

Направление дальнейших исследований - изучение влияния других факторов (легирующих элементов, режимов сварки, способа создания заготовки, материала электродов) на качество сварного соединения и разработка технологии электрошлаковой сварки крупнотоннажных деталей из валковых сталей с учетом существующих проблем в этой области.

Список литературы

1. **Olson D.I.** Developments in property prediction for weld metal. / D.I. Olson, E. Metzbower, S. Liu and Y. D. Park. // ColoradoschoolofMines. GoldenUSAUSNavalResearchLaboratory. Welding Journal. –Washington. DC. USA, 2003. – November, 2003. – P.31-37.
2. **Semenov V. M.** Manufacture of welded designs from the carbon and alloyed steels in machine building. / V. M. Semenov, Ivanyk A. V., Taric M., Serif V. S. //Metalurgia international. – 2013. –№9 (vol. XVIII). – P. 59-64.
3. **Семенов В. М., Чигарев В. В., Кассов В. Д.** Электрошлаковая технология в тяжелом и транспортном машиностроении: Монография. – Краматорск: ДГМА, 2013. – 223 с.
4. **Иванык А. В.** Анализ эффективности электрошлаковых технологий с учетом современных требований к производственным условиям. / А. В. Иванык, В. М. Семенов. // Материалы 4-й межвузовской научно-технической конференции «Энерго- та ресурсосберегающие технологии при эксплуатации машин и оборудования». – Донецк, 2012. – С. 41–43.
5. **Семенов В. М.** Технология ремонта трещин в станине ножниц слябинга. / В. М. Семенов, А. В. Иванык, В. Д. Кассов, В. К. Заблоцкий. // Сб. научных трудов «Надежность инструмента и оптимизация технологических систем». – Краматорск, 2012. – Вып. №31. – С. 174-179.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.13

УДК 681.5: 681.3 (078.3)

В.П. ХОРОЛЬСКИЙ¹, д-р техн. наук, проф., Т.В. ХОРОЛЬСКАЯ, старший преподаватель ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ФЛОТАЦИЕЙ

Разработана интеллектуальная система диагностики процесса управления флотацией, в состав которой входит экспертная система с алгоритмическим, функциональным и локальным уровнями контроля.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Современные системы управления процессами флотации являются примером сложных распределенных во времени последовательно-параллельных процессов. Они образуют программно-информационную среду, требующую от системы управления решения достаточно большого набора логико-вычислительных задач, связанных со сбором и обработкой большого (до 100 параметров) объема информации, принятия решений с использованием сложноструктурированных данных и планированием производства суперконцентрата в многокомпонентной среде. В этих условиях проблемы управления флотационными процессами обогащения требуют дополнительных исследований с точки зрения построения систем управления как интеллектуальных систем.

Анализ исследований и публикаций. Анализ существующих инновационных разработок АСУТП обогатительных и флотационных фабрик, опубликованных за последние десять лет [1], [2,3] свидетельствуют о том, что при соблюдении экологического стандарта ISO 14000 и производства *n*-сортов концентрата заданного качества с минимизацией дисперсии массовой доли железа в суперконцентрате необходимо:

широко внедрять экспертные системы управления сложными технологическими процессами флотации руд;

создать автоматизированные технологические комплексы управления прибылью (на верхнем концептуальном уровне) и адаптивные системы управления обогатительной фабрикой на базе программно-технических средств широко известных компаний GeneralElectric и GEFanuc, НПП «Буревестник», НПО «Спектрон», ОАО «Союз ЦМА», АОЗТ «Механобр инжиниринг», ЗАО «Технолинк» компании Siemens, Outokumpu[4];

эффективно и комплексно контролировать характеристики хвостов и своевременно реагировать на изменения параметров окружающей среды [4], путем согласованного управления процессом производства концентрата магнитного обогащения и отделения флотации;

интеллектуальные системы робототехнологического управления должны быть построены на основе использования бихевиористических принципов и правил неявной логики [5], [6] с учётом опыта операторов-флотаторщиков;

для условий переработки криворожских тонковкрапленных руд, процесс обогащения которых представляет собой дискретно-непрерывную систему, в которой дискретный процесс поступления сырья сочетается с непрерывным процессом его многостадийного обогащения и характеризуется значительными переходными характеристиками, когда заданное качество получают только за счет опыта и мастерства операционного персонала, интеллектуальный потенциал персонала (знания, навыки, умения, компетентность) должны стать основой базы данных (БД); базы знаний (БЗ) и базы правил (БП) при построении интеллектуальных робототехнологических рабочих мест операторов - флотаторщиков[4].

Постановка задания. В процессе разработки интегрированных интеллектуальных робототехнологических комплексов управления процессом флотации необходимо решать не только интеграцию интеллектуальных датчиков в робототехнологическую систему контроля (РСК) и робототехнологических рабочих мест (РРМ), но и создать технологию контроля за качеством работы всей системы управления в целом. Для этих целей необходимо разработать экспертные системы поиска неисправностей как технологической цепи аппаратов флотационного обогащения, так и робототехнологических систем контроля и управления сложными многокомпонентными средами [5,6].

Целью статьи является разработка интеллектуальной базы знаний и экспертной системы контроля и управления технологическим процессом флотационного обогащения в условиях переработки сложных текстурных характеристик магнитных концентратов.

Изложение материала и результаты. Условия функционирования систем автоматического управления процессами флотации характеризуются многообразием данных и качественных характеристик, которые плохо формализуемы. В этих условиях авторы для их описания используют экспертные системы с использованием интерпретатора на языке Пролог [7,8]. Система идентификации работоспособности в этом случае состоит из базы данных (БД), базы знаний (БЗ), интерпретатора «ПРОЛОГ» и заключения. Такая экспертная система представляет собой машину логического вывода и состоит из базы данных, в которой содержится описание модели объекта диагностирования на трех уровнях: алгоритмическом (А), функциональном (Ф), технологического аппарата (ТА). База знаний содержит процедуру работы с данными (базой данных БД) с целью получения результата и логического вывода.

Интерпретатор ПРОЛОГ создаёт реляционную базу данных, в которой записаны правила в виде продукции <заключение> ЕСЛИ <предисловие 1> И <предисловие 2> И... <предисловие n>.

В интерпретации ПРОЛОГа это означает: «Чтобы доказать <заключение>, необходимо доказать сначала множество предисловий». Экспертные знания специалистов задаются в виде фактов и правил. На ПРОЛОГе правила в виде продукции удобнее представлять меньшим множеством предисловий, поскольку их значительное число при стратегии интерпретатора «поиск в глубину» усложняет программы и снижает их наглядность.

Рассмотрим ряд формальных правил представления знаний на языке ПРОЛОГ. Любое выражение, записываемое на ПРОЛОГе, должно быть представлено в виде предложения. Началом предложения отмечается знаком «+», а конец - знаком «-». Переменные обозначаются меткой «*».

Предложения могут состоять из одного или нескольких предикатов, разделённых на знаком «-». Синтаксис ПРОЛОГа позволяет создавать ЭС, имеющие проблемно-ориентированный интерфейс пользователя с языком, близким к естественному. Для наглядности составим описание следующего примера: «Пусть в технологической схеме загрузки флотационной машины, представленной на рис. 1 имеется: входной поток пульпы А, выходные потоки В', В'' и выходной поток В на сливе сгустителя».

Выражение «Если расход пульпы на входе флотационной машины А не соответствует расходам В' и В'', то имеется нарушение «обрывов» потока» на ПРОЛОГе представляется следующим образом.

+ образ технологической цепи (потока) (*SA, *SB) - NE(*SA, *SB)#, где NT(X,Y) - встроенный предикат, принимающий значение ИСТИНА, если $X \neq Y$ и значение ЛОЖЬ, если $X=Y$. В этом случае база знаний состоит из одного правила: теоремы. Обращение к базе производится через запрос, представляющий собой идентификатор произвольного вида, например,

«ИМЕЕТСЯ».

Тогда запрос к организованной таким образом базе знаний выглядит на ПРОЛОГе следующим образом: + имеется - 'обрыв технологического потока' (*X, *Y)#, причем вместо X и Y подставляются конкретные значения. Ответом интерпретатора на этот запрос будет ИСТИНА или ЛОЖЬ.

При работе пользователя с ЭС удобно использовать интерактивный режим. При этом база знаний формализуется следующим образом. База В: +поток ('имеет обрыв') - сигнал датчика расхода в трубопроводе (*SA)- 'сигнал датчика расхода в конце робототехнологического анализатора' (SA*)-HE(*SA, *SB)#+технологический поток пульпы слива (выход) флотационной машины ('не имеет обрыва')

Этими предложениями представлены следующие утверждения:

1. Технологический поток имеет обрыв, ЕСЛИ есть расход пульпы в сливе сгустителя В. И есть расход в сливе флотационной машины В' В". И сигналы датчиков Д₁ и Д₂ не равны друг другу.

2. ИЛИ технологический поток пульпы не имеет обрыва.

Для организации работы ЭС необходимо с терминала пользователя ввести информацию следующего содержания:

1. + 'анализ расхода технологического потока пульпы' - заборное устройство пульпопровода робототехнологического анализатора (*X) - PRINT - OUTPUT(*X)#

2. + 'сигнал датчика расхода' (*S) - PRINT ('сигнал вначале пульпопровода?') - INSTRING(*S)#

3. + 'сигнал в конце пульпопровода анализатора' (*S) - PRINT ('сигнал в конце пульпопровода') - INSTRING(*S)#.

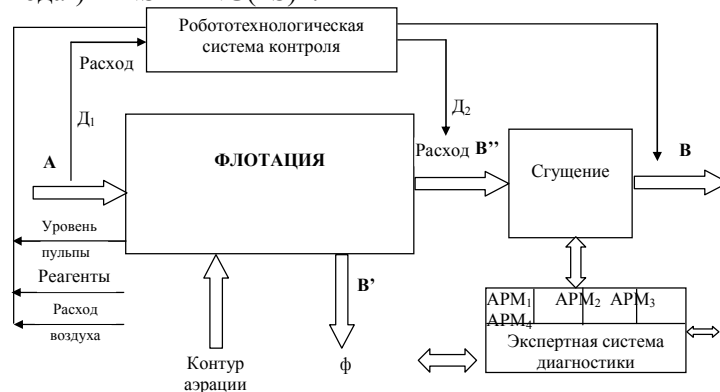


Рис. 1. Экспертная система диагностики контроля работы процесса флотации

По запросу «АНАЛИЗ ОТСУТСТВИЯ ПОТОКА» ответ вырабатывается машиной вывода при помощи предложения 3 и базы знаний ТА.

Рассмотрим особенности организации базы знаний в ЭС, основанной на многоуровневом представлении ОД. Для простоты изложения рассмотрим ту часть ЭС, которая производит поиск неисправностей а системе робототехнологического контура контроля и управления флотационной машины.

В многоуровневой модели выделим дефекты в зависимости от их проявления на составляющем уровне со следующими именами: ошибка для уровня А, неисправность для уровня Ф и дефект для уровня ТА. Основное внимание уделим далее вопросу представления знаний эксперта-диагностика.

В базе уровня А содержится сведения об ошибках, характерных для описания ОД на алгоритмическом уровне, в базе Ф - о неисправностях на функциональном уровне, в базе ТА - о дефектах на уровне элементарного технологического аппарата, входящего во флотационную машину.

Следует отметить, что основную роль играют знания эксперта на уровне А, т. к. позволяют по имеющимся признакам найти ошибку и выделить те контуры управления и технологические аппараты технологической линии, которые в дальнейшем по желанию пользователя (флотаторщика) можно будет диагностировать на более низком уровне.

На функциональном, в особенности на аппаратном уровне (ТА), знания представляют собой фреймы [5], основанные на математической логике предикатов первого порядка.

Рассмотрим вопрос согласования знаний различных уровней. Для дальнейшего изложения допустим, что эксперт (или диагностическая система) сформулировал признаки и установил правила определения ошибок, выраженных через эти признаки.

В этом случае экспертные знания на ПРОЛОГе представляются в виде следующих предложений:

+ ошибка (O_i) - признак (P_j) - ... признак (P_k) #.

+ ошибка (O_i) - признак (P_m) - ... признак (P_n) #.

Например, для ошибки O_1 , зависящей от признаков P_1 и P_2 , предложение будет иметь вид

+ ошибка (O_1) - признак (P_1) - ... признак (P_2) #

Если в результате анализа признаков P_j интерпретатором была выделена ошибка O , то для перехода к базе Φ необходимо ввести дополнительные данные, разрешающие сформировать новые признаки O_y , которые вводятся по запросу ЭС, или использовать автоматический анализ по всем возможным комбинациям дефектов, неисправностей, ошибок.

База знаний уровня Φ строится в форме предложений:

+ неисправность (N_i) - ошибка (O_i) - ошибка (O_{ij}) - ... - ошибка (O_{ijk})#

Аналогично базе Φ организуется база ТА. Предложения базы ТА записываются в виде:

+ дефект (D_i) - неисправность (N_i) - ... - неисправность (N_{ijk})#

Запрос, инициирующий поиск дефекта в иерархической базе знаний, содержащей модель объекта, можно формализовать, причём структура запроса для обеспечения поиска в любой базе одинакова:

\pm 'анализ ошибки' - ошибка (*Q) - PRINT ('ошибка') - OUTPUT(*O) - 'переход к функциональному уровню' #

+ 'признак (*P)- PRINT ('присутствует признак') - OUTPUT(*P) - OUTPUT ('?') - INSTRING (*A) - EQ (*A, 'ДА') - ADDAX (признак (*P), 1) #

+ 'анализ неисправностей' - неисправность (*N) - PRINT ('неисправность') - OUTPUT(*N) - 'переход к аппаратному уровню' #

+ ошибка (*O) - PRINT ('имеется ошибка') - OUTPUT(*O) OUTPUT ('?') - INSTRING (*A) - EQ (*A, 'ДА') - ADDAX (признак (*O), 1) #

+ 'анализ дефекта' - дефект (*D) - PRINT ('дефект') - OUTPUT(*D) #

+ неисправностей (*N) - PRINT ('есть неисправность') - OUTPUT(*N) - OUTPUT ('?') - INSTRING (*A) - EQ (*A, 'ДА') - ADDAX ('неисправность' (*N), 1) #

Для последовательного поиска неисправности (дефекта) необходимо разработать ряд правил, обеспечивающих переход от базы к базе позапроса пользователя:

+ 'переход к функциональному уровню'

- PRINT ('хотите провести анализ неисправности?') -- INSTRING (*A)

- EQ (*A, 'ДА') - 'анализ неисправности' #

+ 'переход к технологическому уровню'

- PRINT ('хотите провести анализ дефекта?') - INSTRING (*A) - EQ (*A, 'ДА') - 'анализ дефекта' #

Теперь по запросу «АНАЛИЗ ОШИБКИ» можно «опуститься» до уровня ТА или остаться на любом промежуточном, используя запросы «АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТИ» или «АНАЛИЗ ДЕФЕКТА», можно обратиться непосредственно к выбранному уровню диагностирования.

Одним из недостатков приведенной ЭС является напоминание только положительных ответов, поэтому при такой ее организации она будет всё время повторять вопросы, на которые были даны отрицательные ответы. Чтобы избежать этого, нужно применять структуры представления фактов и правил с использованием встроенного предиката SLASH, который происходит от усечения дерева поиска, что приводит более эффективному поиску путей решения. Если о введенной комбинации признаков поиск в базе заканчивается неудачей, то ЭС сообщает, что дефекта с такой комбинацией признаков нет.

ЭС, запоминающая как положительные, так и отрицательные ответы, может использоваться в случае, если база знаний велика, поскольку в этом случае повторение одних и тех же вопросов о наличии признаков создает определенные неудобства.

В такой ЭС при отрицательном ответе на вопрос и наличии признака происходит автоматическое расширение базы знаний таким образом, что в дальнейшем происходит «подрезание» дерева вывода при помощи предиката SLASH при обращении к добавленному отрицательному факту.

При анализе работы ЭС можно заметить, что система запрашивает только необходимую для обеспечения логического вывода информацию. ЭС позволяет получить консультацию по своим запросам.

Так, например, на запрос пользователя о причинах какого-либо запроса ЭС в состоянии обосновать причину своего запроса выбором правил.

В системе интеллектуального управления и контроля принят подход, основанный на теории параллельных вычислений и созданий иерархии представлений [5], с помощью которых визуальная информация обрабатывается на нескольких промежуточных уровнях.

Существует две основные архитектуры систем параллельных вычислений: на базе симметричного мультипроцессора (СМП) (SymmetricMulti-Processor -SMP) и массовых параллельных процессов (МПП) (MassivelyParallelProcessors - MPP) [5]. СМП-система обеспечивает механизм объединения данных информации с логического датчика и датчика-системы «технического зрения» посредством локальной оперативной памяти (КЭШ) [4].

Такой подход позволяет в робототехнологической системе управления отделением флотации использовать архитектуру СМП-системы на основе массовых параллельных процессоров МПП.

Иерархическая система управления состоит из центральной ЭВМ и отдельных МП, обеспечивающих оптимальную архитектуру робототехнологической системы контроля, так и всего управляющего робототехнологического комплекса процесса флотации с автоматизированными рабочими местами: АРМ₁ - оператора-флотаторщика, АРМ₂ - диспетчера обогатительной фабрики, АРМ₃ - топ-менеджера, управляющего бизнес-процессами и маркетингом *n*-сортов концентрата.

В соответствии с положениями стандарта ISO - 14000 в работе предлагается ввести в систему робототехнологического управления отделением флотации АРМ₄ - автоматизированное рабочее место инженера-эколога. Используя вышеизложенные правила контроля за выходными параметрами флотации (хвосты, сточные воды), интерпретатор экспертной системы выдает команду «Запрет работы флотационного отделения» в случае:

аварийных режимов работы и аварий;
высокой концентрации реагента в хвостах;
превышение параметров рН, массовой доли тяжелых металлов рh, рх, mV, μ S, MgO₂ над заданными.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработаны интеллектуальные базы данных и знаний, правила процессов контроля и робототехнический комплекс управления флотацией, интеллектуальная система диагностики процесса управления, которая использует экспертную систему с интерпретатором на языке «ПРОЛОГ», позволяющие использовать бихевиористические принципы и правила неявной логики, интеллект и опыт операторов-флотаторщиков.

Разработаны системы диагностики процесса флотации с робототехническим комплексом управления отделением флотации и автоматическими рабочими местами и системой мониторинга окружающей среды и правилами запрета работы флотационного отделения могут быть рекомендованы для внедрения на обогатительной фабрике ПАО «ИнГок».

Список литературы

1. Хейкктнен С., Машевский Г.Н. Алгоритмическая база для управления процессом флотации // Обогащение руд – 2005. - №6. – С. 32-37.
2. Влияние вещественного состава магнетитовых концентратов Ингулецкого ГОКа на эффективность их доводки с применением обратной катионовой флотации / Пивень В.А., Дендюк Т.В., Калинин А.Ф., Бухлеева Н.П. - Конгресс обогатителей стран СНГ. - Москва, 19-21 марта. - 2003 / Материалы конгресса. М.: Альтекс - 2003. - С.16-18.
3. Инновационный процесс контроля за технологическими операциями в циклах измельчения и флотации. Innovative process control technology for milling and flotation circuit operations. Smith G.C., Jordan L., Singh A., Vandayar V., Smith V.C., Muller B., Hulbert D.G. (MintekRandburg, ЮАР) J.S. Afr. Inst. Mining and Met. – 2004.-№6- С.353-365.
4. Хорольский В.П., Хорольская Т.В., Бабец Е.К. Робототехнологическая система управления процессом доводки концентрата // Науковий вісник ДГУ. - 2005. - №12. - С. 81-85.
5. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти т.; 2-е изд., перераб. и доп. т.5: Методы современной теории автоматического управления // Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009- 784 с.
6. Дорф Р. Современные методы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2009. - 832 с.
7. Экспертные системы промышленного назначения: преимущества и недостатки. Expert Systems in industrial practice: advantages and drawbacks Dubas M.//Expert Systems 1990 – 7-№3. - P 150-156.
8. Экспертные системы в составе АСУТП Their On line expert systems and role in the control system of the future Herrod R.A., Tietz L. «ISA Transaction», 1990. - 29. - №1. - P. 41-46.