \quad \text{если } \sigma(\tau+1) = 0$$

$$\text{При } U(\tau) = -1, \quad \text{если } \sigma(\tau+1) = -\sigma(\tau)$$

$$\text{Если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)} > \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau-1)}^{\text{MAX}}, \text{ то } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)} = \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau-1)}^{\text{MAX}}$$

$$\text{Если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)} > \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau-1)}^{\text{MAX}}, \text{ то } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)} = \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau-1)}^{\text{MAX}}$$

здесь τ - текущее время; $Z(\tau)$ - текущее значение выходного управляющего воздействия; $x(\tau)$ - текущее значение входного управляющего воздействия; $\sigma(\tau)$ - переключающая функция, определяющая текущее направление движения исполнительного механизма; Z_1 - значение оптимизируемого параметра с учетом только инерционности; $(\tau-1)$,

$(\tau+1)$ - прошедший и последующий интервал времени; $K_{\text{им}} = \frac{dx}{d\tau}$ -

значение коэффициента скорости исполнительного механизма; $y[x(\tau)]$ - текущее установившееся значение оптимизируемого параметра, в соответствии со статической характеристикой процесса;

$\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau)}$ - текущее значение скорости изменения оптимизируемого

параметра; $\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{(\tau-1)}^{\text{MAX}}$ - максимальное значение скорости, достигнутое в

прошедший период времени; $\Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_n$ - зона нечувствительности

САОУ.

Для иллюстрации эффективности рассмотренного метода поиска экстремума на рис.1 приведены расчетные траектории поисковых режимов в САОУ при различных способах формирования входного управляющего воздействия. На рис.1 изображены:

1 - траектория поиска по запоминанию экстремума значения входного параметра $Z(x)$ или $Z(\tau)$;

2 - по запоминанию экстремума изменения скорости $\dot{Z}(x) = dZ/dx$ или $\dot{Z} = dZ/d\tau$ выходного параметра;

3 - по запоминанию максимума $dZ/d\tau$ или dZ/dx и остановкой исполнительного механизма в момент достижения dZ/dx или $dZ/d\tau$ максимального значения с учетом зоны нечувствительности;

4 - изменение величины dZ/dx или $dZ/d\tau$ при первом выбранном направлении изменения $Z(x)$.

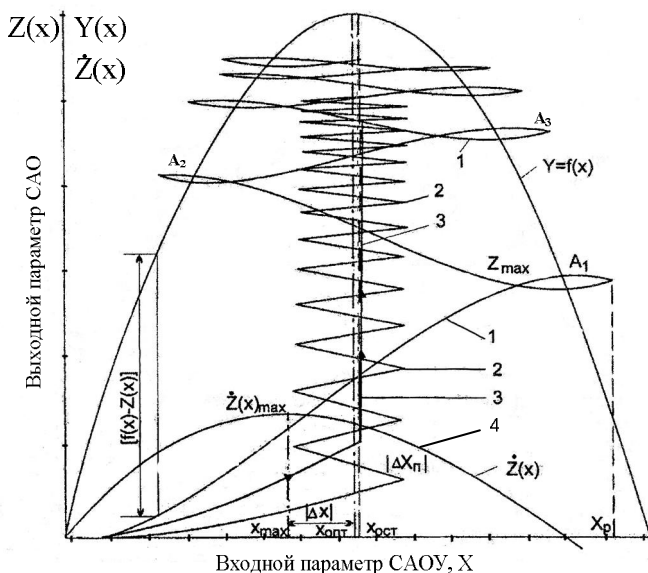


Рис.1. Расчетные траектории поисковых режимов САОУ при различных способах формирования входного управляющего воздействия

При постоянной скорости исполнительного механизма (ИМ) $dx/dt=K_{ИМ}=\text{const}$ возможна в дифференциальных уравнениях замена dt на dx в соответствии с выражением $dt=dx/K_{ИМ}$. Для прерывания монотонного изменения $\dot{Z}(x)$ при остановке ИМ в САОУ предусмотрен принудительный реверс ИМ через заданный интервал времени τ_B .

Для повышения помехозащищенности САОУ при действии низкочастотных технологических возмущений, приводящих к дрейфу (смещению) статической характеристики оптимизируемого процесса рекомендуется использовать метод поиска экстремума по величине интегральной оценки реакции (отклику) процесса на тестирующее входное воздействие в соответствии с ортогональной функцией Уолша. В этом типе САОУ поисковое тестирующее и рабочее управляющее воздействия разделены во времени. В такой системе интервал времени, используемый для тестирующего воздействия, разбивается на равные промежутки Δt , в течении которых направление тестирующего воздействия строго регламентировано [6].

Принцип формирования интегральной оценки отклика оптимизируемого процесса на пробное тестирующее управляющее воздействие для условия отсутствия дрейфа статической характеристики и практически безынерционном процессе представлен на рис.2 применительно

к оптимизации энергетического режима дуговой сталеплавильной печи. Целью поиска системы оптимизации является определение оптимального значения тока дуги или положения электрода, при котором достигается максимальная выделяемая мощность в дуге при постоянном напряжении фазы.

Оптимизируемый энергетический режим ДСП в начальный момент времени $\tau=0$ находился в состоянии $A(I_A, P_{д.А})$. На вход объекта управления при $\tau=0$ подано тестирующее входное воздействие

$$I^T(\tau) = A \cdot \psi_n(\tau),$$

где $I^T(\tau)$ - поисковое изменение величины тока дуги при перемещении электрода; A – амплитуда поискового тестирующего воздействия; n – степень аппроксимирующего полинома, которым можно выразить траекторию внешнего тестирующего воздействия.

При $n=0$ $\psi_{n=0} = \text{sign} \sin \frac{2\pi\tau}{T_{\Pi}}$, где T_{Π} – продолжительность тестирующего воздействия; $\psi_{n=0}$ - ортогональная функция Уолша.

Поисковое тестирующее воздействие вызывает изменение мощности, выделяемой в электрической дуге во времени в соответствии с выражением

$$P_d(\tau) = A_p \cdot \psi_{n=0}(\tau),$$

где A_p – амплитуда изменения выходного сигнала при поисково-тестирующем воздействии.

С момента начала тестирующего воздействия вычисляется интегральная оценка отклика процесса в соответствии с выражением

$$J_{\Pi} = \int_0^{T_{\Pi}} [\psi_{n=0}(\tau) \cdot P_d(\tau)] d\tau$$

В общем виде при $n \neq 0$ ортогональная знакопеременная функция Уолша определяется по формуле

$$\psi_n(\tau) = \prod_{k=1}^{n+1} \text{sign} \sin \frac{2^k \pi \tau}{T_{\Pi}}$$

где n – степень полинома, которым можно статистически аппроксимировать траекторию смещения (дрейфа) статической характеристики оптимизируемого процесса во времени на интервале времени T_{Π} . В рассматриваемом случае, как отмечено ранее, принимаем $n=0$.

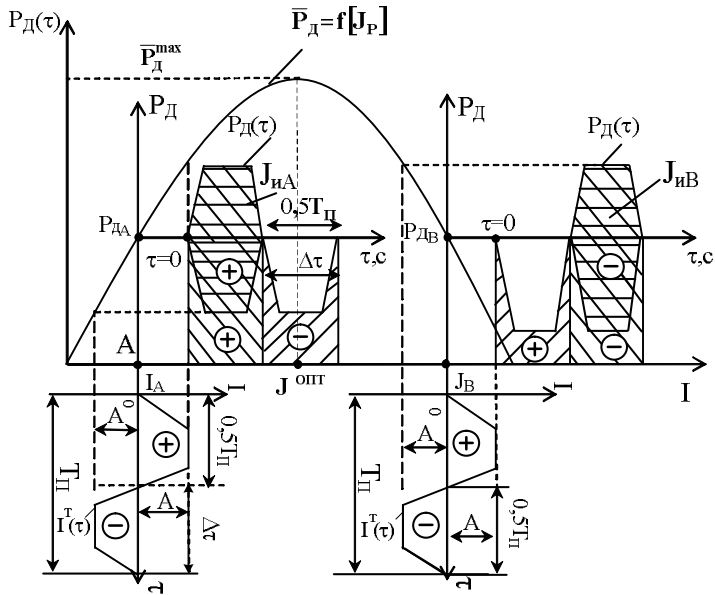


Рис.2. Принцип формирования интегральной оценки отклика оптимизируемого энергетического режима ДСП на пробное тестирующее воздействие (перемещение электрода фазы)

Трапециевидный режим изменения $I^T(\tau)$ определяется конечной скоростью гидропривода перемещения электрода. В соответствии с рис.2 знак интегральной оценки $J_{и}$ отклика процесса определяет положение процесса относительно оптимального значения $I_{опт}$ в соответствии с условием

$$\text{Если } I(\tau) = I_A \leq I_{опт}, \text{ то } J_{и} > 0,$$

$$\text{Если } I(\tau) = I_B \geq I_{опт}, \text{ то } J_{и} \leq 0,$$

При наличии технологического монотонного возмущения, траектория которого может быть аппроксимирована полиномом первой степени $n=1$ математическая модель формирования управляющего воздействия с использованием рассматриваемого метода поиска экстремума будет иметь вид

$$\begin{aligned}
P_d(\tau) &= P_A(\tau) - I^2(\tau) \cdot r \\
\bar{P}_d &= \{a_0 + a_1[I(\tau) \pm \alpha\tau] + a_2[I(\tau) \pm \alpha\tau]^2 + a_3[I(\tau) \pm \alpha\tau]^3 \\
&+ a_4[I(\tau) \pm \alpha\tau]^4\} + \beta\tau \\
T_0 \frac{dP_1(\tau)}{d\tau} + P_1(\tau) &= \bar{P}_d(\tau) - \tau_3 \frac{dP(\tau)}{d\tau} + P(\tau) = P_1(\tau) \\
J_{И} &= \int_{\tau_{II}}^{\tau_{II} + \tau_{II}} [P_d(\tau) \cdot \psi_n(\tau)] d\tau; \text{ при } T_{II} = 2^{n+1} \cdot \Delta\tau, 0 < n < 2 \\
\Delta\tau &= (0,6 \div 0,8)(T_0 + \tau_3), J_{И} = K_{II} \cdot [I(\tau) - I_{опт}] \\
\Psi_{n=1}(\tau) &= \begin{cases} +1 & \text{при } 0 < \tau \leq 0,25T_{II} \\ -1 & \text{при } 0,25T_{II} < \tau \leq 0,75T_{II} \\ +1 & \text{при } 0,75T_{II} < \tau \leq T_{II}, \end{cases} \\
\psi_1(\tau) &= 4 \cdot 0,25T_{II} = +1, -1, -1, +1 \\
I^T(\tau) &= I_{\tau=0} + A \cdot \psi_n(\tau), \text{ при } 0 \leq \tau \leq T_{II} \\
\Delta\tau_p &= \frac{J_{И}}{\sigma_2(\tau) K_{II} K_{ИМ}} \\
\sigma_2(\tau) &= \begin{cases} +1 & \text{если } 0 < J_{И} > (\Delta J_{И})_H \\ -1 & \text{если } 0 > J_{И} < -(\Delta J_{И})_H \\ 0 & \text{если } -(\Delta J_{И})_H < J_{И} < (\Delta J_{И})_H \end{cases} \\
T_{II} &= T_{II} + \Delta\tau_p + 2\Delta\tau_{II} + \Delta\tau_B
\end{aligned}$$

где τ - текущее время; $P_A(\tau)$, $P_d(\tau)$ - контролируемое и расчетное текущие значения активной мощности и мощности дуги фазы ДСП при выбранной ступени напряжения; $I(\tau)$ - величина рабочего тока дуги; $I^T(\tau)$ - поисковое изменение тока дуги; $\pm\alpha$, $\pm\beta$ - направление и величины составляющих горизонтальных и вертикальных скоростей смещения (дрейфа) статических характеристик; T_{II} - продолжительность тестирующего воздействия; $\Delta\tau_{II}$ - продолжительность паузы; $\Delta\tau_p$ - продолжительность рабочего движения к экстремуму при $P_d(\tau)_{\max}$ и $I_{опт}$; $\Delta\tau_B$ - время выдержки ($\Delta\tau_B=2-10 T_{II}$) перед началом нового цикла после завершения очередного; K_{II} - коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментальным или расчетным методом при моделировании поискового процесса.

Существуют практически безынерционные процессы, параметры которых измеряются малоинерционными датчиками, чувствительность которых достаточна для измерения достаточно малых стохастических случайных возмущений. В некоторых случаях случайные помехи соизмеримы, или даже превышают изменение выходного параметра от управляющего воздействия, особенно в окрестности экстремума. Поэтому при оптимизации управления такими процессами целесообразно использовать корреляционный метод определения экстремума.

Статическую характеристику большинства оптимизируемых процессов $J=f(x)$ в окрестности экстремума с погрешностью, не превышающей 4-5%, можно представить параболой. Это означает, что зависимость скорости изменения оптимизируемого параметра от величины управляющего воздействия $Z=dY/dx$ будет линейной, причем при переходе через экстремум будет меняться знак.

Принцип работы САОУ, при использовании коэффициента корреляции R_{XZ} основан на изменении знака R_{XZ} при переходе через экстремум выходного параметра оптимизируемого процесса [9]. В качестве конкретного примера рассмотрим работу САОУ процессом циркуляционного вакуумирования жидкой стали по расходу экстрагируемых из металла газов при изменении расхода транспортирующего газа аргона с целью определения и поддержания максимальной производительности процесса.

Структурная схема САОУ, которая реализует корреляционный метод поиска экстремума, представлена на рис.3.

Объект оптимизации аппроксимирован последовательным соединением статического звена с характеристикой $\bar{Y} = f(x)$ и двух инерционных звеньев первого порядка с постоянным временем $T_1=T_{Об}$ и $T_2=\tau_3$. Величина \bar{Y} - установившийся расход экстрагируемых их вакуум-камеры газов при постоянном расходе аргона во всасывающем патрубке. Блок ДУ – дифференцирующее устройство, на выходе которого формируется сигнал $Z(\tau)=\Delta Z_2/\Delta\tau$, где $\Delta\tau$ – интервал времени опроса датчика выходного параметра ΔZ_2 объекта автоматизации.

Сигналы скорости $Z(\tau)$ изменения выходного параметра объекта управления и входной управляющий сигнал $x(\tau)$ (расход транспортирующего газа) одновременно подаются на блоки ячеек памяти, которые организованы в виде сдвиговых регистров X_N и Z_N и содержащие по N ячеек памяти каждый. Сдвиговые регистры содержат массивы значений за период времени $\Delta\tau \cdot N$.

По массивам данных, содержащихся в сдвиговых регистрах X_N и Z_N , производится расчет текущего значения коэффициента корреляции R_{XZ} по формуле:

$$R_{XZ} = \frac{\sum_{i=1}^N (Z_N - M_Z) \cdot (X_N - M_X)}{D_X \cdot D_Z}$$

где M_X – математическое ожидание значений массива X_N ; M_Z – математическое ожидание массива Z_N ; D_X – среднеквадратичное отклонение значений массива X_N ; D_Z – среднеквадратичное отклонение массива Z_N .

Величина R_{XZ} принимает значение в диапазоне от +1 до -1 и подается на релейный элемент РЭ с порогом срабатывания $|\Delta R_{XZ}|$ или с зоной нечувствительности $2 \cdot \Delta R_{XZ}$. Релейный элемент формирует сигнал $\sigma(\tau) \in (+1; -1)$.

При достижении параметром R_{XZ} порога срабатывания $\pm \Delta R_{XZ}$ выходной сигнал релейного элемента меняет свой знак на противоположный. Это соответствует изменению направления параметра $x(\tau)$ на противоположное. В момент смены знака формируется сигнал $|\sigma|$ запуска реле паузы, которое формирует импульс длительностью $\Delta \tau_{\text{ПАУЗЫ}}$, запрещающий работу генератора импульсов ГИ, тем самым «замораживая» значения в сдвиговых регистрах X_N и Z_N .

Одновременно на время паузы происходит остановка исполнительного механизма (ИМ) перемещающего регулирующей орган (РО) расхода аргона.

Остановка ИМ позволяет стабилизировать процесс и исключить формирование ложных реверсов, что позволяет свести к минимуму число включений ИМ и увеличить надежность работы технических средств цепи управления.

По истечению времени $\Delta \tau_{\text{ПАУЗЫ}}$ генератор импульсов возобновляет работу по заполнению регистров X_N и Z_N . Одновременно ИМ начинает изменение управляющего воздействия в противоположном направлении.

Рассматриваемый метод обладает помехоустойчивостью к случайным высокочастотным помехам и обеспечивает целенаправленный поисковый режим для достижения поставленной цели. Все рассмотренные способы способствуют повышению эффективности работы САОУ и обеспечивают повышенную помехоустойчивость САОУ в реальных условиях и могут быть рекомендованы для использования при синтезе САОУ технологических процессов промышленного производства.

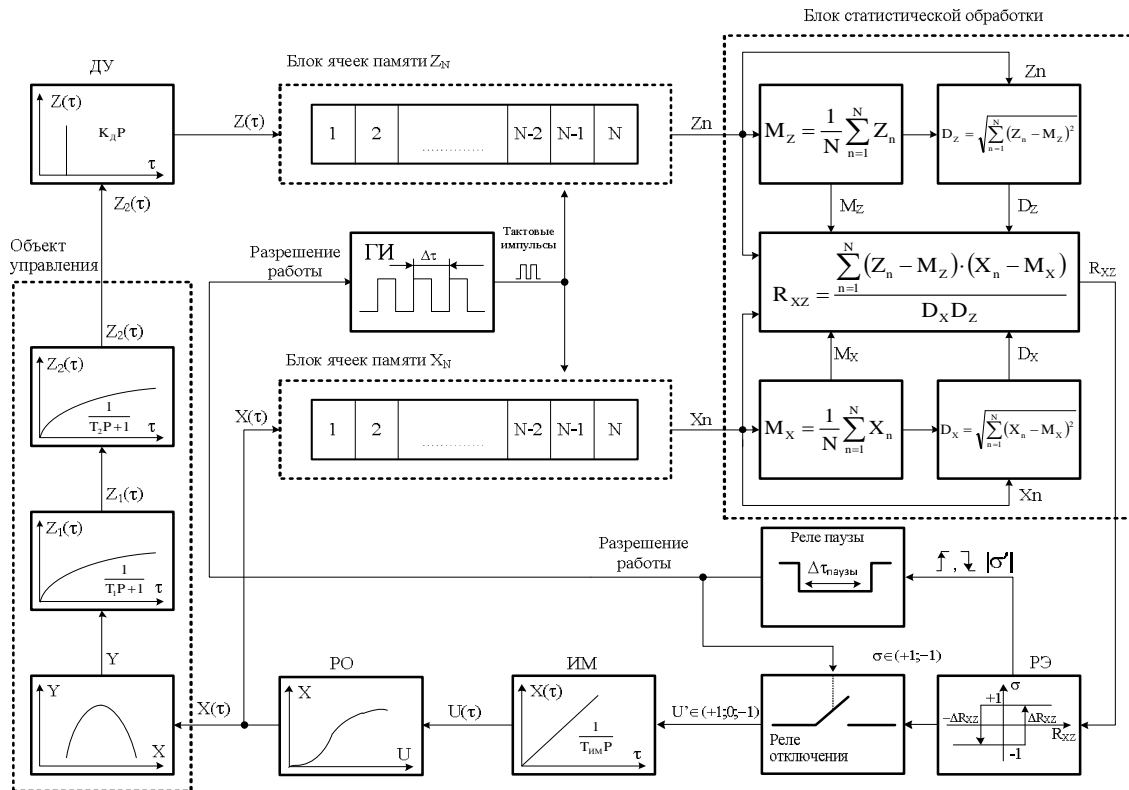


Рис.3. Структурная схема системы автоматической оптимизации статистического типа

Список литературы

1. Казакевич В.В., Родов А.Б. Системы автоматической оптимизации. - М.: Энергия, 1977. - 288 стр.
2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: Монография. –Магнитогорск: Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. -198 с.
3. Парсункин Б.Н., Сеничкин Б.К., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. №4. С. 69 – 73.
4. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Прозоров В.В. Оптимизация управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве нагревательных печей // Сталь. 2000. №5. С.48-52.
5. Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Оптимизация режима нагрева воздухонагревателей доменной печи // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2004. №7. С.33-37.
6. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б., Усачев М.В. Оптимизация электрического режима дуговых сталеплавильных печей переменного тока // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2006. №7. С.26-30.
7. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А., Польшко П.Г. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. №2. С. 5-9
8. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Польшко П.Г., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. №4. С. 65 – 69
9. Андреев С.М., Пыхова О.В. Система автоматической оптимизации процесса измельчения рудных материалов с использованием поискового алгоритма корреляционного типа // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов –Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. унт-т, 2012. Вып. 20. С.280-287.
10. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Система экстремального регулирования с использованием искусственной нейронной сети // Творческое наследие Б.И. Китаева: труды Международ. науч.-практ. конф. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – С.376 – 379.
11. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В., Андреев С.М. Расчеты систем автоматической оптимизации управления технологическими процессами в металлургии: Учеб.пособие. - Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2003. 267 с.

УПРАВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВОМ ПЛАВНОГО ПУСКА ВЕНТИЛЯТОРА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS В УСЛОВИЯХ ЗАО «УРАЛ-ОМЕГА»

Р.Э. Бурнашев*

**ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск*

belokon_denis.mgn@mail.ru

Целью данной работы является подключение устройства плавного пуска привода вентилятора наддува центробежной дробилки к логическому контроллеру системы управления дробилкой с помощью протокола Modbus. Данное нововведение позволит отслеживать состояние привода вентилятора наддува, что обеспечит возможность сигнализации аварийных и предаварийных ситуаций, а также их регистрацию.

Данная разработка осуществлена практически. В качестве устройства плавного пуска был использован УПП фирмы Danfoss модели MCD200, а в качестве логического контроллера – Овен ПЛК110-220.60-Р-М. Исследования проводились на базе предприятия ЗАО «Урал-Омега» при активной помощи сотрудников организации.

Технологический процесс заключается в измельчении исходного материала путём дробления в центробежной дробилке. В зависимости от требований заказчика (перерабатываемый материал, объёмы производства и т.д.) изготавливаются различные модификации центробежных дробилок. Дробилки такого типа могут применяться в различных отраслях: обогащение руд, измельчение рудных и нерудных материалов, производство цементов и т.д [1, 2]. Схема дробления представлена на рис.1.

Исходный материал через загрузочную воронку подается в центр вращающегося ускорителя, который с большой скоростью разбрасывает материал в камере измельчения на отбойную поверхность, сформированную исходным материалом.

В камере измельчения материал дробится, свободно падает вниз и через выгрузные каналы подается для дальнейшего использования.

Дробилка состоит из корпуса 1 (с камерой измельчения, камерой наддува и выгрузными патрубками), крышки корпуса 2 с люком обслуживания 3, верхней крышки 4 с загрузочной воронкой, внутренней вставки 5, с воронкой, воздушно-опорного узла 6, крышки воздушно-опорного узла 7, ускорителя 8, вентилятора наддува 9 и привода.

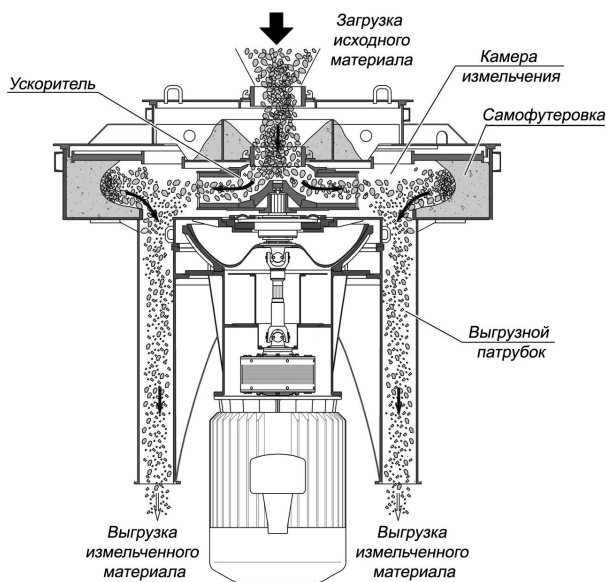


Рис. 1. Схема процесса работы центробежной дробилки

Воздушно-опорный узел 7 состоит из неподвижной сферообразной “чашки”, называемой статором, которая установлена над камерой наддува корпуса дробилки, вращающейся части, называемой ротором и подшипникового узла (опоры) 10, который служит для компенсации дисбаланса (при разгоне/выбеге и неравномерном питании). Подшипниковый узел опирается через резиновый амортизатор на крышку воздушно-опорного узла. На воздушно-опорном узле вращается ускоритель, разгоняющий материал до высокой скорости и выбрасывающий его в камеру измельчения. Вентилятор наддува подает воздух в камеру наддува и создает так называемую “воздушную подушку” между ротором и статором. При работе дробилки ротор выполняет несущую функцию рабочего органа и воспринимает ударные осевые и тангенциальные нагрузки от ускорителя. Привод дробилки состоит из электродвигателя 11 с центробежной муфтой 12 и карданного вала 13. Все оборудование смонтировано на раме 14.

Таким образом, для осуществления управления дробилкой необходимо осуществлять контроль частоты вращения главного привода и привода вентилятора наддува. Из этого следует, что система автоматического управления будет разомкнутой, т.к. в нет управляющих воздействий, непосредственно связанных с крупностью конечного продукта, а также, что здесь применяется принцип управления по возмущению.

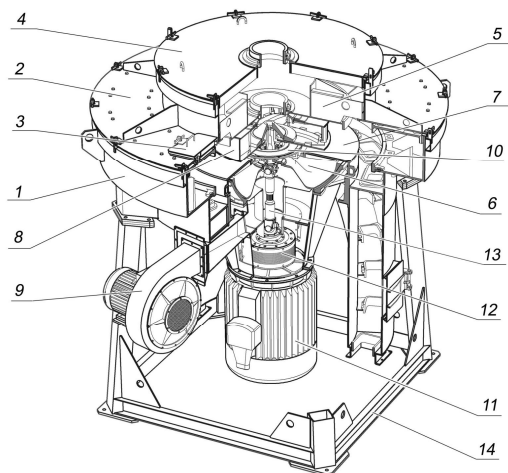


Рис. 2. Устройство центробежной дробилки: 1 – корпус с камерой измельчения и выгрузными патрубками; 2 – крышка корпуса; 3 – смотровой люк; 4 – крышка (с загрузочной воронкой); 5 – внутренняя вставка с воронкой; 6 – воздушно-опорный узел; 7 – крышка воздушно-опорного узла; 8 – ускоритель; 9 – вентилятор наддува; 10 – подшипниковая опора; 11 – электродвигатель привода дробилки; 12 – муфта; 13 – карданный вал; 14 – рама

В качестве устройства плавного пуска (УПП) в данной работе использовалось устройство фирмы «Danfoss» модели MCD 200. Система управления построена на программируемом логическом контроллере (ПЛК) фирмы «Овен» модели ПЛК110-220.60-Р-М. Связь между УПП и ПЛК осуществлялась по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485. Алгоритмы управления ПЛК запрограммированы посредством среды программирования логических контроллеров CoDeSys.

Система управления центробежной дробилкой (рассматриваемая в данной работе) является разомкнутой, т.е. не имеет обратной связи по регулируемому параметру. Основное назначение системы – предотвращение, сигнализация и регистрация аварийных ситуаций. Параметры системы управления задаются при пуско-наладочных работах. На данный момент система не меняет величину входного параметра (т.е. расхода перерабатываемого материала), а также не контролирует выходной параметр (т.е. крупность и количество материала на выходе). Это связано с тем, что система находится в стадии разработки, а также с тем, что данный факт не является

обязательным требованием заказчиков, потому что система управления обеспечивает высокую надежность работы агрегата, а её усложнение непременно повлечёт увеличение стоимости как программной, так и технической части системы, т.е. увеличит стоимость дробилки в целом. Качество выходного материала обеспечивается статистически выверенными в ходе лабораторных исследований наборами параметров, которые устанавливаются в ходе пуско-наладочных работ.

Таким образом, главной задачей системы управления является обеспечение правильной отработки аварийных ситуаций.

На данный момент устройство плавного пуска выполняет следующие функции в системе управления:

- пуск привода вентилятора наддува в соответствии с заданными параметрами разгона;
- останов привода вентилятора наддува.

В случае отключения агрегата или в случае аварийной ситуации, например, долговременного касания ротор-статор, привод вентилятора наддува должен отключиться только после полной остановки главного привода.

При аварии вентилятора наддува система управления должна подать сигнал на свободную остановку главного привода. При штатной работе торможение ведётся по заданной характеристике.

В случае подключения УПП по протоколу Modbus возможности системы управления расширяются: появляется возможность регистрации тока привода вентилятора наддува в режиме реального времени; регистрации и расшифровки кодов аварий, формируемых УПП; точный контроль состояния привода (в режиме разгона, работы и т.п.). Рассмотрим основные аспекты алгоритма работы УПП:

1. Проверка связи по интерфейсу RS-485.
2. Если связь есть, то формируется сигнал о готовности привода начать работу. Если же связь не установлена, то формируется сигнал об ошибке.
3. Если привод готов к работе и поступает команда «Старт», и при этом нет сигнала об аварии, УПП запускает привод вентилятора наддува по установленным параметрам (для простоты использования параметры задаются вручную с помощью потенциометров в шкафу управления). Сразу же в контроллер в режиме реального времени подается в форме аналогового сигнала текущее значение тока.
4. В случае превышения заданного порогового значения текущим значением тока УПП формирует сигнал ошибки «Превышение допустимого тока двигателя» и система управления дает команду на отключение главного привода и, затем, привода вентилятора наддува.

5. В случае возникновения неисправности привода вентилятора наддува в процессе работы агрегата, УПП формирует соответствующий код аварии, и система управления дает команду на отключение главного привода и, затем, привода вентилятора наддува.
6. При получении сигнала на отключение агрегата привод вентилятора наддува должен отключиться только после полной остановки главного привода.

Конечно, в реальной программе, реализующей данную систему управления, алгоритм имеет более сложную структуру. Но в связи с большим объемом кода и множества внутренних параметров, которые не удастся описать в пределах данной статьи, приведена упрощенная версия алгоритма.

В результате выполнения данной работы удалось внедрить алгоритм управления устройством плавного пуска привода вентилятора наддува в существующую систему управления.

В перспективе это позволит создать SCADA-систему, объединяющие в одну систему управления нескольких дробилок. Данная система уже находится в процессе разработки. С помощью чтения кода состояния привода вентилятора наддува с УПП можно визуально отражать состояние привода в системе, что даст технолог-оператору возможность отслеживать состояние процесса разгона, останова и аварийного останова, а также практически реализовать рациональные алгоритмы управления процессом дробления [3]. В случае аварии предусмотрена регистрация и расшифровка кода аварии, что упрощает ремонтные работы, а также ведение журнала ошибок.

Список литературы

1. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 65-69.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 5-9.

3. Рябчикова Е.С., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Полько П.Г., Рябчиков М.Ю. Система экстремального регулирования на основе нечеткой логики. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011612244. ОБ ПБТ. 2011. №2.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

А.М. Сайров

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»
Sairov85@mail.ru*

В технологических агрегатах и печах металлургического производства одновременно происходят несколько различных, но часто тесно взаимосвязанных высокотемпературных процессов. Поэтому при оптимизации управления такими отдельными процессами необходимо учитывать их взаимовлияние друг на друга, которое в реальных производственных условиях обычно проявляется в виде дрейфа (смещения) статической характеристики отдельного оптимизируемого процесса под действием технологических возмущений и случайных помех [1].

Актуальность оптимизации управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве нагревательной печи является минимизация удельного расхода топлива при безусловном выполнении всех принятых технологических требований и производственных показателей. Экспериментальная статическая характеристика процесса сжигания топлива в координатах «расход воздуха - температура» в рабочем пространстве методической печи представлена на рис. 1.

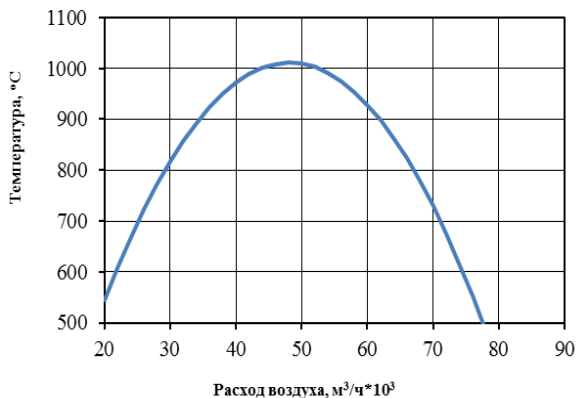


Рис. 1. Экспериментальная статическая характеристика процесса сжигания топлива

Процесс оптимизации управления заключается в том [3], что необходимо определить и поддерживать такую экстремальную статиче-

скую характеристику оптимизируемого процесса, которая соответствует минимально возможному текущему расходу топлива, и у которой экстремум будет практически равен заданному значению контролируемого параметра.

Для достижения этой цели в САО используется поисковый режим работы. Он заключается в следующем: для начала выбирается управляющее воздействие в случайном направлении, затем анализируется влияние этого воздействия на величину оптимизируемого параметра (в нашем случае это расход газа).

Если полученные изменения оптимизируемого параметра осуществлены в направлении приближения к цели (увеличивается при поиске максимума), то выбранное направление принимается верным. В случае если выбранное направление управляющего воздействия приводит к отдалению выходного параметра от цели, то изменение следует считать ошибочным и направление управляющего воздействия необходимо изменить на противоположное (произвести реверс ИМ).

Целью данной работы является программная реализация САО с запоминанием максимума скорости изменения выходного параметра и исследование ее работы в численном эксперименте. Структурная схема предлагаемой САО представлена на рис. 2.

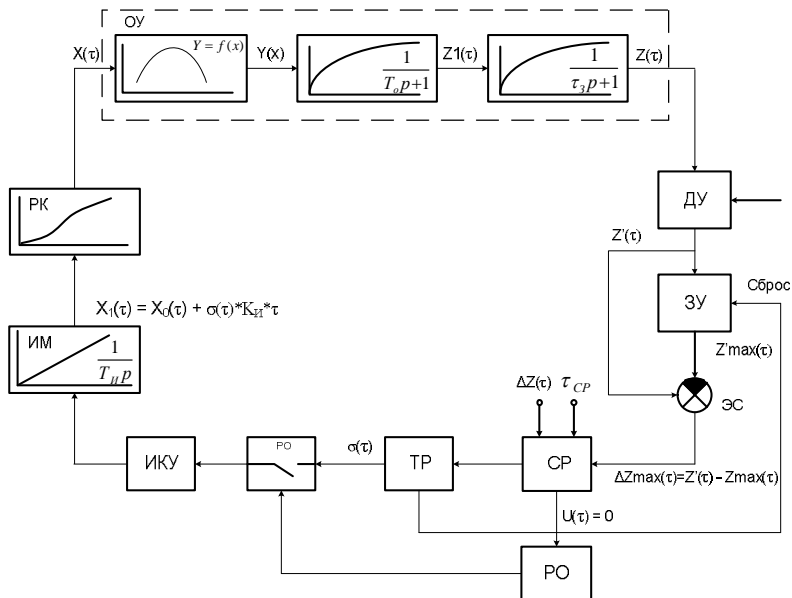


Рис. 2. Структурная схема системы экстремального регулирования

Объект управления представлен статическим звеном с экстремальной статической характеристикой $Y = f(x)$ и двумя инерционными звеньями с постоянными времени T_0 и T_3 .

Тогда математическую модель САО можно представить в следующем виде. Выходная величина $Z(\tau)$ с ОУ подается на дифференцирующее устройство ДУ, которое на выходе формирует сигнал, пропорциональный первой производной от входного сигнала технологического параметра оптимизируемого процесса [3, 4]:

$$Z'(\tau) = \frac{T}{\Delta\tau} \cdot (Z_2(\tau) - Z_2(\tau)^{k-1})$$

где $Z_2(\tau)^{k-1}$ – сигнал на выходе инерционного звена в предыдущий момент времени.

Одновременно с выхода ДУ сигнал подается на запоминающее устройство ЗУ и на элемент сравнения ЭС. Запоминающее устройство СЭР данного вида запоминает только максимальное значение сигнала. На элементе сравнения ЭС формируется сигнал, пропорциональный разнице между текущим значением скорости изменения выходного сигнала $Z(\tau)$ и максимальным значением скорости выходного сигнала Z_{\max} , запомненным в прошедший момент времени, т.е. $\Delta Z(\tau) = Z(\tau) - Z_{\max}$. Сигнал разности $\Delta Z'(\tau)$ подается на вход сигнум-реле СР и сравнивается с величиной зоны нечувствительности $\Delta Z_{\text{н}}$. На выходе СР формируется управляющий импульс $U(\tau)$, определяющий закономерность формирования текущего значения переключающей функции в соответствии с условием [4]:

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} \geq 0 \quad U(\tau) = \begin{cases} +1, & \text{если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{н}} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{MAX}} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{н}} > 0 \\ 0, & \text{если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{н}} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{MAX}} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{н}} \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} < 0 \quad U(\tau) = \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{н}} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\text{н}} < 0$$

Импульс $U(\tau) = -1$ перебрасывает триггер реверса ТР и одновременно сбрасывает запомненное максимальное значение в ЗУ. В результате на выходе ЗУ устанавливается текущее значение скорости изменения выходного параметра ОУ.

ТР формирует сигнал $\sigma(\tau)$ переключающей функции, определяющей текущее направление изменения входного $X(\tau)$ в соответствии с условием:

При $U(\tau) = +1$ $\sigma_{\tau_i+1} = \sigma_{\tau_i}$ – выбранное направление изменения $X(\tau)$ сохранить;

При $U(\tau) = 0$ $\sigma_{\tau_i+1} = 0$ – выполнить остановку ИМ;

При $U(\tau) = -1$ $\sigma_{\tau_i+1} = -\sigma_{\tau_i}$ – выбранное направление изменения $X(\tau)$ изменить на противоположное (произвести реверс ИМ).

Поскольку в системах автоматического управления технологическими процессами используются ИМ постоянной скорости, то его перемещение можно выразить в виде:

$$X(\tau) = X_0 + \sigma(\tau) \cdot K_{ИМ} \cdot \Delta\tau.$$

После срабатывания СР при $U(\tau) = -1$, сбрасывания ЗУ, запоминание $Z(\tau)$ начинается снова.

Реверс в САО выполняется всегда, когда выполняется условие $U(\tau) = -1$ независимо от состояния системы. После реверса в течение заданного интервала времени (времени выдержки) $\Delta\tau_B = 0.1 - 0.3T_1$ запрещается повторный реверс (на время выдержки сигнум-реле). В период времени выдержки ЗУ заблокировано и $Z_{\max} = Z(\tau)$.

По мере приближения к экстремуму в системе возникают колебания относительно определенного оптимального значения расхода воздуха. Это объясняется тем, что приближаясь к экстремуму максимальная запомненная скорость изменения выходного параметра становится все меньше и меньше. При уменьшении текущего значения скорости по сравнению с максимально запомненным на зону нечувствительности текущая скорость изменения выходного параметра имеет отрицательный знак ($Z(\tau) < 0$), поэтому может срабатывать лишь условие реверса ИМ.

Для устранения колебательного режима предусмотрено дополнительное условие остановки ИМ. Для предотвращения этого нежелательного явления необходимо на время $\Delta\tau_B = 0.1 - 0.3T_1$ запретить СР повторный реверс.

На рис. 3, 4 представлены расчетные траектории поискового режима расхода воздуха для получения максимального теплового эффекта при сжигании топлива при дрейфе статической характеристики, который происходит из-за изменения расхода топлива.

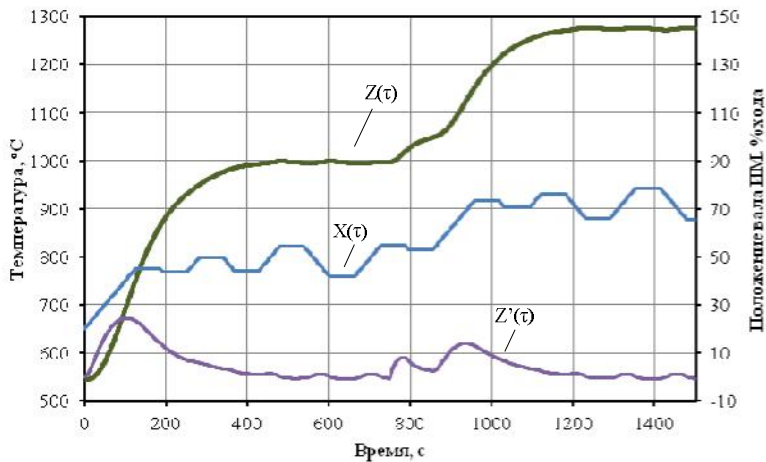


Рис. 3. Траектория поискового режима работы СЭР во времени при $V_m = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta Z_n = 1,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$, $K_{им} = 0,3 \text{ \%хода}/\text{с}$

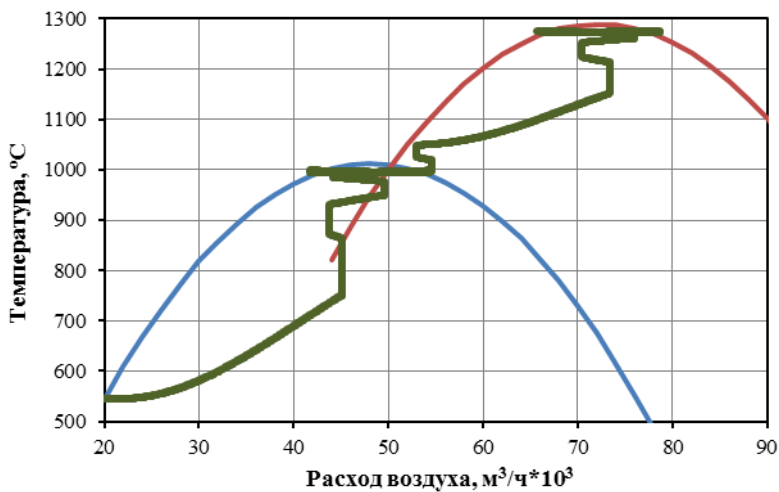


Рис. 4. Траектория поискового режима работы СЭР при $V_m = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta Z_n = 1,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$, $K_{им} = 0,3 \text{ \%хода}/\text{с}$

При наличии дрейфа статической характеристики оптимизируемого процесса САО обеспечивает поиск и поддержание максимальной температуры нагревательной печи. Показатели качества поискового режима следующие: потери на поиск – $\Delta Z_{п} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, размах колебаний – $A_x = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$, размах колебаний – $A_z = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Стоит отметить, что в реальных производственных условиях положение и вид статической характеристики оптимизируемого процесса, как правило, не определен. Из графиков можно сделать вывод, что адаптивность рассматриваемой САО выражается в эффективном поисковом режиме работы.

Список литературы

1. Гусовский В.Л. Перспективы совершенствования работы нагревательных печей прокатного производства на отечественных металлургических заводах // Известия вузов. Черная металлургия. - 2010. - N 11. - С. 27.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Прозоров В.Л. Оптимизация управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве нагревательных печей // Сталь. 2000. N5, с.48-52.

3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. // Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: Монография – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2006 – с. 156, 157, 41-45.

4. Ишметьев Е.Н., Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Салихов З.Г., Ахметов У.Б. // Автоматизация и оптимизация управления технологическими процессами внепечной доводки стали: Монография – Магнитогорск, ГОУ ВПО «МГТУ», 2008 – с. 252-255.

СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВАЕМОГО МЕТАЛЛА

Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Обухова, Т.У. Ахметов

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский технический университет имени
Г.И. Носова», Магнитогорск*

tgobuhova@gmail.com

Метрологическое информационное обеспечение при реализации автоматизированного управления технологическими процессами металлургического производства является важным фактором, особенно в условиях рыночной экономики и международной сертификации технологий. Современные методические печи для нагрева непрерывнолитых заготовок перед прокаткой являются сложными объектами управления с распределенными параметрами. В каждой из многочисленных отапливаемых зон печи существуют индивидуальные условия теплообмена между продуктами горения топлива, огнеупорной кладкой рабочего пространства и поверхностью нагреваемых заготовок. Заготовки различаются по размерам, теплофизическим свойствам и перемещаются по длине рабочего пространства с различной скоростью, зависящей от производительности прокатного стана.

Общепринятым источником информации при реализации автоматического управления тепловым режимом методических печей являются текущие температуры рабочего пространства $t_{рп}(t)$, измеряемые термопарами, установленными в каждой отапливаемой зоне печи.

Большинство исследований по обоснованию целесообразности использования температуры рабочего пространства для выполнения прогнозирующих расчетов и управления нагревом металла выполнены для близких к стационарным условиям работы печей и для постоянной начальной температуры подаваемых на нагрев заготовок.

В действительности часовая производительность современного широкополосного стана горячей прокатки 2000 ОАО «ММК» изменяется от 100 до 1000 т/ч при изменении начальной температуры подаваемых на нагрев непрерывнолитых заготовок от 0 до 600 °С. Десятизонные печи стана 2000 предназначены для нагрева непрерывнолитых слябов толщиной 250 мм с шагающими балками с верхним сводовым отоплением и боковым нижним отоплением [1].

Объективно характеризуя интенсивность теплообмена между греющей средой и нагреваемыми заготовками в стационарных условиях, $t_{рп}(t)$ в динамических переходных режимах, характерных для со-

временного производства, неоднозначно и не всегда объективно отражает текущее тепловое состояние нагреваемого металла.

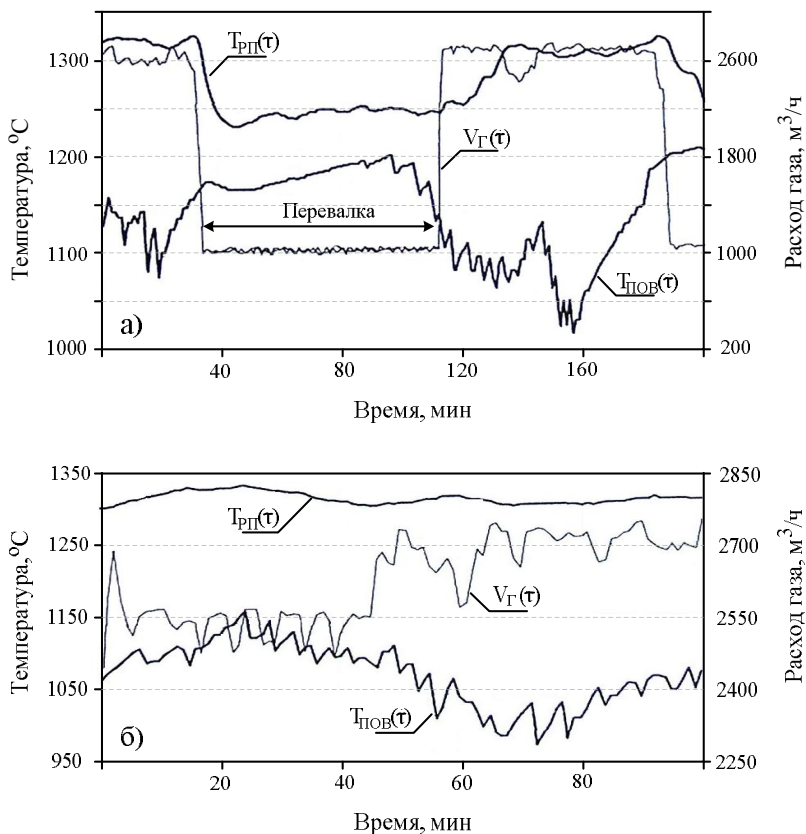


Рис. 1. Изменение во времени $t_{ПОВ}(\tau)$, $t_{ГП}(\tau)$ и $V_{Г}(\tau)$ в сварочной зоне печи №1 стана 2000 ОАО «ММК»: а – в режиме дистанционного управления; б – в режиме стабилизации температуры $t_{ГП}(\tau)$

Анализ полученных данных для различных типов современных печей при разных способах измерения $t_{ПОВ}(\tau)$ и $t_{ГП}(\tau)$ показывает, что $t_{ГП}(\tau)$ в переходных динамических режимах неоперативно и часто неоднозначно отражает текущее температурное состояние нагреваемого металла, см. рис. 1.

В условиях работы современных нагревательных печей при смешанном посаде и неравномерной производительности прокатного стана управление тепловым режимом по $t_{ГП}(\tau)$ приводит к увеличению

разброса по тепловому состоянию выданных в прокат заготовок и затруднениям при прокатке.

Целесообразность использования $t_{\text{ПОВ}}(\tau)$ для оперативного управления тепловым режимом при нагреве металла перед прокаткой осознана давно. Основным, в какой-то мере справедливым, препятствием к использованию $t_{\text{ПОВ}}(\tau)$ является неоправданно преувеличенное затруднение достоверного измерения температуры окисляющейся поверхности нагреваемого металла через излучающий слой продуктов сгорания, частично отражающей тепловое излучение огнеупорной кладки.

Однако при рекомендации по использованию для управления тепловым режимом при нагреве металла $t_{\text{РП}}(\tau)$ почему-то не учитываются следующие обстоятельства. Действительно обеспечивается достаточно точное измерение температуры рабочего спая термопары, помещенный в массивный карборундовый защитный чехол толщиной не менее 5мм, расположенный в значительно удаленном от металла месте отапливаемой зоны. Наличие защитного чехла увеличивает инерционность информационного сигнала. Постоянная времени термопары в защитном чехле составляет 160-200с, в то время как постоянная времени оптического пирометра менее 10-15с. От САУ нагревом в нестационарных динамических режимах требуется повышенная оперативность при формировании управляющих воздействий, а измеряемая температура рабочего спая, определяющая $t_{\text{РП}}(\tau)$, неоднозначно и с значительным запаздыванием отражает текущее температурное состояние нагреваемых заготовок в переходных режимах работы печей.

На практике не все так благополучно и со стабильностью нормированных статических характеристик (НСХ) или градуировок платиносодержащих термопар в рабочем диапазоне 1000-1600°C. Наличие даже незначительного содержания SiO_2 в материале защитного чехла приводит к образованию силицида Pt_2Si_5 разрушающего платиносодержащие термопары и понижающего стабильность НСХ. К недостаткам использования платиносодержащих термопар следует отнести высокую стоимость и некоторые организационные проблемы с учетом драгметаллов.

Благодаря более низкой теплопроводности, измеряемая оптическим пирометром температура поверхностного слоя окалины $t_{\text{ПОВ}}(\tau)$ более оперативно реагирует на изменение условий теплообмена, способствуя при всех прочих равных условиях, повышению оперативности управления нагревом металла.

Влияние теплового излучения, отраженного от стен печи на $t_{\text{ПОВ}}(\tau)$ значительно понижается использованием визирной трубы, установленной в боковой стене под углом 25-30° к поверхности заготовок [2].

Схема установки оптического пирометра для измерения $t_{\text{ПОВ}}(\tau)$ представлена на рис. 2. Неохлаждаемая визирная труба 2 замуровыва-

ется плотно в кладку печи. Для защиты трубы и оптического пирометра 1 от выбивания продуктов сгорания, в визирную трубу через специальных кольцевой патрубков 4 подается отфильтрованный от компрессорного масла сжатый воздух. Защита пирометра от действия высокой температуры окружающей среды обеспечивается установкой водоохлаждаемого патрубков 5 между пирометром и воздушным патрубком, см. рис. 2.

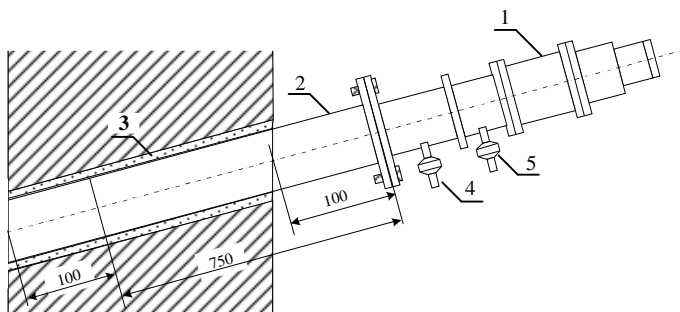


Рис. 2. Схема установки пирометра в боковой стене печи

Сложность измерения $t_{\text{пов}}(\tau)$ в современных печах с шагающими балками особенно при нагреве сортовых заготовок при дискретном расположении заготовок различной длины и толщины по длине печи несколько увеличивается. В этом случае для исключения попадания в поле визирования пирометра подины или боковых поверхностей заготовок необходимо определить зоны по длине печи, в которых, при любом принятом на печах способе посады, гарантировано будет находиться металл.

Затем труба визируется на эту зону печи и разворачивается на определенный угол против хода металла. Величина угла разворота зависит от диапазона толщин нагреваемых заготовок и дискретности расположения заготовок по длине печи. Визирование пирометра (вернее трубы) целесообразно осуществлять по электрической лампе или фонарику таким образом, чтобы поле визирования всегда находилось в зоне расположения заготовок.

В качестве оптических пирометров для измерения $t_{\text{пов}}(\tau)$ следует использовать пирометры частичного излучения (яркостные) с требуемым рабочим диапазоном.

Опыт использования пирометров спектрального отношения (цветовых), имеющих минимальную погрешность, показал их недостаточную эксплуатационную надежность в тяжелых условиях на печах. Да и

стоимость их весьма ощутима при массовом применении: требуется 8-10 штук на одну печь.

С точки зрения снижения капитальных затрат при переводе управления на $t_{\text{пов}}(\tau)$ является, как показал практический опыт, приемлемым использование пирометров полного излучения (радиационных) имеющих удовлетворительные динамические параметры и надежность. При этом желательно показания пирометров полного излучения скорректировать по показаниям пирометра частичного излучения для конкретных условий.

В данном случае речь идет о повышении оперативности и объективности управления нестационарным режимом нагрева металла по температуре малоинерционного поверхностного слоя окалины непосредственно имеющему контакт с металлом по сравнению с управлением по температуре термопары в инерционного массивном карборундовом чехле, помещенного в отапливаемой зоне, и объективно отражающей тепловое состояние нагреваемого металла только при стационарных режимах работы печи.

При переводе системы автоматического управления по $t_{\text{пов}}(\tau)$ следует особо обратить внимание на защиту огнеупорной кладки $t_{\text{кп}}(\tau)$ печи и поверхности слоя окалины от перегрева, путем введения ограничений на эти параметры: $t_{\text{пов}}(\tau) \leq 1340^\circ\text{C}$ и $t_{\text{кп}}(\tau) \leq 1380^\circ\text{C}$. Для учета этих ограничений необходимо установить датчики соответствующих параметров в наиболее высокотемпературных участках печи.

Определение эффективности перевода системы управления режимом нагрева с $t_{\text{рп}}(\tau)$ на $t_{\text{пов}}(\tau)$ рассмотрим на примере трехзонной методической печи толкательного типа работающей на холодном посаде и отапливаемой коксовым газом.

За счет своевременного изменения тепловой нагрузки по $t_{\text{пов}}(\tau)$ при изменении производительности стана общий расход газа на печь реально уменьшился на 4%. Действительные суточные диаграммы расходомеров коксового газа на верхние зоны печи №2 при управлении по $t_{\text{рп}}(\tau)$ представлены на рис. 3, а, а при управлении тепловым режимом по $t_{\text{пов}}(\tau)$ для печи №3 представлены на рис. 3, б.

Из рис. 3 видно, что при одинаковой производительности двух однотипных печей суточное количество газа на верхние зоны для печи №3 значительно меньше, чем на печи №2, где управление осуществлялось по температуре греющей среды.

При одинаковом времени пребывания заготовок в печи повышение оперативности и объективности управления тепловым режимом по $t_{\text{пов}}(\tau)$ позволяет улучшить качество нагрева металла. За показатели качества нагрева металла принимались величина температуры раската заготовок $t_{\text{рз}}(\tau)$, измеряемая пирометром частичного излучения, а также разброс $t_{\text{рз}}(\tau)$.

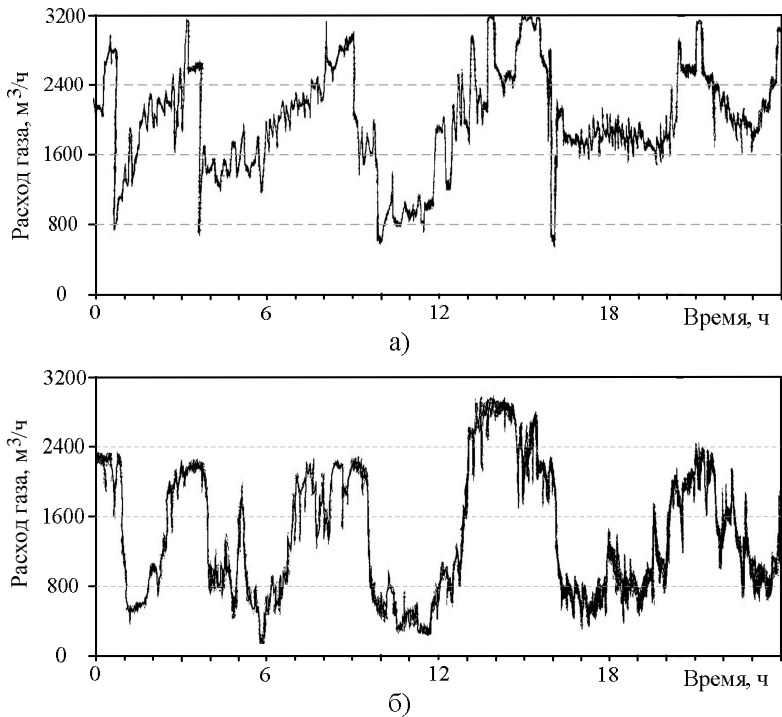


Рис. 3. Суточные диаграммы расходомеров топлива верхних сварочных зон: а – печь №2 САУ по $t_{PI}(\tau)$; б – печь №3 САУ по $t_{POB}(\tau)$

Интервальные ряды распределения отклонения температуры раската от среднего значения при управлении тепловым режимом по $t_{PI}(\tau)$ и по $t_{POB}(\tau)$ для печи №3 представлены на рис. 4.

Расчет величин среднеквадратических отклонений $t_{P3}(\tau)$ для каждого ряда, см. рис. 4, дает соответственно величины $\sigma_1 = \pm 26.4^\circ\text{C}$ и $\sigma_2 = \pm 16^\circ\text{C}$. Использование для управления $t_{POB}(\tau)$ позволило увеличить равномерность (стабильность) нагрева заготовок.

Для выяснения влияния замены $t_{PI}(\tau)$ на $t_{POB}(\tau)$ на величину температуры раската проведен анализ работы всех трех печей стана в одинаковых условиях. Вычислялась средняя $t_{P3}(\tau)$ всех выданных на стан заготовок и оценивалась температура каждой заготовки, выданной из каждой печи относительно этого среднего значения. Это дало возможность определить интервальные ряды распределения отклонений температур раската заготовок $t_{P3}(\tau)$ от среднего значения, выданных из одной конкретной печи относительно общего среднего значения, см. рис. 5.

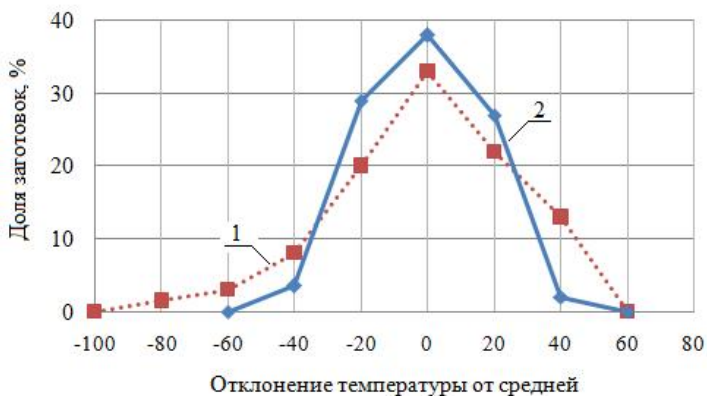


Рис. 4. Распределение отклонений $t_{P3}(\tau)$ от среднего значения для печи №3: 1 – САУ по $t_{PII}(\tau)$; 2 – САУ по $t_{ПОВ}(\tau)$



Рис. 5. Распределение отклонений $t_{P3}(\tau)$ от общего среднего значения по печам: 1 – печи с САУ по $t_{PII}(\tau)$; 2 – печь с САУ по $t_{ПОВ}(\tau)$

Отклонение $t_{P3}(\tau)$ для печи №3 с управлением по температуре поверхности оказалось менее рассеянным и по среднему значению на $10,2^{\circ}\text{C}$ выше, чем на двух остальных печах, управление тепловым режимом в которых осуществлялось по температуре рабочего пространства.

В итоге при меньшем на 4% расходе топлива управление по температуре поверхности нагреваемого металла в печах позволило увеличить на $10,2^{\circ}\text{C}$ температуру раската заготовок, что ведет к уменьшению удельного расхода электрической энергии при прокатке.

Выводы

Полученный многолетний положительный опыт по переводу систем автоматического управления режимом нагрева методических печей по $t_{пов}(t)$ в связи с использованием импортного оборудования и технологий нагрева сейчас не учитывается. Это приводит к неэффективному автоматическому управлению нагревательным режимом печей и получению экономического эффекта только за счет конструктивных решений и улучшения теплоизоляции кладки рабочего пространства.

Имеется реальная возможность получить еще больший положительный результат при использовании импортных печей и технологий нагрева, если автоматическое управление режимом в этих печах перевести по температуре поверхности металла.

Список литературы

1. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г. , Седелников С.В., Овчинников И.Ю. Опробование информационной системы контроля теплового состояния заготовок перед выдачей из методической печи / Сталь.– 2006.– 12.– с.75-77.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: Монография.– Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006.– 198с.

ОБЗОР СПОСОБОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ УСТАНОВОК ТИПА ПЕЧЬ-КОВШ

В.В. Власов

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

eridan.letalis@yandex.ru

Актуальность работы

С появлением установок внепечной доводки стали многие технологические операции по доведению расплава металла до заданного химического состава и температуры можно вынести из печи в ковш. Главную задачу внепечной обработки стали можно сформулировать так: осуществление ряда технологических операций быстрее и эффективнее по сравнению с решением аналогичных задач в сталеплавильном агрегате. Преимущество установок печь-ковш (УПК) в расширении возможности управления физико-химическими процессами и реализации ресурсо- и энергосберегающих технологий является убедительным основанием для широкого применения этих установок в металлургии[1]. Однако, для достижения эффективного энергосбережения необходимо разрабатывать системы управления, позволяющие оптимизировать энергетический режим работы этих установок. Так как основным источником тепла в УПК является, как и в дуговых сталеплавильных печах, электрическая дуга, а в электрической схеме присутствуют реактивные элементы, то большое влияние на эффективность доводки оказывает реактивное сопротивление электрического контура. Таким образом, для оптимизации доводки стали в УПК необходимо использовать системы, позволяющие уменьшить потери на реактивную мощность.

Электрические характеристики УПК

Для анализа электрической цепи ковша-печи удобно использовать схемы замещения одной фазы печи (рис. 1).

На рисунке U – напряжение одной фазы; r , L – суммарное омическое и реактивное сопротивление вторичной стороны печного трансформатора соответственно; r_d – динамическое сопротивление дуги.

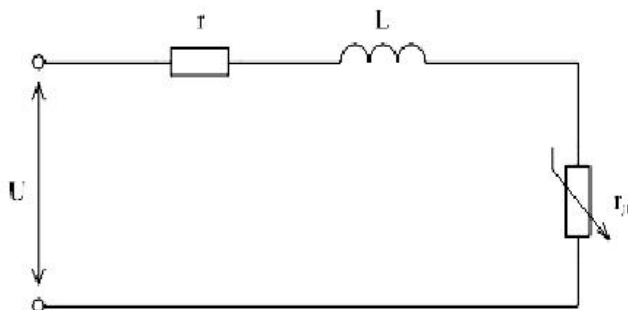


Рис. 1. Упрощенная схема замещения одной фазы УПК

Если напряжение электрической цепи ковша-печи изобразить в виде векторов, то получится диаграмма (рис.2), в которой:

$$U = IZ;$$

$$U_a = Ir = I(r_{n.n} + r_{к.с.});$$

$$U_p = I\omega L,$$

где U – общее напряжение; U_a – активная составляющая; U_p – реактивная составляющая, Z – полное электрическое сопротивление цепи; I – ток; r – активное сопротивление цепи; $r_{n.n}$ – активное полезное сопротивление дуги и расплава; $r_{к.с.}$ – активное сопротивление трансформатора, токопроводящей сети и электродов; ωL – реактивное сопротивление цепи.

Из рисунка 2 следует, что при постоянном напряжении трансформатора активная составляющая меняется в зависимости от одновременного изменения сопротивления дуги и расплава $r_{n.n}$, а также тока I . Реактивная составляющая напряжения меняется только при изменении тока, так как реактивное сопротивление ωL практически постоянно. Меняется также угол ϕ между векторами U и U_a , что очень важно, при этом точка A перемещается по окружности.

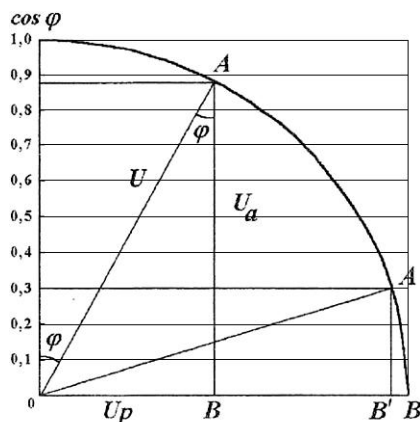


Рис. 2. Диаграмма напряжений УПК

Ток определяется как соотношение:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}},$$

При подъеме или опускании электродов величина r меняется только за счет изменения $r_{н.н}$ [2]. Таким образом, статическая характеристика зависимости активной мощности от тока будет выглядеть, как на рис. 3.

Основной целью автоматической оптимизации управления электрическим режимом УПК является обеспечение условий для достижения максимальной мощности, выделяемой в электрической дуге $P_{д \max}$.

Поскольку непосредственное измерение мощности, выделяемой в дуге недоступно, то для управления этой мощностью целесообразно использовать косвенные параметры, доступные для прямого инструментального контроля [3].

Управление током в фазах печи не получило широкого распространения до недавнего времени. Недостатком использования этого параметра в традиционных аналоговых регуляторах считалось возможным повреждение или поломки электродов при зажигании дуг. Регулятор даёт команду на опускание электродов, пока заданное значение тока больше, чем текущее. Ток в трёхфазной цепи без нулевого провода возникнет только тогда, когда, как минимум, два электрода будут касаться шихты, что не всегда происходит одновременно из-за разной длины электродов. Таким образом, текущее значение тока, являясь единственным информационным сигналом обратной связи, не даёт информации о факте касания электродом поверхности шихты [3].

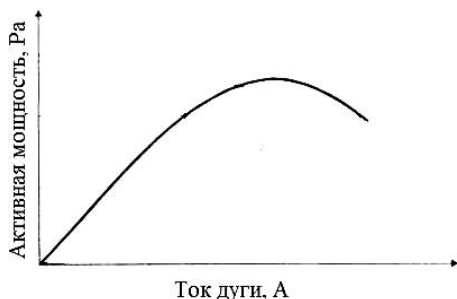


Рис. 3. Зависимость активной мощности от тока дуги

В связи с развитием современных цифровых средств управления технологическими процессами, данный недостаток можно считать несущественным, так как логику зажигания дуг можно программно реализовывать вне зависимости от применяемого закона управления процессом.

Еще более существенным недостатком данного способа управления можно считать большую сложность автономного управления фазами печи, ввиду особенностей распространения тока в трёхфазных цепях без нулевого провода, когда изменение тока в одной фазе немедленно сказывается на токах в двух других фазах.

Наибольшее распространение для управления вводом электрической энергии в печь послужил дифференциальный параметр, представляющий собой разность между током и напряжением:

$$A = aI - bU,$$

где a и b – постоянные коэффициенты, зависящие от коэффициентов трансформатора; U – напряжение фазы печи [3,4].

Регуляторы, использующие этот параметр, называются дифференциальными. После проведения некоторых преобразований можно увидеть несколько иной смысл этого параметра:

$$A = aI - bU = bI \left(\frac{a}{b} - \frac{U}{I} \right) = bI (Z_{зад} - Z_{тек}),$$

где $Z_{зад}$ и $Z_{тек}$ – соответственно, заданное и текущее значение полного сопротивления фазы.

Использование этого регулятора имеет некоторые преимущества. Так, из-за особенностей изменения тока при изменении напряжения и

напряжения при изменении тока, выходной сигнал будет всегда большой, а, значит, регулятор обладает большой чувствительностью.

Так же регулятор обеспечивает автоматическое зажигание дуг и остановкой электрода, первого коснувшегося расплава.

Недостатком такого регулятора является зависимость поддерживаемой мощности от колебаний напряжения в сети.

Если сравнивать электрические характеристики установки печь-ковш и дуговой сталеплавильной печи, можно увидеть, что принципиальных различий они не имеют. Обе установки имеют три электрода, включенные по схеме звезда без нулевого провода, напряжение на которые подаётся с помощью печного трансформатора. Поэтому принципы работы систем автоматического управления электрическим режимом ДСП пригодны и для ковша-печи.

Обзор существующих систем управления энергетическими режимами УПК

На агрегатах ковш-печь и дуговых сталеплавильных печах в цехах ОАО «ММК» используется система ArCOS NT разработки компании Vatron совместно с компанией VAI FUCHS. Система ArCOS обеспечивает устойчивую стабилизацию и программное управление электродами в процессе электродуговой плавки. При надлежащем соблюдении технологии, практически не требуется вмешательства операторов в процесс работы системы регулирования ArCOS. В блоке регулирования применяется ПИ-закон регулирования, с изменяемыми коэффициентами (в зависимости от текущего рассогласования).

Логика зажигания дуг реализована с использованием описанного выше дифференциального параметра. Управление электрическим режимом производится с использованием одного из трех (на каждой стадии плавки в соответствии с профилем) параметров – импеданс фазы, напряжение дуги или сопротивление дуги. Управление плавкой в системе осуществляется в соответствии с заранее заданными программами плавки (профилями), представленными в виде таблиц переключения реактора, напряжения трансформатора и выбора используемой рабочей кривой в зависимости от текущей стадии процесса. Для реализации такого программного управления необходима идентификация текущей стадии процесса. В системе ArCOS текущая стадия процесса определяется по величине текущей энергии активной мощности, потребленной печью с начала плавки [5].

Таким образом, нужно отметить, что система ArCOS NT функционирует в жестком программном режиме плавки, учесть особенности процессов можно только на этапе настройки таблиц, задаваемых значений параметров регулирования и составлении программ плавки (эмпирическими методами). То есть система требует точной настройки на конкретный агрегат и под конкретные технологические процессы,

не учитывая нестационарности характеристик объекта в процессе плавки (параметрические возмущения).

Компанией НПФ «Энергосоюз» предлагается система оптимизации энергопотребления «Нева-ДСП», предназначенная для снижения потребления электроэнергии, повышения коэффициента мощности, повышения производительности, снижения расхода электродов.

Входными сигналами являются мгновенные фазные напряжения на первичной и вторичной сторонах печного трансформатора, мгновенные фазные токи на первичной и вторичной сторонах печного трансформатора, управляющие сигналы устройствами перемещения электродов, положение переключателя ступеней напряжения печного трансформатора и реактора.

С использованием входной информации система рассчитывает действующие (эффективные) значения напряжений и токов на первичной и вторичной сторонах печного трансформатора, показатели, характеризующие уровни несинусоидальности, несимметрии и колебательности токов и напряжений, активные и реактивные мощности на первичной и вторичной сторонах печного трансформатора, активные потери в печном контуре, коэффициенты, характеризующие мощность излучения дуг, и уровень вспененного шлака.

Система осуществляет расчет и отображение реальных рабочих характеристик печи: зависимостей активной и реактивной мощности от тока $P(I)$ и $Q(I)$ и т. п., в текущий момент времени, зависящих от положения переключателя реактора, напряжения печного трансформатора, уровня напряжения питающей сети, степени несинусоидальности токов и т. д. На графиках отображается положение текущей рабочей точки и рекомендуемая оптимальная точка. Система дает рекомендации оператору по изменению текущих режимов работы печи для получения оптимальных режимов работы агрегата [6].

Недостатком системы является экспериментально-статистический в основе подход к определению рабочих характеристик печи, который, по сути, сводится к получению статических моделей процесса.

В отличие от ArCOS NT, в систему «НЕВА-ДСП» рабочие точки не закладываются изначально – она определяет их исходя из текущих параметров работы печи.

По данным [7] внедрение системы «НЕВА-ДСП» на производственных предприятиях позволило снизить расход электроэнергии на 3% вместе со снижением времени на плавку.

Базовая система регулирования электродов HiReg компании Danielli работает как регулятор, минимизирующий дифференциальный параметр, и является составной частью комплекса управления и оптимизации процессом выплавки стали в электродуговой печи. Схема системы представлена на рис. 4.

Согласно [8] алгоритм управления электродами функционирует, минимизируя ошибку управления:

$$K_i I - K_u U = Error,$$

где I – ток; U – напряжение; K_i – коэффициент, зависящий от положения переключателя входных обмоток трансформатора; K_u – коэффициент, зависящий от выбранного момента работы; $E_{гог}$ – погрешность регулирования, которую необходимо минимизировать, на рис. 4 подписана как $Z_{гог}$ – рассогласование полного сопротивления.

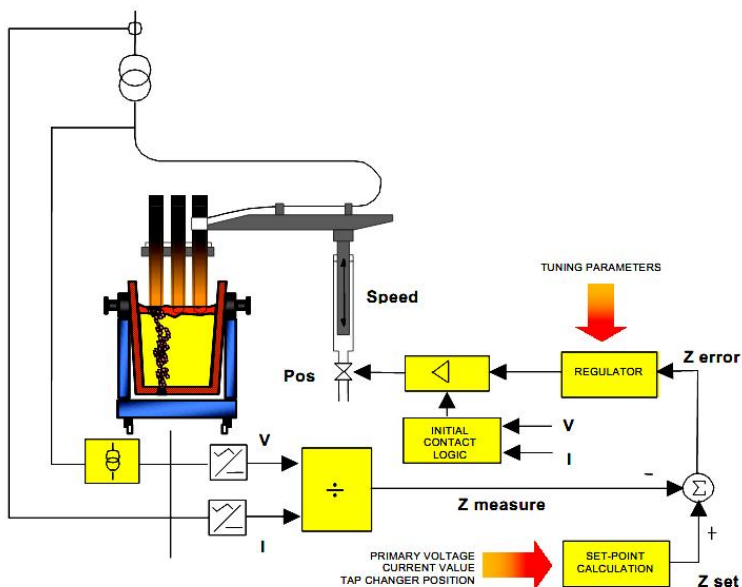


Рис. 4. Система управления электродами HiReg

В регуляторе реализовано динамическое изменение коэффициентов регулятора. С целью улучшения рабочих характеристик базового регулятора (ПИ-регулятор) предлагается система с нечеткой логикой, которая позволяет определить правила, отражающие физические процессы, и осуществлять нелинейное регулирование процесса.

Разработанная фирмой «Neural Application Corporation» система IAF реализуется на основе искусственной нейронной сети (ИНС). Нейронная сеть реализует модель работы ДСП, которая предсказывает возможную ситуацию на печи за 0,1 с до реального события. Это позволяет вводить соответствующую коррекцию с предварением. Другая ИНС первоначально обучается управлению этой моделью, чтобы соот-

ветствовать традиционному контроллеру, затем производится дополнительная оптимизация, для улучшения функционирования регулятора [3, 9].

Система позволяет компенсировать отклонения управления от оптимального, с учетом изменений состава шихты, отклонений питающего напряжения, изменения длины электродов, изменения импеданса подводящей сети.

Компания Siemens предлагает систему оптимизации управления энергетическим режимом электродуговой печи SIMELT NEC. В качестве системы регулирования электродов может выступать практически любая существующая система. SIMELT NEC реализуется в виде надстройки, как главный контур управления, осуществляющий коррекцию или передачу уставок системам регулирования электродов.

Работа системы основана на использовании гибридной модели, которая является комбинацией математической модели электрического контура печи и искусственной нейронной сети (ИНС). Результатом работы является уставка, которая для данных условий протекания процесса будет настолько отвечать максимуму активной мощности, насколько это возможно. Система позволяет компенсировать недостатки несимметричной работы печи, обеспечивая более равномерное распределение мощностей по фазам. В случае перегрева водоохлаждаемых панелей напротив одной из дуг, система обеспечивает автоматическое перераспределение мощностей дуг, не изменяя суммарной мощности вводимой в печь, одновременно поддерживая ее максимальное значение на максимально возможном уровне для данной ступени напряжения печного трансформатора, с учетом эксплуатационных ограничений [10, 11].

Достоинством нейросетевых моделей является возможность накопления ими знаний, посредством адаптации. В настоящее время хорошо развита теория алгоритмов обучения нейронных структур. Однако, накопленные сетью знания остаются распределенными между всеми нейронами сети, ввиду самого принципа построения нейронных сетей, как параллельного вычислителя, что существенно снижает их полезность при анализе закономерностей приводящих к полученному результату.

По данным [12] после модернизации дуговой печи ДСП-100И6 на заводе ОАО «Амурметалл» с применением системы SIMELT NEC в 2001 году, расход электроэнергии снизился с 650 до 540 кВт/т металла. Так же, благодаря более точной подачи раскисляющих добавок (извести) стало возможным сильно снизить расход ферросплавов.

Выводы

Многие из рассмотренных систем работают в режиме жесткой плавки с предустановленными параметрами и не могут учитывать все случайные возмущения. Исходя из практики модернизации систем

оптимизации управления доводкой стали в УПК и плавкой в ДСП [7,8,9,12] можно сделать вывод о том, что выведение электрической системы в оптимальный режим ведёт не только к уменьшению энергозатрат на плавку, но и уменьшению длительности плавки. Это так же подтверждает теоретическое обоснование необходимости выведения электрической системы в оптимальный режим, что, в свою очередь, говорит о необходимости постоянного совершенствования методов оптимизации энергетического режима дуговых установок.

Список литературы

1. Ишметьев Е. Н. и др. Автоматизация и оптимизация управления технологическими процессами внепечной доводки стали: Монография// Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2008. 312 с.
2. Производство стали на агрегате печь-ковш / Дюдкин Д.А., Бать С.Ю., Гринберг С.Е., Маринцев С.Н.//Донецк: ООО «Юго-Восток Лтд». 2003. 300 с.
3. Л. В. Лапшин. Автоматизация технологических процессов дуговой сталеплавильной печи. //М.: ООО «Квадратум». 2002. 157 с.
4. Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева: Учебник для вузов/ А. Д. Свенчанский и др.; Под ред. А. Д. Свенчанского. 2-е изд., перераб. и доп.//М.: Энергоиздат. 2001. 296 с.
5. Технологическая инструкция ТИ-101-СТ ЭСПЦ-64-2006. // ОАО «ММК». 2006.
6. Кучумов Л.А. Система «Нева ДСП». // Рекламный проспект. 2006 .
7. Каталог «Разработка и производство средств АСУ ТП в электроэнергетике.// С.-Пб: НПФ «Энергосоюз» . 2011.
8. Рушио, Э. Электродуговая печь с системой динамического автоматического регулирования фирмы DANIELI / Э. Рушио, К. Бергман, С. Олунд // Сталь. 2005. №10. С.42-48.
9. Интеллектуальная электродуговая печь «iEAF» фирмы Tenova – концепция и технический обзор / Клеричи П., Делл’Акуа Ф., Майло Дж., Витторио С.//Steel Times International на русском языке, 2008. №9. С.20-25.
10. Повышение эффективности управления дуговой печью переменного тока // АО «Черметинформация». Новости чёрной металлургии за рубежом. 2002. №12. С. 47-48.
11. Рис, М. Оптимизация управления электродуговых печей с использованием нейронных сетей / М. Рис, Р. Сессельман // Труды третьего конгресса сталеплавыльщиков. М.: 1995. С. 153-162.
12. Металлургия. Проекты в России. Максимум производительности, минимум энергозатрат.//Metals & Mining International News. № 04. 2003. С.12.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Андреев С.М.	277, 302	Макаров А.В.	174
Ахметов Т.У.	231, 302	Мацко И.И.	91
Басков С.Н.	185	Мацко О.С.	26
Белоконь Д.С.	271	Месягутов И.Ф.	203
Блохин А.И.	225	Милов Ю.Е.	188
Бодров Е.Э.	242	Москвин В.М.	5
Буй Н.Х.	150	Мукатдаров Р.И.	195
Бурдина О.В.	38, 163	Мухина Е.Ю.	146, 231
Бурнашев Р.Э.	291	Новоженин М.Б.	156
Вечеркин М.В.	174	Нургалина Р.Г.	85
Власов В.В.	310	Обухова Т.Г.	225, 259, 302
Вожегов А.В.	215	Овчинников А.Н.	114
Гаев Е.Л.	29	Онучин А.А.	104
Гаев Л.В.	29, 72	Павлов В.В.	91
Гиляев О.С.	231	Парсункин Б.Н.	43, 231, 277, 302, 54
Гончарова С.Г.	203	Пинтя Т.Н.	33
Горохов М.А.	225, 228	Полецков П.П.	146
Гребенникова В.В.	38, 163, 170	Попов А.В.	111
Дмитриенко В.Д.	128	Посохов И.А.	188
Евстигнеев В.Л.	263	Посохов И.В.	91
Егорова Л.Г.	26	Рафальская Е.А.	125
Забродский Н.Н.	120	Рябчиков М.Ю.	163, 170, 38, 54
Заковоротный А.Ю.	128	Рябчикова Е.С.	54, 225, 259
Зарубин М.Ю.	67	Сайров А.М.	296
Зобнин Б.Б.	114, 215	Салганик В.М.	146
Ильина Е.А.	76, 85, 67	Самарина И.Г.	43
Искандаров Б.П.	179	Сафин И.Р.	242
Каландаров П.И.	179, 188	Свирепов Ф.В.	150
Коваленко А.И.	259	Сергеев А.И.	111
Кузнецова В.Б.	111	Степаненко Т.А.	67
Кукина С.М.	72	Сыров Е.В.	16, 21
Лимаренко В.В.	252	Феоктистов А.В.	117
Линьков С.А.	80	Филиппов Е.Г.	188
Лицин К.В.	185	Хавина И.П.	252
Лобачев И.В.	99	Халилова П.Ю.	209
Ловейкин В.С.	49	Шпонько А.А.	80
Логунова О.С.	91, 188	Шумилов Г.В.	49
Люгов А.Г.	156	Юршев В.И.	195
		Юршев И.В.	195

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
------------------	---

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Москвин В.М.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПРИВОДА НАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА ПРОКАТНОГО СТАНА	5
---	---

Сыров Е.В.

РАСЧЕТ КАРТИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЕЧЕНИИ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА РОЛИКОВОГО МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА	16
--	----

Сыров Е.В.

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ РОЛИКОВОГО МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА	21
---	----

Мацко О.С., Егорова Л.Г.

К ВОПРОСУ О ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОМ АНАЛИЗЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ	26
---	----

Гаев Е.Л., Гаев Л.В.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ОНЛАЙН	29
--	----

Пинтя Т.Н.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК	33
---	----

Бурдина О.В., Гребенникова В.В., Рябчиков М.Ю., Власов В.В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА	38
---	----

Самарина И.Г., Б.Н. Парсункин

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ПОЛОСЫ В ПЕЧИ АНГЦ	43
--	----

Ловейкин В.С., Шумилов Г.В.

ПОСТРОЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ БАШЕННОГО КРАНА	49
---	----

<i>Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ АГРЕГАТА ПЕЧЬ-КОВШ.....	54
--	----

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

<i>Степаненко Т.А., Ильина Е.А., Зарубин М.Ю.</i> СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	67
<i>Гаев Л.В., Кукина С.М.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТЕСТОВОЙ ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ОЛИМПИАДАХ ПО ИНФОРМАТИКЕ (НА ПРИМЕРЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ)..	72
<i>Ильина Е.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ.....	76
<i>Шпонько А.А., Линьков С.А.</i> УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	80
<i>Нургалина Р.Г., Ильина Е.А.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РЕФЛЕКСИИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	85

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Мацко И.И., Логунова О.С., Посохов И.В., Павлов В.В.</i> РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ	91
<i>Лобачев И.В.</i> ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА	99
<i>Онучин А.А.</i> СТРУКТУРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ (СМИС).....	104

Кузнецова В.Б., Сергеев А.И., Попов А.В. ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНЖИНИРИНГА НА ОСНОВЕ PLM-СИСТЕМЫ TEAMCENTER НА ОАО "ПО "СТРЕЛА".....	111
Зобнин Б.Б., Овчинников А.Н. МОДЕЛЬ СТАТИСТИКИ ПОСЕЩАЕМОСТИ САЙТА.....	114
Феокистов А.В. ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ГРУППЕ КОМПАНИЙ ОАО «ММК»	117
Забродский Н.Н. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	120
Рафальская Е.А. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ.....	125

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ

Дмитриенко В.Д., Заковоротный А.Ю. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ АДАПТИВНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ.....	128
Салганик В.М., Мухина Е.Ю., Полецков П.П. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС.....	146
Свирипов Ф.В., Буй Н.Х. ВНЕДРЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ.....	150
Новоженин М.Б., Лютов А.Г. СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ.....	156
Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В., Бурдина О.В. КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО АГЛОМЕРАТА.....	163

<i>Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В., Гиляев О.С.</i> ПЕРЕСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХОЛОДНОЙ ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО АГЛОМЕРАТА В РАЗЛИЧНЫЕ СИСТЕМЫ.....	170
<i>Макаров А.В., Вечеркин М.В.</i> СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ШАХТНЫХ ПОГРУЗО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН.....	174

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

<i>Каландаров П.И., Искандаров Б.П.</i> ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	179
<i>Лицин К.В., Басков С.Н.</i> ПУСК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ.....	185

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

<i>Логунова О.С., Посохов И.А., Филиппов Е.Г., Милов Ю.Е., Каландаров П.И.</i> ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ.....	188
<i>Юршев В.И., Юршев И.В., Мукатдаров Р.И.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ПИРОЛИТИЧЕСКИХ КАРБИДОХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ.....	195
<i>Месягутов И.Ф., Гончарова С.Г.</i> АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ МЕХАНООБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	203
<i>Халилова П.Ю.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЛИНЕЙНО – ЧАСТОТНО МОДУЛИРУЕМОГО ИМПУЛЬСА ЛАЗЕРА.....	209
<i>Зобнин Б.Б., Вожегов А.В.</i> ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСРЕДНЕНИЕМ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	215

<i>Горохов М.А., Обухова Т.Г., А.И. Блохин, Рябчикова Е.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СОСТАВЕ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ХОДОМ ПЛАВКИ.....	225
<i>Горохов М.А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ РАСХОДА КОКСА	228
<i>Парсункин Б.Н., Ахметов Т.У., Мухина Е.Ю., Гиляев О.С.</i> ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВАЕМОГО МЕТАЛЛА.....	231
<i>Бодров Е.Э., Сафин И.Р.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ И НАТЯЖЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА.....	242
<i>Хавина И.П., Лимаренко В.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ МЕХАНООБРАБОТКИ.....	252
<i>Коваленко А.И., Обухова Т.Г., Рябчикова Е.С.</i> УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ПРОДУВКИ КИСЛОРОДОМ В КОНВЕРТЕРЕ ПО АНАЛИЗУ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ.....	259
<i>Евстигнеев В.Л.</i> ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОСТАДИЙНОГО ДРОБЛЕНИЯ.....	263
<i>Белоконь Д.С.</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ И ТРЕВОГ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ ДРОБЛЕНИЯ.....	271
<i>Парсункин Б.Н., Андреев С.М.</i> СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ.....	277
<i>Бурнашев Р.Э.</i> УПРАВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВОМ ПЛАВНОГО ПУСКА ВЕНТИЛЯТОРА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS В УСЛОВИЯХ ЗАО «УРАЛ-ОМЕГА»	291
<i>Сайров А.М.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ.....	296
<i>Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г., Ахметов Т.У.</i> СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВАЕМОГО МЕТАЛЛА.....	302

Власов В.В.

ОБЗОР СПОСОБОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ УСТАНОВОК
ТИПА ПЕЧЬ-КОВШ.....

310

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА**

AUTOMATION OF TECHNOLOGIES AND PRODUCTION

Сборник научных трудов

Под общей редакцией д-ра техн. наук,
проф. Б.Н. Парсункина

Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»