

УДК 622.7:681.325.5-181.4

Е.В. Козлов, В.А. Козлов

СТРУКТУРА АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ

Проведен анализ структуры адаптивных систем управления процессами обогащения угля. Рассмотрена иерархичность строения систем управления. Приведены выражения критериев эффективности работы систем управления. Обозначены условия создания систем управления процессами обогащения угля.

Ключевые слова: система управления, процессы обогащения угля, автоматизация, структура системы управления, зольность концентрата, критерий эффективности, золомер, алгоритм, программное обеспечение

Повышение экономической эффективности работы современных углеобогащительных фабрик определяет необходимость создания адаптивных систем управления технологическими процессами. Как показано в работах [1-3], применение автоматических систем управления на обогатительной фабрике способствует увеличению выхода концентрата, стабилизации его качества и, соответственно, уменьшению потерь угля.

Вплотную к решению вопроса автоматического управления технологическими процессами обогащения угля в рамках всей фабрики подошли только к концу 80-х годов, когда была создана единая система АСУ ТП на самой современной для того времени фабрике - ОФ «Нерюнгринская» (Южная Якутия). Но изменившаяся экономическая обстановка в начале 90-х годов привела к остановке этой работы.

Сложность управления технологическими процессами на углеобогащительной фабрике обусловлена стохастическими изменениями качественных характеристик исходного угля, поступающего на обогащение; наличием

параметров технологических процессов, о которых трудно получить текущую информацию, имеющимися средствами измерения; быстротечностью протекания процесса разделения угля в обогатительных аппаратах. В связи с чем, задача построения автоматической системы управления технологическими процессами обогатительной фабрики до сих пор не решена.

Так, в настоящее время на новых современных обогатительных фабриках управление такими технологическими процессами, как отсадка, тяжелосредная сепарация, обогащение в аппаратах с тонким слоем, обогащение в сепараторах с качающейся постелью (СКП), флотация, осаждение шлама в сгустителях; обезвоживание продуктов обогащения и их сушка осуществляется только с помощью локальных систем управления.

Необходимо отметить, что эти системы являются многосвязными, так как, выполняя определенные функции в заданных производственных рамках, они ограничены конкретным обогатительным оборудованием, но в тоже время связаны между собой и

другими системами общими материальными потоками и общей конечной целью, получения максимально возможного выхода концентрата заданного качества при минимуме материальных и энергетических затрат.

Для управления работой комплексом многосвязных автоматических систем необходимо определение обобщенного критерия управления – функционала и разработка программы, реализующей выбранный функционал в системе управления фабрикой в целом. Определение этого функционала, учитывающего информацию о всех обогатительных процессах, представляется очень сложной задачей. Поэтому более целесообразным представляется для рассматриваемых объектов применение иерархической организации системы управления [1].

Иерархичность системы подразумевает подчиненность целей системы более низкого уровня системе более высокого уровня, что позволяет разрабатывать системы и алгоритмы их управления последовательно, начиная с систем нижнего уровня управления отдельными обогатительными аппаратами. При этом, управляющее воздействие в системе нижнего уровня подчиняется критерию системы верхнего уровня.

В работах [2, 3] выделяются четыре уровня иерархии систем управления обогатительной фабрикой, в основе деления которых положен принцип быстродействия системы:

1. Стабилизация технологических параметров;
2. Управление отдельным обогатительным аппаратом;
3. Управление группой однотипных обогатительных аппаратов;
4. Уровень управления комплексом разнородных обогатительных аппаратов.

В настоящее время используются в основном локальные системы стабилизации различных технологических параметров, относящиеся к нижнему уровню иерархии. Стохастичность характеристик исходного сырья, нелинейность обогатительных характеристик угля, изменчивость погрешности разделения в обогатительном аппарате от множества факторов и непрерывно изменяющиеся условия технологического процесса требуют введения коррекции в управление системами этого уровня на основе алгоритмов, учитывающих априорную текущую информацию об объекте управления. Такая задача решается применением адаптивных систем аналитического или поискового типа. Например, в работе [4] подтверждается эффективность промышленной эксплуатации экстремальной системы дифференциального типа для управления отдельными обогатительными аппаратами.

Общим недостатком многих работ, посвященных созданию систем управления технологическими процессами является то, что объекты управления представляются с позиций «черного ящика» с определенным числом входов и выходов без внутренней структуры. Решения, найденные для таких моделей, не могут считаться оптимальными. Определение и включение в модель изменяющихся параметров технологического процесса представляет собой непростую задачу.

В работе [2] объекты управления представлены с позиций «серого ящика». В этом случае используются априорные сведения о физике реальных процессов. Показано, что при наличии усреднительных устройств управление обогатительными аппаратами может эффективно осуществляться экстремальными системами поискового типа, использующих информацию

о качественно-количественных показателях конечных продуктов обогащения. Недостатком таких систем является запаздывание процесса регулирования, обусловленное существенными потерями на поиск оптимального режима процесса в зоне экстремума статической характеристики объекта.

На основании анализа публикаций можно сделать вывод, что исследования, связанных с разработкой систем третьего уровня - управления группой однотипных аппаратов, практически не проводились.

Суммарный угольный концентрат обогатительной фабрики обычно получают в результате объединения концентратов отдельных обогатительных аппаратов, установленных в различных технологических процессах. Такие системы управления режимом фабрики сводятся в основном к поиску варианта режимной карты, соответствующей номеру шихты угля, поступающей на обогащение и выдаче рекомендаций диспетчеру и операторам по оптимальному ведению процессов. Недостатками этого направления являются: игнорирование стохастических отклонений характеристик исходного угля на эффективность процесса обогащения в пределах выбранного варианта шихты, необходимость проведения большого объема опробования исходного угля и продуктов обогащения для определения их свойств и разработке режимных карт.

На каждом иерархическом уровне предполагается наличие частных критериев управления, цели которых могут не совпадать с целью функционирования всей системы.

Необходимо согласование целей всей системы обогатительной фабрики с целями отдельных подсистем управления обогатительными процес-

сами. В работе [3] рекомендуется выбор критериев управления осуществлять на основе принципа скаляризации, т.е. для каждого уровня иерархии решать вопрос о выборе наилучшего решения из имеющихся. При этом необходимо учитывать влияние верхних уровней управления с введением поправочных коррекций в уравнение, характеризующее эффективность работы на низших уровнях управления.

При определении математического выражения для критерия эффективности работы системы управления технологическими процессами руководствуются следующими положениями: критерий эффективности должен, прежде всего, отражать экономические показатели; для конкретной системы управления должен определяться только один критерий; критерий эффективности должен быть связан с переменными управления; желательно пользоваться однозначной критериальной функцией, имеющей единственный экстремум.

Экономическая сторона критерия управления должна отражать стоимость продукции и связанную с ней прибыль от реализации продукции. Величина прибыли будет определяться количеством и качеством концентрата. Обычно качественная характеристика концентрата – зольность фиксируется контрактными документами. Следовательно, цель управления можно сформулировать в простом виде: получение максимального количества товарного продукта заданного качества. Это предполагает минимальные потери угля с отходами.

Цель адаптивной системы управления обогатительным аппаратом – обеспечить переработку любого исходного сырья на данном обогатительном аппарате с максимальной эффективностью. В связи с этим были

разработаны критерии специально предназначенных для оценки эффективности работы углеобогащительных аппаратов, оснащенных адаптивными системами управления.

В работе [2] автор пришел к выводу, что критерий эффективности для конкретного обогащительного аппарата должен удовлетворять следующим требованиям: повышаться при увеличении выхода конечного продукта, и уменьшаться при отклонении его качества от требуемого значения в любую сторону. Кроме того, при обогащении угля в аппаратах с высокой точностью разделения достижение цели может быть обеспечено путем стабилизации качества конечных продуктов обогащения. При этом выход концентрата практически максимален. Таким образом, цель управления может быть сформулирована в более простом виде, как обеспечение постоянства качества (зольности) концентрата:

$$A_k = A_{kz}, \quad (1)$$

где A_k – текущее значение зольности концентрата; A_{kz} – заданная зольность концентрата.

Ухудшение точности разделения повышает засоренность продуктов обогащения несвойственными функциями, что, в свою очередь, при выполнении условия (1) может привести к заметному снижению выхода концентрата и потери угля в отходах. В этом случае достижение цели управления возможно в области компромиссных решений, а формализованное выражение цели управления для обогащительных аппаратов, разделяющих исходное сырье на концентрат и отходы, будет иметь вид:

$$\Phi_1 = \Phi_0 + a \cdot G_k \pm b \cdot (A_k - A_{kz})^n \rightarrow \rightarrow \max, \quad (2)$$

где Φ_1 – критерий эффективности; Φ_0 – постоянная составляющая кри-

териальной функции; a – весовой коэффициент, с/кг; G_k – производительность обогащительного аппарата по концентрату, кг/с; b – коэффициент, определяющий крутизну статической характеристики, $\%^{-n}$; n – показатель степени, определяющий форму кривой; A_k и A_{kz} – соответственно текущее и заданное значение зольности концентрата, %.

Приведенные критерии не учитывают характеристики исходного сырья, так как цель управления должна быть достигнута при любой его характеристике. Это позволяет ограничиться минимальным объемом информации о процессе, что сильно упрощает техническую реализацию системы управления.

Если из исходного сырья кроме концентрата и отходов, выделяется промпродукт, то целесообразно рассматривать его как продукт снижающий затраты фабрики на производство концентрата. Тогда цель управления второго уровня формулируется следующим образом: обеспечение максимального извлечения породы из исходного сырья при заданных по технологическим условиям потерях угля с отходами. Математическое выражение примет вид:

$$\Phi_2 = \Phi_0 + a \cdot G_0 \pm b(\gamma_0 - \gamma_{0z})^n \rightarrow \rightarrow \max, \quad (3)$$

где G_0 – производительность обогащительного аппарата по отходам, кг/с; γ_0 и γ_{0z} – соответственно текущее и заданное значение засоренности отходов посторонними фракциями, %.

Критерий эффективности для группы однотипных обогащительных аппаратов, т.е. системы третьего уровня, может быть записан в виде:

$$\gamma \Sigma = \Sigma \gamma_{ki} + \Sigma \gamma_{oj} \rightarrow \rightarrow \max, \quad (4)$$

при условиях $A \Sigma \leq A \Sigma Д$ и $\gamma \Sigma \leq \gamma \Sigma Д$, где $\gamma \Sigma$ – где суммарный выход кон-

концентрации всех операций и отходов трехпродуктовых операций; γ_{ki} – выход концентрата в i -й операции; γ_{oj} – выход отходов в j -й трехпродуктовой операции; $A\Sigma$ и $A\Sigma D$ – фактическое и максимально допустимые значения зольности суммарного концентрата всех операций; $\gamma\Sigma$ и $\gamma\Sigma D$ – фактическое и максимально допустимое значения засоренности суммарных отходов трехпродуктовых операций легкими фракциями.

Заметим, что цель управления вида (4) не учитывает все ограничения на качество продукции (влажность, содержание серы и др.), так как их влияние можно компенсировать за счет стабилизации их изменений.

Числовые значения параметров в выражениях критериев эффективности определяются отдельно для каждого технологического процесса с учетом конкретных производственных условий.

Надежное функционирование систем управления возможно только на базе применения современных технических средств автоматизации технологических процессов. Средства автоматизации включают в себя наряду с датчиками измерения текущих значений переменных параметров технологических процессов локальные процессоры (контроллеры), обрабатывающие получаемую информацию и управляющие исполнительными механизмами.

Основной информацией, определяющей направление принятия управляющих решений, согласно сформулированным критериям управления является информация о зольности концентрата. Но получение оперативной информации о зольности возможно только при наличии в системе прибора контролирующего эту характеристику угля. Следовательно, для

построения системы управления технологическими процессами необходимо наличие множества золомеров, устанавливаемых на всех локальных транспортных потоках угля. Из-за значительной рыночной стоимости имеющихся на рынке золомеров зарубежных производителей на обогатительные фабрики их устанавливают в единичных экземплярах, обычно на конвейерах сборного концентрата и рядового угля, т.е. на входе и выходе фабрики. Конечно, в этом случае не может быть и речи о создании эффективной системы управления разнородными технологическими процессами.

Таким образом, задача управления технологическими процессами может быть решена только после создания относительно не дорогих, надежных и простых в эксплуатации приборов контроля качества угля – золомеров. Это позволит в перспективе установить золомеры на все локальные транспортные потоки и контролировать работу каждого технологического обогатительного аппарата.

Решение задачи функционирования глобальной системы управления технологическими процессами всей фабрики, как и ее подсистем, невозможно без разработки алгоритма управления и соответствующего программного обеспечения, которые должны учитывать конкретные производственные условия обогатительной фабрики, для которой они разрабатываются.

В заключение обобщим вышесказанное формулировкой условий создания систем управления технологическими процессами обогатительной фабрики:

1. Разработка функционала системы управления всей фабрики и определение критериев эффективности

для систем второго и третьего уровня иерархии.

2. Применение надежных средств измерения переменных величин технологических процессов и систем их регулирования.

3. Разработка алгоритма и программного обеспечения совместного функционирования иерархических систем управления различных уров-

ней и выбор контроллеров для их реализации.

4. Разработка надежных и недорогих устройств измерения качественных характеристик угля (золомеров, влагомеров и др.) непосредственно в транспортных потоках с целью обеспечения контроля эффективности работы каждой единицы обогатительных аппаратов или однотипной группы аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукас В.А. Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1990.

2. Власов К.П. Основы автоматического управления технологическими процессами обогащения угля. – М., Недра, 1985.

3. Власов К.П., Абраменко И.Г. Шатило В.В., Чеканов А.С. Микропроцессоры

в системах управления процессами обогащения. – М.: Недра, 1992.

4. Мелькумов Л.Г., Ульшин В.А., Бастунский М.А. и др. Автоматизация производства на углеобогатительных фабриках. – М.: Недра, 1983. **ИДБ**

Коротко об авторах

Козлов Е.В. – аспирант КГТУ, инженер-программист ООО «Коралайна Инжиниринг» (СЕТСО),

Козлов В.А. – кандидат технических наук, доцент, инженер-технолог фирмы ООО «Коралайна Инжиниринг» (СЕТСО), vak@cetco.ru



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ВОРОБЬЕВА Оксана Владимировна	Научное обоснование оценки и управления производственными рисками на угледобывающих предприятиях с учетом влияния челове-	05.26.01	к.т.н.

	ческого фактора		
--	-----------------	--	--