

гілля (перед подрібненням) дозволяє при інших рівних умовах забезпечити більш тонкий помел вугілля в кульовому млині і значно збільшити вихід класів, що визначають реологічні характеристики суспензії та агрегативний стан дисперсної системи.

**Висновки.** Зафіксоване покращення технологічних характеристик водовугільного палива (ВВП) при попередньому зволоженні вугільної маси перед її подрібненням у процесі приготування ВВП, а саме: зменшення в'язкості суспензії, збільшення агрегативної і седиментаційної стійкості водовугільного палива, може бути пояснене адсорбційним зниженням міцності, відомим як «ефект Ребіндера». Прояв ефекту Ребіндера обумовлює можливість більш тонкого і менш енерговитратного помелу вугілля, що й зумовлює покращення його технологічних характеристик.

Разом з тим, залишається недослідженим аспект поверхневих характеристик новорозкритої вугільної поверхні. Вивчення впливу попереднього зволоження вугілля на дзета-потенціал подрібненого вугілля – перспективний напрямок подальших досліджень.

#### *Список літератури*

1. **Вольнский А.Л.** Эффект Ребиндера в полимерах // Природа. №11, 2006. - С. 11-18. [Електронний ресурс] Режим доступу : [http://vivovoco.rsl.ru/vv/journal/nature/11\\_06/crazying.htm](http://vivovoco.rsl.ru/vv/journal/nature/11_06/crazying.htm)
2. **Горюнов Ю. В., Перцов Н. В., Сумм Б. Д.** Эффект Ребиндера. - М., 1966.
3. **Ребиндер П.А., Щукин Е.Д.,** Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформации и разрушения // «Успехи физических наук», 1972. - т. 108, в. 1. - С. 3.
4. **Круть А.А.** Технология приготовления водовугільного топлива с предварительным смешением исходных компонентов / **А.А.Круть, Ф.А.Папаяни** // 36. наук. праць Національної гірничої академії. – Дніпропетровськ, 2001. - № 3. – С. 111-118.

Рукопис подано до редакції 15.03.12

УДК 621.771.2-52

**В.И. БОЙКО**, д-р техн. наук, проф., **И.А. АЛЕКСЕЕВ**, канд. техн. наук,  
**В.О. УСТИМЕНКО**, ассистент, Днепродзержинский государственный университет

### **АДАПТИВНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАКАТКИ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ**

В работе рассмотрена структура и основные принципы построения адаптивной комбинированной системы управления процессом валковой накатки медицинских цилиндрических профилей повышенной точности. Приведены результаты экспериментального подтверждения эффективности применения предлагаемой системы управления.

Современная номенклатура осесимметричных цилиндрических и резьбовых профилей, используемых при изготовлении ортопедического оборудования, предъявляет повышенные требования к точности, прочности, износостойкости и шероховатости рабочей поверхности. Одним из наиболее универсальных, позволяющим в большинстве случаев сократить количество операций по обработке поверхности, является метод поперечно-профильной накатки [1]. На территории Украины распространение получили универсальные профиленкатные машины серии UPWS (Германия) и их аналоги производства ближнего и дальнего зарубежья (Россия, Швейцария, Япония и т.д.), позволяющие реализовать данный метод формообразования. Совмещение задач скоростного перемещения и точного позиционирования в системе управления приводом подвижного суппорта, реализованной в машинах указанного типа, является антагонистичным и не позволяет без организации дополнительных процедур управления обеспечить возросшие требования к механическим и геометрическим параметрам накатываемого профиля.

Устранение данного недостатка требует разработки системы управления формообразованием с использованием принципов адаптации (самоприспособления). Структурная схема системы показана на рис. 1.

Для управления процессом формообразования используются следующие датчики технологической информации:

1. ДД - датчик давления рабочей жидкости в полости гидравлической системы привода подвижного инструмента;
2. ДП - датчик перемещения подвижного суппорта в ходе формообразования;
3. ДС - датчик электрического сопротивления очага деформации;
4. ДТ - датчик температуры накатного инструмента.

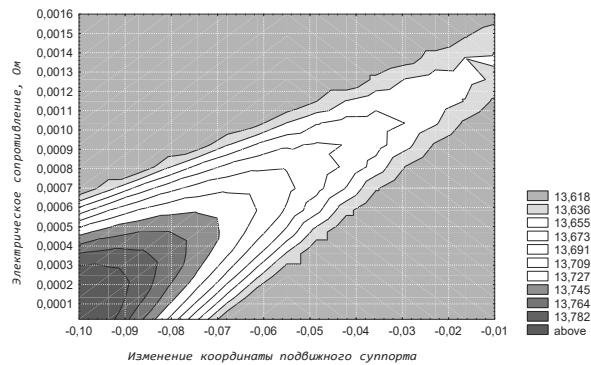


Рис. 1

давления рабочей жидкости в полости гидроцилиндра.

4. Нечеткий регулятор управления.

5. Контур адаптации базы правил нечеткого регулятора.

*Основной контур* предназначен для компенсации изменений прокатного зазора, появляющихся при накатке профиля под влиянием входной разнотолщинности.

В этом контуре текущее значение зазора сравнивается с базисным и пропорционально полученной разности вычисляется управляющее воздействие

$$S_{p1} = \gamma_1 \cdot (S_{0t} - S_{0b}), \quad (1)$$

где базисное значение  $S_{0b}$  определяется как

$$S_b = \begin{cases} S_b(i-1) + \frac{1}{i} (\bar{S}_i - S_b(i-1)) & \text{при } i < 10 \\ S_{b(9)} + \frac{1}{10} (\bar{S}_{(10)} - S_{b(9)}) & \text{при } i \geq 10 \end{cases} \quad (2)$$

Значение  $S_b$  определяется после накатки десяти профилей на заготовках с одинаковым средним диаметром, с полем допуска соответствующему классу резьбы, затем принимается постоянным при накатке данной партии.

Коэффициент  $\gamma_1$  устанавливается опытным путем и уточняется в ходе накатки в контуре адаптации.

*Разомкнутый контур* регулирования по возмущению предназначен для компенсаций изменений прокатного зазора, происходящего под влиянием нагрева и износа инструмента. Регулирующее воздействие  $S_{p2}$  в этом контуре определяется как сумма постоянной и переменной во времени составляющих

$$S_{p2} = S_{p2 \text{ const}} + K_{S_{p2}} t, \quad (3)$$

где первая составляющая обусловлена закономерностью износа инструмента, а вторая – нагревом инструмента в ходе формообразования.

*Контур регулирования по отклонению давления* рабочей жидкости в полости гидроцилиндра предназначен для стабилизации усилия прижима подвижного инструмента в горизонтальной плоскости в случае применения специфических методов повышения точности профиля непосредственно после накатки или без проведения процедуры выдавливания профиля. К ним относятся калибровка, выглаживание, балансировка относительно центральной оси заготовки (для стоматологического инструмента). Управляющее воздействие определяется из выражения

$$S_{p3} = P_b - P_t, \quad \text{где } P_b = \text{const}. \quad (4)$$

*Нечеткий регулятор* предназначен для определения управляющих воздействий на основании нечетких оценок состояния объекта управления с использованием лингвистической базы знаний.

Входные лингвистические переменные:

RE - изменение активного сопротивления очага деформации; SE – изменение координаты положения подвижного суппорта.

Выходные лингвистические переменные:

HP - изменение усилия прижима подвижного суппорта;

HN - изменение количества циклов нагружения.

Исполнительным механизмом является гидравлический привод подвижного инструмента с соответствующими электросиловыми цепями управления и таймером накатки.

Управление обеспечивается следующими пятью контурами регулирования:

1. Основной контур регулирования по текущему отклонению величины рабочего зазора (с полосой пропускания 0...5 Гц).

2. Разомкнутый контур регулирования по возмущению (нагреву и износу инструмента)

3. Контур регулирования по отклонению

Значения лингвистических переменных:

NB - отрицательное большое; NM - отрицательное среднее; NS - отрицательное малое; NO - отрицательное близкое к нулю; ZO - близкое к нулю; PO - положительное близкое к нулю; PS - положительное малое; PM - положительное среднее; PB - положительное большое.

Отрицательно большое и положительно большое отклонение положение суппорта и электрического сопротивления очага деформации от базовых значений соответствуют границам -20 и +20% соответственно.

Управляющие правила, связывающие лингвистические значения входных и выходных переменных, имеют вид: „Если изменение сопротивления очага деформации =  $A_i$  и, если изменение координаты положения подвижного суппорта =  $B_i$ , то изменение усилия прижима суппорта равно  $C_i$  и изменение количества циклов нагружения равно  $D_i$ ”, где  $A_i, B_i, C_i, D_i$  - лингвистические значения.

Работа нечеткого регулятора возможна только после синтеза математической модели, позволяющей прогнозировать параметры накатываемого профиля на основании нечетких оценок величины перемещения суппорта и электрического сопротивления очага деформации. Обучение происходит как в режиме стабилизации рабочего зазора между накатными роликами, так и при стабилизации усилия прижима инструмента.

В соответствие матрице возможных состояний процесса формообразования (рис. 2) ставится матрица управления (база правил).

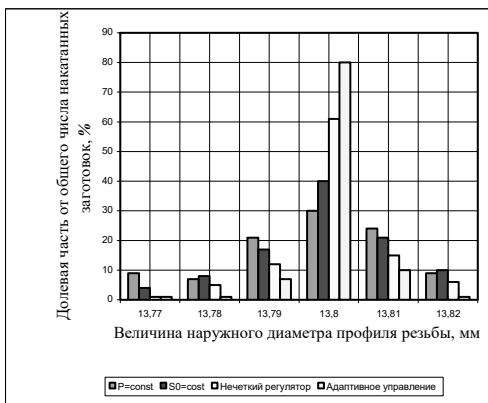


Рис. 2.

ного критерия управления.

Если предположить, что каждое из состояний  $\omega_i = \Omega$  потенциально достижимо и в каждом из них система характеризуется конечным вектором показателей качества  $K = \langle k_j \rangle, j = \overline{1, m}$ , чему однозначно соответствует вектор оценок  $X = \langle x_j \rangle, j = \overline{1, m}$ , компоненты которого образуют  $m$ -мерное пространство  $E_m$ , то задача поиска оптимального режима функционирования системы в конечном итоге сводится к задаче оптимального выбора в пространстве  $E_m$ .

На основании указанных допущений производится следующая постановка задачи:

1. задается вектор оценок процесса формообразования  $X_i = \langle x_{ij} \rangle, x_{ij} \in E_m, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ , однозначно соответствующий вектору  $K_i$  в любом из состояний системы  $\omega_i = \Omega$ .

2. Назначается вектор ограничений по величине каждого из показателей качества функционирования системы (минимальное значение величины наружного диаметра профиля и приращение электрического сопротивления очага деформации)  $X_0 = \langle x_{0j} \rangle, x_{0j} \in E_m, j = \overline{1, m}$ .

3. Оценки  $x_{ij} \in E_m$  положительно ориентируются (максимизируются), т.е. для системы требуется, чтобы  $x_{ij} \geq x_{0j}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ .

Если  $f(X_i)$  произвольная функция, удовлетворяющая принципам целевого предназначения системы, то задача выбора оптимального функционирования системы состоит в получении такого  $X_i \in E_m$ , при котором

$$X_{opt} = \text{extrf}(X_i), i = \overline{1, n} \quad (5)$$

$$\forall x_{ij} \in X_i : x_{ij} \geq x_{0j}, j = \overline{1, m} \quad (6)$$

*Контур адаптации* предназначен для уточнения величин управляющих воздействий с учетом изменения технологических характеристик объекта управления, а также определения оптимального управления согласно выбранного критерия качества протекания процесса формообразования.

На начальном этапе функционирования делаются следующие допущения.

1. Система подкат-прокатная клеть в пространстве состояний  $\Omega$  может занимать конечное число позиций  $\Omega = \langle \omega_i \rangle, i = \overline{1, n}, n \neq \infty$  [2].

2. Существует такое состояние  $\omega_i = \Omega$ , которое соответствует оптимальному с точки зрения выбранного критерия управления.

Следовательно, задача оптимального выбора требует определения параметров системы, при которых максимизируются все оценки вектора показателей качества функционирования системы, причем на столько, чтобы они в итоге привели к экстремальному значению  $f(X_i)$  и оказались, как минимум, не хуже предъявленных к ним требований.

Обобщенный мультипликативный критерий управления представлен в следующем виде [3]

$$\bar{J} = \begin{bmatrix} \bar{d}_{k11}^* \cdot p_{11} & \bar{d}_{k12}^* \cdot p_{12} & \dots & \bar{d}_{k1j}^* \cdot p_{1j} \\ \bar{d}_{k21}^* \cdot p_{21} & \bar{d}_{k22}^* \cdot p_{22} & \dots & \bar{d}_{k2j}^* \cdot p_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{d}_{kii}^* \cdot p_{ii} & \bar{d}_{kij}^* \cdot p_{ij} & \dots & \bar{d}_{kij}^* \cdot p_{ij} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\bar{d}_{kij}^* = (\bar{d}_{kij} - d_{H_{\min}}) \geq 0,$$

где  $\bar{d}_{kij}$  - среднее по выборке значение наружного диаметра накатанной резьбы при реализации выбранных управляющих воздействий, «доход»;  $d_{H_{\min}}$  - минимально допустимое значение наружного диаметра;  $p_{ij}$  - вероятность получения значения  $\bar{d}_{kij}$  при выбранных параметрах формообразования.

Оптимальное управление соответствует функционированию системы в областях максимально возможных значений, достигаемых обобщенным критерием, что является следствием максимизации наружного диаметра накатываемого профиля и вероятности его получения при выбранных параметрах процесса накатки.

Контур функционирует следующим образом. На начальной стадии с одинаковыми вероятностями (равными  $1/k$ ) выбираются все управления  $u_1, \dots, u_k$  (усилие прижима инструмента и количество циклов нагружения заготовки) и по мере эволюции фиксируются совершаемые переходы  $s \rightarrow s'$  и значения получаемых доходов  $\zeta$  (косвенная оценка величины наружного диаметра профиля). По этой информации подсчитываются оценки: 1) вероятностей переходов, которые являются частотами

$$p_{ij}^{\vee}(u_l, t) = \frac{N_{ijl}(t)}{N_{il}(t)}, N_{il}(t) = \sum_{j=1}^m N_{ijl}(t), \quad (8)$$

где  $N_{ijl}(t)$  есть число переходов к моменту  $t$  из состояния  $s_i$  в  $s_j$  при управлении  $u_l$ ; 2) - средних доходов

$$\bar{r}_{ij}(t) = \bar{r}(s_i, u_l, t) = \frac{1}{N_{ij}(t)} \sum_{h=1}^{N_{ij}(t)} x_h^{(i,l)}, \quad (9)$$

где  $x_h^{(i,l)}$  означает величину дохода при  $h$ -м выходе из состояния  $s_i$  под действием управления  $u_l$ .

Оценки  $p_{ij}^{\vee}(l, t)$  и  $\bar{r}_{ij}(l, t)$  являются состоятельными, т.е. при выполнении условия  $\lim_{t \rightarrow \infty} N_{ijl}(t) = \infty$  они сходятся к истинным значениям оцениваемых параметров с заданной точностью. Полученные матрицы вероятности переходов и соответствующих им значений наружного диаметра профиля и величины приращения электрического сопротивления очага деформации автоматически заносятся в память компьютера и используются для уточнения базы правил нечеткого регулятора.

На рис. 3 приведены гистограммы распределения величины наружного диаметра для различных режимов функционирования системы управления при накатывании резьбы М14×1,25 с длиной профиля  $l = 22$  мм, материал заготовки Ст.30, профиленакатная машина типа UPWS-16.

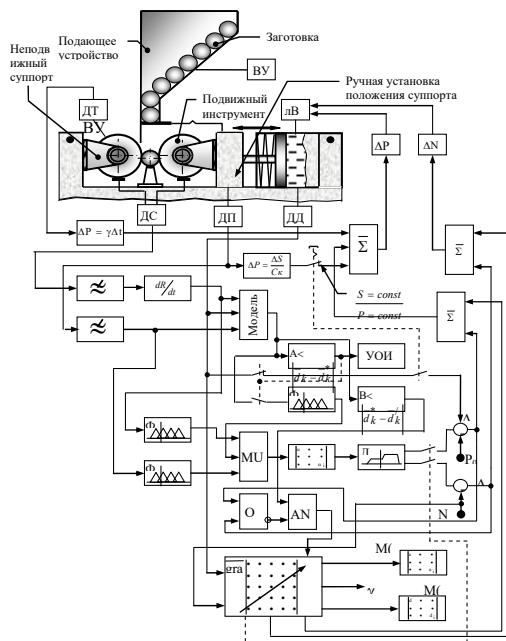


Рис. 3

**Выводы.** Получение профилей повышенной точности (6г и выше) для ортопедического оборудования на универсальных профиленактных полуавтоматах необходимо осуществлять при условии использования комбинированных адаптивных систем управления.

*Список литературы*

1. **Бойко В.И.** Оптимальное управление профилей. - Днепродзержинск, ДДТУ, 1996. -272 с.
2. **Сницаренко П.Н.** Об одном подходе к решению задачи оптимизации в многокритериальном пространстве // Электронное моделирование. -2001. -Т.23.№25.- С.60-66.
3. **Бойко В.И., Багрий В.В.** Альтернативные стратегии управления агрегатно-модульными комплексами. - Днепродзержинск, ДДТУ, 1999. -202 с.

Рукопись поступила в редакцию 03.04.12

УДК 621.926:534.16

Е.В. КОЧУРА, д-р техн. наук, проф.  
 ЖАМИЛЬ АБЕДЕЛЬРАХИМ ЖАМИЛЬ АЛЬ САЯЙДЕ, аспирант  
 ГВУЗ «Национальный горный университет»

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ, ВСТРОЕННЫЙ В ПРОМЫШЛЕННЫЙ МАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР**

Представлены функциональная схема и схема алгоритма автоматического анализатора выхода, извлечения, производительности, массовых долей железа в питании, концентрате, хвостах магнитного сепаратора по сигналам магнитной индукции в рабочих зонах магнитного сепаратора.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Достижение высоких технико-экономических показателей производства железорудного концентрата в значительной мере сдерживается отсутствием простых и надежных технических средств автоматического контроля основных технологических переменных процесса магнитного обогащения: массовых долей железа в продуктах обогащения, производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту, извлечения железа и выхода концентрата. Известные технические средства, такие как рентгеновские и ультрафиолетовые анализаторы, достаточно сложны, дороги и не позволяют решать задачи комплексного контроля всех технологических переменных магнитного обогащения после каждой стадии обогащения каждой технологической секции магнитообогащительной фабрики, что необходимо для оперативного управления.

**Анализ исследований и публикаций.** В Национальном горном университете была предложена концепция применения промышленного магнитного сепаратора в качестве анализатора технологических переменных процесса обогащения по сигналам магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора [1,2]. В работе [3] было предложено судить о массовой доле магнитного железа в концентрате по сигналу нормальной составляющей вектора магнитной индукции в зоне выделения концентрата. При этом в качестве чувствительного элемента используется линейный магнитный резистор из висмутосодержащей проволоки, размещенной на магнитной системе сепаратора в зоне его барабана. В работе [4] было предложено судить о массовой доли железа в хвостах по сигналу магнитной индукции пространственно распределенного магнитного поля в рабочей зоне выделения хвостов магнитного сепаратора. С целью повышения чувствительности метода в качестве чувствительного элемента использовалась измерительная сеть из магниточувствительных полупроводниковых резисторов, размещенных в два ряда в шахматном порядке в пазах магнитной системы вдоль образующей барабана сепаратора в зоне выделения хвостов. Экспериментальные исследования, выполненные в промышленных условиях,