

Погосян Аркадий Тигранович

**Разработка рациональной технико-экономической структуры
переработки электронного лома**

Специальность 05.13.01

«Системный анализ, управление и обработка информации (металлургия)»

Специальность 05.16.02

«Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов»

на кафедрах:

Автоматизированных систем управления

Металлургии цветных, редких и благородных металлов

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор
Стрижко Леонид Семёнович

кандидат технических наук, доцент
Калашников Евгений Александрович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Рожков Игорь Михайлович

кандидат технических наук
Чантурия Алексей Валентинович

Ведущая организация:

ФГУП «Московский завод по обработке
специальных сплавов»

Защита диссертации состоится «23» мая 2007 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.132.07 при ФГОУ ВПО «Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.4., Б-436.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке «Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов»

Автореферат разослан «19» апреля 2007 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

к.т.н., доц. Калашников Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Введение

Актуальность работы. Во всем мире дорожают добыча руд и получение из них цветных металлов, особенно благородных, в частности золота и серебра. К основным причинам этой тенденции относятся следующие:

- уменьшение запасов руд цветных и благородных металлов, увеличение затрат на добычу и производство этих металлов;
- расширение национальных и международных усилий по стабилизации и контролю цен на сырьевые ресурсы;
- необходимость обходиться собственными источниками сырья, особенно стратегическими;
- выполнение международных и государственных требований по охране окружающей среды, в связи с чем удаление и захоронение отходов становятся все более затруднительными;
- быстрое увеличение цен на источники сырья и энергии, что делает рецикл отработанных продуктов и оборудования более эффективным, чем использование первичного сырья.

Особая роль благородных металлов обусловлена также их высокой ценой и влиянием на финансовую систему и внешние экономические связи. Использование вторичного металлосодержащего сырья в современном мировом производстве металлов быстро и неуклонно растет. В ряде промышленно развитых стран производство вторичных металлов составляет 30-40 % от общего объема первичного производства.

Суммарная масса электронного лома в России приближается к 1 млн.т. Переход к рыночной экономике привел к остановке и ликвидации тысяч нерентабельных производств и образованию на их месте многих сотен тысяч тонн металлолома. Образовавшиеся отходы, с одной стороны, наносят огромный вред окружающей среде, с другой — представляют собой ценнейшие ресурсы, по содержанию полезных компонентов в сотни и тысячи раз превосходящие природные источники. Все это создает предпосылки для развития в России крупномасштабного производства вторичных металлов, для создания новой отрасли металлургической промышленности.

В последнее время стало известно, что извлечение только драгоценных металлов из-за их низкого содержания в ломе невыгодно. Поэтому одна из основных целей, преследуемой при переработке многокомпонентного лома, - извлечение из него меди, олова, свинца, никеля и др.

Таким образом, на данном этапе решения заданной проблемы стоит необходимость разработки оптимальной структуры переработки золотосодержащих отходов с минимальной себестоимостью затрат на переработку. Решение поставленной задачи предполагает достаточную

сложность, поэтому для быстрого поиска оптимального решения необходима разработка и внедрение программного комплекса.

Цель работы. Целью работы является разработка оптимальной технологической, технической и экономической структуры переработки золотосодержащего электронного лома с целью получения минимальной себестоимости, а также программного обеспечения для решения задач выбора схем управления процессом в условиях острой конкуренции на рынке производства драгоценных металлов.

Задачи исследования

- Провести исследование существующих видов вторичного золотосодержащего сырья, предложить классификацию исходного сырья;
- Выбрать и разработать новые технологии переработки электронного лома с учётом опыта России и зарубежных стран;
- Построить и исследовать матрицы полученных значений себестоимости переработки исходных составов по предложенным технологиям;
- Исследовать закономерности поведения значений себестоимости в зависимости от характеристик перерабатываемого сырья;
- Разработать единый алгоритм расчёта значений себестоимости получаемого золота и его программная реализация;
- Создать на основе найденных критериев математическую модель выбора оптимального плана переработки электронного лома;
- Разработать общий алгоритм анализа возможностей внедрения предлагаемых технологий.

Методы исследования.

В работе использованы стандартные методы химического, минералогического и ситового анализа. Для проведения эксперимента использованы заводское оборудование, обжиговые плавильные печи, магнитные и электросепараторы и др. Для решения поставленных задач были использованы методы математического и линейного программирования. Основные положения теории двойственности.

Научная новизна состоит в следующем:

- на основе проведённого анализа существующих видов вторичного золотосодержащего сырья и технологий (российских и зарубежных) предложена его новая классификация;
- разработаны, опробованы и предложены новые технологические схемы переработки электронного лома;
- на основе разработанной блочной структуры представления предлагаемых технологий проанализированы закономерности и тенденции изменения себестоимости получаемого золота;
- разработан единый (общий) программно-алгоритмический комплекс расчёта значений себестоимости получаемого золота в системе «Состав-Схема»;

- построена и программно реализована математическая модель выбора оптимальной технологии переработки различного электронного лома;
- на основе построенной математической модели выбора оптимальной технологии переработки электронного лома предложен алгоритм анализа последствий внедрения решений.

Практическая значимость. Разработаны и проверены в промышленном масштабе новые схемы переработки электронного лома по предложенным классификациям составов. Разработано программное обеспечение для решения задачи о поиске минимального значения себестоимости производства 1 кг золота при переработке некоторых видов золотосодержащего сырья по нескольким видам технологий для ОАО «ЩЗ ВДМ».

Апробация результатов. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- 60-я научная конференция студентов МИСиС (Москва, 2005 г.)
- 9-я международная научно-техническая конференция (п.Канака, АР Крым, 2006 г.)

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 2 печатных работах и 2 тезисов докладов.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, основное содержание работы в четырёх главах, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём работы составляет 154 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности выбранной темы, формулировка цели и направления исследований, содержание поставленных задач.

В первой главе представлен аналитический обзор российских и зарубежных литературных источников. Рассматриваются вопросы существующей классификации вторичного золотосодержащего сырья, дан обзор методов переработки этого сырья в крупных металлургических предприятиях мира. Также даётся описание математических методов решения задач планирования производства.

Основными поставщиками золотосодержащих материалов являются оборонная, приборостроительная и электронная отрасли промышленности цветной металлургии. Все сырье условно можно разделить на несколько видов:

- золотосодержащие сплавы (50-60 % Au);
- выбракованные детали электронной и электротехнической промышленности (от 0,01 до 20 % Au). В этих деталях золото присутствует в виде тонкого поверхностного слоя на металлической, пластмассовой, керамической или смешанной (металлокерамика) основе;

- порошкообразные «сыпучие» отходы: зола фарфоровых производств (25-35 % Au), шламы золотого электролиза (15-25 % Au), отходы шлифовально-полированных отделений ювелирных производств (5-10 % Au).

Одинаковые виды отходов могут образоваться на различных предприятиях и в разных количествах, причем масса отходов, поступающих с различных предприятий-поставщиков, может колебаться от нескольких граммов до нескольких тонн.

Повышение мирового спроса на драгоценные металлы в различных областях промышленности способствует формированию значительных запасов вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы. Использование вторичных ресурсов в мировой экономике с 1995 г. неуклонно растет. Данные о производстве драгоценных металлов из вторичного сырья в странах Запада в 1992-2005 годах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Производство драгоценных металлов из вторичного сырья в странах Запада

Годы	Производство золота		Производство серебра		Производство платины	
	в тоннах	годовой рост, %	в тоннах	годовой рост, %	в тоннах	годовой рост, %
1993	532		4102		8,6	
1995	583	9,6	4379	6,7	10,4	20,9
2000	622	6,7	5268	20,3	16,2	55,8
2005	743	19,4	7581	43,9	32,9	103,1

Известны четыре основных способа переработки электронного лома: механический, гидрометаллургический, механический в сочетании с гидрометаллургической переработкой концентрата, обжиг с последующей плавкой. При этом известны технологии переработки как смешанного лома, так и его отдельных узлов (например, печатных плат) и элементов (например, полупроводниковых приборов).

По принятой в России технологии вторичное сырьё, содержащее драгоценные металлы, подвергают пирометаллургической переработке с целью перевода благородных металлов в единую химическую формулу и гомогенизации неоднородного материала в объёме макрокомпонента. В качестве макрокомпонента используют на отечественных предприятиях медь или свинец. Отечественная технология переработке вторичного сырья, содержащего благородные металлы, основана на переводе последних в сплав с медью и электролитическое растворение анодов с получением обогащённого благородными металлами анодного шлама. Следует отметить, что до последнего времени в России было строго регламентирован состав сырья, поступающего на соответствующие предприятия, что усложняло задачу организации переработки отходов.

Фирма «Schneck» разработала технологию и оборудование для извлечения цветных и благородных металлов из узлов устаревших компьютеров: панелей, печатных плат, соединительных элементов и др.

Лом предварительно измельчают в двухвалковой дробилке и с помощью системы транспортно-погрузочных устройств подают в магнитный сепаратор для выделения железа. Затем обезжелезенный материал направляют в шнек для охлаждения жидким азотом с целью увеличения хрупкости материала и улучшения измельчения в ударно-молотковой дробилке и подают в воздушный сепаратор. Линия рассчитана на переработку 250 кг/ч лома. Общее потребление мощности 200 кВт, расход азота 0,5-1,522 куб. м на 1 кг лома. Данную технологию можно использовать при переработке лома кабеля с медной жилой для извлечения меди.

Технология «Valmet» предусматривает отделение электронных схем и элементов от механических узлов и стальных деталей. Разделение цветных и благородных металлов осуществляют при последующем применении гидрометаллургических методов и получении продуктов с содержанием благородных металлов более 50 %.

В связи с многообразием видов вторичного сырья, содержащего благородные металлы, и различных технологий, представляет интерес решение задачи определения оптимального сочетания сырья и технологии с целью достижения минимальных суммарных затрат на получения золота, при этом запасы сырья ограничены. Кроме нахождения решения всякий раз, когда это возможно, должно быть обеспечено также получение дополнительной информации о возможных изменениях решения при изменении параметров системы. Эту часть исследования называют анализом модели на чувствительность.

Наибольшая ценность исследований при этом достигается через применение механизма двойственных оценок, так как постоптимальный анализ, строящийся на их использовании, позволяет сделать важные выводы и обобщения по оценке устойчивости получаемых оптимальных планов. Поставленная задача предполагает очень большой объём переработки исходных данных, а также анализ результатов исследования. Поэтому необходима математическая обработка задачи и её автоматизированная интерпретация.

Во второй главе приведены результаты анализа и выбора технологий переработки электронного лома. Была проанализирована структура сырья, поступающего на ОАО «Щёлковский завод вторичных драгоценных металлов».

В настоящее время для производства вторичного металла (в данном случае – золото марки ЗлА-999,99) всё больше используется комплексный металлолом. В связи со сложностью переработки многокомпонентного лома и с целью понижения себестоимости единицы продукции (1 кг золота) назрела необходимость разработки рациональной структуры переработки электронного лома, позволяющей наряду с основным металлом (золото) извлекать и другие металлы, содержащиеся в ломе.

Поставленная задача поиска структуры предполагает классификацию исходного перерабатываемого сырья (составы) и разработку схем (технологий) переработки электронного лома. Под структурой переработки мы подразумеваем выгодное сочетание качества сырья, передовой технологии и низкой себестоимости полученного килограмма золота. Анализ вещественного состава электронного лома даёт основание отнести его к классу неоднородного полиметаллического сырья, содержащего следующие элементы: золото, серебро, платину, родий, рутений, медь, никель, кобальт, алюминий, титан, олово, свинец, цинк и др. В определённой степени технический уровень переработки вторичного сырья, содержащего благородные металлы, а также полнота его учёта и сбора связаны с проблемой классификации этого сырья. Наряду с благородными металлами и многими цветными в ломе и отходах электронной техники присутствуют включения: железа, алюминия, меди, неметаллические составляющие (керамика, резина, стекло, пластик) и другие.

Нами была проанализирована структура сырья, поступающего на ОАО «Щёлковский завод вторичных драгоценных металлов» с 1990 по 2004 гг. и на основе проведённого анализа выделено 6 типов наиболее часто перерабатываемого сырья:

1. транзисторные стеклянные изоляторы – содержание золота $\approx 1,00$ % (состав № 6);
2. печатные платы – содержание золота $\approx 0,27$ % (состав № 2);
3. ЭВМ типа IBM – содержание золота $\approx 0,31$ % (состав № 4);
4. элементы с функциями переключения – содержание золота $\approx 0,01$ % (состав № 5);
5. обобщённый компонентный состав смешанного лома электронных приборов – содержание золота $\approx 0,02$ % (состав № 3);
6. лом электронных систем самолётов и танков (особенно танка модификации Т-72) – содержание золота $\approx 0,08$ % (состав № 1).

Основные элементы: Au, Ag, Cu, Al, Fe, Ni, Pb, Sn, МПГ (металлы платиновой группы) (табл.2).

В сырьё №1 - транзисторные стеклянные изоляторы - наиболее высокий процент содержания золота из предложенных составов – он составляет 1,00 %. Соответственно это сырьё очень выгодно перерабатывать, получая больше конечного продукта (чистое золото), тогда как перерабатывая сырьё с низким содержанием золота, необходимо N циклов, чтобы достичь результата 1N по богатому сырью. Однако здесь достаточно низкое содержание серебра (0,2 %), что делает нерентабельным переработку серебросодержащего сырья. Самое высокое содержание по алюминию у данного сырья и составляет 32,78 %, где появляется возможность попутно выделить этот металл на стадиях подготовки. Никель составляет 1,25 % и содержание в каждом сырьё его одинаково, он выделяется также на стадиях подготовки. Низкое содержание свинца соответствует значению 0,96 % и при таком значении вопрос о переработке свинца зависит от производственных возможностей предприятия. К низкому содержанию относится содержание

олова – 1,25 %. По содержанию металлов платиновой группы в этом сырье среднее и составляет 0,11 %.

В сырье №2 – печатные платы - необходимо обратить внимание на высокое содержание никеля – 3,25 % - в процессе стадии подготовки и обогащения с целью его выделения для продажи. Также высоко содержание серебра – 2,50 % - соответственно является рентабельным аффинаж серебра как получение дополнительного драгоценного металла при получении золота. По содержанию меди – 23,04 % - данное сырьё занимает второе место после сырья элементов с функциями переключения. Содержание железа составляет 12,30 % и является достаточно высоким для его извлечения, занимая третье место по содержанию после изоляторов и элементов с функциями переключения. Содержание золота высокое и составляет 0,27 %.

Сырьё №3 - ЭВМ типа IBM - обладает достаточно высоким содержанием золота – 0,31 %. Содержание по серебру достигает максимального значения среди шести видов сырья и составляет 2,89 %, что является более выгодным с точки зрения производства серебра. Свинца и олова содержится настолько мало – соответственно 0,85 % и 1,23 %, что нет смысла их выделения на стадии подготовки.

Сырьё с элементами с функциями переключения и обобщённый компонентный состав смешанного лома электронных приборов одинаковы почти по всем элементам, однако по таким элементам как медь, железо они существенно отличаются. Процентная разница по этим элементам составляет: по меди: примерно 12 %; по железу – 25 %, что влияет на массу поступающего материала на стадию плавки после подготовки. Содержание золота в этих составах крайне низко (0,01-0,02%), а содержание меди и железа в сырье элементов с функциями переключения очень высоко (33% и 35,26% соответственно), соответственно при таком положении в технологиях уделяется большое внимание переработки меди и выделения железа на стадии подготовки.

В сырье №6 - лом электронных систем самолётов и танков - стоит отметить очень высокое содержание олова – 12,41 %, что перестраивает всю технологию на получения этого металла. Содержание золота низкое - 0,08 %, поэтому следует обратить внимание на получение попутных цветных металлов. Низкое содержание железа – 7,15 % - делает получение попутно этого металла не выгодным.

Извлечение только драгоценных металлов из-за их низкого содержания в ломе невыгодно. Поэтому одна из основных целей, преследуемой при переработке многокомпонентного лома, - извлечение из него Cu (олова, свинца, никеля). Извлечение меди и серебра – занимают второе место по важности целей производства после золота. Из последних исследований удалось выявить наиболее ясную картину классификации электронного лома как в России, так и наиболее передовых странах в смысле развития металлургического производства. Таблица представляет, как уже было сказано, 6 составов с определёнными элементами.

Таблица 2 - Предлагаемая классификация электронного лома.

Состав Элементы, масс. дол., %	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Состав №5	Состав №6
1	2	3	4	5	6	7
Au	0,08	0,27	0,02	0,31	0,01	1,00
Ag	0,43	2,50	0,18	2,89	0,20	0,20
Cu	21,11	23,04	18,60	12,00	33,00	1,31
Al	15,20	15,40	14,60	17,61	13,70	32,78
Fe	7,15	12,30	10,20	7,45	35,26	22,50
Ni	2,14	3,25	2,85	2,20	1,05	1,25
Pb	3,15	2,80	2,25	0,85	3,97	0,96
Sn	12,41	1,40	4,70	1,23	4,00	1,25
МПГ	0,70	0,90	0,02	0,15	0,00	0,11
Прочие	37,63	38,14	46,58	55,31	8,81	38,64

Для переработки вторичного сырья в литературе описано довольно много различных технологий. Проанализировав наиболее известные технологии, принятые в странах Западной Европы – Германии, Франции, Швеции, Швейцарии, нами были разработаны девять типовых (потенциальных для отечественной промышленности) схем переработки электронного лома. Электролиз применяется в 3, 4, 5, 6 и 7 схемах. В остальных схемах (№ 1, 2, 8 и 9) технологический процесс осуществляется без электролиза, посредством растворения

Проанализировав существующие технологии, мы предлагаем классифицировать по следующим видам, которые учитывают состав сырья и методы его переработки. Схемы составлены в обобщённом виде и учитывают только основные металлургические операции. Вспомогательные операции: очистка сточных вод, газов и другие – не влияют существенно на себестоимость получения золота

Технология №1 – схема переработки электронного лома с применением воздушной и магнитной сепарацией - включает в себя двукратное измельчение лома в молотковой дробилке, воздушную сепарацию, магнитную сепарацию в слабом поле (выделение железа) и в сильном поле (выделение латуни), грохочение, сепарацию в виде вихревых токов и магнитодинамическую сепарацию. Ферромагнитные металлы выделяются с помощью сепаратора, лёгкая фракция – с

помощью воздушной сепарации, а дальнейшая обработка немагнитной фракции с помощью вихревых токов позволяет выделить неметаллы и металлы. Продукты передела:

- 8-10% от всей массы лома – лёгкая фракция с незначительным количеством меди и благородных металлов;
- 12-25% - ферромагнитные материалы с преобладанием железа;
- 15-25% - концентрат меди и благородных металлов, в которых содержится золота до 1,3 кг/т, серебра – 15,8 кг/т;
- 7-20% - тяжёлые металлы;
- 1-5% - концентрат латуни;
- 1-5% - высокосортный концентрат алюминия.

В процессе механической переработки получают следующие фракции: фракцию на основе чёрных металлов, алюминиевую смешанную металлическую фракцию, концентраты с высоким и низким содержанием благородных металлов, лёгкую и проволочную. Далее следует извлечение золота из гранул, богатых по золоту, через плавку на медный коллектор, получение золота в слитках после первого осаждения и фильтрации, а также осадка после второго осаждения и фильтрации для повторного сброса вместе с царской водкой на стадию растворения гранул. Технология предусматривает получение серебра в слитках через аффинаж серебра после стадии растворения гранул и фильтрации.

По технологии №2 – схема переработки электронного лома с применением криогенного охлаждения - исходное сырьё, содержащее благородные металлы, обжигают или охлаждают после чего его дробят и классифицируют на ситах в диапазоне крупностей 0,2-5,0 мм. Из подрешётного продукта методом гравитационной сепарации выделяют тяжёлую фракцию, содержащую благородные металлы, а надрешётный продукт подвергают магнитной сепарации. Из магнитной фракции продукта механическим способом выделяют концентрат благородных металлов. Из немагнитной фракции и тяжёлой фракции, полученной при гравитационной сепарации, также получают некоторое количество благородных металлов путём их химической обработки и удаления цветных металлов и примесей. Для получения высококачественного концентрата с содержанием благородных металлов не ниже 95 % дополнительно проводят выщелачивание концентратов в неорганической кислоте. Далее следует растворение в азотной кислоте, фильтрация с получением золотосодержащего осадка и раствора, направляемого на электролиз серебра. Затем золотосодержащий осадок направляется на царско-водочное растворение с последующим получением золотосодержащего раствора. Золотосодержащий раствор направляется на первое осаждение и фильтрацию для получения золота в слитках, а раствор, полученный после фильтрации, направляется на второе осаждение и фильтрацию для получения золотосодержащего осадка. Полученный осадок направляется на повторное царско-водочное растворение для получения золота.

Технология №3 – схема переработки электронного лома с применением криогенного охлаждения с воздушной сепарацией - предусматривает криогенное охлаждение, несколько циклов измельчения, воздушной и магнитной сепарации. В качестве измельчителей в начальных стадиях используют молотковые дробилки, а в последующих стадиях для измельчения ковких материалов – роторные измельчители-грануляторы. Для сепарации практически всех видов получаемых продуктов (металлов и неметаллов) применяют виброгрохоты с воздушным псевдосжижением и концентрационные столы, также в режиме воздушного псевдосжижения. Отработанная тепловая энергия может использоваться повторно, например для отопления квартир. Выплавленный металл состоит в основном из меди с примесями благородных металлов. В последующем из него электролитическими методами выделяют сначала медь, затем золото, серебро, платину и палладий. Далее следует извлечение меди и шлаков из медного коллектора. Медь поступает на рафинирование с дальнейшим получением шлама благородных металлов и чистой меди на реализацию. Шлам благородных металлов направляется на растворение в азотной кислоте в соответствии со схемой переработки электронного лома с применением криогенного охлаждения.

Технология №4 – схема переработки электронного лома с воздушно-магнитной сепарацией и последующим обжигом - достаточно многооперационная и включает следующие операции: двухстадийное дробление, воздушная сепарация с получением пластика для реализации, электростатическая сепарация, магнитная сепарация с получением магнитной фракции для реализации комбинату «Североникелю». После обжига обожженный материал плавят, а шлак после плавки идёт на реализацию на Кировоградский медеплавильный комбинат. Далее следует растворение в азотной кислоте, фильтрация с получением золотосодержащего осадка и раствора, направляемого на электролиз серебра. Последующие операции аналогичны схеме №2.

Технология №5 – схема переработки электронного лома с применением магнитной и электростатической сепарацией с последующей плавкой на медный коллектор - ориентирована, главным образом, на переработку отдельных типов лома (печатных плат, электронно-вакуумных приборов, блоков ПТК в телевизорах и др.). Переработка печатных плат и их ценность как вторичного сырья определяется значительным содержанием в них меди, оловянно-свинцового припоя и благородных металлов, в основном серебра. В работе разработана технология выделения металлов из печатных плат с применением электростатической сепарации. Предварительно лом дробится на ножевой дробилке и конусной инерционной дробилке. Процесс электросепарации осуществляется для фракции 1-2 мм. По плотности материал платы с большой степенью достоверности делится на две фракции: смесь металлов и неметаллов (+1,25 мм) и неметаллы (-1,25 мм). В свою очередь из фракции неметаллов при дополнительной сепарации на гравитационном сепараторе может быть выделена металлическая фракция и тем самым

достигнута высокая степень концентрации получаемых материалов. Часть (80,26%) оставшегося материала +1,25 мм может быть подвергнута повторному дроблению до крупности -1,25 мм с последующим выделением из него металлов и неметаллов. Далее следует плавка на медный коллектор. Выплавленный металл состоит в основном из меди с примесями благородных металлов. В последующем из него электролитическими методами выделяют сначала медь, затем серебро, золото, платину и палладий. Далее следуют операции аналогичные схеме №3.

Технология №6 – схема переработки электронного лома с применением криогенного охлаждения и магнитной сепарации - ориентирована на переработку в основном такого сырья как БРЭА (брак радиоэлектронной аппаратуры). Сначала следует ручная механическая дифференцированная разборка крупногабаритной техники. Далее сырьё переводят в разлагающуюся форму путём криогенного охлаждения, после чего его дробят. Полученные продукты проходят стадию пневмосепарации с выделением неметаллов и металлов, после чего отделяют чёрные металлы на стадии магнитной сепарации в слабом магнитном поле. Проходя стадии магнитной сепарации в сильном магнитном поле, получают цветные металлы с железными приделками и материал, идущий на МГС-сепарацию с получением тяжёлых цветных металлов, концентрат, идущий на реализацию комбинату «Североникель» неметаллы. Далее следует плавка на медный коллектор. Выплавленный металл состоит в основном из меди с примесями благородных металлов. Медь направляется на рафинирование с последующим получением шлама благородных металлов и черновой меди по схеме, аналогичной схеме №3.

В технологии №7 – схема переработки электронного лома с применением обжига, плавки на медный коллектор –, и технологии №8 – схема переработки электронного лома с применением обжига, плавки на медный коллектор и прокали остатка - исходное сырьё измельчают, проходит стадию обжига и плавки на медный коллектор, описанную в других схемах. Далее предлагается внедрить операции извлечения золота из гранул, богатых по золоту, после чего после стадии фильтрации золотосодержащий раствор идёт на операции осаждения №1 и №2. Технология № 8 отличается от технологии № 7 тем, что после операций растворения гранул и фильтрации предлагается вставить стадии прокали остатка, растворения остатка и фильтрации с добавлением раствора царской водки, раствора $\text{CO}(\text{NH}_2)$ и извлечения золота из раствора.

Технология №9 – схема переработки электронного лома с применением кислотно-солевого метода извлечения благородных металлов - предполагает переработку такого сырья как, например, изоляторы с применением оловянного покрытия или без оловянного покрытия. Способ сводится к растворению лома в растворе из смеси серной, азотной и соляной кислот. В результате растворения получают концентрат. Степень извлечения металлов составляет 99%. Серебро отделяется от стекла в виде хлопьев и выделяется затем из раствора методами сепарации.

Нетрудно заметить, что в предлагаемых схемах есть общие операции и можно выделить отдельные структурные блоки, которые повторяются в нескольких схемах.

В третьей главе на основе разработанных и проверенных в промышленном масштабе технологий и классификации сырья рассчитаны значения себестоимости переработки золотосодержащего сырья и составлена матрица расчёта себестоимости. Разработан программно-алгоритмический комплекс расчёта значений себестоимости для ОАО «ЩЗ ВДМ». Проведён анализ и показаны тенденции изменения себестоимости, а также возможность их оптимизации. Представлена матрица оценок значений себестоимости золота при переработке 6-ти составов по 9-ти технологиям (табл.3).

Таблица 3 - Матрица оценок значений себестоимости 1 кг золота при переработке 6-ти составов по 9-ти технологиям

Схемы \ Состав с содержанием массовой доли золота	Состав №5 (0,01 % Au), тыс. руб.	Состав №3 (0,02 % Au), тыс. руб.	Состав №1 (0,08 % Au), тыс. руб.	Состав №2 (0,27 % Au), тыс. руб.	Состав №4 (0,31 % Au), тыс. руб.	Состав №6 (1,00 % Au), тыс. руб.
Схема №9	374 + X*	264 + X	242 + X	220 + X	202 + X	169 + X
Схема №1	124 + X	98 + X	77 + X	74 + X	69 + X	65 + X
Схема №2	53 + X	64 + X	55 + X	50 + X	85 + X	70 + X
Схема №5	54 + X	63 + X	52 + X	51 + X	84 + X	72 + X
Схема №8	288 + X	263 + X	246 + X	223 + X	236 + X	224 + X
Схема №3	97 + X	56 + X	47 + X	50 + X	40 + X	94 + X
Схема №6	98 + X	88 + X	148 + X	72 + X	91 + X	75 + X
Схема №7	248 + X	241 + X	239 + X	236 + X	234 + X	222 + X
Схема №4	191 + X	178 + X	188 + X	175 + X	201 + X	204 + X

*Данные значения себестоимости состоят из двух составляющих: конкретного числа (условно-переменные расходы) и константы «X», которое означает условно-постоянные расходы (например, поправка: рост цен тр.унииции золота на лондонской бирже цветных металлов во времени, изменение налоговых ставок и др.)

Стоит отметить, что существующие на практике значения себестоимости 1 кг золота могут не совпасть с выше выведенными и могут показаться или слишком заниженными или слишком завышенными. Однако невозможно точно соблюдать условия как по исходному сырью, так и по альтернативным технологиям, но максимально стремиться к оптимизированному по указанным критериям необходимо, чтобы снижать важный экономический показатель – себестоимость 1 кг золота. Из полученных результатов расчёта себестоимости производства 1 кг золота марки Зла-999.9 видно как максимальные, так и минимальные значения. Однако этого недостаточно для понимания всей картины исследования. Поэтому представим полученные результаты в графическом виде по всем составам и схемам. Как видно из графиков с повышением содержания исходного состава в исходном сырье себестоимость производства 1 кг золота марки Зла-999.9 по

одним схемам имеет тенденцию к снижению, другие – к повышению. Соответственно, если на предприятие поступили составы №№1-6 и имеются возможности переработки по 9-ти схемам, то можно выбрать технологии, где наименьшее значение себестоимости. Но это относится только к отдельному составу и отдельной схеме, что и показывает график. Существенное в этой матрице то, что данные значения рассматриваются с точки зрения относительности этих значений.

Поэтому, чтобы наиболее правильно выбрать соотношение «состав-схема», необходимо вывести области решений как по максимальному, так и по минимальному значениям, «наложить» все области решений по всем составам и схемам (рис. 1). Условимся, что:

ордината 1 – состав с содержанием золота 0,01 %; ордината 2 – состав с содержанием золота 0,02 %; ордината 3 – состав с содержанием золота 0,08 %; ордината 4 – состав с содержанием золота 0,27 %; ордината 5 – состав с содержанием золота 0,31 %; ордината 6 – состав с содержанием золота 1,00 %.

Наибольшая неопределённость приходится на технологии 4,5,6. Стоит отметить, что результат анализа приводит к тому, что разброс значений себестоимости золота совпадает с порядковыми числами от 1 до 9, но это чистая случайность. На данном этапе удалось вывести тенденцию поведения (переход от одного значения к следующему) всех значений себестоимости. Это означает следующее: если на предприятие поступает сырьё с определённым содержанием золота и перерабатывается по определённой технологии, то по проведённым исследованиям можно установить значение себестоимости. По минимальным значениям себестоимости со схемами 1,2,3 эти значения имеют тенденцию увеличения себестоимости с увеличением содержания золота в исходном сырье, т.е. можно заключить, что: значения минимума схем 1,2,3 имеют тенденцию сведения к максимуму (рис. 2). Из данных графиков видна возможность выбора минимальной себестоимости. Однако нет ясности по тому вопросу, какая схема реализует данную минимальную или максимальную себестоимость. Поэтому необходим третий этап (таблица 4) поиска значений с указанием конкретной технологии. Значения себестоимости распределяются следующим образом: все минимальные значения приходятся на технологии 1,2,3; максимальные значения – на технологии 7,8,9. Что касается значений максимума схем 7,8,9, то здесь прослеживается тенденция уменьшения значений себестоимости по мере роста содержания в исходном сырье, что подтверждает нижеприведённый график (рис. 3).

Результирующее поведение минимального значения себестоимости приводит к следующему: для получения золота с низкой себестоимостью необходимо перерабатывать сырьё по технологиям №№ 1,2,3; при переработке сырья по технологиям №№ 4,5,6 себестоимость увеличится; высокие значения себестоимости относительно выше рассчитанных достигаются при переработке по технологиям №№ 7,8,9.

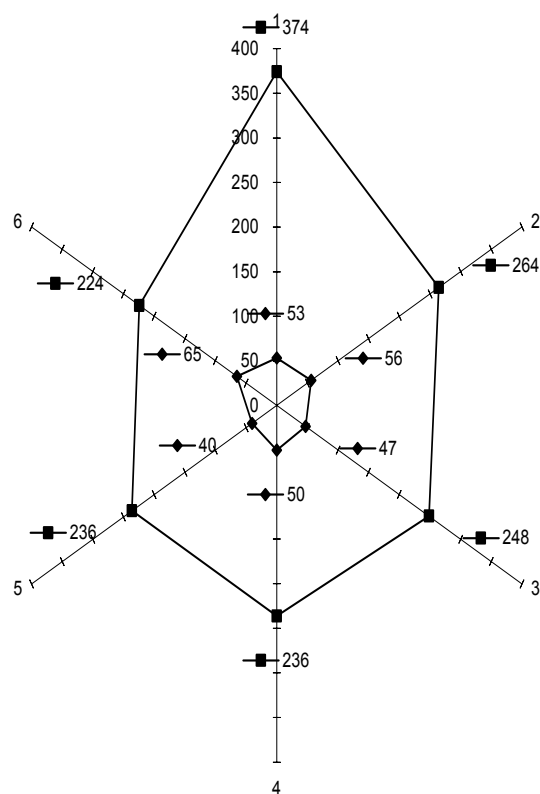


Рисунок 1 - Границы значений себестоимости золота по максимуму и минимуму, тыс. руб.

◆ Минимальные значения ■ Максимальные значения



Рисунок 2 - зависимость между минимальным значением себестоимости и содержанием золота в исходном сырье

Таблица 4 - Тенденции изменения себестоимости при переработке 6-ти составов по 9-ти технологиям по максимальным и минимальным значениям.

Критерий оптимума	Табельные номера	1 (0,01 % Au)	2 (0,02 % Au)	3 (0,08 % Au)	4 (0,27 % Au)	5 (0,31 % Au)	6 (1,00 % Au)
МИН	значение себестоимости производства 1 кг ЗЛА-999.9, тыс.руб.	53	56	47	50	40	65
	Номер схемы	Сх-2	Сх-3				Сх-1
	Состояние перехода от одного значения с/б 1 кг ЗЛА- 999.9 к следующему	<div><div>↑</div><div>↓</div><div>↑</div><div>↓</div><div>↑</div></div>					
МАХ	значение себестоимости производства 1 кг ЗЛА-999.9, тыс.руб.	374	264	248	236	236	224
	Номер схемы	Сх-9		Сх-8	Сх-7	Сх-8	
	состояние перехода от одного значения с/б 1 кг ЗЛА- 999.9 к следующему	<div><div>↓</div><div>↓</div><div>↓</div><div><div>=</div><div>↓</div></div><div>↓</div></div>					

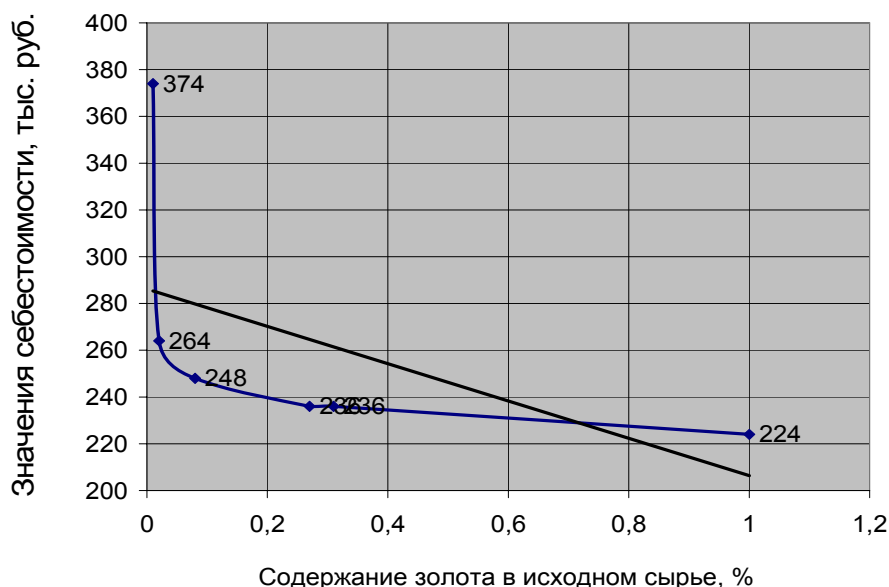


Рисунок 3 - зависимость между максимальным значением себестоимости и содержанием золота в исходном сырье

Выводы:

1. рассчитаны значения себестоимости производства 1 кг золота марки ЗлА-999.9 каждого состава по каждой схеме;
2. выявлено поведение значений себестоимости производства золота марки ЗлА-999.9 при переработки каждого состава и каждой схемы в отдельности;
3. найдены области изменений по максимальному и минимальному значений себестоимости;
4. установлены минимальные значения себестоимости при переработке по технологиям №№ 1,2,3..
5. выявлены тенденции поведения значений себестоимости по мере роста содержания золота в исходном сырье.

Так как выведенные результаты исследования относятся только до данного исследования, необходим расчёт с учётом множества поправок, а для этого необходим комплексная программа быстрого получения данных в условиях острой конкуренции, мгновенного изменения показателя на мировых биржах по торговле золотом (например, Лондонская Биржа Цветных Металлов). Для описания алгоритма расчета количества основных материалов, требующихся для получения 1 кг золота, введем условные обозначения процентного содержания элементов в электронном ломе (таблица 5).

Таблица 5 – Процентное содержание элементов в электронном ломе

Элементы	Au	Ag	Cu	Al	Fe	Ni	Pb	Sn	МППГ	Прочее
Содержание элементов в электронном ломе, %	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}

Введем следующие обозначения:

a – содержание элемента в электронном ломе, %;

x – количество HCl, необходимое для протекания определенной реакции, кг;

y – количество HNO₃, необходимое для протекания определенной реакции, кг;

z – количество H₂SO₄, необходимое для протекания определенной реакции, кг;

x_1 – количество H₂SO₄ для первого осаждения, кг;

x_2 – количество H₂SO₄ для второго осаждения, кг;

w_1, w_2 , – количество осадителя (FeSO₄) соответственно при I и II осаждении, кг;

$zoloto$ – количество золота, полученного при 1-м осаждении, кг;

b_i – количество элемента, растворяющегося в процессе реакции, %,

$i = 1, \dots, 16$ – номер реакции;

a_j – процентное содержание j -го элемента в электронном ломе;

$j = 1, \dots, 10$ – номер элемента;

S – концентрат благородных металлов; $(100-S)$ – лом черных и цветных металлов, %.

Количество реагента, требующегося для получения 1 кг золота:

m_1 – количество HCl, кг;

m_2 – количество HNO₃, кг;

m_3 – количество H₂SO₄, кг;

m_4 – количество осадителя (FeSO₄), кг.

Процедура расчета необходимого количества реагентов

Общие процедуры были построены на основе выявления типовых блоков в различных схемах переработки.

I. Формирование нового состава сырья

$$a_j^* := k_j \cdot a_j;$$

где a_j^* – новое содержание элемента в сырье, %;

$k_j = 0, \dots, 1$ – коэффициент.

II. Расчёт количества реагентов, необходимых для протекания i -ой реакции

$$b_i = r_j \cdot a_j^{(*)}$$

где r_j - коэффициент растворимости j-го элемента.

$$x = (M_r(HCl) \cdot b_i) / A_r(\text{элемента})$$

$$y = (M_r(HNO_3) \cdot b_i) / A_r(\text{элемента})$$

$$z = (M_r(H_2SO_4) \cdot b_i) / A_r(\text{элемента})$$

$$w_1 = (M_r(Fe_2(SO_4)_3) \cdot x_1 \cdot 0,85) / M_r(HAuCl_4)$$

$$zoloto = (w_1 \cdot M_r(Fe_2(SO_4)_3)) / A_r(Au)$$

$$w_2 = (M_r(Fe_2(SO_4)_3) \cdot x_2 \cdot 1,15) / M_r(HAuCl_4)$$

III. Расчёт количества реагентов, необходимых для получения 1 кг золота

$$m_1 = 1,15 \cdot x / zoloto$$

$$m_2 = 1,15 \cdot y / zoloto$$

$$m_3 = 1,15 \cdot z / zoloto$$

$$m_4 = (w_1 + w_2) / zoloto$$

На основе описанного алгоритма разработано приложение для офисной программы Excel на языке программирования VBA. Внешний вид окна для расчета себестоимости золота показан на рисунке 4.

Рисунок 4 – Окно расчета себестоимости 1 кг золота

Приложение служит для расчета себестоимости 1 кг золота, получаемого из электронного лома различного состава по технологическим схемам различной типологии. В данном окне находятся две вкладки: основные параметры и цены на основные материалы. На вкладке основные параметры осуществляется выбор состава электронного лома и технологической схемы переработки лома. Также вводится процентное содержание золотосодержащего лома (по

умолчанию 50 %) и рассчитывается норма расхода электронного лома (в кг) на 1 кг золота в зависимости от выбранного состава и схемы переработки электронного лома:

Норма расхода лома на 1 кг золота = S / zoloto .

Покупатель платит только 50 % за золото, которое содержится в электронном ломе:

Стоимость лома = $0,5 * \text{Норма расхода (кг)} * \text{Цена (1 кг золота)} * a1$.

Внешний вид вкладки ввода цен на основные материалы показан на рисунке 5.

Цены на основные материалы включают – цену 1 кг соляной, азотной, серной кислоты, осадителя, а также 1 кг золота на текущий момент времени в рублях.

Стоимость основных материалов рассчитывается по формуле:

Стоимость кислоты/осадителя = $m[1,2,3,4] \text{ (кг)} * \text{Цена (1 кг кислоты/осадителя)}$.

С листа «Классификация электронного лома» считываются данные о процентном содержании различных элементов в электронном ломе в зависимости от выбранного состава. Основная и дополнительная заработная плата, единый социальный налог с заработной платы основных и дополнительных рабочих, электроэнергия, материалы на технологические цели, транспортные расходы и затраты по статье расходов «Прочие» считываются с листа «Заработная плата, энергия и др.».

Расчёт себестоимости 1 кг золота

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ 1 кг ЗОЛОТА

Основные параметры | Цены на основные материалы

Цена 1 кг соляной кислоты (HCl) = рублей

Цена 1 кг азотной кислоты (H₂NO₃) = рублей

Цена 1 кг серной кислоты (H₂SO₄) = рублей

Цена 1 кг осадителя (FeSO₄) = рублей

Цена 1 кг золота = рублей

ОТМЕНА | РАССЧИТАТЬ

Результаты расчёта

Количества реагентов, необходимых для получения 1 кг

Соляная кислота (HCl) =

Азотная кислота (H₂NO₃) =

Серная кислота (H₂SO₄) =

Осадитель (FeSO₄) =

Цеховая себестоимость =

Производственная себестоимость =

Полная себестоимость 1 кг золота =

Рисунок 5 – Вкладка ввода цен на основные материала

На основе полученной информации программа рассчитывает количества реагентов, требующихся для получения 1 кг золота, цеховую, производственную и полную себестоимость 1 кг золота.

В четвёртой главе показана актуальность решения задачи выбора оптимальных схем переработки электронного лома. К задачам распределения относится задача о комплексном

использовании сырья. Исходное сырье или материал может перерабатываться различными технологическими способами. В данном случае задача выбора заключается в определении количества видов лома, перерабатываемого по каждой технологии. Требуется найти план переработки, при котором заданные объемы конечной продукции получались бы с наименьшими затратами исходных материалов.

Изучение содержания химических элементов в составах и особенности технологий выявило, что:

а) сырье первого, второго, третьего и пятого составов нельзя перерабатывать по четвертой и девятой схемам из-за большого содержания меди Cu;

б) сырье пятого и шестого составов нельзя перерабатывать по восьмой и девятой схемам из-за большого содержания железа Fe;

в) сырье первого состава нельзя перерабатывать по второй схеме из-за большого количества олова Sn;

г) нежелательно перерабатывать сырье второго и четвертого составов по девятой схеме из-за большого содержания серебра Ag. Применительно к конкретной задаче оптимизации математическая модель соответствует математической постановке данной задачи: на завод поступает m составов сырья, им приписывается индекс i ($i = \overline{1, m}$).

Они ограничены и их количества составят b_i , $i = \overline{1, m}$ соответствующих единиц.

Завод при переработке этих составов электронного лома вынужден ограничиваться имеющимися видами материальных запасов, технологий и другими производственными факторами, в данном случае фондом рабочего времени оборудования (в годах) при переработке составов по j -ой технологии, который обозначим T_j , и производительностью оборудования (т/год) при переработке i -го состава по j -ой технологии, которую обозначим P_{ij} . На заводе используется n технологий, им приписывается индекс j ($j = \overline{1, n}$). Проанализировав особенности данных составов, было выявлено, что не каждый состав можно перерабатывать по той или иной технологии (см. таблицу 6). Обозначим коэффициенты, отражающие возможность или невозможность переработки, через d_{ij} :

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ый вид сырья можно переработать по } j\text{-ой технологии;} \\ 0, & \text{если } i\text{-ый вид сырья нельзя переработать по } j\text{-ой технологии;} \end{cases}$$

Требуется определить план переработки, показывающий в каких количествах выгодно переработать указанные виды сырья и по какой технологии, чтобы обеспечить минимальные суммарные затраты на получение золота, то есть найти x_{ij} – количество i -го состава, перерабатываемого по j -ой технологии (в тоннах).

Обозначим себестоимость 1 т золота при переработке каждого вида сырья по каждой из 9 технологий через C_{ij} . После извлечения золота из электронного лома путем его переработки, золото можно реализовать. Цену 1 т золота обозначим через Π . Область допустимых решений определяется ограничениями. Математическая постановка задачи выбора имеет следующий вид:

1) ограничения на объем поставок сырья (в 1 год).

В общем виде ограничение записывается следующим образом:

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \leq b_i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Имеется возможность увеличения поставок исходного сырья в случае, если превышение будет небольшим, а рентабельность будет удовлетворительной.

2) ограничения на время работы оборудования.

В общем виде

$$\sum_{i=1}^m \frac{d_{ij} x_{ij}}{P_{ij}} \leq T_j, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Для третьей, четвертой, пятой, шестой и седьмой схем (с использованием электролиза) $P_{ij} = S_{ij}$, при этом S_{ij} можно найти по формуле

$$S_{ij} \leq \frac{100 \cdot 14,063}{q_i} (\text{т/год}), \quad i = \overline{1, m}, j = 3, 4, 5, 6, 7,$$

где q_i – процентное содержание меди в каждом составе (см. табл.2), 14,063 – итоговая производительность по меди, т/год.

Для первой, второй, восьмой и девятой схем (с растворением) $P_{ij} = R_{ij}$, при этом R_{ij} составит

$$R_{ij} \leq 171.428 (\text{т/год}), \quad i = \overline{1, m}, j = 1, 2, 8, 9.,$$

где 171,428 – производительность 2-х реакторов, т/год.

Целевая функция минимизации суммарных затрат выглядит следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (3)$$

Но целевая функция не совместима с выведенными ограничениям. Так как все ограничения со знаком «меньше либо равно» и функция стремится к минимуму, то единственным и логичным решением будет ноль. Приведенная математическая модель использовалась для анализа последствий внедрения предлагаемых решений. Для этих целей был разработан алгоритм, основная идея которого заключается в анализе получаемого решения, соответствующего изменению математической модели и повторного решения задачи. При этом влияние отдельных ограничений на получаемые решения оценивалось с помощью решения двойственных задач. Уже было сказано, что имеется возможность увеличения поставок, поэтому, чтобы минимизировать суммарные затраты, необходимо изменить ограничения. Были введены ограничения на перерасход количества поставляемого сырья

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \geq b_i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

И было посчитано, сколько каждого состава переработается не более, чем за 1 год. Выяснилось, что 2-го, 4-го, 6-го составов необходимо намного больше, чем имеется на заводе. Именно 2-ой, 4-ый, 6-ой составы поставляются в небольшом количестве (состава 2 до 17 тонн, состава 4 до 20 тонн, состава 6 до 10 тонн) и нет возможности их сильно увеличить.

Поэтому для них необходимо ввести ограничения, для остальных составов (3-го, 1-го, 5-го) оставляем ограничение.

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} = b_i, \quad i = 2, 4, 6 \quad (5)$$

Целевая функция максимизации прибыли будет выглядеть следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C - C_{ij}) d_{ij} x_{ij} \rightarrow \max. \quad (6)$$

Когда целью является минимизация суммарных затрат, получается следующее оптимальное решение: 18,292 тонн 1-го состава по 1-ой технологии; 15,093 тонн 1-го состава по 3-ей технологии; 66,615 тонн 1-го состава по 5-ой технологии; 17 тонн 2-го состава по 2-ой технологии; 104,428 тонн 3-го состава по 2-ой технологии; 45,572 тонн 3-го состава по 3-ей технологии; 20 тонн 4-го состава по 3-ей технологии; 50 тонн 5-го состава по 2-ой технологии; 10 тонн 6-го состава по 1-ой технологии. Полученное решение означает, что суммарные затраты на извлечение золота при переработке составов электронного лома будет минимальной - 19,767 млн. руб.

При этом все сырье, имеющееся на складе, будет полностью переработано, время работы оборудования для переработки по 2-ой, 3-ей и 5-ой технологии также будет полностью израсходовано, а для переработки по 1-ой технологии из 1 года возможного времени будет израсходовано только 0,165 года, что составляет приблизительно 2 месяца ($0,165 \cdot 12 = 1,98$), то есть будет большой резерв времени. Максимальная прибыль от реализации полученного золота при переработке составов электронного лома составит 173,300 млн. руб. Из теоремы об оценках следует, что колебание величины b_i приводит к увеличению или уменьшению целевой функции. Таким образом, двойственная оценка показывает, на сколько изменится целевая функция основной задачи, если правую часть ограничения основной задачи изменить на единицу. Экономический смысл двойственных оценок зависит от экономического содержания модели.

1. Целевая функция (3) – минимизация суммарных затрат. Двойственная оценка показывает, во сколько обойдется добавление (сокращение) i -го ресурса на единицу (в указанных пределах возможного изменения данного ресурса «Допустимое уменьшение»/«Allowable Decrease» и «Допустимое увеличение»/«Allowable Increase» в «отчете по устойчивости»).

Например, двойственная оценка «запасов 5-го сырья» равна 0,071, тогда при добавлении одной тонны 5-го состава суммарные затраты увеличатся на 0,071, то есть станет $19,767 + 0,071 = 19,838$ млн.руб.

2. Целевая функция (6) – максимизация прибыли. Двойственная оценка показывает, насколько возрастет (сократится) прибыль при добавлении (сокращении) i -го ресурса на единицу (в указанных пределах возможного изменения данного ресурса).

Например, двойственная оценка «запасов 5-го сырья» равна 0,485, тогда при добавлении одной тонны 5-го состава прибыль увеличится на 0,485, то есть станет $173,300 + 0,485 = 173,785$ млн.руб.. Двойственные оценки также показывают дефицитность ресурсов. Чем больше значение оценки u_i , тем выше дефицитность ресурса. В задаче минимизации суммарных затрат наиболее дефицитным является наличие 3-го состава. А в задаче максимизации прибыли наиболее дефицитным является время переработки по 2-ой схеме.

В заключении формулируются основные результаты работы:

- на основе проведённого анализа существующих видов вторичного золотосодержащего сырья и технологий (российских и зарубежных) предложена классификация его составов;
- разработаны и предложены новые технологические схемы переработки электронного лома; на основе принципа взаимозаменяемости схем предложена блочная структура схем;
- на основе рассчитанных значений себестоимости по всем комбинациям составов и технологий установлены и проанализированы закономерности и тенденции изменения себестоимости;
- разработан единый (общий) программно-алгоритмический комплекс расчёта значений себестоимости получаемого золота системы «Состав-Схема» в среде MS Excel для быстрого поиска значений в условиях острой конкуренции на рынке драгоценных металлов;
- сформулирована и решена задача выбора рациональных схем переработки различного лома;
- на основе построенной математической модели разработан алгоритм исследования возможностей внедрения предлагаемых решений и проанализированы результаты внедрения для практических возможностей ОАО «ЩЗ ВДМ»

Экономический эффект от внедрения работы составит более 1 млн. руб. в год и позволит:

- ускорить расчёты с поставщиками;
- снизить себестоимость золота в среднем от 5 до 28 %;
- увеличить производительность цеха по переработке электронного лома;

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Стрижко Л.С., Калашников Е.А., Погосян А.Т. Оптимизация структуры переработки электронного лома. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2006 г. № 6. С. 21-27.
2. Е.А. Калашников, С.И. Лолейт, А.Н. Голев, А.Т. Погосян. Программно-алгоритмический комплекс расчёта себестоимости золота системы состав-схема. // Руда и металлы. Цветные металлы. 2007 г. № 4. С.74-80.
3. Стрижко Л.С., Погосян А.Т., Мурзагалиев П.С. Оптимизация структуры переработки электронного лома. // Тезисы доклада на 60-й научной конференции студентов, г.Москва, 2005 г.
4. Калашников Е.А., Стрижко Л.С., Погосян А.Т. Решение задач планирования переработки золотосодержащих отходов. // Тезисы доклада на 9-й международной научно-технической конференции, п.Канака, АР Крым (Украина), 16-23 сентября 2006 г.