

УДК 669.053.4:004.896

Е.А. ГОРБАТОВА, канд. техн. наук, зав. каф., ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", Магнитогорск,

М.В. ЗАРЕЦКИЙ, канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", Магнитогорск,

И.З. ШИЯХМЕТОВА, студ., ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", Магнитогорск

НЕЧЕТКОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ

Рассмотрен выбор способа вовлечения в производство некондиционного сырья в гидрометаллургии. Обоснован многокритериальный выбор одного из трех вариантов вовлечения в производство: дофлотация, выщелачивания или утилизации. Разработана экспертная система для поддержки принятия решений в гидрометаллургии. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: гидрометаллургия, дофлотация, выщелачивание, утилизация, экспертная система.

Постановка проблемы. Горно-обогачительные предприятия Южного Урала функционируют в условиях снижения сырьевого потенциала, в результате чего в качестве потенциальных ресурсов рассматриваются отходы горно-обогачительного производства. В частности, актуальной является задача оперативного вовлечения в производство текущих хвостов горно-обогачительного производства. Вовлечение в производство состоит в извлечении из них ценных компонентов или в утилизации – использовании без извлечения ценных компонентов. Оперативное вовлечение в производство текущих хвостов позволяет устранить их накопление в хвостохранилищах и, тем самым, уменьшить негативное воздействие горно-обогачительных предприятий на окружающую природную среду.

Существенные для вовлечения в промышленное производство характеристики текущих хвостов обогащения определяются свойствами используемого сырья и особенностями технологического процесса обогащения. Значения этих характеристик подвержены изменениям со

значительным непредсказуемым разбросом. Таким образом, система поддержки принятия решений (СППР) для выбора способа вовлечения в производство текущих хвостов горно-обогажительного производства должна учитывать наличие неустраняемой неопределенности в исходных данных.

Ранее уже были предложены нечеткологическая экспертная система для выбора конкретных характеристик технологического процесса переработки некондиционного сырья [1] и основанная на логическом выводе система определения способа вовлечения в производство некондиционного сырья [2]. Последняя система предполагает использование усредненных характеристик некондиционного сырья. Усреднение характеристик "маскирует" ситуацию неустраняемой неопределенности, характерную для гидрометаллургии [1]. Экспертная система, использующая усредненные характеристики некондиционного сырья удовлетворительно функционирует при относительно стабильных значениях этих характеристик. При наличии большого разброса в их значениях экспертная система такого вида может дать ошибочные рекомендации.

В настоящее время имеется возможность оперативного получения детальных характеристик некондиционного сырья, что позволяет отказаться от использования его усредненных характеристик. Возникает необходимость построения экспертной системы для определения способа вовлечения в производство текущих хвостов обогащения, эффективно использующей оперативную информацию о наиболее существенных параметрах текущих хвостов обогащения. Методологической основой данной экспертной системы должна служить теория многокритериальной оптимизации [3, 4].

Анализ литературы. Проблемы оптимизации технологических процессов в гидрометаллургии в настоящее время активно обсуждаются в научной периодике. В [5] содержится обзор применяемых в настоящее время методов оптимизации в данной сфере. Основные подходы, применяемые при разработке экспертных систем в гидрометаллургии, изложены в [6]. Следует отметить, что в данных работах рассматриваются оптимизация и определение параметров при априори выбранном технологическом процессе.

Современная методология принятия решений в условиях неустраняемой неопределенности изложена в [7, 8]. Примеры нечеткого многокритериального анализа с применением парных сравнений приведены в [9, 10].

Цель статьи. Разработка алгоритма функционирования нечеткологической экспертной системы, предназначенной для функционирования в составе СППР гидрометаллургического производства.

Вовлечение в производство некондиционного сырья может осуществляться путем переработки – извлечения полезных компонентов, а также путем утилизации – использования без извлечения полезных компонентов [2]. Переработка некондиционного сырья осуществляется чаще всего с помощью дофлотации или выщелачивания. Утилизация некондиционного сырья может быть выполнена различными способами в зависимости от его механических, физико-химических свойств.

Отметим, что переработка возможна лишь в том случае, когда содержание в сырье полезного компонента не меньше некоторой априори заданной величины. Если это условие не выполнено, некондиционное сырье подлежит утилизации.

В настоящее время сложилась следующая система приоритетов. В первую очередь рассматривается целесообразность дофлотации. Если проведение дофлотации нецелесообразно, рассматривается целесообразность выщелачивания. В том случае, когда дофлотация и выщелачивание нецелесообразны, применяется утилизация.

Следуя логике приоритетов, процесс принятия решений состоит из двух этапов. На первом этапе рассматривается вопрос о целесообразности дофлотации. Если проведение дофлотации целесообразно, работа системы завершается. В противном случае система переходит ко второму этапу – рассмотрению вопроса о целесообразности проведения выщелачивания. Если выщелачивание нецелесообразно, принимается решение об утилизации.

Сведения об основных характеристиках некондиционного сырья могут быть в настоящее время получены с разной степенью точности. Это могут быть как качественные данные типа «имеется (отсутствует)», так и количественные, характеризующие принадлежность интервалу. В рассматриваемой системе количество интервалов не превышает трех, поскольку при большем числе интервалов эксперты затрудняются в оценке ситуации.

Рассмотрим основные параметры:

– V – содержание полезного компонента, находится в интервале между кондиционным содержанием V_{Cond} и минимальным содержанием V_{Min} , интервал разбивается на 3 подинтервала $I1 = [V_{Min}, V1)$, $I2 = [V1, V2)$, $I3 = [V2, V_{Cond})$;

– *TSplice* – тип преобладающего содержания минерала (в мономинеральных сростках – *MonoSplice* или полиминеральных сростках – *PolySplice*);

– *LClass* — крупность класса рудных минералов ($L1$ – более 75% в крупном классе, $L2$ – от 75% до 50% в крупном классе, $L3$ – менее 50% в крупном классе);

– *Dom* – рудный минерал в полиминеральном сростке является преобладающим (*DomY* – является, *DomN* – не является);

– *Porosity* – наличие трещиноватости и пористости в полиминеральных сростках (*PorosityY* – имеется, *PorosityN* – отсутствует);

– *Silicates* – наличие слоистых силикатов (*SilicatesY* – имеются, *SilicatesN* – не имеются).

В соответствии с двухэтапной схемой выбора технологического процесса введем обозначения:

P_1 – дофлотация, P_2 – дополнительный выбор между выщелачиванием и утилизацией (для первого этапа);

Q_1 – выщелачивание, Q_2 – утилизация (для второго этапа, если он требуется).

В качестве критериев выбора рассматривается соответствие технологического процесса основным параметрам некондиционного сырья.

Для первого этапа выбора с помощью квалифицированных экспертов получены следующие оценки.

Для критерия V :

– при $V \in I3$ явное преимущество P_1 над P_2 ;

– при $V \in I2$ существенное преимущество P_1 над P_2 ;

– при $V \in I1$ почти слабое преимущество P_1 над P_2 .

Для критерия *TSplice* :

– при $TSplice = MonoSplice$ почти существенное преимущество P_1 над P_2 ;

– при $TSplice = PolySplice$ почти существенное преимущество P_2 над P_1 .

Для критерия *LClass* :

– при $LClass = L1$ явное преимущество P_1 над P_2 ;

- при $LClass = L2$ почти существенное преимущество P_1 над P_2 ;
- при $LClass = L3$ почти слабое преимущество P_2 над P_1 .

Для второго этапа выбора с помощью квалифицированных экспертов получены следующие оценки.

Для критерия V :

- при $V \in I3$ явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $V \in I2$ существенное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $V \in I1$ почти слабое преимущество Q_1 над Q_2 .

Для критерия Dom :

- при $Dom = DomY$ почти явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $Dom = DomN$ почти явное преимущество Q_2 над Q_1 .

Для критерия $Porosity$:

- при $Porosity = PorosityY$ почти явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $Porosity = PorosityN$ почти явное преимущество Q_2 над Q_1 .

Для критерия $Silicates$:

- при $Silicates = SiliocatesY$ почти явное преимущество Q_1 над Q_2 ;
- при $Silicates = SilicatesN$ почти явное преимущество Q_2 над Q_1 .

В соответствии с исходными данными составляются матрицы парных сравнений, на основании которых в соответствии с методикой многокритериального выбора определяется наиболее приемлемый в конкретных условиях технологический процесс.

Разработанная система опробована на реальных данных, получены удовлетворительные результаты.

Выводы:

- предложена методика построения нечеткологической экспертной системы для определения способа вовлечения в производство некондиционного сырья;
- разработан алгоритм для реализации экспертной системы;
- получены удовлетворительные результаты при работе с реальными данными.

Список литературы: 1. Горбатова Е.А. Экспертная система в проектировании технологических процессов в гидromеталлургии / Е.А. Горбатова, А.И. Дюскина, М.В. Зарецкий // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 62 (968). – С. 40 – 45. 2. Горбатова Е.А. Гибридная экспертная система в гидromеталлургии / Е.А. Горбатова, М.В. Зарецкий, И.З. Шияхметова // Информационные технологии и системы. Материалы Второй международной конференции. – Челябинск: Изд-

во Челябин. гос. ун-та, 2013. – С. 157 – 159. **3.** Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Сб. переводов. – М.: Мир, 1976. – С. 173 – 215. **4.** Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. **5.** Rintala L. The use of decision and optimization methods in selection of hydrometallurgical unit process alternatives / L. Rintala, K. Lillkung, J. Aromaa // Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2011. – № 46. – P. 229 – 242. **6.** Wu Min An expert control system in purification process / Wu Min, Gui Wiehua, Xie Yongfang, Shen Deyao, Cai Zixing // Transactions of NFsoc. – 1996. – Vol. 6. – № 2. – P. 125 – 131. **7.** Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии / Ю.А. Зак – М.: Книжный дом "Либроком", 2013. – 352 с. **8.** Сявакко М.С. Информационная система "Нечеткий эксперт" / М.С. Сявакко – Львів: Видавничий центр Львівського нац. ун-ту, 2007. – 320 с. **9.** Ротштейн О.П. Вибір проекту створення бренду за допомогою нечітких парних порівнянь / О.П. Ротштейн, С.Д. Штовба, О.В. Штовба // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 2. – С. 13 – 21. **10.** Штовба Д.С. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Д.С. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Поступила в редакцию 15.07.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова" Ячиков И.М.

УДК 669.053.4:004.896

Нечіткілогічне визначення способу залучення до виробництва некондиційної сировини у гідрометалургії / Горбатова О.О., Зарецький М.В., Шияхметова І.З. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 19 (992). – С. 10 – 15.

Розглянуто вибір способу залучення до виробництва некондиційної сировини у гідрометалургії. Обґрунтовано багатокритеріальний вибір одного з трьох варіантів залучення до виробництва: дофлотації, вилугування або утилізації. Розроблена експертна система для підтримки прийняття рішень у гідрометалургії. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: гідрометалурія, дофлотація, вилугування, утилізація, експертна система.

UDC 669.053.4:004.896

Fuzzy logic defining of the method of the involving in manufacture substandard raw materials in hydrometallurgy / Gorbatova E.A., Zaretsky M.V., Shiyakhmetova I.Z. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 10 – 15.

We consider the choice of the method involving g in manufacture substandard raw materials in hydrometallurgy. Multi-criteria analysis justified the choice of one of three options to engage in production: additional flotation, leaching or disposal. A consulting model is developed for support of making decision in a hydrometallurgy. Refs.: 10 titles.

Keywords: hydrometallurgy, doflotaciya, lixiviating, utilization, consulting model.