

и, если содержание  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  становится равным или более 20 мас.%, появляются и собственные рефлексы гидроксипатита, вследствие его малой растворимости в расплаве стекла при температуре варки. Введение в массы гидроксипатита по-разному сказывается и на цветовых характеристиках материалов, окрашенных оксидами-хромофорами. Характерно, что покрытия состава дентина, в присутствии гидроксипатита окрашиваются всеми исследованными хромофорами (оксиды церия, железа, марганца) более ярко, чем составы без добавки фосфатсодержащего компонента. Такое же сочетание оксидохромофора и фосфатсодержащего компонента в эмалях дает более слабую окраску. Изменение интенсивности окраски связано с изменением растворимости ионов-хромофоров в стеклофазе при введении гидроксипатита и образованием в некоторых случаях слабоокрашенных фосфатных соединений. Определение трихроматических параметров стеклокристаллических покрытий с помощью программы Adobe Photoshop CS показывает, что окраска готовых материалов близка к светло-коричневой, при этом окраска дентина выражена сильнее, чем эмали. В целом тенденция к ослаблению и некоторому изменению характера окраски при переходе от дентина к эмали положительно сказывается на внешнем виде покрытия, приближая его к виду естественного зуба.

Исследования выполнены при поддержке Гранта Президента Российской Федерации №1206.2007.3

#### КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ БЕЗУБЫТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ РЕЦИКЛИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Черный С.А., Кудрявский Ю.П., Голев А.В.  
Московский Государственный Университет  
им. М.В. Ломоносова, Москва  
ООО НПЭФ «ЭКО-технология»  
Пермский край, г. Березники  
Пермский Государственный Технический  
Университет, Березниковский филиал  
Пермский край, г. Березники

Эколого-экономическая составляющая Концепции Устойчивого Развития, реализуемой в настоящее время во многих странах, подразумевает сохранение природно-ресурсного потенциала планеты [1]. Кроме вырабатываемых ограничений разумного потребления, несомненно, одним из наиболее эффективных инструментов для ресурсосбережения являются технологии рециклинга. Внедрение указанных технологических процессов актуально для промышленных предприятий, которые являются масштабными продуцентами отходов, которые не только загрязняют природную

среду, но и, в то же время, содержат богатый набор ценных составляющих. Используемые сегодня технологии получения целевой продукции в горно-добывающей, химической, металлургической промышленности неэффективны, до 75÷95% перерабатываемого на предприятиях данных отраслей сырья переходит в отходы, что приводит к неоправданному экономическим потерям. При этом характерно, что продуцируемые на таких производствах отходы, часто богаче по извлекаемым элементам, чем исходные руды и концентраты, а также практически не содержат пустой породы и находятся в удобном для повторной переработки измельченном виде, поэтому могут рассматриваться как вторичное техногенное сырье [2].

Из производственной практики известно, что полное извлечение полезных веществ и соединений из любого вида сырья бывает экономически нецелесообразно, поэтому перед технической реализацией той или иной технологической схемы целесообразно определить экономический оптимум процесса, используя математические модели [3]. С этих позиций представляет интерес возможность определения минимального количества отходов, которое необходимо переработать для обеспечения безубыточности рециклинга.

Для получения искомой границы будем рассуждать следующим образом. При организации схемы рекуперации отходов в общем случае

их объем  $Q_{\text{ОТХ}}^{\text{ОБЩ}}$  будет состоять из двух частей: перерабатываемого объема -  $Q_{\text{ОТХ}}^{\text{ПЕР}}$  и неперерабатываемого -  $Q_{\text{ОТХ}}^{\text{НП}}$ , т.е.

$$Q_{\text{ОТХ}}^{\text{ОБЩ}} = Q_{\text{ОТХ}}^{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОТХ}}^{\text{НП}} \quad (1)$$

С другой стороны этот же общий объем отходов есть сумма всех индивидуальных количеств компонентов  $Q_i^{\text{ОБЩ}}$ , входящих в его состав:

$$Q_{\text{ОТХ}}^{\text{ОБЩ}} = \sum_i Q_i^{\text{ОБЩ}}, \quad (2)$$

где  $i$  – вид компонента,  $i=1 \div n$ ,  $n$  – число ценных компонентов, содержащихся в отходах.

Поэтому в соответствии с (1) любое ценный компонент можно также представить как сумму перерабатываемой  $Q_i^{\text{ПЕР}}$  и неперерабатываемой  $Q_i^{\text{НП}}$  частей. С позиций какого-либо индивидуального ценного компонента с учетом его коэффициента извлечения  $K_i^{\text{ИЗВЛ}}$  по существующей технологии его извлеченное количество  $Q_i^{\text{ИЗВЛ}}$  можно найти по следующей формуле:

$$Q_i^{\text{ИЗВЛ}} = K_i^{\text{ИЗВЛ}} \times Q_i^{\text{ПЕР}} \quad (3)$$

Возможная выручка  $B_i$  от продажи данного количества  $i$ -го ценного компонента с учетом его цены  $C_i$  будет тогда равна:

$$B_i = Q_i^{ИЗВЛ} \times C_i = K_i^{ИЗВЛ} \times Q_i^{ПЕР} \times C_i \quad (4)$$

Прибыль от продажи  $\Pi_i$  в этом случае рассчитаем как разность между выручкой  $B_i$  и затратами собственно на переработку количества  $Q_i^{ПЕР}$ , извлечение количества  $Q_i^{ИЗВЛ}$  ценного компонента и его сбыт -  $Z_i^{ПС}$ , а также затратами экологического характера  $Z_i^{ЭК}$ , связанными с обезвреживанием перерабатываемой части общего количества ценного компонента, рассматриваемого уже в качестве токсиканта:

$$\Pi_i = B_i - Z_i^{ПС} - Z_i^{ЭК} \quad (5)$$

Очевидно, что затраты на переработку и сбыт продуктов из извлеченных ценных компонентов определяются технологией извлечения и организацией сбыта, а экологические затраты – технологией обезвреживания, экологическими нормативами и токсичностью отходов.

Для дальнейшего построения критерия перейдем к соответствующим удельным затратам, т.е. приходимся на единицу массы отходов. Тогда можно записать:

$$Z_i^{ПС} = Q_i^{ИЗВЛ} \times YZ_i^{ПС} = YZ_i^{ПС} \times K_i^{ИЗВЛ} \times Q_i^{ПЕР} \quad (6)$$

$$Z_i^{ЭК} = Q_i^{НП} \times YZ_i^{ЭК} = YZ_i^{ЭК} \times (Q_i^{ОБЩ} - Q_i^{ПЕР}) \quad (7)$$

где  $YZ_i^{ЭК}$  и  $YZ_i^{ПС}$  - удельные затраты на обезвреживание и переработку ценного компонента  $i$ -го вида.

Исходя из этого, прибыль  $\Pi_i$  будет определяться так:

$$\Pi_i = C_i \times Q_i^{ПЕР} \times K_i^{ИЗВЛ} - YZ_i^{ПС} \times K_i^{ИЗВЛ} \times Q_i^{ПЕР} - YZ_i^{ЭК} \times (Q_i^{ОБЩ} - Q_i^{ПЕР})$$

$$\text{или } \Pi_i = Q_i^{ПЕР} \times (K_i^{ИЗВЛ} \times (C_i - YZ_i^{ПС}) + YZ_i^{ЭК}) - YZ_i^{ЭК} \times Q_i^{ОБЩ} \quad (8)$$

Назовем удельной прибылью  $Y\Pi_i$  разницу между ценой  $i$ -го ценного компонента  $C_i$  и затратами на его извлечение и сбыт  $YZ_i^{ПС}$ :

$$Y\Pi_i = C_i - YZ_i^{ПС} \quad (9)$$

Тогда выражение (8) примет вид:

$$\Pi_i = Q_i^{ПЕР} \times (K_i^{ИЗВЛ} \times Y\Pi_i + YZ_i^{ЭК}) - YZ_i^{ЭК} \times Q_i^{ОБЩ} \quad (10)$$

Как известно из экономики, условием безубыточности любого процесса производства будет отрицательность прибыли от сбыта продукции, тогда для рассматриваемого  $i$ -го ценного компонента [4]:

$$\Pi_i \geq 0 \Rightarrow Q_i^{ПЕР} \times (K_i^{ИЗВЛ} \times Y\Pi_i + YZ_i^{ЭК}) \geq YZ_i^{ЭК} \times Q_i^{ОБЩ} \quad (11)$$

Отсюда получаем критерий эффективности переработки отходов для извлечения  $i$ -го ценного компонента:

$$D_i = \frac{Q_i^{ПЕР}}{Q_i^{ОБЩ}} \geq \frac{YZ_i^{ЭК}}{K_i^{ИЗВЛ} \times Y\Pi_i + YZ_i^{ЭК}} \quad (12)$$

Т.е. доля перерабатываемой части отходов  $D_i$  с позиций экономической эффективности для индивидуально извлекаемого  $i$ -го ценного компонента должна быть не менее значения правой части неравенства, в измененном более полном виде критерий выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{1 + \frac{K_i^{ИЗВЛ} \times Y\Pi_i}{YZ_i^{ЭК}}} \leq D_i \leq 1 \quad (13)$$

Этот критерий носит комплексный характер – необходимое для переработки количество отходов определяется коммерческой ликвидностью извлекаемого продукта, совершенством технологии перера-

ботки отходов и их токсичностью. При этом *малоприбыльные, но высокотоксичные отходы необходимо перерабатывать практически полностью* при их вовлечении в процесс утилизации

Если переходить к рассмотрению отходов как к сумме ценных компонентов, то необходимо учитывать, что при извлечении различных компонентов  $K_i^{ИЗВЛ}$  различны для различных  $i$ . Для упрощения расчетов можно использовать среднее значение  $\overline{K_{ИЗВЛ}}$  для всех ценных компонентов, которое вычисляется так:

$$\overline{K_{ИЗВЛ}} = \frac{\sum_i K_i^{ИЗВЛ} \times Q_i^{ПЕР}}{\sum_i Q_i^{ПЕР}} = \frac{\sum_i K_i^{ИЗВЛ} \times Q_i^{ПЕР}}{Q_{ОТХ}^{ПЕР}} \quad (14)$$

Также можно рассчитать средние удельные затраты на переработку  $\overline{УЗ_{ПС}}$  и обезвреживание отходов  $\overline{УЗ_{ЭК}}$ , которые можно определить путем деления соответствующих суммарных затрат, произведенных за отчетный период на количество перерабатываемых или обезвреживаемых за это время отходов:

$$\left. \begin{aligned} \overline{УЗ_{ПС}} &= \frac{\sum_i З_i^{ПС}}{Q_{ОТХ}^{ПЕР} \times \overline{K_{ИЗВЛ}}} \\ \overline{УЗ_{ЭК}} &= \frac{\sum_i З_N^{ЭК}}{Q_{ОТХ}^{НП}} \end{aligned} \right\} \overline{УП} \quad (15)$$

Кроме того, для вычисления средней удельной прибыли  $\overline{П}$  необходимо рассчитать среднюю цену  $\overline{Ц}$ , как в (9):

$$\overline{Ц} = \frac{\sum Q_N^{ПЕР} \times Ц_N \times K_N^{ИЗВЛ}}{\sum Ц_N \times K_N^{ИЗВЛ}} \quad (16)$$

Тогда, учитывая, что:

$$П_{ОБЦ} = \sum П_i \geq 0 \quad (17)$$

получим новый вид количественного критерия (13) уже для суммы ценных компонентов:

$$\frac{1}{1 + \frac{K_{ИЗВЛ} \times \overline{УП}}{\overline{УЗ_{ЭК}}}} \leq D_{\Sigma} \leq 1 \quad (18)$$

Однако, при переработке отходов необходимо учитывать еще один важный фактор – неравномерный переход ценных компонентов из минерального сырья в металлургические отходы, при этом происходит не только концентрация вещества в отходах, но и *концентрация стоимости* в них. Ввиду этого переработка 1 т отходов дает другую выручку, нежели переработка 1 т первичного минерального

сырья. С учетом этого, вместо рассчитанного выше  $\overline{K_{ИЗВЛ}}$  в формулах следует использовать средний

коэффициент извлечения стоимости  $\overline{K_{ИЗВЛ}^{СТ}}$ , который можно рассчитать по формуле:

$$\overline{K_{ИЗВЛ}^{СТ}} = \frac{\sum_i K_i^{ИЗВЛ} \times Ц_i \times Q_i^{ПЕР} \times K_i^{КОНЦ}}{\sum_i Q_i^{ПЕР} \times Ц_i} \quad (19)$$

где  $K_i^{КОНЦ}$  - коэффициент количественной концентрации ценных компонентов в отходах.

Тогда формула (19) переходит в окончательный комплексный количественный критерий, учитывающий возможную концентрацию стоимости в перерабатываемых производственных отходах:

$$\frac{1}{1 + \frac{K_{ИЗВЛ}^{СТ} \times УП}{УЗ^{ЭК}}} \leq D_{\Sigma} \leq 1 \quad (20)$$

В чем же практический смысл данного критерия? В случае выработки решения о реализации тех или иных новых технологических схем рециклинга, в первую очередь, проводят анализ получаемых отходов на предмет содержания в них ценных компонентов. При этом обычно известны как среднерыночные цены на продукты из извлеченных ценных компонентов, так и прогнозируемые в соответствии с техническим решением объемы отходов. Кроме того, из существующей на предприятии технико-экономической и экологической практики можно дать предварительную оценку суммарным затратам на обезвреживание отходов и извлечение ценных компонентов. Этим данным достаточно, чтобы оценить долю перерабатываемых отходов, необходимую по данной технологии рециклинга для компенсации затрат на извлечение. Для альтернативной технологии утилизации отходов величина критерия (19)- (20) может оказаться другой, а стало быть возможен выбор более эффективного варианта ресурсо- и природосберегающей технологии [5]. Кроме того, зная порог безубыточности переработки отходов, возможно оценить будущие выго-

ды от внедрения схемы рециклинга.

В качестве демонстрации указанного критерия на практике, рассчитаем значения  $D_{\Sigma}$  по формулам (19) и (20) для редкометаллического производства, где в настоящее время внедряется усовершенствованная технологическая схема обезвреживания и утилизации отходов. Основная идея внедряемой технологии [6] заключается в сокращении за счет замены реагентов, используемых для нейтрализации и дезактивации стоков редкометалльного производства, массы получаемых отходов, которые предлагается после соответствующей сушки и прокатки возвращать на передел хлорирования основного минерального сырья – лопаритового концентрата. Подобная схема рециклинга может быть реализована вследствие схожести составов лопарита и осадка, получаемого после нейтрализации и дезактивации жидких отходов производства (см. табл. 1) [7]. Извлечению подлежат соединения тантала, ниобия, титана и редкоземельных элементов, они же и рассматриваются в расчетах как ценные компоненты.

Таблица 1. Химический состав кека от нейтрализации и дезактивации цеховых обмывочных вод в условном пересчете на прокаленное вещество

Среднее содержание компонента, в масс. %								
Соединения	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	РЗЭ	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
Получаемый кек	1,26±	11,12±	28,29±	17,79±	18,78±	5,81±	2,23±	2,32±
	0,26	2,22	7,30	3,12	3,44	1,64	0,70	0,89
Лопаритовый концентрат	0,58±	7,71±	36,81±	31,60±	1,05±	1,0±	0,62±	2,01±
	0,04	0,50	1,86	1,31	0,17	0,50	0,03	0,19

В таблице 2 приведены некоторые технико-экономические показатели, которые рассчитаны по данным завода и будут использоваться для определения критерия (19)-(20) по внедряемой технологии, а также, собственно, и итоговые значения

$D_{\Sigma}$ , рассчитанные как по количеству отходов, так и с учетом концентрации стоимости в перерабатываемых кеках. Из таблицы 2 видно, что доля переработки отходов для обеспечения безубыточности технологии рециклинга составляет около ~ 20%, причем  $D_{\Sigma}$  по выручке меньше данного показателя по количеству ввиду возрастающей концентрации стоимости в производимых отходах.

Данный примерный расчет выполнен по

целевым ценным компонентам – соединениям Ta, Nb, Ti и редкоземельных элементов (РЗЭ) – извлекаемым на сегодняшний день. В дальнейшем спектр целевой продукции может быть расширен, например, за счет извлечения тория в связи с новыми направлениями развития ядерной энергетики, тогда порог безубыточности может сдвинуться в сторону уменьшения.

Таким образом, предлагаемый критерий позволяет получать укрупненную оценку эколого-экономической эффективности реализуемых технологий рециклинга производственных отходов без детализированных технико-экономических расчетов, в том числе еще на стадии разработки и внедрения проектируемого технологического процесса.

Таблица 2. Техничко-экономические характеристики технологии утилизации отходов редкометалльного производства

Средние удельные экологические затраты на обезвреживание неперерабатываемых отходов	≈ 23,1 тыс.руб./т
Возможная выручка от продажи извлекаемых из отходов ценных компонентов, млн.руб./год	≈ 26,4
Средний коэффициент извлечения ценных компонентов	≈ 0,98
Средний коэффициент извлечения стоимости при переработке отходов	≈ 1,59
Средние удельные издержки на извлечение ценных компонентов	≈ 84,8 тыс.руб./т
Средняя удельная прибыль от продажи ценных компонентов, извлеченных из отходов, тыс. руб./т	≈ 69,2
Расчетный критерий безубыточности $D_{\Sigma}, \%$	
количественный	≈ 23
стоимостной	≈ 16

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. The World Bank. Johannesburg 2002. World Summit on Sustainable Development, 26 August to 4 September, 2002 / Материалы Мирового Банка. Базы данных РРЭЦ на сайте <http://lib.rusrec.ru>

2. Лотош В.Е. Переработка отходов природопользования. – Екатеринбург, Изд-во УрГУПС, 2002. – 463 с.

3. Холина В.Н. Основы экономики природопользования – СПб.: Питер, 2005. – 672 с.

4. Папенков К.В. Экономика природопользования - М.: ТЭИС, 2006. – 928 с.

5. Выварец А.Д., Дистергефт Л.В., Набойченко Е.С. Оценка эколого-экономической эффективности альтернативных технологий производства цветных металлов // Цветные металлы. 2004. № 7. с. 9-12

6. Кудрявский Ю.П., Черный С.А., Рахимова О.В. Анализ экономической эффективности технологии обезвреживания и дезактивации сточных вод редкометалльного производства // Фундаментальные исследования. 2005. № 10. с. 19-22

7. Кудрявский Ю.П., Рахимова О.В., Черный С.А. Особенности формирования жидких и твердых радиоактивных отходов при переработке лопаритовых концентратов // Цветные металлы. 2007. №4. с. 111-116

#### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ ПОВЫШЕННОГО МОГУЩЕСТВА С ПРЕССОВАННЫМ СНАРЯЖЕНИЕМ

Чобанян В.А.

*Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого, Москва*

Современное состояние национальной технологической базы и развития научных исследований в области утилизации вооружения и во-

енной техники (ВВТ) в целом ряде случаев не позволяют обеспечить как саму практическую утилизацию, так и разработку новых промышленных технологий утилизации, полностью отвечающих современному комплексу предъявляемых требований.

Особенно остро стоит проблема утилизации зарядов гексогенсодержащих взрывчатых веществ. Разработанная Петровским НЦ РАН технология гидрокавитационного вымывания зарядов прессованных ВВ и комплекс промышленного оборудования (изготовители ФГУП «КНИИМ», ФГУП «ГНПП «Сплав», ФГУП «ЦНКБ») способны решить эту проблему.

Работоспособность и заданная производительность вымывных агрегатов подтверждены экспериментальной отработкой оборудования в ФГУП «КНИИМ», ФГУП «НИИ «Геодезия» (2002-2003 г.г.), ФГУП «Брянский химический завод», ФКП «Авангард» (2004-2007 г.г.) на снарядах осколочно-фугасного типа различных калибров.

В настоящее время отработаны технологии извлечения прессованных зарядов ВВ и их использования в составах промышленных взрывчатых веществ. Подготовлены предложения по повторному применению некоторых типов корпусов снарядов. Предложена стратегия развития производства комплексной утилизации гексогенсодержащих боеприпасов, которая позволит оперативно и в кратчайшие сроки:

- обеспечить промышленные предприятия оборудованием для новых технологий; создать условия качественно наладить производственные процессы;
- добиться рентабельности утилизационного процесса;
- избежать крупных расходов на транспортировку боеприпасов к местам их переработки;