

Е.А. ГОРБАТОВА, канд. техн. наук, зав. каф., ФГБОУ ВПО "МГТУ", Магнитогорск,
М.В. ЗАРЕЦКИЙ, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО "МГТУ", Магнитогорск,
А.И. ДЮСКИНА, студентка, ФГБОУ ВПО "МГТУ", Магнитогорск

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ

Рассмотрена специфика многокритериального выбора варианта технологического процесса в гидрометаллургии. Обосновано применение методологии нечетких множеств. Рассмотрен многокритериальный анализ вариантов при выборе технологии извлечения ценных компонентов из хвостов обогащения. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: гидрометаллургия, хвосты обогащения, извлечение ценных компонентов, нечеткие множества, экспертная система.

Постановка проблемы. Интенсивное промышленное использование рудных полезных ископаемых привело к существенному сокращению их запасов. В этих условиях становится актуальной задача вовлечения в переработку бедных по содержанию ценных компонентов руд, а также отходов горно-обогатительного и металлургического производства. Отметим также, что переработка отходов горно-обогатительного и металлургического производства позволяет улучшить экологическую обстановку вблизи горно-обогатительных и металлургических предприятий, вернуть в хозяйственный оборот часть земель, занятых хранилищами отходов.

Гидрометаллургические технологии переработки отходов горно-обогатительного и металлургического производства обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с пирометаллургическими [1].

Современное производство может успешно функционировать только при наличии современных автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), позволяющих проектировать новые и непрерывно совершенствовать существующие технологические процессы. Методологической основой АСТПП в гидрометаллургии является теория гидрометаллургических процессов [1]. Исходя из положений данной теории, авторами были разработаны алгоритмы моделирования равновесных многокомпонентных систем в гидрометаллургии [2].

Промышленные гидрометаллургические процессы переработки отходов металлургического и горно-обогатительного производства

характеризуются неустранимой неопределенностью, обусловленной следующими факторами:

- отходы накапливаются в течение длительного времени;
- на протяжении всего времени хранения отходов в их массе происходят физико-химические процессы, обусловленные неустойчивостью минеральных фаз на дневной поверхности, а также природными факторами (температура воздуха, осадки);
- химический состав отходов нестабилен;
- механические свойства отходов нестабильны.

В условиях неустранимой неопределенности в задании исходных данных особую ценность представляют экспертные суждения специалистов – исследователей, опытных производственников.

Таким образом, АСТПП в рассматриваемой области должны базироваться на сочетании положений теории гидromеталлургических процессов и концепции нечеткой логики [3].

На основании теории гидromеталлургических процессов определяются допустимые параметры технологического процесса. Система, основанная на нечеткой логике, позволяет выбрать наиболее приемлемые из допустимых сочетаний параметры.

Анализ литературы. В настоящее время известны многочисленные применения методологии нечеткой логики для решения разнообразных технических, экономических, социальных задач. Многочисленные технические приложения рассмотрены в работе [4]. Тесно взаимосвязанные проблемы применения искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов и нейронечетких сетей рассмотрены в [5] и [6]. Вопросы применения методологии нечетких множеств и нечеткой логики в инженерии знаний подробно рассмотрены в [7] и [8]. Применение входящего в состав программного продукта MatLab пакета программ Fuzzy Logic Toolbox подробно рассмотрено в [9].

Анализ литературы показывает, что решение сформулированной проблемы может быть получено в виде нечеткой экспертной системы.

Цель статьи. Повышение эффективности АСТПП гидromеталлургического производства путем внедрения методологии нечеткой логики.

Рассмотрим построение работоспособной нечеткой экспертной системы, предназначенной для решения актуальной задачи извлечения ценных компонентов из хвостов обогащения.

В рассматриваемом технологическом процессе из хвостов обогащения извлекаются следующие ценные компоненты: медь, цинк, железо. Для извлечения используется 5% раствор серной кислоты,

который может применяться совместно с интенсификаторами: сульфатом железа, фульвокислотой, ультразвуком. Возможен также вариант применения серной кислоты без интенсификатора.

Будем строить систему, позволяющую выбирать оптимальный вариант ведения технологического процесса. Данную задачу можно рассматривать как задачу нечеткого многокритериального анализа вариантов. В нашем случае имеется четыре варианта ведения технологического процесса и три критерия – выход извлекаемого компонента.

Отметим, что речь не идет о максимизации некоторой скалярной величины, например суммы произведений количества каждого из компонентов на некоторый весовой коэффициент (например, оценку стоимости). Например, возможен случай, когда требуется добиться максимального содержания одного из компонентов при минимальном содержании какого-либо иного.

Обозначим варианты ведения технологического процесса:

- P_1 — интенсификатор – сульфат железа;
- P_2 , — интенсификатор – ультразвуковая обработка;
- P_3 — без интенсификатора;
- P_4 — интенсификатор – фульвокислота.

Обозначим критерии:

- G_1 – извлечение меди;
- G_2 – извлечение цинка;
- G_3 – извлечение железа.

По каждому критерию компетентные эксперты сравнивали между собой все проекты. Результаты сравнения зафиксированы с использованием шкалы Саати [9].

Для критерия G_1 :

- почти существенное преимущество P_1 над P_2 ;
- существенное преимущество P_1 над P_3 ;
- существенное преимущество P_1 над P_4 ;
- почти существенное преимущество P_2 над P_3 ;
- почти существенное преимущество P_2 над P_4 ;
- отсутствует преимущество P_3 над P_4 .

Для критерия G_2 :

- почти существенное преимущество P_2 над P_1 ;

- слабое преимущество P_1 над P_3 ;
- отсутствует преимущество P_1 над P_4 ;
- явное преимущество P_2 над P_3 ;
- существенное преимущество P_2 над P_4 ;
- существенное преимущество P_4 над P_3 .

Для критерия G_3 :

- существенное преимущество P_2 над P_1 ;
- явное преимущество P_3 над P_1 ;
- явное преимущество P_4 над P_1 ;
- существенное преимущество P_3 над P_2 ;
- существенное преимущество P_4 над P_2 ;
- отсутствует преимущество P_3 над P_4 .

Экспертным высказываниям соответствуют матрицы парных сравнений:

$$A(G_1) = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 & 5 \\ 1/4 & 1 & 4 & 4 \\ 1/5 & 1/4 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/4 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad A(G_2) = \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 3 & 1 \\ 4 & 1 & 7 & 5 \\ 1/3 & 1/7 & 1 & 1/5 \\ 1 & 1/5 & 5 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A(G_3) = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 & 1/7 \\ 5 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 7 & 5 & 1 & 1 \\ 7 & 5 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Из полученных матриц сравнений получаем следующие субнормальные нечеткие множества:

$$\tilde{G}_1 = \left(\frac{0,5806}{P_1}, \frac{0,2541}{P_2}, \frac{0,0826}{P_3}, \frac{0,0826}{P_4} \right),$$

$$\tilde{G}_2 = \left(\frac{0,1582}{P_1}, \frac{0,6083}{P_2}, \frac{0,0557}{P_3}, \frac{0,1777}{P_4} \right),$$

$$\tilde{G}_3 = \left(\frac{0,0447}{P_1}, \frac{0,1216}{P_2}, \frac{0,4169}{P_3}, \frac{0,4169}{P_4} \right)$$

Пересечение этих нечетких множеств

$$D = \left(\frac{0,0447}{P_1}, \frac{0,1216}{P_2}, \frac{0,0557}{P_3}, \frac{0,0826}{P_4} \right).$$

Построенная экспертная система рекомендует вариант P_2 , что соответствует интуитивным выводам практиков.

Выводы:

- обоснована методологическая база для построения экспертных систем в гидрометаллургии;
- предложен алгоритм для реализации экспертной системы;
- получены удовлетворительные результаты при работе с реальными данными.

Список литературы: 1. Вольдман Г.М. Теория гидрометаллургических процессов / Г.М. Вольдман, А.Н. Зеликман. – М.: Metallurgia, 1993. – 400 с. 2. Горбатова Е.А. Компьютерное моделирование равновесных многокомпонентных систем в металлургии / Е.А. Горбатова, А.И. Дюскина, М.В. Зарецкий // Информационные технологии и системы. Материалы Первой международной конференции. – Челябинска: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2012. – С. 88 – 90. 3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. / Л. Заде – М.: Мир, 1976. – 165 с. 4. Асаи К. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватедо, С. Иваи и др. – М.: Мир, 1993. – 368 с. 5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. 6. Ярушкіна Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем / Н.Г. Ярушкіна. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с. 7. Сявакко М.С. Інформаційна система "Нечіткий експерт". / М.С. Сявакко. – Львів: Видавничий центр Львівського нац. ун-ту, 2007. – 320 с. 8. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень / С.О. Субботін – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с. 9. Штовба Д.С. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Д.С. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Статью представила д.т.н., проф. ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Г.И. Носова" Логунова О.С.

УДК 669.053.4:004.896

Експертна система у проектуванні технологічних процесів у гідрометалургії / Горбатова О.О., Зарецький М.В., Дюскіна О.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 62 (968) – С. 40 – 45.

Розглянуто специфіку багатокритеріального вибору варіанта технологічного процесу у гідрометалургії. Обґрунтовано застосування методології нечітких множин. Розглянуто багатокритеріальний аналіз варіантів під час вибору технології видобування цінних компонентів з хвостів збагачення. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: гідрометалургія, хвости збагачення, видобування цінних компонентів, нечіткі множини, експертна система.

UDC 669.053.4:004.896

Expert system in process engineering in hydrometallurgy / Gorbatova E.A., Zaretsky M.V., Dyuskina A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2012. – № 62 (968). – P. 40 – 45.

The specificity of multi-choice options process in hydrometallurgy is considered. The application of the fuzzy sets methodology is justified. We consider the multi-criteria analysis of options when choosing a technology to extract valuable components from the tailings. Refs.: 9 titles.

Keywords: hydrometallurgy, tailings, extraction of valuable components, fuzzy sets, expert system.

Поступила в редакцию 30.07.2012