

УДК 553.042

И.Т. Трунов**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
И БЕЗОТХОДНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

Семинар № 1

Создание безотходных экологически чистых технологий при использовании минеральных ресурсов - важнейшая научная и народнохозяйственная проблема. Применяемые на горноперерабатывающих территориально-промышленных комплексах (ТПК) традиционные технологические процессы не обеспечивают решение данной проблемы из-за несовершенства этих технологий и недостаточного уровня качества перерабатываемых масс. Поэтому на горных предприятиях образуется большое количество некондиционных отходов и потерь полезных компонентов. При исследованиях доказано, что для полного использования отработанных минеральных ресурсов и рентабельного производства из них (и возникающих отходов) различных продуктов (основных, неосновных, попутных) необходимо разработать новое теоретическое обоснование различных процессов и комплексный метод автоматического формирования качества многокомпонентных масс оптимальных уровней на каждой стадии сквозного технологического цикла (СТЦ) горноперерабатывающего ТПК (то есть уровней, при которых создаются условия для безотходного освоения минеральных ресурсов).

Установлено, что для разработки таких технологий необходимы:

1) глубокая оценка технологических свойств (физических, химических, ра-

диометрических) различных видов сырья (исходного и по стадиям промышленных предприятий);

2) исследование, системный анализ и моделирование их ингредиентов (включая производственные и эколого-экономические);

3) создание (на основе этих свойств) и теоретического обоснования прогрессивных технологий разделительных процессов;

4) разработка ГИС (с применением наиболее эффективных сорбционных, экстракционных и других прогрессивных технологических мероприятий) сквозного технологического цикла (СТЦ) предприятий;

5) разработка АСУ, позволяющих автоматически управлять качеством исходных и промежуточных шихт, полупродуктов и отходов (до оптимальных уровней) на всех стадиях территориальных промышленных комплексов (ТПК).

Процесс производства из минерального сырья конечных продуктов и создания их стоимости представляет собой функционал $\Phi_{пс}$, состоящий из систем функций различных изменяющихся в пространстве и времени производственных ингредиентов СТЦ ТПК;

$$\Phi_{пс} = \sum \sum f(C_p, U_p, P_T)(x, t, v) \psi_1(e_0, K_n, a_0) \psi_2(e_n, K_n, a_n) + \sum \varphi_1(\Gamma, \Pi_0, C, U)(x, t, v)^* \\ (D_{вз}, Z_B)(D_0, Z_0) + \sum f_2(\Pi_{вх}, \Pi_{ох}, C_x, U_x)(x, t, Z_x) + \sum \lambda_1(x, t, p)(W_B, Z_B) + \sum \lambda_2(x, t, pt)$$

$(W_t, Z_t)(D_0, Z_0)$,
 где $\sum \sum f(C_p, U_p, P_T)$ – системы функций совокупностей геолого-химических показателей $f(C_p)$, образующих минеральное сырье, их качественных технологических $f(U_p)$ и лучевых радиометрических ингредиентов $f(P_T)$, $\psi_1(e_0, K_0, a_0)$ $\psi_2(e_n, K_n, a_n)(x, t, v)$ – системы функций извлекаемых из разных масс основных (e_0) и неосновных (e_n) наиболее ценных полезных компонентов, производимых из них продуктов (K_0, K_n) и создания стоимости (a_0, a_n), в зависимости от координат x_1 времени t и степени воздействия v на параметры (e_0, e_n) различных технологических аспектов;

$\sum \varphi_1(\Pi, \Pi_0, C, U)(x, t, v) (D_{вз}, Z_{вз})(D_0, Z_0)$ – система функции качественных φ различных отходов (вскрышных пород $\Pi_{в}$, и обогащения руд Π_0), используемых для производства попутных товарных продуктов $D_{в}$, Z_0 , создание их стоимости и ренты $Z (Z_{в}, Z_0)$,

$\sum \varphi_2(\Pi_{вх}, \Pi_{ох}, C_x, U_x)(x, t, Z_x)$ – системы функций показателей непригодных для производства попутных продуктов отходов $\Pi_{вх}, \Pi_{ох}$ и затрат Z_x , необходимых для очистки земельных участков,

$\sum \lambda_1(x, t, p)(W_{в}, Z_{в})$ – системы функций качественных показателей объемов материалов $W_{в}$ и затрат $Z_{в}$, необходимых для рекультивации нарушенных земель,

$\sum \lambda_2(W_t, Z_t)(x, t, pt)$ – системы функций объемов работ W_t и затрат Z_t необходимых для охраны окружающей среды.

Анализ этого функционала показывает, что его технико-экономические показатели по конечным продуктам ТИК взаимосвязаны с СТЦ промышленных предприятий и зависят от качества рудного и промежуточного сырья, количества отходов и потерь полезных компонентов, способов управления производственными и

различными природоохранными процессами. Данные взаимосвязи означают, что изменение какой-либо характеристики качества рудной массы или технологического прогресса на одной стадии неизбежно влияет на другие, и в первую очередь на отходы и потери наиболее ценных полезных компонентов, их структуры и рациональное использование природных ресурсов.

Для исследования этих сложных многофункциональных систем созданы математические модели ингредиентов (в том числе лучевых радиометрических свойств минералов) рудных масс, потоков шихт, промежуточных полупродуктов, конечных продуктов и отходов, позволяющих формировать технологические процессы ТПК, выполнить их системный анализ и установить структурные взаимосвязи между всеми его технико – экономическими показателями (в том числе количественными производственными и технологическими потерями).

Важнейшее значение для создания безотходных технологий имеют технологические и радиометрические свойства различных видов минеральных ресурсов, т. е. их однородность и обогатимость (в том числе и хемосорбционность), степень взаимодействия при различных облучениях,

$$\Theta_n = f(a_3, n, k),$$

где φ - величина заряда носителей тока; k - коэффициент, называемый волновым числом среды, в которой создано электрическое поле.

$$K^2 = \varphi \epsilon \mu,$$

где φ - частота изменения гармонических колебаний тока в среде; ϵ - комплексная диэлектрическая проницаемость среды. Связь между этими показателями имеет вид:

$$\Delta e / e = v / \varphi;$$

$$\Delta e = e - e$$

Интенсивность процессов взаимодействия и характеристики электромагнитных полей можно определить при помощи различных радиометрических, абсорбционных приборов и устройств, идентифицировать вид излучений в зависимости от вещественного состава пород и содержания основных химических элементов, направленно изменять потоки и энергию лучевых частиц, их интенсивность, т.е. создать высокие ГИС – технологии при использовании ресурсов. Установлено, что на всех стадиях ТПК необходимо создавать оптимальные составы разных шихт и определенные соотношения между основными параметрами излучений (в том числе вида их энергии, количества и скорости импульсов), при которых образуются разделительные процессы, позволяющие автоматически отделять от рудных масс различные виды пород (на первых стадиях), разделять эти массы по сортам (соответствующим технологическим процессам) и затем (на следующих стадиях) извлекать вредные компоненты. Для различных видов полезных ископаемых предложены: эмиссионно-радиометрические и абсорбционно-радиометрические способы.

К эмиссионно-радиометрическим относятся: фотограмметрические, люминесцентные, нейтронные, рентгенометрические и нейтронно-актационные способы.

Абсорбционно-радиометрические методы основаны на использовании различной степени снижения двух характеристик лучевых реакций:

1) интенсивности потоков вторичных излучений (разных пород и руд);

2) энергии первичных электромагнитных полей. Количество N и скорости V_N импульсов этих характеристик

излучений обратно пропорциональны значениям содержания полезных компонентов.

При определенных соотношениях между основными физико-техническими параметрами и величинами N , V_N образуются разделительные процессы руд и пород. На 1-м свойстве созданы нейтронно-абсорбционные, гамма- абсорбционные, радио абсорбционные. На 2-м - индукционные и емкостные радиорезонансные методы, которые эффективны для сепарации крупнокускового материала (во всех видах минерального сырья), и обогащения руд черных цветных и редких металлов.

Комбинированные схемы радиометрической сортировки и сепарации целесообразно применять для многих видов минерального сырья при условиях, когда необходимо использовать не одно, а несколько свойств рудных масс (например: апатитно-нефелиновых, сульфитных, фосфорных и других руд) и нерудного сырья (в том числе вторичного).

Высокие, автоматические ГИС технологии необходимо создавать для всех горноперерабатывающих промышленных комплексов:

- отработке полезных ископаемых;
- при обработке полезных ископаемых;
- рудоподготовке;
- дроблении и измельчении рудных шихт;
- их обогащении;
- плавках концентрата;
- при утилизации отходов обогатительных фабрик;
- при использовании вскрышных пород (отходов горного предприятия);
- рекультивации земель;
- восстановлении и охраны окружающей среды.

Главной целью этих технологий является повышение качества рудных масс на всех стадиях горноперерабатывающих предприятий до оптимальных уровней. На стадиях открытых отработок полезных ископаемых можно использовать известные лазерные системы. Но более эффективным является радиометрические, которые (в том числе излучатель и фотоприемное устройство) размещается в специальном коробе (расположенном непосредственно на механизме перемещения). От излучателя лучи направляются к датчикам рабочего органа (РО) и затем в блок БУ, который координирует перемещение РО по линии в зависимости от содержания по ней основного полезного компонента, то есть так, чтобы $S_{по} \sim S_{и}$ (где $S_{и}$ - бортовое содержание). Аналогично можно оборудовать радиоизотопными системами любые горные механизмы (в том числе и при подземных отработках).

На стадиях б, в, г применяют разделительные радиометрические системы, которые подразделяются на два вида:

- радиометрическая крупнопорционная сортировка;
- радиометрическая сепарация.

Системы радиометрической сортировки имеют вид простых устройств: по обеим сторонам транспортных сосудов (ленточных транспортеров, конвейеров и т.д.) располагают опоры с кронштейнами, на которых размещают искусственные излучатели, фотоприемное устройство, датчики и т.д. Эти системы на стадиях отработки и рудоподготовке полезных ископаемых позволяют автоматически отделить от руд до 40 % крупных кусков породы (диаметром свыше 10 см) и разделитель его общий поток по сортам (в соответствии с их техно-

логическими свойствами). Исследованием установлено, что разделительные процессы по стадиям рудоподготовки наиболее эффективны при наибольшей вариации качественных показателей рудных масс, при их вибрации (встряхивании) и перемещении со скоростью до 1,0 м/с. При таких условиях целесообразно применять на стадиях измельчения и классификации различные сорбционные и экстракционные (в том числе радиометрические) технические мероприятия с целью отделения вредных компонентов и примесей. Лишь после создания нескольких (нередко 3-4) однородных качественных шихт целесообразно производить усреднение.

На последующих стадиях промышленного передела разработаны новые способы обогащения и сепарации рудных и промежуточных масс (магнитные, ферромагнитные и электрофлотации, гидрохимические, фазовые, химикотехнологические, гидроциклонные и т.д.) с применением различных радиометрических систем. Эти способы позволяют более эффективно извлекать из этих масс вредные компоненты (мышьяк, селен и т.д.) и создавать концентраты высокого качества. В процессе обогащения образуется большое количество жидких отходов (в основном некачественных). Производя их перераспределения и сепарации (с применением радиометрических сорбционных систем), качество отходов (пульпы) необходимо повысить до оптимального уровня (т.е. до уровня кондиционного вторичного сырья), а затем каждый вид этого сырья целесообразно направить отдельно в шламохранилище и использовать для производства попутных продуктов (в основном строительных материалов. В настоящее

время на стадиях рудоподготовки, дробления и измельчения рудных шихт применяются различные фотометрические сепараторы «Кварц», М - 13, 621 М, 711 М, рентгенолюминисцентные сепараторы ЛС-ОД-2, РС-24, фотонейтронные сепараторы вибрационного (РАМБЗ00) и ленточного типов (РМБЛ-100, различные сепараторы с использованием рентгеновского флюоресцентного излучения, фото-нейтронные, нейтронно-активационные, нейтронно-абсорбционные, рентгено-абсорбционные, радиоабсорбционные, радиорезонансные, и т.д. Для стадий обогащения руд производится выпуск промышленных электрохимических кондиционеров пульпы, плазматронов, линейных ускорителей, ультразвуковых генераторов и других видов оборудования.

Электрохимическая подготовка производится для тех видов сырья, минералы которых обладают полупроводниковыми свойствами. На поверхности таких минералов возникают при взаимодействии с электрическим током электрохимические реакции с образованием новых фаз, при определенных потенциалах которых из суспензий пульп определяются различные соединения химических элементов.

Электрохимический метод, кондиционирования пульп прошел проверку при переработке медноникелевых, полиметаллических и других руд. При этом увеличивается производительность обогащения руд в 1,3 раза, извлечение ценных полезных компонентов (никеля, меди, свинца, кобальта, платины и т.д.) до 20 %, а также 30 % экономическая эффективность конечных продуктов, (прибыль и рентабельность).

Производится выпуск кондиционеров пульпы (ЭКП-2), аппараты МВК «Электрон» и т.д.

Широко распространен процесс обогащения с гидрометаллургией на основе ионообменной технологии (методов сорбции из пульпы и из осветительных растворов с помощью твердых и жидких компонентов), позволяющие в 3-4 раза увеличить производительность труда, уменьшить энергозатраты, исключить очистные сооружения, значительно сократить объемы различных используемых химических материалов (кислот, щелочей) и реагентов.

При безотходных технологиях (с применением ГИС) вектор ценности $\sum \sum \Pi$ минеральных ресурсов по критерию прибыли необходимо определять с выполнением условия $\sum \sum \Pi =$ тах, при котором себестоимости основных, неосновных и попутных продуктов (соответственно А, А, А) и затраты на охрану окружающей среды, рекультивацию и восстановление земель (соответственно З, З, З) минимальны.

Анализ этого функционала показывает, что его экстремальные условия выполняются лишь при своевременном и оперативном автоматическом управлении (АСУ и АГИС) качеством различных многокомпонентных масс на всех стадиях и процессах ТПК, т.е. АСУ и АГИС производится системный анализ технологических процессов, оцениваются его результаты по стадиям, автоматически производится корректировка различных операций в соответствии с программой оптимизации разных ингредиентов многокомпонентных масс СТЦ. При этом вспомогательные процессы/повышения качества отходов, охраны окружающей среды, восстановления являются составной частью основных процессов (горных и перерабатывающих) и образуют единый неразрывный СТЦ ТПК.

Определение себестоимости 1т концентрата при валовых и селективных способах отработки целестиновых месторождений (в ценах 1990 г.) с примечанием ГИС

Наименование показателей	Виды руд и их технико-экономические показатели					
	Руды сплошной минерализацией целестина		Руды с прожилко-вкрапленной минерализацией		Руды с вкрапленной минерализацией целестина	
	Традиционные технологии	Радиометрические системы	Традиционные технологии	Радиометрические системы	Традиционные технологии	Радиометрические системы
Содержание целестина в руде, %	80	80	20	20	18	18
Потери руды, %	0,2	0,2	5,0	5,0	5,0	5,0
Разувоживание %	60,0	10,0	20,0	16,0	20,0	20,0
Затраты на добычу руды, руб/т	7,8	7,8	4,8	4,8	1,8	1,8
Затраты на транспортировку, дробление и измельчение руды, руб/т	17,2	12,2	17,2	10,2	17,2	10,2
Расход руды на 1 т концентрата, т	5,2	1,1	5,2	3,5	7,1	7,1
Содержание целестина в первичном концентрате, %	35,0	80,0	30,0	35,0	25,0	30,0
Затраты на переработку 1 т первичного концентрата, руб.	13,1	0,0	13,1	13,1	13,1	13,1
Себестоимость 1 т готового концентрата, руб.	156,5	22,0	156,5	80,5	185,6	126,0
Прибыль от 1 т готового концентрата, руб	-26,0	+108,0	-26,6	+49,5	-55,6	+4,0

Примечание:

- 1) знак x означает, что затраты на горно-подготовительные работы отнесены на очень богатые руды; а знак x означает, что на руды с вкрапленной минерализацией относятся затраты от стадии выемочно-погрузочных работ.
- 2) при традиционных технологиях отработка производится валовыми способами, при которых из всех типов руд создаётся одна шихта с вовлечением в неё до 40 % пустых пород (в основном пропластков доломита);
- 3) при селективных способах создаётся три шихты (с преобладанием в каждой одного вида руды, что позволяет руды со сплошной минерализацией после измельчения до классов $d > 95$ мм. использовать сразу в качестве готового концентрата (без их обогашения), а измельчение руд с прожилково-вкрапленной минерализацией выполняется так, что бы в обогащаемой шихте преобладали раскрытые частички целестина размером $d \geq 0,3$ мм; для вкрапленных руд необходим тонкий помол (при классах $0,2-0,02$ мм) для раскрытия зерен целестника и его извлечения при обогашении шихты; из классов $d \leq 0,02$ мм целестин не извлекается, из них образуются шлаки, который уходит в хвосты; 4) отделяемые доломиты можно использовать для рентабельного производства огнеупорных материалов, стекла и флюсов в металлургии.

Исследованием установлено, что при открытых отработках многих месторождений (например: вольфрамо - молибденовых цветных и черных металлов, серных, фосфоритовых т.д.) дополнительная прибыль от производства попутных продуктов (в основном строительных материалов) настолько велика, что она быстро (за 3-4 года) окупает все затраты на строительство различных антропогенных систем (в том числе предприятий стройиндустрии и защитных сооружений), необходимых для безотходного использования природно-промышленных ресурсов и охраны окружающей среды. Применение радиометрических систем позволяет эффективно внедрить селективные способы отработки и переработки рудных масс с автоматическим управлением их качеством до оптимальных уровней, обеспечивая высокую рентабельность полученных из них товарных продуктов и для месторождений полезных ископаемых. Которые при традиционных технологиях являются нерентабельными (таблица, в которой приведены расчеты для месторождений целестиновых руд Дагестана и Туркмении при их открытой отработке).

Вышеприведённые радиометрические системы являются обоснованием для разработки геоинформационных технологий, все лучевые характеристики которых автоматически фиксируются регистрирующими устройствами, а затем вводят в компьютеры. Компьютерами выполняется управление производственными процессами в соответствии с программой в СЦ.

Кроме того, предложенные высокие ГИС-технологии позволяют автоматически определять полную совокупность ингредиентов о качественном состоянии всех видов антропогенных систем (в том числе подземных

и защитных) ТПК и возникающих в них разрушительных процессах под влиянием сложных природно-климатических условий и физического износа.

Лишь на основе таких информационных систем можно прогнозировать крупные разрушительные процессы, оперативно и своевременно выполнять различные ремонты, защитные и природоохранные мероприятия объектов и территорий антропогенных систем.

При таких высоких технологиях значительно сокращаются (до 70 %) затраты на вспомогательные процессы (повышение качества отходов, грунтов и почв по ТПК, оценку качества всех антропогенных объектов и сооружений, позволяющих современно выполнять работы для их восстановления), что обеспечивает высокую экономическую эффективность промышленных зон городских территорий. Кроме того, высокая рентабельность ТПК позволяет эффективно решить весь комплекс социально-экономических вопросов (в том числе коммунальные, соцобеспечения и т.д.) по городским поселениям и территориям.

Радиометрические высокие технологии позволяют резко сократить загрязнение окружающей среды и площадей плодородных земель (за счет использования отходов для производства из них попутных продуктов), а также эффективно выполнять рекультивацию нарушенных горными породами, процессами природных эрозий и оврагообразования как составную часть высоких технологий ТПК с автоматическим отделением из грунтов и почва различных вредных примесей и фитотоксичных элементов. Эти технологии обеспечивают перевод горноперерабатывающих ТПК из первой категории (по количеству выделяемых вредных компонентов) во вторую (при которой количество вредных примесей не превышает установленные нормы). Высокие вышеприведенные ГИС-технологии по величинам радио- и электромагнитных волн также относятся ко второй категории, т.е. эти технологии являются экологически чистыми при условии оборудования радиометрических системами всех стадий и процессов горноперерабатывающих ТПК и городских территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комплексное освоение месторождений твёрдых полезных ископаемых/* Под ред. А.К. Трубецкого. - Вып.2-М.: Недра, 1994. - 412 с.
2. *Мокроусов В.А.* Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд.-М.: Недра, 1979.-218с.
3. *Трунов И.Т.* Системы и критерии рационального использования минеральных

ресурсов. Журнал «Маркшейдерские вести». - М. 2006 №3

4. *Трунов И.Т.* Обоснование систем автоматической оценки качества изделий и строительных конструкций. В межвузовском сборнике «Электрооборудование в строительстве и на транспорте». Ростов н/Д. 2002. **ИДAS**

Коротко об авторе

Трунов И.Т. – доктор технических наук, профессор, Ростовский государственный строительный университет и ЮРТУ-НПИ.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин*.

