

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-обогащительные предприятия Южного Урала функционируют в условиях снижения сырьевого потенциала, в результате чего в качестве потенциальных ресурсов рассматриваются отходы горно-обогащительного производства. В частности, актуальной является задача оперативного вовлечения в производство текущих хвостов горно-обогащительного 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-обогащительных 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  $I_1 = [V_{Min}, V_1)$ ,  $I_2 = [V_1, V_2)$ ,  $I_3 = [V_2, V_{Cond})$ ;

– *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  $Silicates = SilicatesY$  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 // Інформаційні технології і системи. Матеріали Другої міжнародної конференції. – Челябінськ: 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., Шняхметова 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: дофлотатії, вилугування або утилізації. Розроблена експертна система для підтримки прийняття рішень у гідрометалургії. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** гідрометалургія, дофлотатія, 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., Shnyakhmetova 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.