

На правах рукописи

Черный Сергей Анатольевич

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**
(На примере редкометалльного производства ОАО «Соликамский магниевый завод»)

**Специальность: 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством
(Экономика природопользования)**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Москва 2009

Работа выполнена на кафедре экономики природопользования экономического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

Научный руководитель: доктор экономических наук, профессор
Бобров А. Л.

Научный консультант доктор технических наук, профессор
Кудрявский Ю.П.

Официальные оппоненты: доктор экономических наук, профессор
Моткин Г.А.
кандидат экономических наук, доцент
Гусева И.Г.

Ведущая организация: ГОУ ВПО Челябинский государственный
университет

Защита состоится «18» июня 2009г. в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д501.001.08 при Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, 2-ой учебный корпус гуманитарных факультетов, экономический факультет, ауд. 413

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Научной библиотеки МГУ имени М.В.Ломоносова (2-ой учебный корпус гуманитарных факультетов).

С авторефератом диссертации можно ознакомиться на сайте факультета:

<http://www.econ.msu.ru>

Адрес электронной почты кафедры экономики природопользования

err@econ.msu.ru

Автореферат разослан «14» мая 2009г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 501.001.08

кандидат экономических наук, доцент



Р.А. Ромашкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Осознание важности экологических проблем, приобретших в XX веке глобальный характер, позволило мировому сообществу выработать концепцию устойчивого развития и обозначить новые приоритеты социально-экономического роста и научно-технологического прогресса на предстоящее столетие. В рамках принятой парадигмы устойчивости стало понятно, что главной причиной ресурсно-экологического кризиса является игнорирование негативных для биосферы и среды обитания людей последствий производственно-хозяйственной деятельности. Это предопределяет необходимость экологизации производства, прежде всего, за счет совершенствования используемых технологий.

Одной из важнейших задач экологизации технологических процессов является переработка производственных отходов, образующихся во все возрастающих масштабах. Ежегодно в России образуется около 4 млрд.т отходов, 98% которых продуцирует промышленность. Суммарный ущерб от загрязнения ими окружающей среды оценивается на уровне 15% ВВП нашей страны. Особенно значима проблема отходов для отечественной металлургической промышленности, где выход отходов превышает выпуск целевой продукции в черной в среднем в 6-7 раз, а в цветной металлургии – в 65-75 раз. Подобное неэффективное использование природных ресурсов обуславливает высокую материал- и энергоемкость металлургического производства, что в условиях ограниченности рудно-сырьевой базы препятствует эффективному развитию отрасли.

В то же время, металлургические отходы богаты по содержанию металлами и могут использоваться как перспективное техногенное сырье. По оценкам специалистов, стоимость металлов, накопленных в отходах металлургии РФ, составляет около 18млрд.\$. Все это с учетом кризисных явлений в экономике делает актуальными вопросы разработки и скорейшего внедрения прогрессивных технологий утилизации отходов и использования вторичных материальных ресурсов в металлургической промышленности.

Важнейшими этапами проектов по внедрению подобных технологий выступают процедуры анализа и оценки их эколого-экономической эффективности. Однако, до настоящего времени экологическая и экономическая эффективность утилизации отходов оценивались отдельно, а адекватной методики интегральной оценки их эколого-экономической эффективности не разработано. В сложившейся ситуации многие проекты по внедрению схем рециклинга остаются нереализованными ввиду отсутствия достоверных оценок их реальной результативности. Указанные обстоятельства диктуют необходимость разработки соответствующего методологического обеспечения и определяют актуальность исследований по данной теме.

Степень разработанности проблемы. Исследуемая проблема имеет междисциплинарный характер. Так, вопросы экологизации производства на макро- и микроуровнях, в том числе, за счет внедрения технологий утилизации вторичных материально-энергетических ресурсов, нашли отражение в трудах А.М.Акимовой, И.А.Баева, О.Ф.Балацкого, Б.Б.Бобовича, А.Л.Боброва, С.Н.Бобылева, А.А.Голуба, А.А.Гусева, В.И.Данилова-Данильяна, В.В.Девяткина, В.Н.Ксинтариса, Ю.П.Кудрявского, Б.Н.Ласкорина, В.Н.Лебедева, И.В.Липсица, В.Е.Лотоша, Н.Н.Моисеева, Г.А.Моткина, К.В.Папенова, Н.В.Пахомовой, И.М.Потравного, Н.Ф.Реймерса, В.В.Хаскина, Т.С.Хачатурова, К.А.Черепанова, В.И.Четверева, Ю.С.Юсфина, Я.Я. Яндыганова и др.

Подходы к измерению эколого-экономической эффективности проектов, технологических процессов и переработки металлургических отходов рассмотрены в работах Л.Я.Аврашкова, Л.Г.Бурдиной, А.Д.Выварца, К.А.Выварца, В.В.Глухова, Л.В.Дистергефт, А.А.Дороговцевой, Е.Б.Королевой Т.В.Лисочкиной, О.Е.Медведевой, Т.П.Некрасовой, С.В.Пашенко, Е.В.Рюминой, И.А.Садчикова, Н.Д.Сорокина, Т.В.Сокорновой, и др.

Исследователи отмечают важность использования при реализации эколого-технологических проектов по переработке вторичных ресурсов валидных методов анализа и оценки эколого-экономической эффективности проектируемых и внедряемых технологий, в связи с чем, разработка соответствующих методик является весьма востребованной, и что, в свою очередь, определяет цели и задачи данного диссертационного исследования.

Основной объем научно-исследовательской работы был выполнен в рамках Межотраслевой Программы Минобразования и Минатома РФ «Научно-инновационное сотрудничество», посвященной разработке прогрессивных технологий для комплексной утилизации и захоронения радиоактивных отходов (код темы по ГРНТИ 58.01.94) в 2002-2004гг., а также НИОКР «Исследование и разработка технологических процессов переработки отходов и промпродуктов переработки лопаритовых концентратов, обеспечивающих сокращение массы вторичных РАО, направляемых в хранилище спецотходов», проводимой с 2003г. для ОАО «Соликамский магниевый завод» (х/д №1432 от 29.04.2003г.) и НИР по теме «Эколого-экономические аспекты обезвреживания отходов производства и комплексной переработки техногенного сырья» (Код ГРНТИ 06.71.63. № Гос. регистрации 01.2.006 07742), проводимой с 2006г. в Березниковском филиале Пермского государственного технического университета.

Цели и задачи исследования. Цель диссертационного исследования заключается в разработке методики анализа и оценки эколого-экономической эффективности технологий переработки отходов металлургического производства.

Поставленная цель диссертационного исследования определила необходимость решения следующих задач:

1. Проанализировать эколого-экономические особенности металлургического производства и переработки отходов в металлургии;
2. Обобщить и проанализировать основные существующие научно-методологические подходы к определению результативности утилизации отходов металлургического производства;
3. Разработать методику анализа и оценки эколого-экономической эффективности переработки отходов металлургии с учетом производственной специфики соответствующих технологических процессов;
4. Построить алгоритм оптимизации эколого-экономических параметров переработки металлургических отходов с использованием системы эколого-экономических критериев реализуемости проектируемых техпроцессов;
5. Применить разработанную методику для анализа эколого-экономической эффективности технологии переработки отходов редкометалльного производства ОАО «Соликамский магниевый завод» и подготовить практические рекомендации по оптимизации эколого-экономических параметров данного технологического процесса.

Объект исследования – эколого-экономические характеристики технологий переработки отходов металлургического производства.

Предмет исследования – методологические подходы к анализу и оценке эколого-экономической эффективности технологий переработки отходов металлургии.

Теоретической основой исследования послужили работы отечественных и зарубежных ученых по экономике природопользования, экономико-математическому моделированию, экономическому анализу, планированию и прогнозированию научно-технического развития промышленного производства, экологическому и технологическому менеджменту.

Информационную базу диссертации составили нормативно-правовые акты, плановые документы и инструктивно-методические материалы различных ведомств, экспертные оценки специалистов, данные Росстата, научно-технические публикации, патенты, монографии, а также фактические сведения о функционировании изучаемого производства.

Основные методы исследования были предопределены его целями и задачами. В процессе выполнения работы использовались общие методы научной логики, анализа и синтеза, аналогии и сравнения. Помимо этого также применялись частные методы статистики, экономического и морфологического анализа, приемы эконометрического моделирования, в т.ч. с помощью пакетов прикладных программ.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в разработке методики оценки и анализа эколого-экономической эффективности переработки металлургических отходов, а также в получении ранее неизвестной информации о процессах образования и обезвреживания отходов редкометалльного производства и экологизации параметров новой технологии их утилизации.

Наиболее существенные результаты, полученные в ходе выполнения исследования лично автором и составляющие предмет защиты, следующие:

1. Разработана методика экспертной оценки эколого-экономической эффективности переработки отходов металлургии, использование которой позволяет анализировать и сравнивать эколого-экономические параметры соответствующих технологий. Указанные параметры технологий размещаются в морфологической таблице, где они группируются по технологическим стадиям. Для каждого из них формируется набор ранжированных вариаций, и устанавливаются уровни для наилучших технологий. Эколого-экономическая эффективность переработки отходов определяется по степени приближения к наилучшим технологиям, что, в свою очередь, позволяет планировать оптимизацию эколого-экономических характеристик анализируемых техпроцессов по результатам сравнения с наилучшими технологиями.
2. Впервые предложена система стоимостных показателей для описания рециклинга: стоимостный показатель концентрации ценных компонентов в отходах и стоимостный показатель извлечения ценных компонентов из отходов, а также стоимостный показатель минимальной продуктивности техногенного сырья, использование которых позволяет обосновать экономическую целесообразность утилизации отходов металлургического производства.
3. Впервые указаны эколого-экономические ограничения для уровня сокращения отходов, содержащих естественные радионуклиды, а также эколого-экономические условия безубыточности рециклинга, с помощью которых может быть определены эколого-экономические пределы эффективной утилизации отходов металлургии.
4. Применение разработанной методики для анализа эколого-экономической эффективности переработки отходов редкометалльного производства ОАО «Соликамский магниевый завод» позволило получить ряд ранее неизвестных сведений о процессах образования и обезвреживания указанных отходов, а также дать рекомендации по оптимизации эколого-экономических параметров их утилизации при разработке новых технологий.

Достоверность полученных результатов и обоснованность научных выводов обеспечивается применением научных методов исследования, соответствующих его предмету и поставленным задачам; анализом представительного объема научной лите-

ратуры, статистических данных и нормативных документов по теме диссертации, а также широким привлечением фактического материала и положительной апробацией разработанных положений.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что предлагаемый в работе подход к анализу и оценке эколого-экономической эффективности утилизации металлургических отходов может использоваться на предприятиях металлургии при разработке схем рециклинга. Кроме того, основные положения диссертации могут быть использованы для подготовки специалистов по дисциплинам «Экономика природопользования», «Экономика предприятия», «Экологический менеджмент», «Технологический менеджмент».

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты проведенных исследований докладывались и получили одобрение на 12 научных конференциях, в том числе, на III Всероссийской научно-практической конференции «Экология и ресурсо- и энергосберегающие технологии на предприятиях народного хозяйства» (г.Пенза,2003г.); XVII Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях: Математические методы и задачи в экономике, менеджменте и гуманитарных науках» (г.Кострома,2004г.); Научной конференции Российской Академии Естествознания «Экология и рациональное природопользование» (г.Москва, 2008г.); VIII Международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф: Эколого-экономические показатели промышленного комплекса при использовании наукоемких технологий и современного оборудования» (г.Пенза,2008г.); Всероссийской научно-практической конференции «Социально-экономическое развитие России: опыт, перспективы и инновации - Экономико-математические модели оптимизации производственных процессов» (г.Чебоксары,2009г.); II Международной научно-практической конференции «Технологии управления социально-экономическим развитием региона: Структурно-технологическая модернизация экономики регионов» (г.Уфа,2009г.), Ломоносовских чтениях в МГУ имени М.В.Ломоносова (г.Москва, 2009г.).

В 2005-2009 гг. основные результаты работы представлялись и были отмечены наградами на международных и национальных конкурсах, в т.ч.:

- Конкурс научных работ Российской Академии Естествознания «Национальный Сертификат Качества», г.Москва, - получен Сертификат (2005г.)
- Конкурс научных работ Международной Академии Наук Экологии и Безопасности жизнедеятельности, г.С.-Петербург, - получен Диплом «За лучшую НИР» (2005 г.)
- Конкурс научных работ «Национальная экологическая премия «ЭКОМИР», г.Москва, - получен Диплом Лауреата (2006-2007гг.)

- XI-XII Московский Международный Салон Промышленной Собственности «Архимед», г.Москва, - получены Дипломы и Золотые медали (2008-2009гг.)

Помимо этого отдельные результаты работы использовались при разработке технологий утилизации отходов металлургических производств Верхнекамского промышленного узла, которые были запатентованы и прошли промышленные испытания.

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 60 работ, в том числе 1 монография (16,3п.л.), 26 статей в журналах (10,0п.л.), из них 11 статей, освещающих эколого-экономические аспекты исследования (4,5п.л., 1 статья в журнале из перечня ВАК Минобрнауки РФ), 15 статей, освещающих эколого-технологические аспекты изучаемой проблемы (5,5п.л., 7 в журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ), а также получено 20 Патентов РФ на изобретения и полезные модели.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав и заключения. Материал работы изложен на 130 стр. машинописного текста, содержит 17 рисунков, 10 таблиц, список литературы из 180 источников и 25 стр. приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены его цели и задачи, отражена степень разработанности проблемы, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе «**Эколого-экономические аспекты переработки отходов металлургической промышленности**» рассмотрены эколого-экономические особенности металлургического производства, проблемы и перспективы утилизации отходов отрасли, а также выполнен научно-аналитический обзор существующих подходов к оценке эколого-экономической эффективности переработки отходов металлургии.

Во второй главе «**Методика анализа и оценки эколого-экономической эффективности технологий переработки отходов металлургического производства**» изложены основные положения разработанной диссертантом методики анализа и оптимизации эколого-экономических параметров переработки отходов металлургического производства, основанной на использовании морфологических карт и системы показателей эколого-экономической эффективности соответствующих техпроцессов.

В третьей главе «**Эколого-экономическое обоснование эффективной технологии переработки отходов редкометалльного производства**» представлены результаты использования разработанной методики для эколого-экономического анализа и оптимизации эколого-экономических параметров переработки отходов редкометалльного производства ОАО «Соликамский магниевый завод».

В **заключении** приведены основные выводы по результатам выполненных исследований и указаны перспективы их дальнейшего использования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ

Металлургический комплекс вносит существенный вклад в экономику России, обеспечивая около 16÷19% общего объема промышленного производства, а производимые отраслью металлы составляют ~90% конструкционных материалов, используемых в народном хозяйстве. Вместе с тем ввиду существенного устаревания эксплуатируемых технологий отечественное металлургическое производство характеризуется высокими показателями материало- и энергоемкости, а также продуцирует большое количество отходов. В настоящее время доля материально-энергетических ресурсов в себестоимости металлургической продукции, выпускаемой в РФ, в среднем на 20-25% превышает аналогичные показатели в промышленно развитых странах. При этом выход твердых отходов на 1т металлов в России в 1,5÷3,0 раза выше, чем на металлургических предприятиях в США, Японии и ЕС. Значительные масштабы образующихся в металлургии отходов оказывают негативное техногенное влияние на все элементы окружающей природной среды и людей. Так, на территории Урала накоплено свыше 50 млрд.т таких металлосодержащих отходов, а общая площадь земель, занятых под их размещение, и нарушенных вследствие этого экосистем составляет свыше 60 тыс. га. Все составляющие природной среды в регионе загрязнены металлотоксикантами, содержание которых в крови местного населения в 1,2÷8 раз выше нормы, а уровень заболеваемости проживающих там людей болезнями органов дыхания, кожи, крови, иммунной системы и пр. в 1,5÷2 раза выше общероссийских показателей.

С другой стороны, как показал анализ отраслевых исследований, общая масса черных и цветных металлов, содержащихся в металлургических отходах, накопленных на территории РФ, составляет 280÷300 млн.т, а их стоимость оценивается в 16÷18млрд.\$. В сложившемся положении переработка указанных отходов становится необходимым этапом экологизации и повышения эколого-экономической эффективности металлургического производства. По оценкам специалистов, утилизация отходов позволит расширить ресурсную базу металлургии по многим видам дефицитного сырья, может обеспечить 10÷12%-ный прирост объема производства металлов, а также 5÷10%-ное снижение энергозатрат на производство продукции при сокращении в 7÷8 раз выбросов в атмосферу, в 3÷4 раза сбросов в водоемы и в 2÷10 раз количества твердых отходов, образующихся в отрасли.

Тем не менее, несмотря на очевидную целесообразность утилизации металлургических отходов, существует ряд проблем, препятствующих реализации программ их широкой переработки. Одна из главных проблем связана с отсутствием адекватной методики анализа и оценки эколого-экономической эффективности технологий переработки отходов. Как показал критический обзор, существующие методики оценки эф-

эффективности, позволяют рассчитывать различные показатели техпроцессов переработки отходов, однако, при этом экологические и экономические результаты утилизации оцениваются отдельно. Подобный раздельный учет экологических и экономических эффектов, получаемых за счет переработки отходов, приводит к занижению показателей итоговой эффективности проектов по разработке и внедрению схем утилизации отходов и зачастую к отказу от их реализации. Кроме того, в имеющихся методиках оценки отсутствуют критерии эффективности переработки отходов в виде заданных граничных условий, что не позволяет оценить уровень абсолютной результативности утилизации и делать выводы об эколого-экономической целесообразности практической реализации соответствующих технологий.

Ввиду этого, автором данной работы были выполнены соответствующие исследования и разработана специальная методика, позволяющая анализировать совокупность ключевых эколого-экономических показателей, создаваемых и планируемых к освоению технологий утилизации металлургических отходов, и оценивать их эколого-экономическую эффективность.

1. Разработана методика экспертной оценки эколого-экономической эффективности переработки отходов металлургии, использование которой позволяет анализировать и сравнивать эколого-экономические параметры соответствующих технологий. Эколого-экономическая эффективность переработки отходов определяется по степени приближения к наилучшим технологиям, что, в свою очередь, позволяет планировать оптимизацию эколого-экономических характеристик анализируемых техпроцессов по результатам сравнения с наилучшими технологиями.

Предлагаемая методика основана на использовании приемов морфологического анализа и конструирования параметров исследуемых технологий и представляет собой совокупность итерационных процедур балльного или сравнительного экспертного оценивания основных эколого-экономических характеристик техпроцессов, а также их последующей оптимизации с помощью морфокарт и системы дополнительных критериев. Общий порядок выполнения анализа эколого-экономической эффективности технологий показан на рис.1.

На первом этапе анализа формируется специальная морфологическая карта, в которой размещаются эколого-экономические параметры исследуемых техпроцессов. Для ее построения необходимо сделать следующее:

- определить ключевые эколого-экономические параметры переработки отходов металлургии, последующий анализ которых позволит оценить эколого-экономическую эффективность соответствующих техпроцессов с учетом производственной специфики и целей развития отрасли;

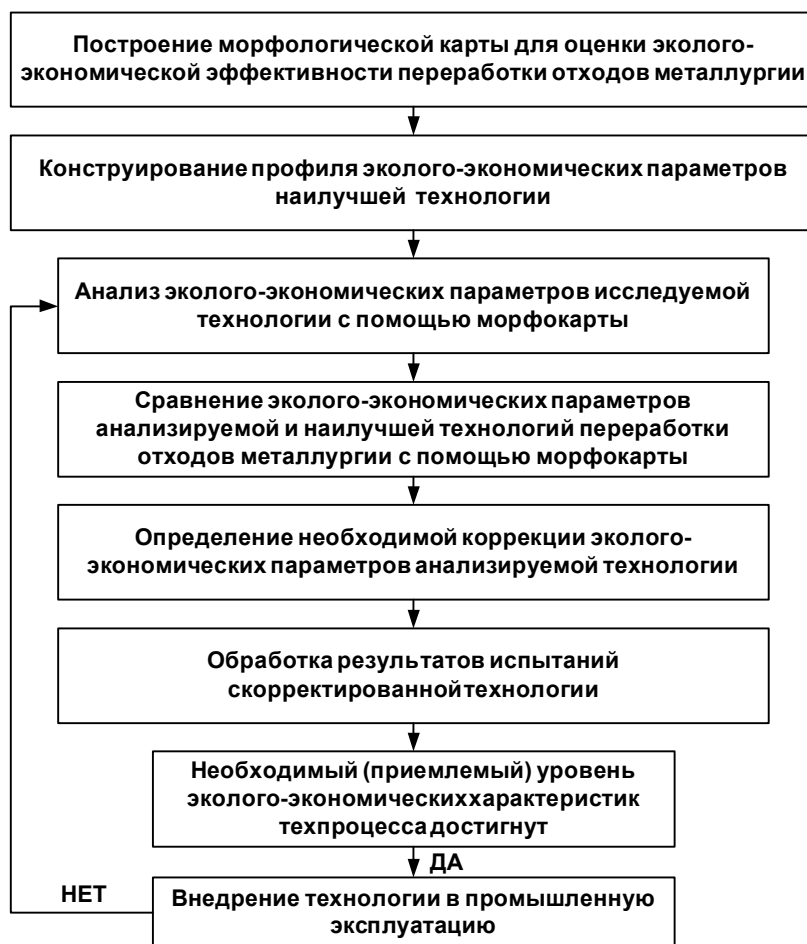


Рис.1 Порядок оценки эколого-экономической эффективности и оптимизации эколого-экономических параметров переработки отходов металлургического производства

- разместить отобранные эколого-экономические параметры переработки отходов в таблицах, сгруппировав их по стадиям техпроцесса и разработав для каждого из них возможные вариации, а также выполнив градацию зафиксированных вариаций параметров с помощью количественно-качественной шкалы;
- на основе анализа эмпирических и теоретических данных о переработке отходов металлургического производства, зафиксировать для каждого параметра его возможный эталонный уровень, соответствующий наилучшей технологии.

В качестве наилучших технологий в рамках предлагаемой методики, могут рассматриваться наилучшие доступные или наилучшие возможные технологии в части утилизации металлургических отходов, сведения о которых имеются в отечественных и зарубежных отраслевых источниках, в т.ч., в патентной документации и справочной информации российских и международных организаций.

Для анализа эколого-экономической эффективности переработки металлургических отходов были отобраны нижеперечисленные параметры соответствующих техпроцессов, сгруппированные следующим образом:

Блок 1 Подготовка отходов к переработке:

- способ и варианты реализации подготовки отходов к переработке;
- возможности объединения и/или сепарации отходов по видам;
- потребности процесса подготовки отходов к переработке в трудовых, материально-энергетических ресурсах, специальном оборудовании и технических сооружениях.

Блок 2 Основной этап переработки отходов:

- научно-техническая новизна и сложность процесса переработки отходов;
- потребности техпроцесса в энергии, оборудовании, материальных и трудовых ресурсах определенного качества и количества;
- влияние переработки на ресурсо-, энергоемкость, капиталоемкость и пр. эколого-экономические показатели основного производства;

Блок 3 Эколого-экономические результаты переработки отходов:

- количественные и качественные параметры вторичных отходов, в т.ч. их объемы, ценность, размещение и экологическая опасность;
- результаты использования отходов для сокращения потребления природных ресурсов и выпуска дополнительной продукции;
- влияние переработки отходов на показатели производительности и экологической безопасности металлургического производства;

Указанные параметры и показатели характеризуют эффективность переработки отходов металлургического производства с различных сторон. Вариации вышеназванных параметров и показателей были определены исходя из общей логики эколого-экономического анализа, а также по данным из производственно-хозяйственной практики металлургических предприятий.

Для качественной градации вариаций используемых параметров и показателей была применена 3-х уровневая шкала, а для количественной - балльные оценки:

- низкий уровень показателя – 5 баллов;
- средний уровень показателя – 10 баллов;
- высокий уровень показателя – 20 баллов.

Фрагмент построенной таким образом морфологической карты показан на рис.2.

Собственно сам процесс анализа и оценки осуществляется путем транспозиции параметров и показателей анализируемого техпроцесса на морфокарту и их прямой экспертной оценке или сравнении с параметрами и показателями наилучшей или другой анализируемой технологии.

Это позволяет не только выполнять дискриминацию неэффективных технологий, но и планировать программу оптимизации эколого-экономических характеристик переработки металлургических отходов.

Параметры и показатели техпроцесса переработки отходов металлургического производства	Уровень и оценка параметров		
	низкий	средний	высокий
	5 баллов	10 баллов	20 баллов
подготовка отходов к переработке			
Вариант технической реализации процесса подготовки отходов к переработке	на стороннем производстве	на дополнительном технологическом участке	непосредственно на месте образования отходов
*****	*****	*****	*****
Доля текущих затрат на подготов- ку отходов в общих текущих затратах на их переработку	превалирующая	значительная	незначительная
*****	*****	*****	*****
Виды оборудования, необходимого для переработки отходов	нестандартное и/или производимое в ед.экз.	стандартизируемое	стандартное
*****	*****	*****	*****
основной этап переработки			
Научно-техническая новизна технологии переработки отходов	внутрифирменный или внутри- отраслевой уровень	межотраслевой или национальный уровень	мировой уровень
*****	*****	*****	*****
Виды материально-энергетических ресурсов, необходимых для переработки отходов	уникальные	дефицитные и относительно дорогостоящие	распространенные и относительно дешевые
*****	*****	*****	*****
Вариант технической реализации процесса утилизации ценных компонентов из отходов	не реализуется ни один из вариантов	реализуется на доп. технологической линии	реализуется в основном технологическом цикле
*****	*****	*****	*****
Влияние переработки отходов на энергоёмкость производства	энергоёмкость возрастает	энергоёмкость существенно не изменяется	энергоёмкость уменьшается
*****	*****	*****	*****
Влияние переработки отходов на величину транспортных расходов производства	транспортные расходы возрастают	транспортные расходы существенно не изменяются	транспортные расходы уменьшаются
эколого-экономические результаты переработки отходов			
Возможности размещения отходов после переработки	захоронение в спецхранилище	размещение на спецполигоне	открытое размещение
*****	*****	*****	*****
Продуктивный результат утилизации отходов	доп. выпуск товарной продукции отсутствует	доп. выпуск основной товарной продукции	доп. выпуск основной и побочной товарной продукции
*****	*****	*****	*****
Возможности использования вторичных материально- энергетических ресурсов	не используются	для экономии природно-сырьевых ресурсов	для экономии природно-сырьевых ресурсов и выпуска доп. товарной продукции

Рис. 2 Фрагмент морфологической карты для анализа и оценки эколого-экономической эффективности переработки отходов металлургического производства

Указанный порядок оценки и оптимизации эколого-экономических параметров технологий выглядит следующим образом:

⇒ условие выбора эффективных технологий утилизации отходов

$$S_{T_k} = \sum_i b_i \geq S_{кр} \quad (1)$$

где S_{T_k} - сумма экспертных балльных оценок b_i эколого-экономических параметров k -ого варианта технологии T утилизации отходов, i – номер эколого-экономического параметра; $S_{кр}$ – порог дискриминации низкоэффективных технологий.

Если для приемлемости технологий использовать правило «уровень эколого-экономической эффективности выше среднего», то данная критическая сумма может быть равна половине максимально возможной оценки - $0.5 \times S_{max}$ или половине балльной оценки наилучшей технологии - $0.5 \times S_{HT}$, при других условиях отбора - любому другому значению, подходящему с точки зрения аналитиков.

⇒ условие поэтапной оптимизации эколого-экономических параметров технологии в процессе ее модернизации и усовершенствований

$$S_{T_k} \leq S_{T_{k+1}} \rightarrow S_{HT} \quad (2)$$

где S_{T_k} и $S_{T_{k+1}}$ - суммы оценочных баллов k -го и $(k+1)$ -го варианта технологии T ; S_{HT} - балльная оценка наилучшей технологии данного класса. Данное условие означает, что у каждой эволюционно последующей схемы утилизации эколого-экономические параметры должны быть не хуже, чем у предшествующей технологии, при этом необходимо, чтобы уровень параметров в процессе итерационных улучшений приближался к уровню эталонной технологии.

⇒ алгоритм оптимизации эколого-экономических параметров разрабатываемой технологии переработки отходов основан, как уже указывалось, на итерационных процедурах сравнения и последующей коррекции параметров анализируемого техпроцесса и наилучшей технологии. Очередность задач коррекции определяется по степени потерь эколого-экономической эффективности (см.рис.3, правая часть), т.е. по величине отклонения от эталонного уровня параметра – чем оно больше, тем более неотложным образом требуется скорректировать соответствующий показатель. В формальном виде план оптимизации выбирается следующим образом:

$$PP_{кор} = PP_{HT} - PP_{Тк} \quad (3)$$

где $PP_{Тк} = \{P_1(Тк), P_2(Тк) \dots P_n(Тк)\}$; $PP_{HT} = \{P_1(HT), P_2(HT) \dots P_n(HT)\}$ – параметрические профили - наборы эколого-экономических параметров P_i соответственно текущей (оптимизируемой) технологии и наилучшей технологии, а $PP_{кор}$ - план коррекции (оптимизации) эколого-экономических характеристик техпроцесса переработки отходов.

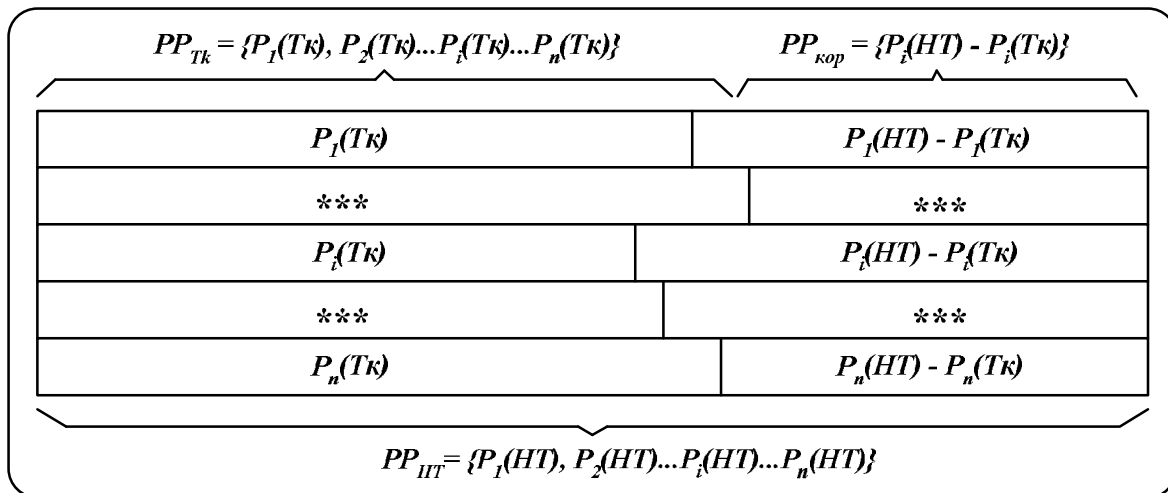


Рис.3 Алгоритм построения плана оптимизации эколого-экономических параметров разрабатываемой технологии

После проведения необходимых организационно-технических мероприятий в соответствии с планом оптимизации и апробации скорректированного варианта технологии, оценка его параметров производится вновь. Данная процедура выполняется для каждого варианта разработанной технологии до тех пор, пока необходимый, наилучший или максимально возможный уровень эколого-экономических параметров технологического процесса не будет достигнут.

2. Впервые предложена система стоимостных показателей для описания рециклинга: стоимостный показатель концентрации ценных компонентов в отходах и стоимостный показатель извлечения ценных компонентов из отходов, а также стоимостный показатель минимальной продуктивности техногенного сырья, использование которых позволяет обосновать экономическую целесообразность утилизации отходов металлургического производства.

Помимо качественного анализа, для определения эколого-экономической эффективности технологий переработки металлургических отходов необходимо рассчитать количественные показатели, характеризующие результативность их утилизации. Для этих целей автором предлагаются следующие стоимостные показатели рециклинга:

- Стоимостный коэффициент концентрации ценных компонентов в отходах, усредненный по всем содержащимся в них полезным веществам и соединениям, - k_{cm}^K , который можно найти так:

$$k_{cm}^K = \frac{\sum_i k_i^K \times c_i^0 \times C_i^1}{\sum_i c_i^0 \times C_i^0} \quad (4)$$

где k_i^K - коэффициент концентрации i -го ценного компонента в отходах (отношение количеств компонента в отходах и минеральном сырье); c_i^0 - концентрация (ко-

личество на единицу массы) i -го компонента в минеральном сырье; C_i^0 и C_i^1 - цены продуктов, получаемых из i -го ценного компонента при переработке минерального сырья и отходов соответственно.

Данный показатель характеризует стоимостное содержание черных, цветных и редких металлов и прочих соединений в продуцируемых металлургическим производством отходах в сравнении с их содержанием в минеральном сырье. С позиций установления ценности отходов как техногенного сырья, предпочтительно, чтобы данный показатель был близок или превосходил по значению 1. Однако, с помощью данного показателя можно делать лишь предварительные оценки целесообразности рециклинга, т.к. даже при невысоком значении $\overline{k_{cm}^k}$ и низких затратах на утилизацию отходов их переработка может оказаться оправданной.

- Стоимостный коэффициент извлечения ценных компонентов из отходов при их утилизации, усредненный по всем содержащимся в них полезным веществам и соединениям, - $\overline{\beta_{cm}}$, характеризующий прогрессивность технологии рециклинга, который рассчитывается по следующей формуле:

$$\overline{\beta_{cm}} = \frac{\sum_i \beta_i \times k_i^k \times c_i^0 \times C_i^1}{\sum_i c_i^0 \times k_i^k \times C_i^1} \quad (5)$$

где β_i - коэффициент извлечения по массе i -го ценного компонента из отходов при их переработке.

Из экономических соображений желательно, что величина данного показателя была близкой к $\overline{\lambda_{cm}}$ - аналогичному показателю для минерального сырья на конкретном металлургическом производстве. В этом случае отходы представляют собой технологически приемлемое для данного производства техногенное сырье, что позволяет избежать дополнительных затрат на разработку более совершенных технологий их утилизации с целью повышения степени извлечения из них ценных компонентов.

- Стоимостный показатель минимальной продуктивности техногенного сырья I_{cm} , который может быть вычислен с использованием вышеназванных стоимостных показателей по формуле:

$$I_{cm} = \frac{\overline{\beta_{cm}} \times \overline{k_{cm}^k}}{\overline{\lambda_{cm}}} \quad (6)$$

Этот показатель является наиболее важным для характеристики рециклинга. Он отражает возможности использования отходов в качестве сырья для получения товарной продукции в сравнении с минеральным сырьем. При концентрировании наиболее ценных компонентов в отходах и сохранении коэффициентов их извлечения из техно-

генного сырья I_{cm} возрастает и может превосходить 1 (т.е. уровень содержания ценных компонентов в отходах превышает их содержание в исходном минеральном сырье). Если I_{cm} достаточно велик, то техногенное сырье может рассматриваться как коммерчески перспективное для промышленного использования.

Перечисленные выше стоимостные показатели могут применяться для эколого-экономического обоснования рециклинга, при разработке соответствующих технологических схем утилизации металлургических отходов. Кроме того, они также могут быть использованы при разработке системы экономической классификации отходов на металлургических предприятиях.

3. Впервые указаны эколого-экономические ограничения для уровня сокращения отходов, содержащих естественные радионуклиды, а также эколого-экономические условия безубыточности рециклинга, с помощью которых может быть определены эколого-экономические пределы эффективной утилизации отходов металлургии.

Стоимостные показатели (4)-(6) являются важными эколого-экономическими характеристиками рециклинга. Они позволяют охарактеризовать отходы, как техногенное сырье и технологически процесс их утилизации с экономических позиций. Однако, в ряде случаев утилизация вторичного сырья может оказаться убыточной ввиду существенных затрат на реализацию процесса переработки отходов либо ввиду низкой ликвидности продукции, получаемой из отходов при их утилизации. В связи с этим, для принятия научно-обоснованного решения о разработке и внедрении схемы утилизации отходов необходимо, чтобы показатели планируемого техпроцесса удовлетворяли следующим граничным условиям:

- Первое условие определяет нижнюю границу стоимостного показателя продуктивности I_{cm} техногенного сырья при его переработке:

$$I_{cm} \geq \frac{\Psi - 1}{R_{mc} + 1} + 1 \quad (7)$$

где Ψ - соотношение затрат на производство продукции из техногенного и минерального видов металлургического сырья; R_{mc} - рентабельность производства металлургической продукции из минерального сырья.

Это выражение описывает наименьший приемлемый уровень стоимостного показателя продуктивности техногенного сырья, при которой его утилизация на металлургических предприятиях экономически целесообразна.

- Следующий показатель представляет собой эколого-экономический критерий безубыточности рециклинга в металлургии:

$$\frac{\overline{VZ_{об}}}{\overline{VZ_{об}} + \beta_{cm} \times \overline{УП}} \leq D_{ym} \leq 1 \quad (8)$$

где D_{ym} – доля от общего количества отходов, которую необходимо утилизировать для окупаемости затрат на их переработку; $\overline{УЗ}_{об}$ и $\overline{УП}$ – удельные затраты на обезвреживание не утилизируемых или вторичных отходов, усредненные по всем их видам, и удельная прибыль от реализации продукции из техногенного сырья, усредненная по всем извлекаемым из отходов ценным компонентам соответственно.

Следует подчеркнуть, что критерий (8) имеет интегральный характер, - он позволяет учитывать прогрессивность основного техпроцесса металлургического производства, прибыльность рециклинга, а также экологические характеристики металлургических отходов. При этом, если для окупаемости утилизации требуется перерабатывать такое количество отходов, которое превышает объем их текущего образования, т.е. D_{ym} становится больше 1, то можно делать выводы о неэффективности технологии переработки и необходимости оптимизации ее эколого-экономических параметров.

Кроме указанных критериев эколого-экономической эффективности, для оценки реализуемости рециклинга в металлургии следует учитывать, что некоторые виды металлургического сырья содержат естественные радионуклиды, которые концентрируются в отходах. При разработке схем их утилизации необходимо уточнять целесообразность и эколого-экономические пределы вовлечения указанных вторичных ресурсов в производство с учетом удельных затрат на их обезвреживание и захоронение. По данным отраслевых исследований названные затраты возрастают на порядок при увеличении класса удельной активности отходов. Отходы металлургии, содержащие радионуклиды, в большинстве случаев относятся к классу низкоактивных, однако, при утилизации некоторой части от их общего объема, радионуклиды концентрируются в остающихся отходах, здесь вследствие уменьшения массы таких отходов уровень их удельной активности возрастает, что может привести к изменению класса радиоактивности отходов и потребует роста затрат на их захоронение. Таким образом, с учетом того, что величина затрат на обезвреживание и захоронение радиоактивных отходов составляет десятки и сотни миллионов рублей существует граница эколого-экономической целесообразности уменьшения их массы при утилизации. Допустимый уровень сокращения K_{oc} можно рассчитать по радиоэкологическим характеристикам отходов по следующей формуле:

$$K_c \leq \frac{A_{кр}^{y\delta}}{A_0^{y\delta}} \quad (9)$$

$A_0^{y\delta}$ - начальный уровень удельной радиоактивности металлургических отходов, подлежащих сокращению; $A_{кр}^{y\delta}$ - верхняя граница принадлежности отходов к низкоактивным по уровню удельной активности, равная 1000 кБк/кг.

Ограничения для доли от общего количества радиоактивных отходов, которую можно подвергнуть рециклингу, исходя из (9) определяется так:

$$D_{pao}^{ym} \leq 1 - \frac{A_0^{y\partial}}{A_{kp}^{y\partial}} \quad (10)$$

где D_{pao}^{ym} - относительная доля радиоактивных отходов металлургии от их общей массы, которую целесообразно утилизировать с учетом эколого-экономических ограничений по их обезвреживанию и захоронению.

Предлагаемая методика анализа, основанная на использовании морфокарт, системы стоимостных показателей и критериев эколого-экономической эффективности, может применяться как при разработке, так и при последующей оптимизации схем переработки отходов металлургии.

4. Применение разработанной методики для анализа эколого-экономической эффективности переработки отходов редкометалльного производства ОАО «Соликамский магниевый завод» позволило получить ряд ранее неизвестных сведений о процессах образования и обезвреживания указанных отходов, а также дать рекомендации по оптимизации эколого-экономических параметров их утилизации при разработке новых технологий.

Для редкометалльной промышленности РФ в нынешний период характерны те же проблемы, что и для всей отечественной металлургии – низкая обеспеченность сырьевыми ресурсами, эксплуатация устаревших производственных фондов и технологий, неудовлетворительные эколого-экономические показатели производства. Единственным предприятием в России, выпускающим крупнотоннажную танталониобиевую, титановую, редкоземельную продукцию является ОАО «Соликамский магниевый завод». Используемый на заводе химико-металлургический способ переработки минерального сырья позволяет достаточно эффективно извлекать целевые металлы, однако, обладает высокой отходоёмкостью. Как показали проведенные исследования, это связано, прежде всего, с использованием устаревшей технологии переработки отходов, что требовало значительных затрат на их обезвреживание и захоронение, а также приводило к безвозвратным потерям содержащихся в них цветных, редкоземельных и редких металлов, общая стоимость которых, по оценкам автора, достигла 6,2 млрд.руб. Ввиду этого, возникла острая необходимость в разработке усовершенствованной технологии переработки отходов редкометалльного производства.

Анализ использовавшейся технологии, выполненный диссертантом с помощью разработанной методики, показал, что основные причины ее низкой эколого-экономической эффективности были обусловлены следующими обстоятельствами:

1. На стадии подготовки отходов к переработке указанного техпроцесса

- не была реализована возможность объединения отходов для их совместного обезвреживания, что приводило к росту материально-энергетических и трудовых затрат на отдельную нейтрализацию и дезактивацию различных отходов, и, кроме того, способствовало увеличению количества технологического оборудования, необходимого для реализации отдельных операций обезвреживания;
- не обеспечивалась сепарация уже обезвреженных отходов по видам для последующего извлечения из них ценных компонентов, что усложняло и делало весьма затратным возможный последующий процесс утилизации металлов из отходов, являющихся многокомпонентными соединениями и смесями.

2. На основном этапе переработки отходов анализируемая технология

- не была оптимизирована по стадиям и операциям;
- не позволяла контролировать процесс обезвреживания отходов с помощью контрольно-измерительной аппаратуры, что приводило к перерасходу материалов и энергии, а также повышало уровень отходообразования – и, в итоге, способствовало существенному возрастанию ресурсо- и капиталоемкости переработки отходов, а также увеличению темпа отчуждения территории для их размещения.
- не предусматривала возможности утилизации ценных компонентов из отходов и, следовательно, не являлась ресурсосберегающей.

3. Эколого-экономическими результатами использования устаревшей технологии

- является образование большого количества вторичных радиоактивных отходов, требующих захоронения;
- увеличение числа и продолжительности контактов людей с опасными отходами, в т.ч. ввиду высокого уровня отходообразования и отсутствия автоматизации процесса переработки отходов;
- потеря значительного количества ценных компонентов при захоронении отходов, которые не используются ни для экономии ресурсов, ни для выпуска дополнительной продукции.

Для более полного научного обоснования плана оптимизации эколого-экономических параметров анализируемого техпроцесса, было выполнено дополнительное экономико-статистическое исследование данных о системе образования и обезвреживания отходов редкометалльного производства за 1978-2007гг., которое позволило установить роль производственных факторов в формировании соответствующих эколого-экономических показателей. По результатам исследований впервые была построена соответствующая эколого-экономическая модель – см.рис.4. Помимо этого было впервые установлено, что в связи со слабой управляемостью процесса переработки отходов по устаревшей технологии из продуцируемых 4000т/год вторичных ра-

диоактивных отходов более 50% составлял инертный нерадиоактивный материал, что фактически требовало удвоения капзатрат на строительство хранилищ для их захоронения по сравнению с реально необходимым уровнем. Объем неоправданно произведенных капзатрат на возведение хранилищ за период функционирования редкометалльного производства, по оценкам автора, составил свыше 300 млн.руб.

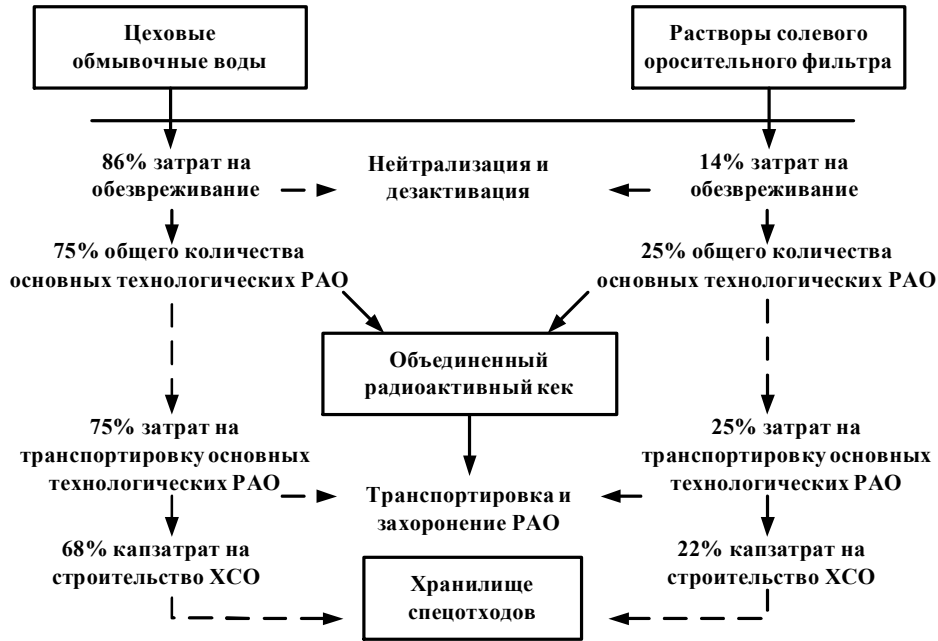


Рис.4 Эколого-экономическая модель формирования отходов редкометалльного производства и распределения затрат на их обезвреживание для анализируемой технологии

На схеме: цеховые обмывочные воды и растворы солевого оросительного фильтра – два вида основных технологических отходов редкометалльного производства; кек – суммарный осадок от переработки жидких радиоактивных отходов.

Сокращения: РАО - радиоактивные отходы, ХСО – хранилище спецотходов.

На основании полученных данных, в соответствии с разработанным алгоритмом были определены основные направления коррекции эколого-экономических характеристик исследуемой технологии. В процессе оптимизации параметров переработки редкометалльных отходов поэтапно решались задачи по рационализации схемы и повышению управляемости соответствующего технологического процесса с целью сокращения отходов и уменьшения затрат на их обезвреживание, а также разрабатывалась схема рециклинга вторичных ресурсов для предотвращения потерь редких металлов. Для установления пределов эколого-экономической эффективности проектируемой технологии переработки редкометалльных отходов был выполнен расчет показателей (7)-(9). Было установлено, что допустимый уровень сокращения отходов должен удовлетворять условию $K_{oc} \leq 7$, а нижняя граница стоимостного показателя продуктивности I_{cm} составляет 0,81. В тоже время, рассчитанное по ф-ле (6) значение факти-

ческого стоимостного показателя минимальной продуктивности I_{cm} для редкометалльных отходов составляет 1,55 (при $\overline{k_{cm}^k}=1,56$; и $\overline{\beta_{cm}}=0,95$), а массовая доля D_{ym} , которую необходимо перерабатывать для обеспечения безубыточности их рециклинга, согласно критерию (8), должна составлять не менее 44%. Полученные данные позволили сделать вывод о том, что указанные отходы могут быть подвергнуты значительному сокращению, а также могут быть использованы в качестве высокопродуктивного техногенного сырья. С учетом этого, в процессе выполнения настоящих исследований было разработано несколько вариантов новой технологии, которые последовательно решали те или иные задачи повышения эколого-экономической эффективности переработки отходов редкометалльного производства. В результате была создана усовершенствованная технология обезвреживания и рециклинга отходов, которая позволила устранить практически все перечисленные выше недостатки прежней схемы. Как показали расчеты, выполненные по результатам промышленных испытаний, новая технология обеспечивает повышение экономичности переработки отходов в 3,6 раза за счет уменьшения затрат на их обезвреживание, а также позволяет добиться снижения себестоимости производства редких металлов на 1% и увеличить на 2,5% годовой объем их выпуска за счет утилизации вторичных ресурсов. Дополнительный доход, получаемый за счет рециклинга редкометалльных отходов и экономии минерального сырья, составляет 77 млн. руб. в текущих ценах. Помимо этого, масса радиоактивных отходов редкометалльного производства, сокращается в 6 раз, что допустимо в соответствии с критерием (9). Столь существенное сокращение отходов, в свою очередь, приводит к пропорциональному увеличению срока заполнения спецхранилища до 14 лет, что позволяет изменить схему капложений в его строительство, рационально распределив капзатраты по времени. Эффект от внедрения усовершенствованной технологии за новый срок заполнения спецхранилища, по оценке диссертанта, составит 550 млн.руб. в прогнозных ценах.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Анализ эколого-экономических особенностей развития отечественной металлургии показывает, что в настоящее время одной из основных причин, обуславливающих высокую материало- и энергоемкость металлургического производства является слабое вовлечение в хозяйственный оборот продуцируемых отраслью отходов. Это приводит не только к масштабным загрязнениям окружающей природной среды, но и влечет за собой существенные ресурсные потери.
2. В условиях кризиса в качестве одного из наиболее перспективных направлений экологизации металлургического производства следует рассматривать внедрение

эффективных технологий переработки отходов, что позволит расширить дефицитную сырьевую базу отрасли, обеспечит прирост объема выпуска черных и цветных металлов при сокращении затрат на их производство, а также будет способствовать снижению негативного техногенного воздействия металлургических предприятий на окружающую среду и население.

3. Дальнейшая разработка и внедрение технологий утилизации металлургических отходов должны опираться на адекватные методики анализа эколого-экономической эффективности проектируемых техпроцессов, позволяющие получать интегральные эколого-экономические оценки результатов их внедрения и выполнять оптимизацию эколого-экономических характеристик данных технологий.
4. Разработанная в диссертации методика оценки эколого-экономической эффективности технологий переработки отходов металлургического производства позволяет проводить анализ широкой совокупности эколого-экономических параметров техпроцессов с учетом их производственной специфики, а также планировать программу оптимизации их характеристик и может применяться на стадиях предварительного проектирования указанных техпроцессов.
5. Предлагаемая в рамках разработанной методики система стоимостных характеристик техногенного сырья и показателей эколого-экономической эффективности рециклинга может быть использована для экономической классификации металлургических отходов и эколого-экономического обоснования реализуемости промышленных схем их утилизации.
6. Применение предложенной в диссертации методики позволило выполнить анализ эколого-экономических параметров техпроцесса обезвреживания редкометалльных отходов и выработать план по их оптимизации. На основании этого была разработана новая усовершенствованная технология утилизации указанных отходов, которая обеспечивает существенное повышение эколого-экономической эффективности редкометалльного производства. Новая технология прошла промышленные испытания и принята к внедрению в ОАО «Соликамский магниевый завод».

Основные результаты диссертационного исследования отражены в следующих работах:

Монографии:

1. Черный С.А., Кудрявский Ю.П. Оценка и планирование эколого-экономической эффективности промышленных технологий. – М.: «Спутник+», 2009. – 260с.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

2. Кудрявский Ю.П., Черный С.А. Рахимова О.В. Новая технология комплексной переработки отходов редкометалльного производства // Вестник Международной Ака-

- демии Наук Экологии и Безопасности жизнедеятельности. 2009. Т14. №1. – с. 166-173.
3. Черный С.А., Кудрявский Ю.П. Эколого-экономический критерий эффективности технологий переработки производственных отходов в цветной металлургии // Цветные металлы. 2008, №4. - с. 8-11.
 4. Кудрявский Ю.П., Рахимова О.В., Черный С.А. и др. Обезвреживание и дезактивация радиосодержащих солевых отходов производства // Экология и промышленность России. 2007. №4. – с. 43-45.

Прочие научные публикации, статьи, патенты:

5. Черный С.А. Морфологический анализ и планирование эколого-экономической эффективности рециклинга металлургических отходов // Вопросы экономических наук. 2009. №3. – с. 155-161
6. Кудрявский Ю.П., Черный С.А., Рахимова О.В. и др. Разработка и эколого-экономическое обоснование рациональной технологии дезактивации радиоактивных отходов редкометалльного производства // Цветная металлургия. 2008. №7. - с. 26-33.
7. Черный С.А. Показатели эколого-экономической эффективности технологий рециклинга металлургических отходов // Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф» - Пенза: ПДЗ, 2008. - с. 60-62.
8. Черный С.А., Кудрявский Ю.П., Голев А.В. Комплексный критерий безубыточности технологий рециклинга производственных отходов // Успехи современного естествознания. 2007. №11. - с.72-76.
9. Черный С.А., Кудрявский Ю.П. Эколого-экономические и технологические критерии эффективной переработки металлургических отходов // Цветная металлургия. 2007. №10. - с.24-30.
10. Кудрявский Ю.П., Мельников Д.Л., Черный С.А., и др. Производственное отделение для комплексной переработки и дезактивации радиоактивных отходов редкометалльного производства / Патент РФ на ПМ № 64631 по заявке № 2006141018/17 (044791) на изобретение с приор. от 20.11.2006г., зарег. и опубл. 10.07.2007г. Бюл.№19.
11. Черный С.А., Кудрявский Ю.П., Рахимова О.В. и др. Эколого-экономический анализ усовершенствованной технологии дезактивации радиоактивных сточных вод от естественных радионуклидов // Известия Академии Промышленной Экологии, 2006. №1. – с. 44-50.
12. Черный С.А., Кудрявский Ю.П., Рахимова О.В. и др. Анализ экономической эффективности технологии обезвреживания и дезактивации сточных вод редкометалльного производства // Фундаментальные исследования. 2005. №10. - с.19-22.