

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

Оценка эффективности и тенденции переработки электронных отходов и
лома

2021

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ | 6 |
| 1.1 ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА | 6 |
| 1.2 ТЕНДЕНЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА ЗА РУБЕЖОМ..... | 13 |
| 1.3 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА В РОССИИ..... | 23 |
| 2 АНАЛИЗ ПРАКТИК И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В РОССИИ..... | 39 |
| 2.1 ТЕНДЕНЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОБЛЕМА СБОРА ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ | 39 |
| 2.2 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ | 53 |
| 2.3 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В СОЧЕТАНИИ С ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ | 62 |
| 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ ЛОМА | 68 |
| 3.1 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПО ВЫБОРУ СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА | 68 |
| 3.2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ | 75 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 1089 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 111 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность выбранной темы магистерской диссертации определена необходимостью повышения уровня вовлечения в производственный цикл утилизируемых компонентов электронных отходов в качестве сырья и материалов и подкреплена политикой России, основные положения которой изложены в документе стратегического планирования «Развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» [1].

В условиях грядущей глобальной цифровизации экономики, процессов и услуг резко увеличивается количество эксплуатируемого электрического и электронного оборудования, что непосредственно ведет к росту объемов электронных отходов и возникновению проблем их переработки.

В развитых странах мира проблеме рециклинга электронных отходов, содержащих редкие, благородные и цветные металлы, придается особое значение. Получение драгоценных металлов из вторичного сырья является оптимальным путем решения ряда экономических, технологических и экологических задач:

- вовлечение в производственную деятельность ценных и редких металлов;
- сокращения энергозатрат на производство ценных и дефицитных металлов;
- снижение негативного воздействия отходов на окружающую среду.

Образование отходов электронного и электротехнического оборудования в России приближается к 1,5 млн. тонн ежегодно, при этом переработке подлежит 5 – 7%. 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.

Особая роль драгоценных металлов обусловлена местом, которое они занимают в финансовой системе отдельных государств и мирового сообщества в целом. Использование вторичного металлосодержащего сырья в современном мировом производстве металлов быстро и неуклонно растёт. Причём из-за роста цен на сырьё и энергию рециклов отработанных техногенных продуктов может рассматриваться более эффективным, чем использование первичного сырья.

В современных условиях предприятиям для устойчивого и максимально эффективного функционирования необходимо совершенствовать подходы, связанные со стратегическим управлением, а также адаптировать существующие методы, механизмы и технологии функционирования. Одним из направлений совершенствования конкурентной стратегии может стать внедрение диверсификации, связанной с комплексным использованием сырья.

В России тенденции образования электронных отходов и лома создают предпосылки для развития крупномасштабного производства вторичных металлов и стабильного функционирования металлургической промышленности. Для этого России нужен эффективный механизм утилизации и переработки отходов электронного и электротехнического оборудования.

Целью исследования является разработка методических рекомендаций по выбору способа переработки электронных отходов и лома и оценка эффективности выбранного способа.

Цель исследования определила следующие задачи:

- исследовать теоретико-методические аспекты переработки электронного лома в России и за рубежом, выявить тенденции в области обращения с электронными отходами;
- провести анализ практик и оценку эффективности технологий переработки электронного лома в РФ;

- разработать методический подход к выбору направления переработки электронного лома.

Научная новизна результатов в диссертационном исследовании заключается в разработке методического подхода к выбору направления переработки электронных отходов и лома, соотнесенный с тенденциями, включающий систему показателей для выбора способа и результаты их экономической оценки, алгоритм принятия решения о способе переработки, что позволит на основании полученных результатов выбрать приоритетные направления для инвестирования.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

1.1 ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА

К отходам электронного и электротехнического оборудования (ОЭЭО) относятся все устройства, утратившие потребительские свойства, чья работа зависит от электрического тока и/или электромагнитного поля. В мировой практике для обозначения этой группы отходов используются аббревиатуры WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) или E-waste.

Существует более 650 типов продуктов, кроме того каждый продукт имеет многокомпонентную структуру и разный состав драгоценных металлов. К драгоценным металлам относятся: золото, серебро, платина, палладий, родий, иридий, рутений, осмий, а также соединения этих металлов [2].

Согласно директиве Евросоюза, ОЭЭО разделены на 6 основных потоков: крупная бытовая техника, малая бытовая техника, холодильное и климатическое оборудование, ИТ и потребительская электроника, мониторы/ТВ, ртутьсодержащие лампы. Шесть основных потоков электронных отходов представлены на рисунке 1.

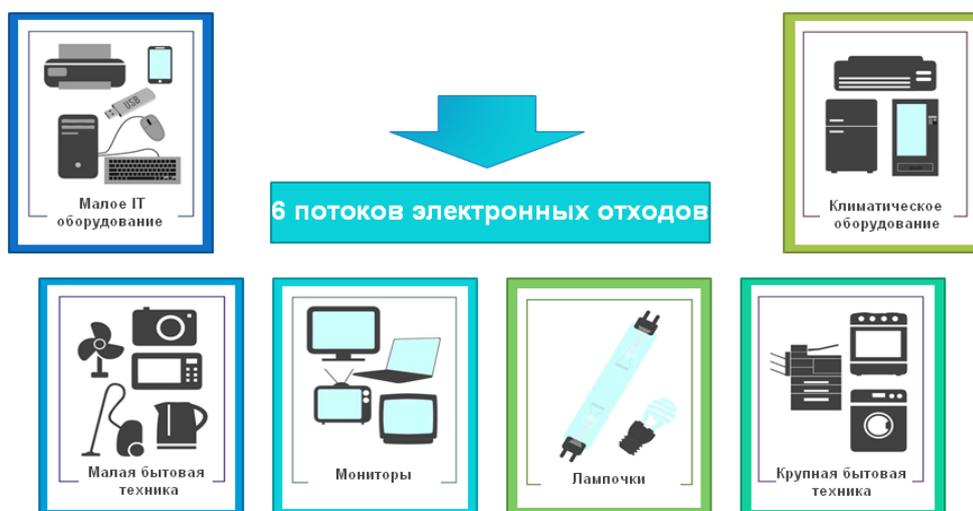


Рисунок 1 – Шесть основных потоков электронных отходов, согласно директиве Евросоюза [3]

Проблемы сбора, учета и технического уровня переработки вторичного сырья, содержащего благородные металлы, во многом связаны с классификацией этого сырья. Состав отходов, в частности, лом электронной и электротехнической промышленности, очень разнообразен и резко колеблется, вследствие чего классификация такого лома связана с большими трудностями. Наряду с благородными металлами (золотом, серебром, платиной, палладием, родием, рутением, иридием, осмием) и многими цветными металлами и сплавами в нем присутствуют включения стали, чугуна, алюминия и неметаллические составляющие (керамика, резина, стекло, пластик, гетенакс и др.).

В настоящее время в России и за рубежом не существует единой классификации вторичного сырья, содержащего благородные металлы. Ниже представлены возможные классификации по данным источников [2;4].

По содержанию благородных металлов:

- бедное сырье (менее 1 % золота, 5 % серебра и 1 % металлов платиновой группы);
- богатое сырье (более 1 % золота, 5 % серебра и 1 % металлов платиновой группы).

В обзорной информации проблемы переработки электронного лома, содержащего драгоценные металлы АО «РОСВТОРДРАГМЕТ» из электронной библиотеки WASTE.RU представлен другой вариант классификации по содержанию драгоценных металлов:

- бедное сырье, суммарно содержащее благородные металлы до 10 % (в основном это материалы с неметаллическими носителями, например, материалы футеровки печей для производства стекла или элементы с металлическими носителями, например, контакты, плакированные материалы, отходы обработки изделий из благородных металлов и их сплавов и др.);
- богатое, суммарно содержащее благородные металлы более 10 % (это концентраты и золы, образующиеся в качестве промежуточных продуктов при переработке отходов; металлические остатки, которые образуются

при производстве электрических контактов; образующиеся в процессе электролиза шламы и др.).

По составу материала основы:

- на металлической основе;
- на органической (пластиковой) основе;
- на керамической основе;
- на комбинированной основе.

Этого принципа классификации придерживаются многие зарубежные фирмы, например, немецкий концерн "Heraeus".

Другой вариант классификации по составу материала:

- вторичное сырье на неметаллической основе;
- отходы химической промышленности (керамическая основа);
- покрытие из благородных металлов на носителях из цветных металлов;
- тонкие покрытия из благородных металлов на носителях из черных металлов (сталь, чугун и др.).

По физическим признакам выделяют:

- твердые компактные отходы;
- сыпучие (порошки);
- жидкие.

В зависимости от места образования:

- ювелирной промышленности;
- химической промышленности;
- электронной, электротехнической и оборонной промышленности (радиолампы, разъемы, микросхемы, радиодетали, кабели и провода, аккумуляторы, элементы питания, прочие отходы);
- бытовых отходах (лом бытовой радиоэлектронной аппаратуры, бытовой стеклянный и фарфоровый бой, лом ювелирных украшений и т.д.).

В библиографическом источнике [5] источники вторичного сырья, содержащие драгоценные металлы предлагается поделить на две группы:

- традиционные (лом и отходы ювелирного производства, фотоматериалов, отработанные и бракованные катализаторы, содержащие платину, отходы лабораторной посуды и др.);

- нетрадиционные (лом и отходы электротехнического и электронного производства, содержащие драгоценные, редкие металлы, а также полупроводники).

По зарубежной классификации электронные отходы делятся на три группы [6]:

- группа 1 – металлические отходы, как правило, на основе меди и ее сплавов с содержанием благородных металлов до 5% (отходы прокатки, плакирования и штамповки, незапечатанные в капсулах транзисторы, массивные позолоченные шайбы, фольга, провода);

- группа 2 – двух- или многослойные материалы из цветных металлов или сплавов, которые различными способами покрывают тонким слоем благородных металлов (с содержанием менее 5%);

- группа 3 – материалы, соединенные с пластиком, керамикой, стеклом и другими компонентами (транзисторы, заключенные в капсулы из кремнийорганических полимеров, платы с печатным монтажом, части коммутационных систем, токопроводящие и резистивные пасты на основе серебра, палладия и рутения).

Из лома радиотехнических и электронных (бытовых и военных) изделий при вторичной переработке извлекают драгоценные металлы. Это, прежде всего, золото, серебро, платина и палладий.

Вторсырье, содержащее драгоценные металлы, классифицируют по технологической сущности (первоначальному назначению, порядковому образованию отходов) компонентов входящих в партию [7].

В таблице 1 представлена классификация ОЭЭО по Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) России.

Таблица 1 – Классификация ОЭЭО по Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) России [8]

| № п/п | Наименование отхода | Код по ФККО |
|---------------------------------|---|-------------|
| Компьютерная техника | | |
| 1 | Отходы производства компьютеров, электронных и оптических изделий | 37100000000 |
| 2 | Оборудование компьютерное, электронное, оптическое, утратившее потребительские свойства | 48100000000 |
| 3 | Компоненты электронные и платы, утратившие потребительские свойства | 48110000000 |
| 4 | Компьютеры и периферийное оборудование, утратившие потребительские свойства | 48120000000 |
| 5 | Системный блок компьютера, утративший потребительские свойства | 48120101524 |
| 6 | Отходы от демонтажа компьютерного, телевизионного и прочего оборудования | 74140000000 |
| Бытовая потребительская техника | | |
| 7 | Техника бытовая электронная, утратившая потребительские свойства | 48140000000 |
| 8 | Приборы бытовые | 48250000000 |
| Прочее | | |
| 9 | Лом электротехнических изделий из алюминия | 46220002515 |

Кроме того, отходы можно классифицировать по элементному составу и другим признакам. При этом электронный лом отличается особым многообразием состава и других физико – химических характеристик. На основании исследований и полученных статистических данных Лолейт Сергеем Ибрагимовичем в докторской диссертации были сформированы

6 групп по признакам происхождения сырья. Данная классификация была составлена на основе деятельности предприятия ОАО «Щёлковский завод вторичных драгоценных металлов» в первую очередь для решения проблемы разработки наиболее эффективного способа переработки многокомпонентного электронного лома. Классификация электронного лома по видам сырья представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Состав некоторых видов вторичного сырья, содержащего благородные металлы, % [9]

| Группа | Au | Ag | Pt–Pd | Al | Fe | Cu | Pb | Sn | Ni | Прочие |
|--|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|--------|
| Лом электронных систем военной техники | 0,08 | 0,43 | 0,70 | 15,20 | 7,15 | 21,11 | 3,15 | 12,41 | 2,14 | 37,63 |
| Печатные платы | 0,27 | 2,50 | 0,90 | 15,40 | 12,30 | 23,04 | 2,80 | 1,40 | 3,25 | 38,14 |
| Транзисторные и стеклянные изоляторы | 1,00 | 0,20 | 0,11 | 32,78 | 22,50 | 1,31 | 0,96 | 1,25 | 1,25 | 38,64 |
| Элементы переключения | 0,01 | 0,20 | 0,00 | 13,70 | 35,26 | 33,00 | 3,97 | 4,00 | 1,05 | 8,81 |
| Смешанный лом электронных приборов | 0,02 | 0,18 | 0,02 | 14,60 | 10,20 | 18,60 | 2,25 | 4,70 | 2,85 | 46,58 |
| ЭВМ | 0,31 | 2,89 | 0,15 | 17,61 | 7,45 | 12,00 | 0,85 | 1,23 | 2,20 | 55,31 |

Стоит отметить, что данное распределение на 6 групп не означает их неизменности. Для каждой группы существуют свои особенности, а на переработку обычно поступает скрап различного состава. Таким образом, электронный лом может иметь такое низкое содержание благородных металлов, что его переработка только с целью извлечения благородных металлов будет неэффективна. Поэтому нужно оценивать в комплексе содержание компонентов, что в свою очередь может расширить ассортимент выпускаемой продукции.

Лом электронных систем военной техники не богат золотом, это говорит о том, что извлечение лишь золота будет невыгодным. Поэтому для данной группы целесообразно извлечение других цветных металлов, таких как медь, содержание, которого достигает 21,11% и олова с содержанием 12,41%.

При переработке печатных плат наиболее выгодным будет извлечение меди (23,04%). Содержание меди по объему в данной группе занимает второе место после группы элементы с функциями переключения. Аффинаж серебра будет рентабельным, так как содержание серебра (2,50%) довольно высокое. Показатель в 0,27% по золоту является высоким, и позволяет считать выгодным извлечение данного компонента.

В транзисторных и стеклянных изоляторах присутствует золото с наиболее высоким процентным содержанием – он составляет 1,00 %. Это говорит о том, что данный вид сырья очень выгодно перерабатывать для получения достаточно большого количества конечного продукта (чистое золото). Но в то же время в данном составе довольно низкое содержание серебра (0,2 %), поэтому извлечение серебра из данного состава не выгодно. Кроме того, очень низкое содержание меди в этой категории сырья (1,31 %). Отсюда возникает вопрос об электролитическом рафинировании состава с получением катодной меди

Как уже было сказано, в группе элементы с функциями переключения содержание меди занимает лидирующую позицию по меди, по сравнению с другими группами (33,0%). В составе крайне низкое содержание золота (0,01%), но высокое содержание железа (35,26%). Следовательно, в данной группе в технологиях стоит делать акцент на переработку меди и выделению железа на стадии подготовки. Смешанный лом электронных приборов имеет схожий состав.

В группе ЭВМ наиболее рентабельным является извлечение серебра, так как его состав составляет около 3%.

Согласно таблице 1 можно сделать вывод о том, что электронный лом относится к неоднородному полиметаллическому сырью.

1.2 ТЕНДЕНЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА ЗА РУБЕЖОМ

С ростом производства электронного и электротехнического оборудования с каждым годом растет количество электронных отходов и лома. По данным Центра ЮНИДО в РФ и АПЭТ (Ассоциация переработчиков электронной техники) на 2019 год в мире было образовано 53,6 млн. тонн ОЭЭО. (+8,0% к уровню 2018 года). К 2022 г. объем образования вырастет, по оценкам экспертов, как минимум до 59 млн. тонн. Объем образования ОЭЭО в мире и на душу населения представлен на рисунке 2.

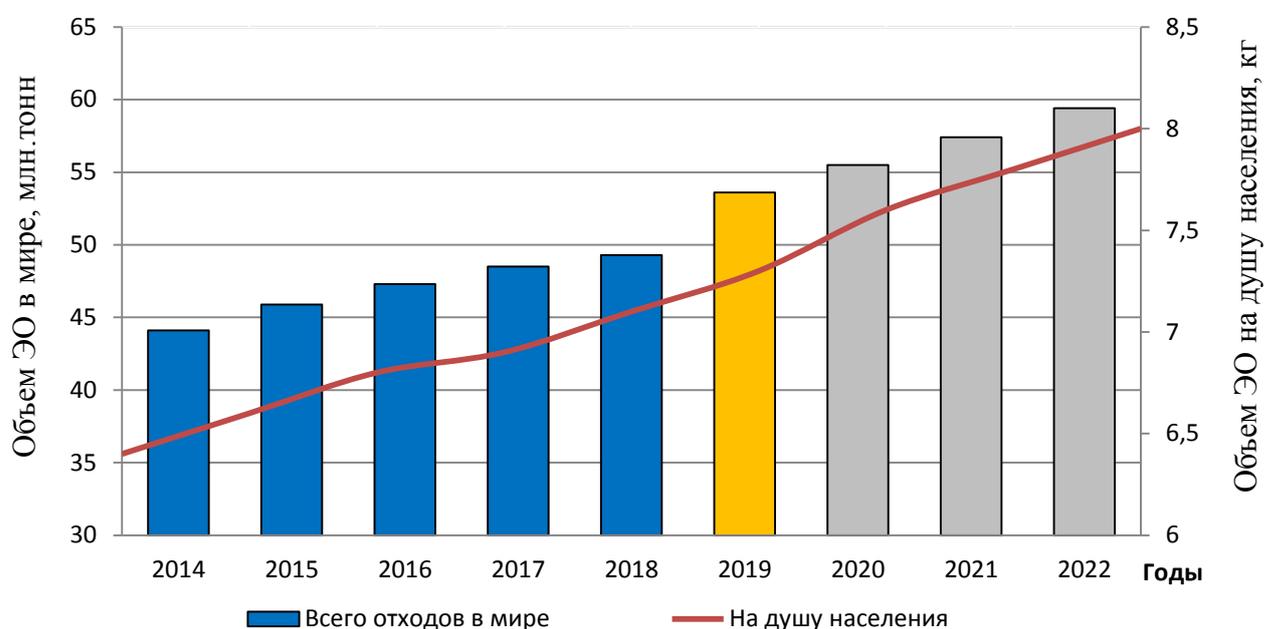


Рисунок 2 – Объём образования ОЭЭО в мире и на душу населения

Наибольшее количество электронных отходов в 2019 году было произведено в Азии – 46,5%, за ней следуют Америка – 24,4% и Европа – 22,4%, а Африка и Океания – 5,4% и 1,3% соответственно. Европа занимает первое место в мире по производству электронных отходов на душу населения – 16,2 кг. На втором месте Океания – 16,1 кг на душу населения, за ней следовали Америка – 13,3 кг, в то время как Азия и Африка производили 5,6 и 2,5 кг на душу населения соответственно [10].

При этом наивысший показатель по сбору наблюдается в Европе (45-48%) [11,12], на территории которой действует директива № 2012/19/ЕС Европейского парламента и Совета ЕС «Об отходах электрического и электронного оборудования (ОЭЭО)», определяющая нормативы переработки и восстановления ОЭЭО на душу населения.

В 2019 году формально задокументированный сбор и переработка отходов составила 9,3 млн. тонн, что составляет 18,9% от общего объема образования ОЭЭО. С 2014 года сбор и переработка ОЭЭО выросла на 1,8 млн тонн, что составляет более 0,4 млн тонн в год. Производство электронных отходов увеличилось на 9,2 млн. тонн при ежегодном росте почти на 2,5 млн. тонн. Таким образом, глобальный рост объема электронных отходов превышает темпы роста по переработке и сбору отходов. Статистика показывает, что в 2018 году континентом с самым высоким уровнем сбора и переработки отходов была Европа – 42,5%, Азия заняла второе место – 11,7%, Америка и Океания составила 9,4% и 8,8% соответственно, а Африка имела самый низкий показатель – 0,9% [13].

Объемы образования ОЭЭО по шести основным потокам представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Образование ОЭЭО в мире на 2018 год по основным потокам [3]

Значительную долю в общем объеме электронных отходов занимают крупная и малая бытовая техника 14,8 и 12,8 млн.тонн. Ожидается, что наибольшие темпы роста будут иметь отходы от теплообменного оборудования, а также от малой и крупной бытовой техники.

Данная тенденция обусловлена растущим потреблением этих продуктов в странах с низким уровнем дохода, где эти продукты повышают уровень жизни. Небольшое ИТ-и телекоммуникационное оборудование росло с меньшей скоростью, а экраны и мониторы показали небольшое снижение.

Это снижение можно объяснить тем, что в последнее время тяжелые ЭЛТ-мониторы и экраны были заменены более легкими плоскими панелями. Темпы роста электронных отходов по основным потокам представлены на рисунке 4.

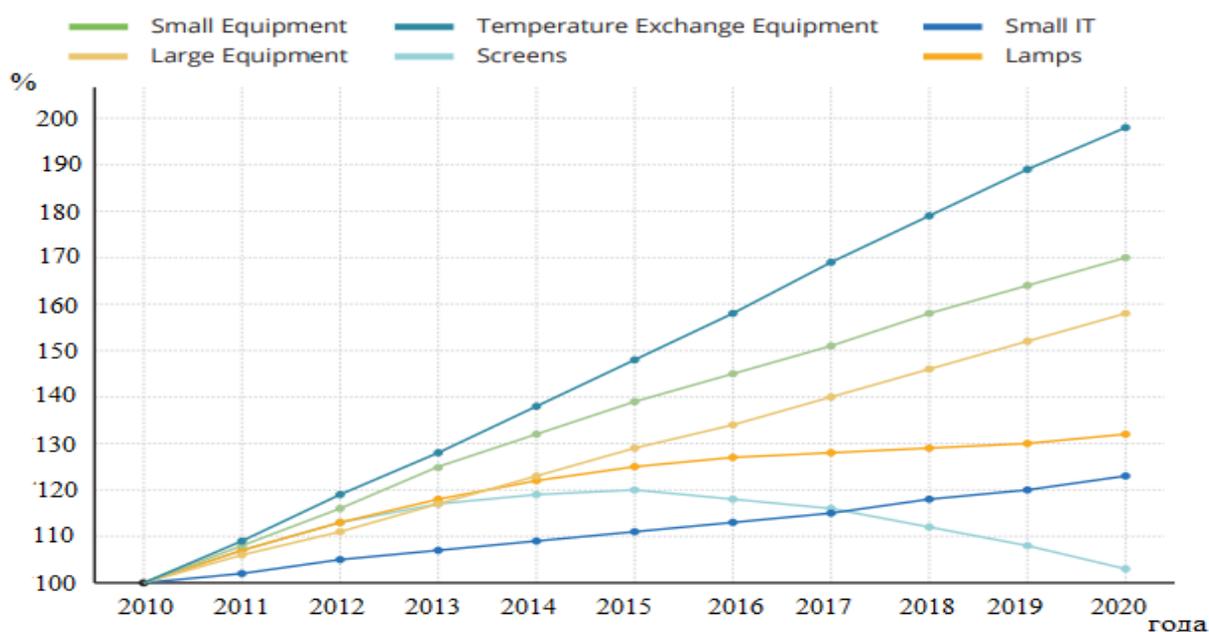


Рисунок 4 – Темпы роста электронных отходов по основным потокам [11]

С 2014 года число стран, принявших национальную политику, законодательство или нормативные акты в области электронных отходов, увеличилось с 61 до 78. Однако, прогресс в регулировании в некоторых регионах медленный, правоприменение слабое, а политика, законодательство или регулирование не стимулируют сбор и надлежащее управление электронными отходами из-за отсутствия инвестиций и политической мотивации. Кроме то-

го, объем электронных отходов, учтенных в законодательстве, обычно отличается от систем классификации электронных отходов, предлагаемых общепринятыми, согласованными на международном уровне методологическими рамками статистики электронных отходов. Эти различия в объемах электронных отходов приводят к отсутствию гармонизации статистики между странами [14].

На рисунке 5 представлена тенденция роста количества стран, в которых действуют законодательные нормы в политике обращения с электронными отходами.

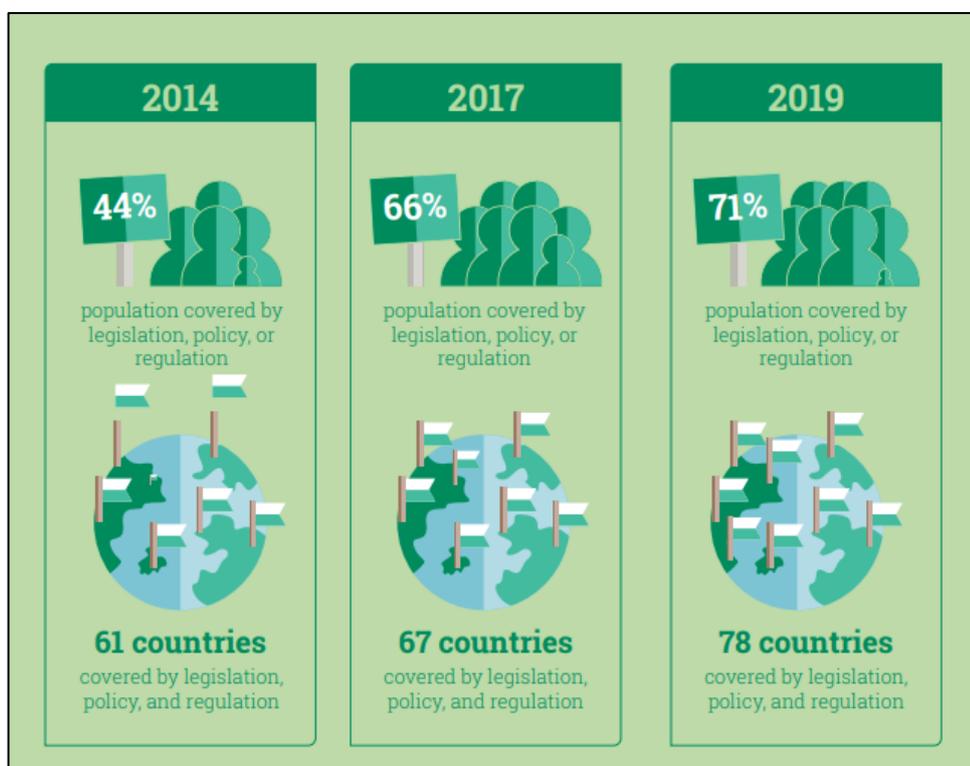


Рисунок 5 – Рост количества стран, в которых действуют законодательные нормы в политике обращения с ОЭЭО, по годам [13]

Как видно из рисунка 5, на 2019 год 71% населения мира охвачено национальной политикой, законодательством или регулированием электронных отходов. Значительный рывок в области регулирования политики обращения с электронными отходами пришелся на 2014 год, когда было охвачено только 44% населения. На высокий уровень вовлечения влияет тот факт, что в наиболее густонаселенных странах, таких как Китай и Индия, действуют национальные правовые инструменты. Однако данный процент охвата населения

составляет лишь 78 из 193 стран. Таким образом, менее половины всех стран мира в настоящее время охвачены политикой, законодательством или нормативными актами, которые регулируют обращение с электронными отходами.

Определение, роль и обязанности каждой заинтересованной стороны должны быть четко изложены в регламенте. Более подробно законодательство или нормативные акты по электронным отходам должны включать:

- определения роли муниципалитетов и правительства;
- четкое определение того, кто отвечает за организацию сбора и переработки отходов;
- четкое определение того, кто несет ответственность за финансирование сбора и переработки электронных отходов;
- национальное согласование определений электронных отходов;
- разрешительная и лицензионная структура для сборщиков и переработчиков электронных отходов;
- четкое определение понятия «производитель», если система основана на так называемом «Расширенной ответственности производителя» (РОП). Без этого ни один производитель не будет чувствовать себя обязанным подчиняться, и справедливое соблюдение правовых норм в отрасли будет более трудным;
- распределение обязанностей по сбору и переработке отходов между производителями;
- описание того, как компании должны регистрироваться в качестве «производителей»;
- документирование состояния их соответствия и четкое описание целей и задач законодательства.

Мониторинг количества и потоков электронных отходов имеет важное значение для оценки изменений во времени, для установления и оценки целевых показателей. Разработка рациональной политики и правовых инструментов может быть достигнута только при более точных данных об электронных отходах. Понимание количества и потоков электронных отходов

обеспечивает основу для мониторинга, контроля и, в конечном счете, предотвращения незаконной транспортировки, захоронения и ненадлежащего обращения с электронными отходами.

Опираясь на партнерство по измерению ИКТ в целях развития, в 2017 году Университет Организации Объединенных Наций – Программа SCYCLE (UNU-SCYCLE), Международная Ассоциация твердых отходов (ISWA) и Международная Союз электросвязи (МСЭ) объединил усилия для создания Глобального партнерства по статистике электронных отходов в тесном сотрудничестве с Организацией Объединенных Наций по окружающей среде Программа (ЮНЕП) по созданию Глобальной системы электронных отходов Статистическое партнерство как способ решения проблем, связанных с управлением электронными отходами [15].

Утилизация электронного лома – сложный процесс, включающий в себя ряд решения нескольких проблем. Одной из таких проблем является его многокомпонентность, из-за которой возникают сложности в выборе технологии для переработки той или иной группы электронных отходов и лома. В настоящее время все больше исследуются новые технологии переработки вторичного сырья.

Как уже говорилось ранее, электронный лом может иметь такое низкое содержание благородных металлов, что его переработка только с целью извлечения благородных металлов будет неэффективна. Поэтому в основном деятельность зарубежных компаний по переработке вторичного сырья направлена на комплексную переработку. Это говорит о том, что при переработке вторичных отходов, содержащих благородные металлы, извлекаются не только драгоценные металлы, как золото, серебро и др., но и другие ценные компоненты и соединения.

Наиболее широкую известность получили технологии переработки электронного лома в странах Западной Европы – Бельгия, Франции, Германии, Швеции, и др.

Анализ данных по технологиям зарубежных фирм показывает, что рентабельность всех технологий обеспечивается за счет получения дорогостоящих чистых и благородных металлов [16].

На предприятиях фирм «Johnson Matthey» (Великобритания) и «Degussa» (Германия) практикуется переработка с предварительным механическим обогащением сырья и последующей его термической обработкой [17].

На первом этапе переработки, извлечение драгоценных металлов осуществляется путем предварительной плавки обожженного скрапа на свинцовый веркблей и медный штейн. Далее медный штейн поступает на электролиз для получения катодной меди. Свинцовый веркблей содержит львиную часть благородных металлов. Для отделения платины и палладия осуществляют процесс плавки веркблей в купеляционной печи. Полученный сплав отливают в аноды для последующего электролитического рафинирования серебра.

Для повышения производительности данного метода фирма «Britannia Refined» Metals» (Великобритания) на заводе North Fleet установила новую печь емкостью 3 тонны. Отличие от основного способа заключается во вдувании в расплав кислорода взамен воздуха. Это ускоряет окисление свинца и тем самым переход его в шлак и обеспечивает получение серебра в конечном продукте больше 99% и уменьшает расход энергии на 20% [9].

Особенностью технологии переработки электронных отходов Umicore, Бельгия, является то, что электронный лом переплавляется вместе с пластиком. Такая мера приводит к большему коэффициенту извлечения драгоценных металлов в сравнении с механическим измельчением и сортировкой. При сжигании пластика высвобождается больше энергии, чем требуется для проведения плавильного процесса. Таким образом, происходит экономия топливных ресурсов. Схема технологического процесса Umicore представлена на рисунке 6.

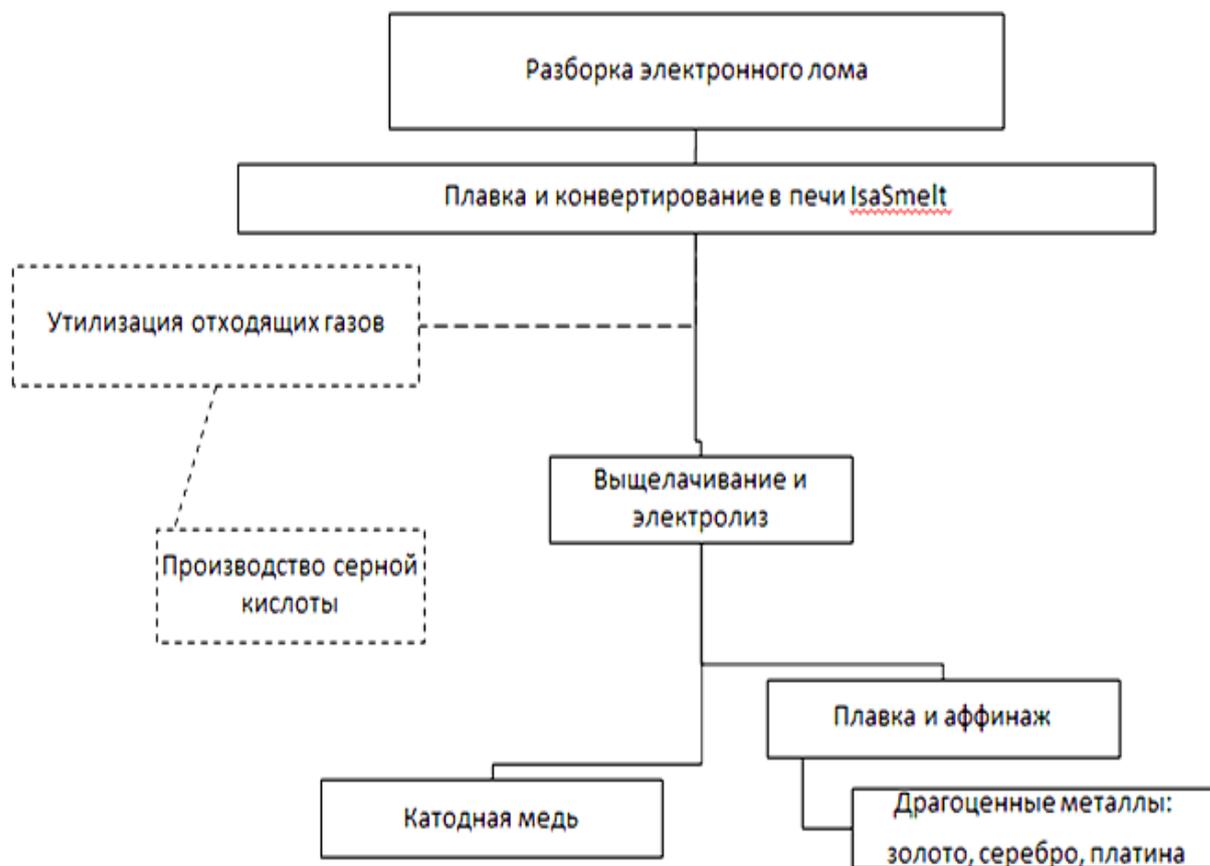


Рисунок 6 – Схема технологического процесса Umicore (Бельгия) по переработке электронного лома [9]

Технология переработки электронных отходов французской фирмы «Valmet» позволяет разделять чёрные металлы, цветные и благородные металлы и неметаллы в ходе механической обработки лома, включающая дробление, измельчение и истирание. Для разделения благородных и цветных металлов используется метод электролитического рафинирования.

Шведская компания «Boliden Metech Inc» впервые применила процесс Кальдо, для извлечения цветных металлов. Оборудование представляет собой цилиндр, который вращается во время плавильного процесса. Основной технологической операцией процесса является автогенная плавка исходного материала во вращающемся конвертере с верхним дутьем; подается воздух, обогащенный кислородом [18]. Шведская технология Boliden представлена на рисунке 7.

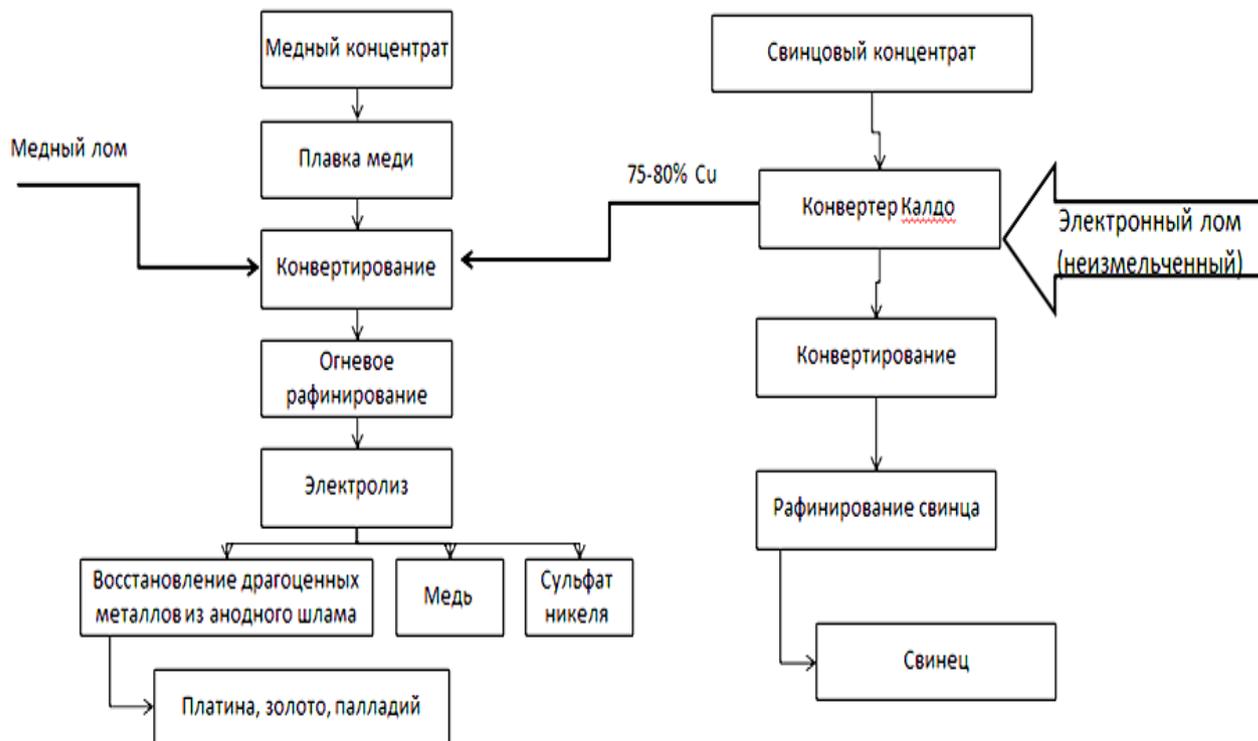


Рисунок 7 – Схема технологического процесса Voliden (Швеция) по переработке электронного лома [18]

Здесь электронный лом переплавляется вместе со свинцовым концентратом, в результате чего получается черновая медь (75 – 80% Cu). Далее продукт отправляется в конвертер в линию медного передела.

Также как и в Umicore пластик не отделяется от лома перед загрузкой в конвертер Калдо. Сжигание пластика позволяет снизить энергозатраты на проведение плавки.

Достоинствами печей Калдо является:

- переработка различных видов сырья;
- снижение потребление энергии;
- уменьшение капитальных затрат (за счет компактной конструкции печи);
- эксплуатационные расходы (особенно в случае переработки лома);
- автоматизация управления процессом.

Схема технологического процесса немецкой компании Aurubis представлена на рисунке 8.

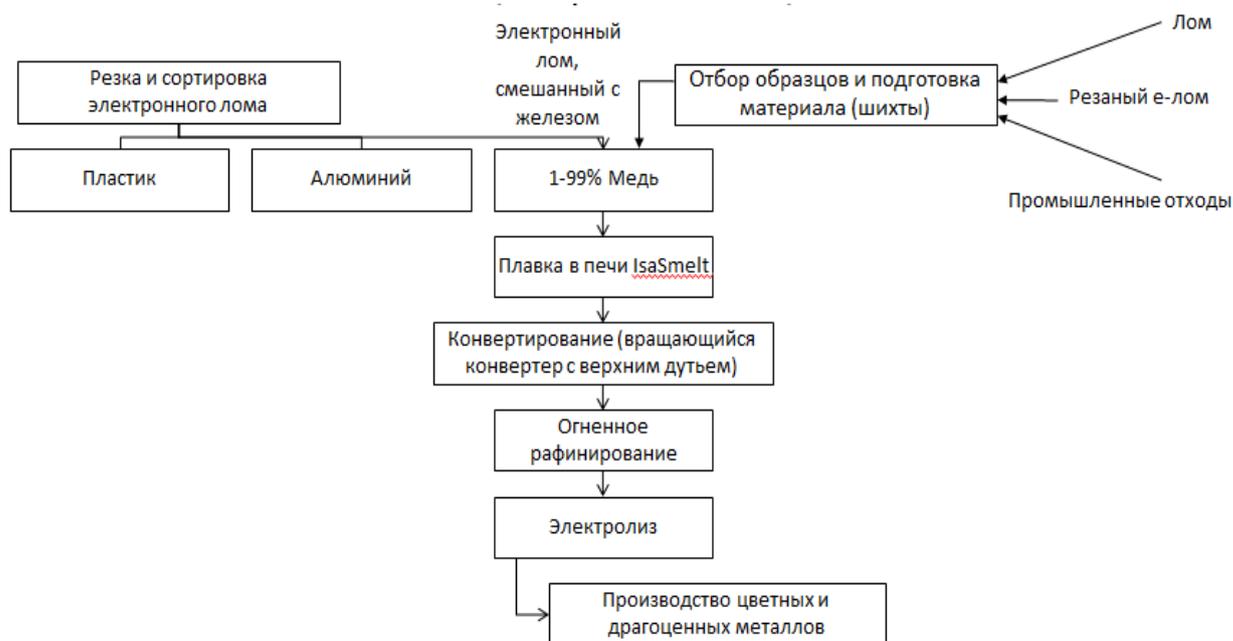


Рисунок 8 – Схема технологии Aurubis (Германия) по переработке электронного лома

Ключевым отличием технологии Aurubis (Германия) от технологий компаний Umicore и Voliden является отделение пластика от металлических составляющих электронного лома. На предприятии отсутствует передел по производству серной кислоты, соответственно, невозможно перевести в нее вредные вещества, образующиеся при сгорании пластика.

Одним из эффективных способов извлечения Au является метод хлорирования, применяемый фирмами "Sabin Metal. Corp." (США), "Gerald Group" (США), "Rand Refinery Ltd" (ЮАР) и др. [18]. Суть данного метода, выделения золотосодержащих компонентов, заключается в использовании в технологическом цикле газообразного хлора.

При хорошей степени извлечения золота следует отметить ряд недостатков:

- громоздкость оборудования для хлорных схем;
- агрессивность и токсичность хлора и хлоридов;
- необходимость специальных коррозионностойких материалов для аппаратуры;
- высокие затраты на реагенты.

Принимая во внимание проблему переработки ОЭЭО в зарубежной электронной промышленности, можно сделать вывод, что для предприятий приоритетным направлением является комплексная переработка данного сырья. Опыт зарубежных стран по активному внедрению мероприятий по утилизации отходов в электронной промышленности является наглядным примером использования институциональных подходов. Политика утилизации электронных отходов за рубежом была проинструментирована по вектору движения России.

1.3 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА В РОССИИ

В Российской Федерации в настоящее время проблемы рационального природопользования являются приоритетными. Извлечение драгоценных металлов из вторичного сырья является частью проблемы использования возвратных ресурсов. Снижение потребления традиционных природных ресурсов улучшит и экологическую обстановку в стране.

Производство электронных и электрических приборов является одним из наиболее быстро развивающихся направлений мировой перерабатывающей промышленности. Одновременно с этим технологические инновации и интенсивный маркетинг способствуют быстрой смене производимых изделий. Каждый год в мире образуется около 50 млн. тонн отходов электрического и электронного оборудования [19]. В России ежегодно образуется около 1,0 – 1,4 млн. тонн ОЭЭО [20]. Система учета образования и обращения с такими отходами в России развита слабо, поэтому точно сказать, какой процент образовавшихся отходов утилизируется, сложно.

По данным Ассоциации переработчиков электронной и электробытовой техники, в России перерабатывается около 5 – 7% электронных отходов, что составляет порядка 70 тыс. тонн ОЭЭО в год. Структура утилизации отходов электрического и электронного оборудования некоторых странах представлена на рисунке 9.

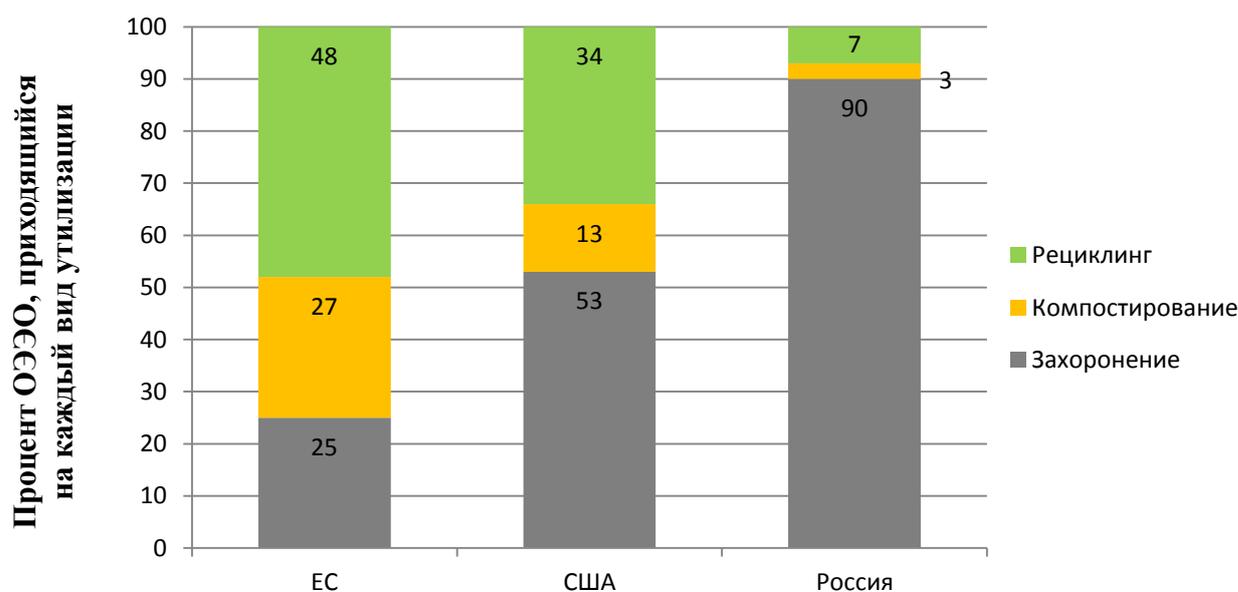


Рисунок 9 – Структура утилизации ОЭЭО некоторых стран

«Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» [1] оценивают рециклинг ОЭЭО на уровне 55 тыс. тонн.

В рамках экономики структура электронных отходов должна рассматриваться как важный источник вторичного сырья. Например, в России в 2019 году было получено 343,6 тонн золота, из них 38,5 тонн из вторсырья. На рисунке 10 представлена тенденция получения золота из вторичного сырья по годам.

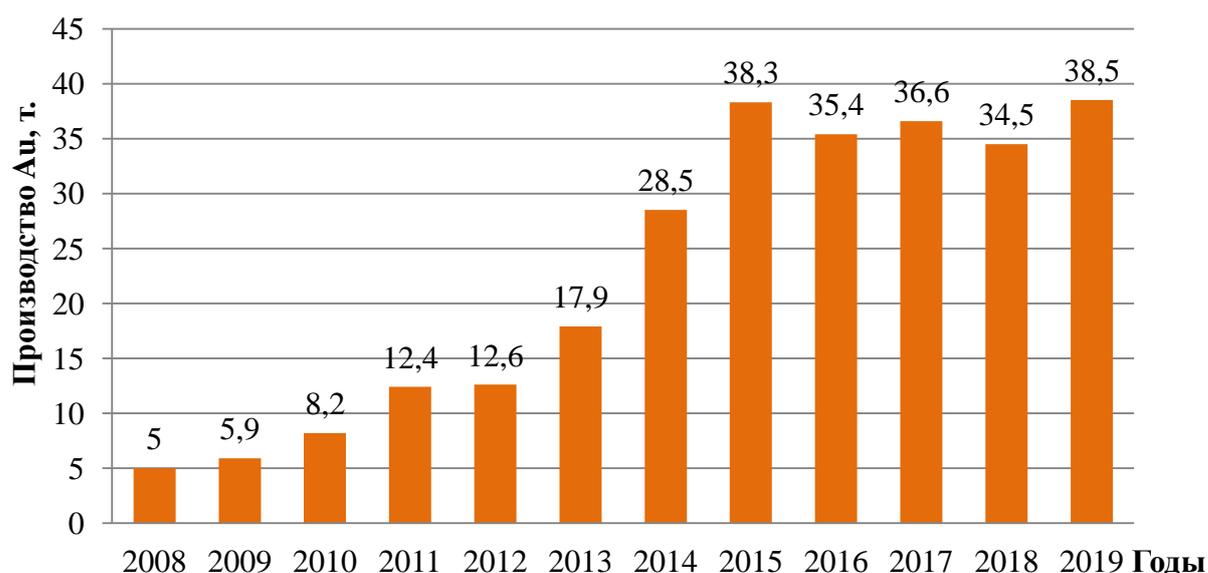


Рисунок 10 – Тенденция производства золота из вторсырья

Из-за проблем, связанных с первичной добычей полезных ископаемых, колебаниями рыночных цен, нехваткой материалов, наличием и доступом к ресурсам, возникла необходимость повысить уровень вовлечения вторичных ресурсов и снизить давление на первичные материалы. Перерабатывая электронные отходы, страны могли бы, по крайней мере, снизить свой материальный спрос безопасным и устойчивым способом.

Основными факторами, влияющими на неудовлетворительный уровень переработки являются:

- сложность и многостадийность технологических процессов;
- высокие затраты труда;
- многокомпонентность поступающего сырья;
- отсутствие инфраструктуры по сбору электронных отходов.

На фоне роста частного потребления электроники и бытовой техники, развития телекоммуникационной инфраструктуры возросло потребление цветных и драгоценных металлов в этих рыночных сегментах.

По данным IWCC (International Wrought Copper Council) на долю электроники, бытовой техники, телекоммуникационной инфраструктуры приходится 16,1% от мирового потребления меди. По данным GFMS (Gold Fields Mineral Services) на электронную промышленность приходится порядка 50% от потребления золота и 44 % потребления серебра в промышленном производстве.

Сравнительно короткий срок эксплуатации электроники, в том числе благодаря быстрому моральному износу, вместе с растущими объемами потребления металлов в этих рыночных сегментах делает электронику и бытовую технику важным источником вторичной меди, золота и серебра.

В 2018 году премьер – министр РФ Дмитрий Медведев подписал Стратегию развития промышленности по переработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства до 2030 года. Основной целью данной стратегии на ближайшие годы является довести уровень утилизации и обезвреживания всех отходов до 85%.

Согласно п. 8 ст. 12 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» № 89-ФЗ, с 01.01.2017 г. [21] захоронение отходов, содержащих полезные компоненты, запрещено. Перечень таких отходов утвержден распоряжением Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589 – р, и отходы электроники в него включены, что увеличивает нагрузку на региональных операторов.

В России работает более 100 предприятий, занимающихся переработкой ОЭЭО [2]. По статье 2 п.4 "Федерального закона о драгоценных металлах и драгоценных камнях" от 26 марта 1998 года N 1463 предприятия, занимающиеся переработкой ОЭЭО должны иметь регистрационные удостоверения Государственной пробирной палаты Российской Федерации на право сбора и переработки вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы [22]. То есть статья ФЗ гласит о том, что «лом и отходы драгоценных металлов подлежат сбору во всех организациях, в которых образуются указанные лом и отходы. Собранные лом и отходы подлежат обязательному учету и могут перерабатываться собирающими их организациями для вторичного использования или реализовываться организациям, имеющим лицензии на данный вид деятельности, для дальнейшего производства и аффинажа драгоценных металлов».

В основном деятельность большинства этих предприятий, по переработке ОЭЭО, заключается в сборе и предварительной переработки электронных отходов, из которых необходимая часть компонентов передается на аффинажные заводы. И только несколько перерабатывающих предприятий обеспечивают полный цикл переработки, извлекая при этом не только драгоценные металлы, но и другие ценные фракции.

В таблице 3 представлен список основных аффинажных предприятий РФ, где существует возможность переработки электронного лома с целью получения товарного золота и других металлов.

Таблица 3 – Аффинажные предприятия РФ

| № п/п | Наименование предприятия | Основная продукция или основные виды деятельности |
|-------|--|---|
| 1 | АО «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов», г. Щелково | - гранулы из аффинированного серебра; - порошок серебрянный; - серебро углекислое высокодисперсное промышленного назначения и т.д. |
| 2 | ООО «Россконтакт», г. Касимов | - концентраты аффинажные (золото, серебро, платина, палладий, рутений, родий); - техническая продукция (серебряные аноды и т.д.) |
| 3 | ООО «Завод ТЭКОН», г. Санкт-Петербург | - переработка сырья содержащего драгметаллы; - утилизация отходов |
| 4 | АО «Уральский завод вторичных металлов» г. Миасс | - переработка вторичных металлов (лома кабеля, электронный лом) |
| 5 | АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя – Пышма | - золото в слитках; - серебро в слитках; - концентраты металлов платиновой группы |
| 6 | АО «Екатеринбургский завод обработки цветных металлов», г. Верхняя – Пышма | - материалы из золота, серебра, платины и палладия; - платина; - палладий |
| 7 | ООО «Элиос» г. Москва | - переработка сырья содержащего драгметаллы; - утилизация отходов |
| 8 | ООО «Аффинор», г. Воскресенск | - покупка и глубокая переработка всех видов лома и отходов, содержащих драгметаллы; - переработка золотосодержащего минерального сырья |
| 9 | ОАО «Красцветмет», г. Красноярск | - аффинированные металлы; - изделия из драгметаллов; - покупка и глубокая переработка всех видов лома и отходов, содержащих драгметаллы |

На долю основных заводов-переработчиков приходится 41% перерабатываемого электронного лома. Основные переработчики электронных отходов и лома представлены на рисунке 11.



Рисунок 11 – Основные заводы-переработчики электронных отходов и лома, в %

Большое количество разнотипного оборудования, сложность конфигураций оборудования, и тем самым многокомпонентность состава электронного лома требует применения самых разнообразных способов переработки.

Существует 4 наиболее распространённых способа переработки:

- механический;
- гидрометаллургический;
- механический в сочетании с гидрометаллургической переработкой;
- механический в сочетании с пиро- и гидрометаллургическими процессами.

В зависимости от типа электронных отходов и их вещественного состава определяют наиболее приемлемый способ переработки.

Принципиальная схема переработки электронного лома в России представлена на рисунке 12.

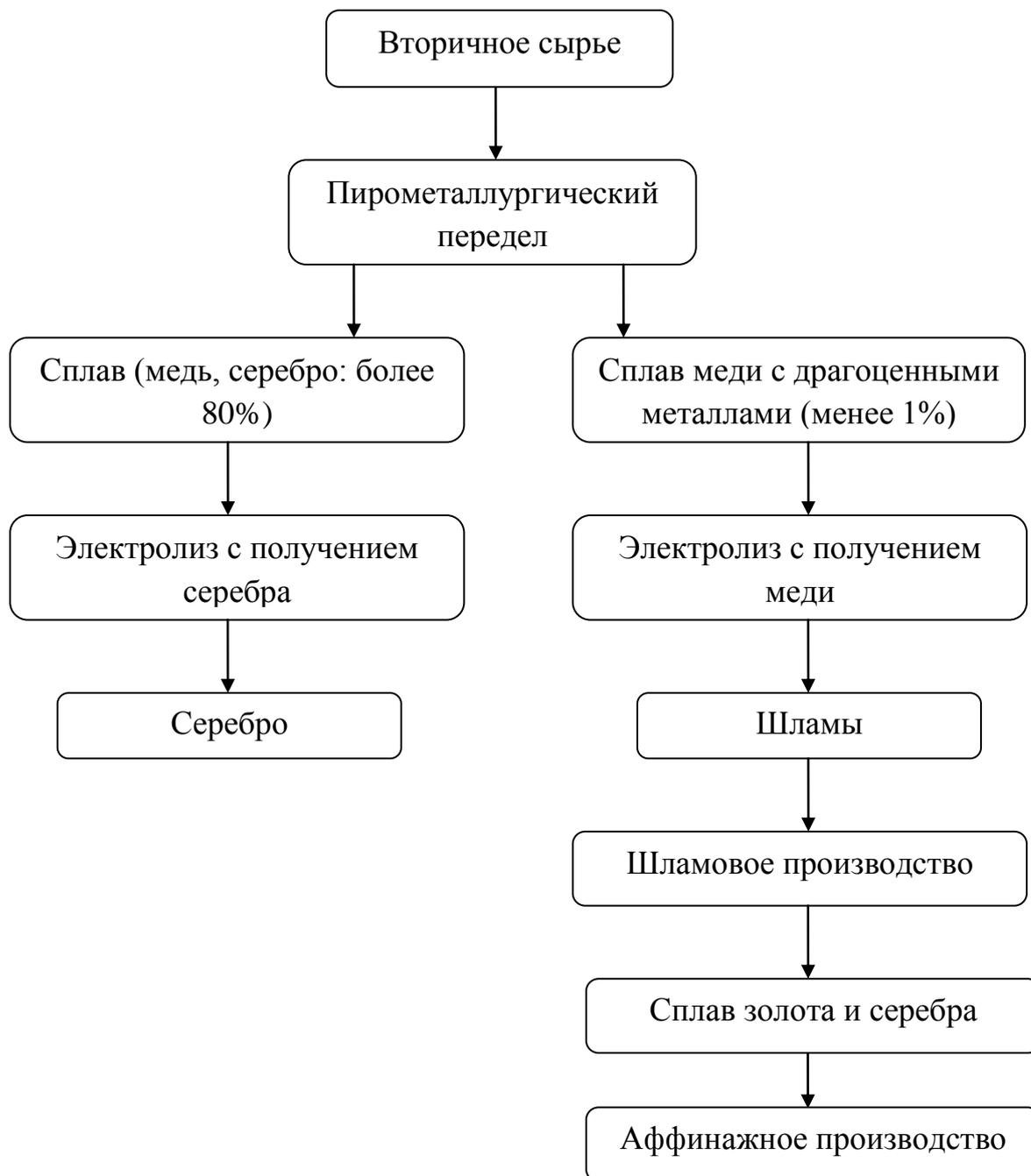


Рисунок 12 – Принципиальная схема переработки электронного лома в России, содержащего драгоценные металлы

В России чаще всего применяется технология пирометаллургической переработки электронного лома. Пирометаллургический передел может быть представлен электродуговой и анодной плавками, либо отражательной и шахтной плавкой с последующим конвертированием и огневым рафинированием.

Переработка вторичного сырья в РФ в большинстве своем ориентирована на медеплавильные комбинаты и сводится к преобразованию электронного лома, содержащего благородные металлы, в сплав с медью. Далее черновая медь подвергается электролитическому растворению анодов, в процессе которого образуется анодный шлам, обогащенный драгоценными металлами [5,9,23].

Самым первым этапом в любом способе является его механическая разделка. Химические и физические свойства электронного лома не позволяют направлять его на металлургическую плавку для извлечения необходимых компонентов без предварительной обработки. Предварительная обработка заключается в разборке блоков и узлов изделий, демонтаже многообразных и токсичных элементов. Как правило, механическая разделка электронных отходов и лома реализуется ручным трудом, поэтому производительность первого этапа невысокая. По разным оценкам, она составляет от 150 до 200 кг/(чел.смену). В конечном счете после ручной разделки получают: печатные платы с навесным монтажом; трансформаторы (медь, железо, органика); разъемы (пластмасса, ДМ); смесь и недоразделанные блоки.

Далее электронный лом поступает на второй этап переработки, который заключается в обогащении золотосодержащего электронного лома. Процесс обогащения включает измельчение в ножевых или молотковых дробилках, воздушная классификация, сепарация смеси в гидроциклонах, электромагнитная сепарация, отсадка. Выбор технологии определяется наличием необходимого оборудования и финансовыми возможностями предприятия. Отечественные технологии основываются на измельчении сырья, сепарации и последующем гидрометаллургическом переделе [2, 5, 24]. «Они наиболее эффективны при сравнительно небольших объемах производства и хорошо отсортированном сырье» [5,9]. Печатные платы на данном этапе обрабатываются с помощью пневмозубил или пневмокусачек. Трансформаторы подвергают обжигу в обжиговой печи, дроблению в молотковой дробилке, магнитной сепарации, воздушной сепарации. В результате получают: магнитную

фракцию (железо), немагнитную фракцию (медь); оксиды железа, меди и углеродсодержащие компоненты. Разъемы, содержащие драгоценные металлы, направляют в молотковые или ножевые дробилки. Удаление железа осуществляется с помощью магнитной сепарации.

Как говорилось ранее существенным недостатком и низкой производительностью первого этапа переработки электронного лома является его предварительная обработка. С целью повышения производительности, упрощения технологии с одновременным Южно-уральским специализированным центром утилизации (г. Миасс, Челябинской области) был выпущен и запущен в эксплуатацию комплекс для переработки электронного лома без предварительной обработки поступающего сырья и без использования электростатической или электродинамической сепарации для выделения металлического концентрата. Производительность комплекса составила 1500 кг/час.

Цель была достигнута благодаря применению молотковой дробилки отечественного производства. Высокая кинетическая энергия удара молотков, обеспечивающих дробление неразделанных электронных блоков с корпусными элементами, исключает предварительную ручную разделку. Очевидно, что электростатическая или электродинамическая сепарация таких фракций будет затруднена из-за большого разброса фракций по геометрическим размерам. Для решения этого вопроса для сепарации измельченного лома по крупности и по удельной плотности в комплексе был применен многопродуктовый пневматический каскадно – гравитационный классификатор, разработанный и поставленный Предприятием ОДО «Ламел-777» [25] .

И последний, третий этап переработки в наиболее распространенных технологиях включает в себя пирометаллургическую или гидрометаллургическую переработку. Последняя, заключается в выделении золота и серебра электролитическими методами или химическим осаждением.

Рынок рециклинга электронного мусора в нашей стране слабо развит, но, тем не менее, имеются производственные мощности. Существующие за-

воды в России по переработке электронного лома: ТЭКОН; Росконтакт; УЗВМ; Лимпэк и др.

На заводе «ТЭКОН» г.Санкт-Петербург осуществляется производственный комплекс извлечения драгметаллов, разработанный НПК «Механобр-Техника». Используя принципы ударно-скоростного дробления исходного лома, получают избирательно дезинтегрированный материал. Далее применяются методы магнитной и электрической сепарации, на выходе которого получают обогащенные драгоценными золотом и серебром цветные металлы. Далее драгоценные металлы выделяются посредством аффинажа. Комплекс позволяет получать гранулированные частицы очищенной меди и алюминия, а так же пластик и полиметаллический концентрат, содержащий серебро, золото, платину, палладий, медь, и другие металлы, с содержанием неметаллической фракции не более 10%. Извлечение благородных металлов составляет порядка 92-98% в зависимости от качества исходного сырья.

В настоящее время технологическая линия по переработке электронных отходов, разработанная НПК «Механобр-Техника» считается уникальной в РФ. Подобные зарубежные технологические линии выше в капитальных и эксплуатационных вложениях. Достоинством данной линии является то, что она может работать автономно.

Особенностью технологии разрабатываемой в НИИ Гиналмаззолото является широкое использование методов сепарации в жидких средах и некоторых других, характерных для обогащения руд цветных металлов. В основном эта технология направлена на извлечения драгоценных металлов из элементов и узлов электронного лома. Технологический процесс состоит из трех стандартных этапов:

- механическое вскрытие;
- обогащение электронного лома, содержащего благородные металлы, которое включает в себя три степени дробления и сепарацию полученных продуктов с помощью гидроциклонов и методами флотации;

- гидрометаллургическая переработка, заключается в получении благородных металлов из обогащенного дробленного лома электролитическими методами [26].

ВНИИПвторцветмет специализируется на технологиях переработки отдельных типов лома: печатных плат, блоков ПТК в телевизорах, электронно-вакуумных приборов и др.

В работе [9] были разработаны 9 технологических схем переработки. В пяти из этих схем применяется электролиз, в остальных процесс осуществляется с помощью растворения. В технологических схемах учтены только основные металлургические операции, так как вспомогательные операции, такие как очистка сточных вод, газов, не оказывают существенного влияния на себестоимость получения золота. Данные технологии переработки электронных отходов достаточно эффективны. Но в российское производство они внедрены только частично. Причиной этому является то, что крупные металлургические предприятия цветной металлургии нацелены на получение только драгметаллов. Для улучшения экономических показателей предприятий и получения ими максимальной прибыли необходимо внедрять технологии комплексной переработки, направленной на извлечение не только благородных металлов, но и других ценных компонентов.

Россия генерирует только 3,75% мирового объема электронных отходов, но эта сфера постепенно развивается и становится выгоднее. До 2022 планируется запустить 12 заводов по комплексной переработке электроники, лома и пластика в разных частях России: Казани, Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске, Ростове-на-Дону, Самаре и Орловской области.

Сегодня основной формой, которую принимают металлы в современной электронике и бытовой технике, являются печатные платы (printed circuit boards, РСВ). Печатные платы обеспечивают электрическое соединение между отдельными компонентами монтируемых модулей и находят применение почти во всех электронных и электрических приборах. Это могут быть как

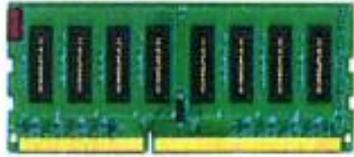
материнские платы, сетевые платы, звуковые платы для персональных компьютеров, так и платы управления бытовой техникой. Соответственно, лом печатных плат (wasted printed circuit boards, WPCB, scrap PCB) является основной формой вторичных металлов, которые содержатся в электронике и бытовой технике, утратившей свои потребительские свойства.

Наиболее распространенные виды лома печатных плат представленных на рынке можно классифицировать по наименованию и внешнему виду. В таблице 4 представлены виды лома печатных плат и цена за килограмм сырья. Диапазон цен сформирован на основании анализа фирм-поставщиков.

Таблица 4 – Виды лома печатных плат и их стоимость

| № п/п | Наименование | Внешний вид | Цена, руб/кг |
|-------|---|--|--------------|
| 1 | Процессоры текстолит |  | 300-1500 |
| 2 | Материнские платы от ПК, ноутбуков, серверов |  | 170-270 |
| 3 | Электронные платы микс (несортированные платы от бытовой техники, электроники, приборов и т.п.) |  | 60-80 |
| 4 | Платы мобильных телефонов |  | 700-1000 |
| 5 | Компьютерные платы микс (видеокарты, сетевые карты, платы расширения и т.п.) |  | 180-720 |
| 6 | Процессоры (CPU) керамика |  | 3000-9000 |

Окончание таблицы 4

| № п/п | Наименование | Внешний вид | Цена, руб/кг |
|-------|--|--|--------------|
| 7 | Импортные платы с микросхемами (платы от станций связи, импортного оборудования с большим количеством микросхем) |  | 100-150 |
| 8 | Модули памяти |  | 300-900 |

Стоимость электронных печатных плат также зависит от их целостности и наличия на поверхности плат полезных компонентов содержащих в себе драгоценные металлы, прежде всего разъемов, процессоров, конденсаторов, резисторов и т.д. Количество этих полезных компонентов различно в зависимости от страны производителя электронного (электротехнического) оборудования, а также от года его выпуска.

Учитывая неоднородность электронного лома, формирование цены лома за вес брутто, риски связанные с недополучением ожидаемого количества металлов после переработки, ключевое значение при покупке электронного лома имеет квалификация специалистов выполняющих визуальный входной контроль качества поставляемого сырья.

В настоящее время завершается строительство первого в России комплекса по переработке лома печатных плат, расположенного в городе Мценске. По данным Resycle, в отделениях проводятся пуско-наладочные работы. Инновационное предприятие сможет извлекать из медного лома и печатных плат до 99% полезных фракций.

На заводе в Мценске планируется извлекать такие ценные компоненты, как медный катод, цветные и драгоценные металлы. Мощности завода составит до 12 000 тонн суммарного лома печатных плат в год. На предприятие поступило оборудование ведущих европейских производителей, осуществ-

ляющее технологию пирометаллургической переработки полиметаллического сырья с забором органики до 40% и электролитическое рафинирование в электролизных ваннах.

Лом печатных плат является крупным источником сырья и для европейских, японских медеплавильных заводов. В частности переработку осуществляют: завод Hoboken (входит в группу Umicore), Ronskar (входит в группу Boliden), Lunen (входит в группу Aurubis), Kosaka (входит в группу Dowa) [27, 28]. Кроме этого, существует огромный неформальный сектор переработки лома печатных плат. В основном он сосредоточен в КНР (г. Гуйю) и республике Гана.

В России рост частного потребления электроники и бытовой техники пришел на первую декаду 2000 годов. Исходя из быстрого физического и морального износа этой продукции, а также исторических объемов реализации, в России должны потенциально формироваться заметные объемы лома печатных плат. Данный вид лома представляет интерес для ломозаготовителей по следующим причинам:

- возможность быстрого и относительного точного визуального определения содержания драгоценных металлов в ломе находящемся в разобранном виде;
- возможность получения быстрой оплаты при реализации данного сырья оптовым покупателям (трейдерам);
- рентабельность транспортировки сырья до покупателя на дальние расстояния, благодаря высокому содержанию драгоценных металлов в сырье;
- возможность получения дополнительной прибыли при дальнейшей механической обработке сырья (шредирование, сепарирование), за счет извлечения и реализации всех содержащихся в ломе металлов с минимальными потерями.

Лом печатных плат современной электроники и бытовой техники – это комплексное сырье, которое в среднем содержит: от 15 – 20% Cu, от 0,005% до 0,03% Au (50 – 320 гр/т), от 0,03% до 0,29% Ag (350 – 2900 гр/т) [29].

Формально лом печатных плат относится к радиоэлектронному лому. Однако, говоря о российском рынке, важно отметить разницу в химическом составе лома печатных плат и типовом радиоэлектронном ломе, который хорошо знаком российской металлургии. В соответствии с Оценочно-информационной системой классификации лома электронных изделий основным источником типового радиоэлектронного лома выступают ЭВМ типа ЕС и электроника военного назначения [30]. Среднее содержание золота в ломе ЭВМ составляет 0,31% (3 100 гр/т), в радиоэлектронном ломе военной техники – 0,08% (800 гр/т). Основным потребителем типового радиоэлектронного лома выступают аффинажные заводы (Красноярский завод цветных металлов, Приокский завод цветных металлов). Очевидно, что по своему химическому составу лом печатных плат представляет гораздо более бедное сырье, чем традиционный радиоэлектронный лом. Это существенно влияет на экономику его переработки [31].

Вместе с этим отличаются и источники поступления и формирования лома. Поступление радиоэлектронного лома производилось централизованно из нескольких организованных источников: от организаций, которые в советское время располагали вычислительными центрами, и от Министерства обороны. В свою очередь, основным источником лома печатных плат выступают миллионы частных домохозяйств, владеющих электроникой и бытовой техникой. Это оказывает принципиальное влияние на уровень сбора, так как очевидно, что наладить учет и сбор золотосодержащего сырья у организации проще, чем у населения.

Все это заставляет обособлять и выделять лом печатных плат в структуре радиоэлектронного лома.

При этом, учитывая срок с момента распада СССР, можно предположить, что весь существовавший лом ЭВМ переработан. Основным источником традиционного радиоэлектронного лома остается военная техника, которая продолжает выпускаться на советской (или близкой к ней) элементной

базе. В результате лом печатных плат становится основной формой радио-электронного лома в России.

Исходя из вышесказанного при оценке эффективности переработки электронного лома в качестве сырья будет принят лом печатных плат.

На пути развития действующих и производстве новых предприятий по переработке электронных отходов и лома возникают трудности, связанные с проблемами производственных мощностей, должного законодательного обеспечения, классификацией вторичного сырья, сертификацией, выбором необходимой технологии. В совокупности этих проблем отечественные технологии пока сложны и малорентабельны, поэтому России нужен эффективный механизм утилизации и переработки отходов электронного и электротехнического оборудования и развитие крупномасштабного производства вторичных металлов. В основном технологии, практикуемые в России сводятся к механическим методам на втором этапе, и пирометаллургии на третьем этапе получения драгоценных металлов.

Экономические показатели производства по переработке электронного лома в целом определяются рядом факторов, в частности, эффективностью применяемых технологий на всех стадиях технологического цикла переработки, качеством сортировки лома по группам, рациональной загрузкой основного и вспомогательного технологического оборудования и т. д. Лишь при оптимальном сочетании указанных факторов может быть реализовано экономически эффективное производство.

2 АНАЛИЗ ПРАКТИК И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В РОССИИ

2.1 ТЕНДЕНЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОБЛЕМА СБОРА ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Существующие в научной литературе оценки образования лома печатных плат в России достаточно ограничены и зачастую носят поверхностный характер [29,32 – 34]. Это связано со сложностью учета и отсутствием достоверной статистики по образованию и сбору электронных отходов (ОЭЭО) и их переработке.

Анализируя данные источники можно сделать вывод, что уровень сбора лома печатных плат в России ниже, чем показатели достижимые в развитых регионах (прежде всего ЕС) и существует возможность его увеличения.

Определение уровня потенциального (теоретического) образования лома печатных плат (ломообразования печатных плат) возможно двумя методическими подходами:

- определение теоретического ломообразования на основе исторического потребления электроники и бытовой техники;
- определение потенциального образования лома печатных плат от величины образования электронных отходов (основного источника лома печатных плат).

Первый подход, по сути, является вариацией метода, используемого для прогнозирования теоретического ломообразования меди. Данный подход представлен в работе Мартина Рурберга «Assessing the recycling efficiency of copper from end – of – life products in Western Europe» [35], а пример его практического применения в работе Томаса Гунана «Copper Recycling in the United States» [36].

Оценка теоретического ломообразования печатных плат опирается на исторические данные по продажам основных, наиболее массовых сегментов электроники и бытовой техники в период с 2009 – 2019 гг.

Анализ теоретического ломообразования по основным источникам данных, проведенный Емельяновым А.А. к.э.н. представлен в таблице 5. Источниками информации выступили аналитические отчеты М-Видео и оценки компании IDC.

Таблица 5 – Продажи электроники и бытовой техники в РФ в 2009-2019 гг.

| Год | Высокосортные печатные платы (Au > 100 гр/т), млн.шт. | | | Низкосортные печатные платы (Au < 100 гр/т), млн.шт. | | | |
|------|--|--------------------------------|---------------|---|-------------------|----------|----------|
| | ПК и ноутбуки | Мобильные телефоны и смартфоны | Планшетные ПК | Телевизоры | Стиральные машины | Принтеры | Мониторы |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 2009 | 8,76 | 32,45 | - | 9,10 | 5,79 | 6,46 | 8,00 |
| 2010 | 9,84 | 36,34 | - | 9,70 | 3,94 | 6,04 | 7,21 |
| 2011 | 7,28 | 32,32 | - | 9,89 | 3,22 | 3,63 | 6,42 |
| 2012 | 11,70 | 35,68 | - | 6,40 | 3,91 | 4,14 | 5,62 |
| 2013 | 12,06 | 39,78 | 1,30 | 7,68 | 3,91 | 4,26 | 5,40 |
| 2014 | 13,35 | 41,45 | 3,95 | 9,13 | 4,31 | 4,05 | 5,01 |
| 2015 | 10,14 | 43,17 | 7,20 | 9,98 | 4,65 | 3,96 | 4,59 |
| 2016 | 7,91 | 45,20 | 9,61 | 10,50 | 4,34 | 3,61 | 3,50 |
| 2017 | 4,90 | 40,86 | 6,60 | 5,50 | 3,26 | 2,50 | 2,11 |
| 2018 | 4,50 | 37,40 | 4,71 | 4,90 | 3,13 | 2,28 | 2,33 |
| 2019 | 4,88 | 28,65 | 3,12 | 5,10 | 2,00 | 2,40 | 2,80 |

Предполагается, что каждая единица техники имеет одну печатную плату (материнскую или плату управления) определенного веса. Вес печатной платы в каждом из анализируемых видов продукции получен на основании данных ломозаготовительных компаний и верифицирован по данным, находящимся в открытых источниках.

Результаты моделирования теоретического ломообразования печатных плат для 2019 года с использованием первого метода представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Оценка теоретического образования лома печатных плат в РФ в 2019 г.

| Ломосодержащая продукция | | Количество единиц техники, утратившей потребительские свойства, млн. шт | Средний вес печатной платы в изделии, грамм | Вес печатных плат (теоретическое образование лома печатных плат), тонн |
|--|--------------------------------|---|---|--|
| 1 | | 2 | 3 | 4 |
| Высокосортные печатные платы (Au > 100 гр/т) | ПК и ноутбуки | 11,85 | 1 000 | 11 849 |
| | мобильные телефоны и смартфоны | 41,47 | 100 | 4 147 |
| | планшетные ПК | 4,15 | 300 | 1 246 |
| Низкосортные печатные платы (Au < 100 гр/т) | телевизоры | 8,93 | 1 000 | 8 934 |
| | стиральные машины | 4,29 | 500 | 2 145 |
| | принтеры | 4,09 | 200 | 818 |
| | мониторы | 5,00 | 300 | 1 501 |
| Итого | | 79,78 | | 30 640 |
| Высокосортные печатные платы | | 57,47 | | 17 242 |
| Низкосортные печатные платы | | 22,31 | | 13 398 |

Как следует из таблицы 6, ломообразование печатных плат в 2019 году составляет 30,6 тыс. тонн в год. В основном это высокосортный лом печатных плат из мобильной электроники и компьютерной техники. Основным источником ломообразования выступила электроника, потребленная в 2013 – 2015 гг.

Динамики теоретического образования лома печатных плат в 2012 – 2019 гг., представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Теоретическое образование лома печатных плат в 2012-2019 гг.
(минимальная оценка)

Исходя из диаграммы видно, что доля высокосортных печатных плат с каждым годом неуклонно растет и их количество, начиная с 2017 года, преобладает над низкосортными печатными платами.

Расчет потенциального ломообразования с использованием второго метода основывается на оценке образования электронных отходов в России и массовой доли печатных плат в электронных отходах.

Оценка образования электронных отходов приведена по работам Бальде С.П., Форти В. «The Global E-waste Monitor. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA)» и Санакова Т.Ю. Комиссарова В.А. «Электронные отходы в СНГ сегодня и завтра» [37;38]. В соответствии с работами Далримпл И., Райт Н. «An integrated approach to electronic waste (WEEE) recycling» и Абхишека Кумара Авастхи «Integrated bioleaching of copper metal from waste printed circuit board — a comprehensive review of approaches and challenges» [39;40] массовая доля печатных плат может быть принята на уровне 3,1%.

Исходя из текущего образования электронных отходов в РФ на уровне 1,3 млн. тонн в год, оценка потенциального ломообразования с использованием второго метода дает результат в 40,6 тыс. тонн лома печатных плат в год.

В полученных результатах, прежде всего, обращает на себя внимание разница полученных оценок по первому и второму методу. Основной причиной расхождения являются различные исходные данные. Оценка по первому методу строится на исторических данных по продажам основных массовых сегментов электроники и бытовой техники. Однако перечень продукции, которая содержит печатные платы значительно шире. Она включает в себя, как потребительскую продукцию (микроволновые печи, цифровые фотоаппараты, аудиотехника, медиапроигрыватели и т.д.), так и продукцию инвестиционного спроса (телекоммуникационное оборудование, серверная техника и т.д.). Эта продукция содержит значимые для рынка объемы печатных плат и не учитывается при расчете ломообразования по первому методу. Кроме этого, возможна существенная вариация веса печатных плат в технике. К примеру, плата управления стиральной машиной может колебаться от 300 грамм до 1000 грамм в зависимости от модели. Второй метод включает всю возможную электронику и бытовую технику, однако базируется на укрупненных и усредненных оценках и не дает представление о структуре ломообразования.

Обе полученные оценки могут использоваться для характеристики ломообразования печатных плат в РФ. При этом оценка по первому методу будет представлять минимальный уровень ломообразования, по второму - максимальный. Таким образом, емкость российского рынка лома печатных плат находится в диапазоне от 30,6 до 40,6 тыс. тонн в год. Среднее значение полученного интервала – 35,6 тыс. тонн. Это соотносится с существующими в научной литературе оценками. Так, в работе [29] потенциальное образование лома печатных плат оценивается в диапазоне 30 – 40 тыс. тонн в год.

Основными факторами, оказывающими влияние на увеличение производства электронного оборудования являются:

- повышение уровня жизни населения планеты, в особенности в развивающихся странах;
- рост благосостояния населения;
- внедрение инновационных решений в повседневную жизнь (медицинское оборудование, электрические зубные щетки, бритвы и пр.);
- совершенствование технологических процессов по производству электронного оборудования;
- сокращение «срока жизни» электронного оборудования, вследствие быстрой утраты потребительских свойств;
- влияние отдельных крупных IT-брендов, на увеличение потребления электронного оборудования [41].

На рисунке 14 представлена структурная диаграмма основных ценных компонентов в среднем значении образования лома печатных плат.

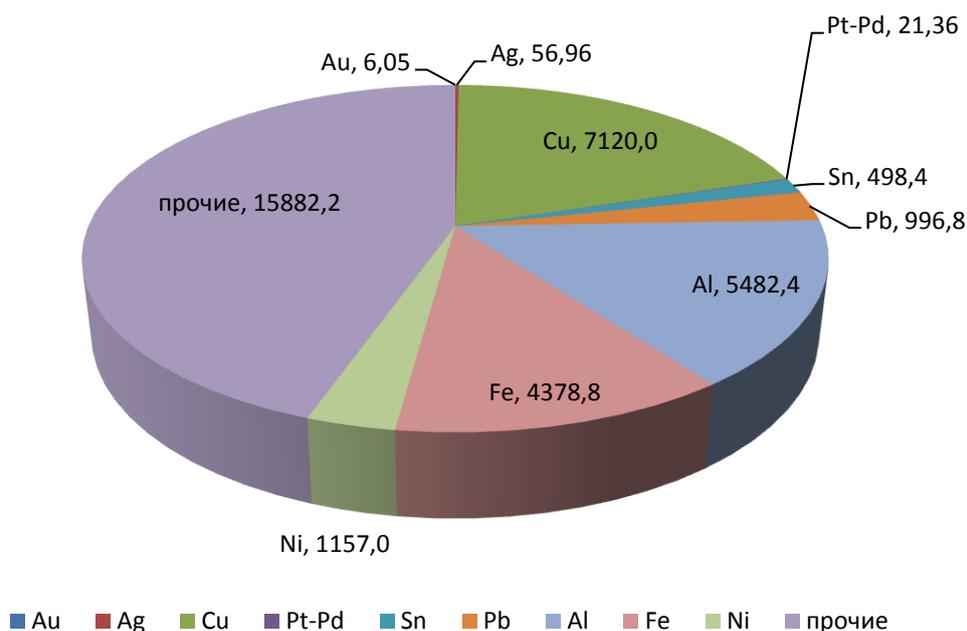


Рисунок 14 – Структурная диаграмма основных ценных компонентов в среднем значении образования лома печатных плат, тонны

По приведенной диаграмме можно сказать, что в ломе печатных плат содержится весомое количество ценных компонентов, которые не вовлекаются во вторичное производство. Следовательно, для предприятий это является упущенной возможностью получения дополнительного дохода. Напри-

мер, при образовании лома печатных плат (30,6 тыс. тонн в год) и содержания золота в ломе 185 г/т для высокосортных и 50 г/т для низкосортных, потенциальный доход может составить 9438,03 млн.руб. и 1982,14 млн.руб в год соответственно. При комплексной переработке и извлечении других компонентов данная цифра может вырасти в несколько раз.

В таблице 7, по первому методическому подходу уровня ломообразования в 2019 году, приведена стоимостная оценка компонентов лома печатных плат для различных видов оборудования. Коэффициенты извлечения металлов из печатных плат были приняты, основываясь на данных в работе [35].

Таблица 7 – Стоимостная оценка компонентов лома печатных плат для различных видов продукции, 2019 (по первому способу ломообразования)

| Извлекаемый металл | Содержание в ломе печатных плат, г/т (кг/т) | Извлечение, % | Вес, кг | Цена*, на бирже за 1 г, руб. | Выручка, млн.руб. |
|--|---|---------------|-------------|------------------------------|-------------------|
| ПК и ноутбуки (Au > 100 гр/т) | | | | | |
| Золото, Au | 185 | 98 | 2 192,07 | 3019,23 | 6486,00 |
| СереброAg | 900 | 95 | 10 664,10 | 35,54 | 360,05 |
| Палладий, Pd | 30 | 95 | 355,47 | 3877,07 | 1309,27 |
| Медь, Cu | (200) | 96 | 2 369 800,0 | 0,46 | 1046,50 |
| Итого | | | | | 9201,82 |
| Мобильные телефоны и смартфоны (Au > 100 гр/т) | | | | | |
| Золото, Au | 185 | 98 | 767,20 | 3019,23 | 2270,03 |
| СереброAg | 900 | 95 | 3 732,30 | 35,54 | 126,01 |
| Палладий, Pd | 30 | 95 | 124,41 | 3877,07 | 458,23 |
| Медь, Cu | (200) | 96 | 829 400,0 | 0,46 | 366,26 |
| Итого | | | | | 3 220,53 |
| Планшетные ПК (Au > 100 гр/т) | | | | | |
| Золото, Au | 185 | 98 | 230,51 | 3019,23 | 682,04 |
| СереброAg | 900 | 95 | 1 121,40 | 35,54 | 37,86 |
| Палладий, Pd | 30 | 95 | 37,38 | 3877,07 | 137,68 |
| Медь, Cu | (200) | 96 | 249200,0 | 0,46 | 110,05 |
| Итого | | | | | 967,63 |
| Телевизоры (Au < 100 гр/т) | | | | | |
| Золото, Au | 50 | 98 | 446,70 | 3019,23 | 1321,72 |
| СереброAg | 1200 | 95 | 10720,80 | 35,54 | 361,97 |
| Палладий, Pd | 10 | 95 | 89,34 | 3877,07 | 329,06 |

Окончание таблицы 7

| Извлекаемый металл | Содержание в ломе печатных плат ,г/т (кг/т) | Извлечение, % | Вес, кг | Цена*, на бирже за 1 г, руб. | Выручка, млн.руб. |
|-----------------------------------|---|---------------|-------------|------------------------------|-------------------|
| Медь, Cu | (200) | 96 | 1 786 800,0 | 0,46 | 789,05 |
| Итого | | | | | 2801,79 |
| Стиральные машины (Au < 100 гр/т) | | | | | |
| Золото, Au | 50 | 98 | 107,25 | 3019,23 | 317,34 |
| СереброAg | 1200 | 95 | 2 574,0 | 35,54 | 86,91 |
| Палладий, Pd | 10 | 95 | 21,45 | 3877,07 | 79,00 |
| Медь, Cu | (200) | 96 | 429 000,0 | 0,46 | 189,45 |
| Итого | | | | | 672,70 |
| Принтеры (Au < 100 гр/т) | | | | | |
| Золото, Au | 50 | 98 | 40,90 | 3019,23 | 121,02 |
| СереброAg | 1200 | 95 | 981,60 | 35,54 | 33,14 |
| Палладий, Pd | 10 | 95 | 8,18 | 3877,07 | 30,13 |
| Медь, Cu | (200) | 96 | 163 600,0 | 0,46 | 72,25 |
| Итого | | | | | 256,54 |
| Мониторы (Au < 100 гр/т) | | | | | |
| Золото, Au | 50 | 98 | 75,05 | 3019,23 | 222,06 |
| СереброAg | 1200 | 95 | 1 801,20 | 35,54 | 60,81 |
| Палладий, Pd | 10 | 95 | 15,01 | 3877,07 | 55,29 |
| Медь, Cu | (200) | 96 | 300 200,0 | 0,46 | 132,57 |
| Итого | | | | | 470,73 |

*Цены актуальны на 30.12.2019 по данным LME

По данным таблицы 7 построена диаграмма распределения выручки в зависимости от типа оборудования с учетом структуры ценных компонентов. Для построения диаграммы, приведенной на рисунке 15, были выбраны типы оборудования с наибольшим показателем выручки.

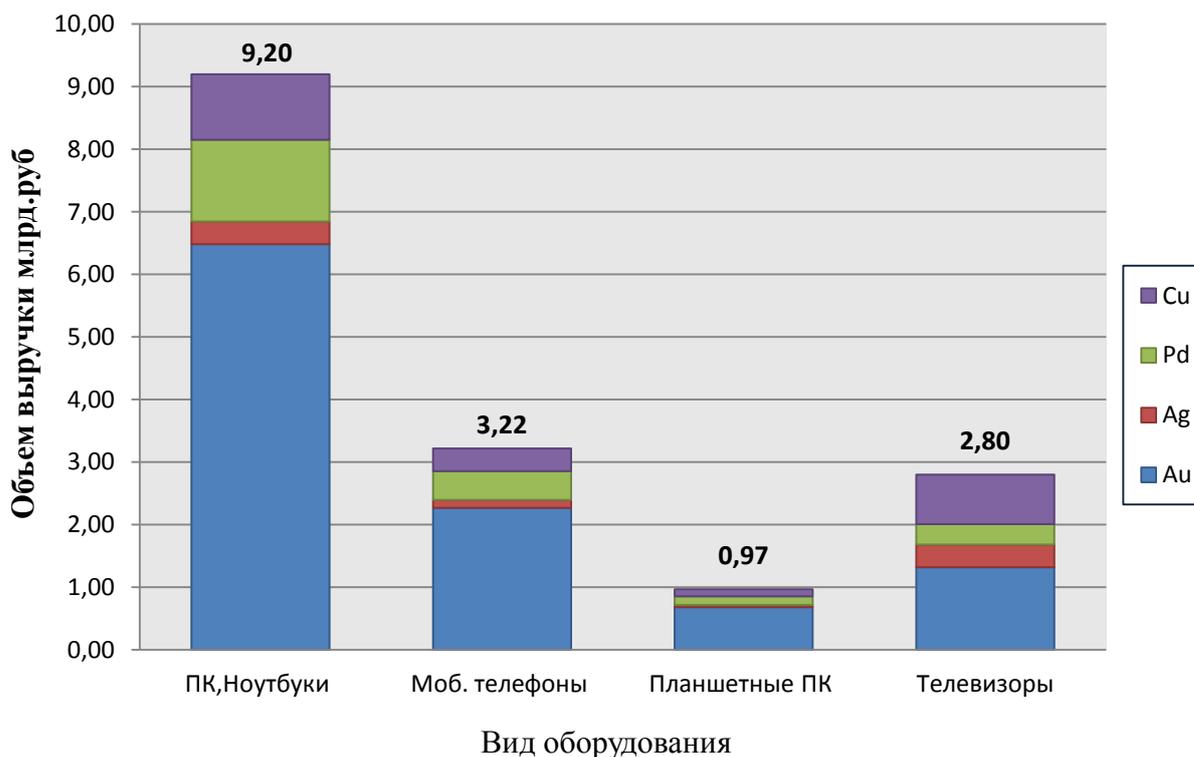


Рисунок 15 – Диаграмма распределения выручки по извлекаемым металлам в зависимости от типа оборудования

По диаграмме, изображенной на рисунке 15 видно, что первенствующее значение по выручке в составе каждого вида оборудования занимает золото. Для высокосортного лома печатных плат значение выручки от реализации Au (6,49 млрд.руб.) от общей суммы выручки ценных компонентов составляет 71,9 %. Наиболее прибыльным сырьем для переработки лома печатных плат является персональные компьютеры и ноутбуки (9,20 млрд.руб.).

Тенденция превышения спроса на драгоценные металлы над их предложением, наблюдаемая в последние годы, позволяет предположить, что высокий уровень цен на драгоценные металлы сохранится в ближайшей перспективе.

На рисунке 16 приведена диаграмма распределения выручки, полученная от извлечения металлов в период с 2016 по 2019 гг.

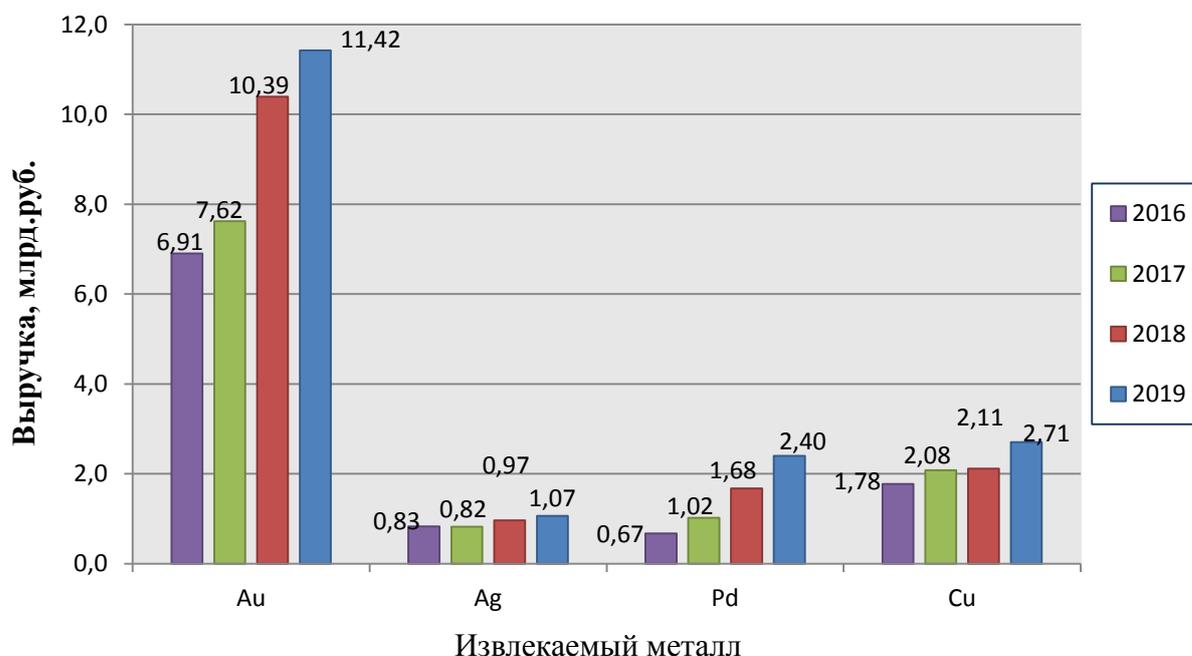


Рисунок 16 – Диаграмма распределения выручки от извлечения металлов по годам

Данная диаграмма позволяет заключить, что потенциальная выручка от переработки лома печатных плат с каждым годом растет. Это объясняется тем, что во – первых происходит увеличение ломообразования печатных плат, а во – вторых наблюдается рост цен на металлы. Например, цена Au с 2016 по 2019 год выросла на 24,4 %, а цена Pd – на 65,1 %.

При построении диаграммы использовались данные Лондонской биржи металлов LME, а также курс валют по данным ЦБ РФ на определенный год.

Исходя из потенциального ломообразования печатных плат, можно определить достигнутый объем сбора данного вида вторичного сырья. По оценкам участников рынка в РФ собирается от 400 до 500 тонн печатных плат в месяц [42]. К этому нужно добавить экспорт в размере 159 тонн в месяц. В результате суммарная оценка сбора будет составлять от 6,7 до 7,9 тыс. тонн лома печатных плат в год.

На рисунке 17 представлена диаграмма распределения объемов сбора радиоэлектронного лома по регионам РФ.

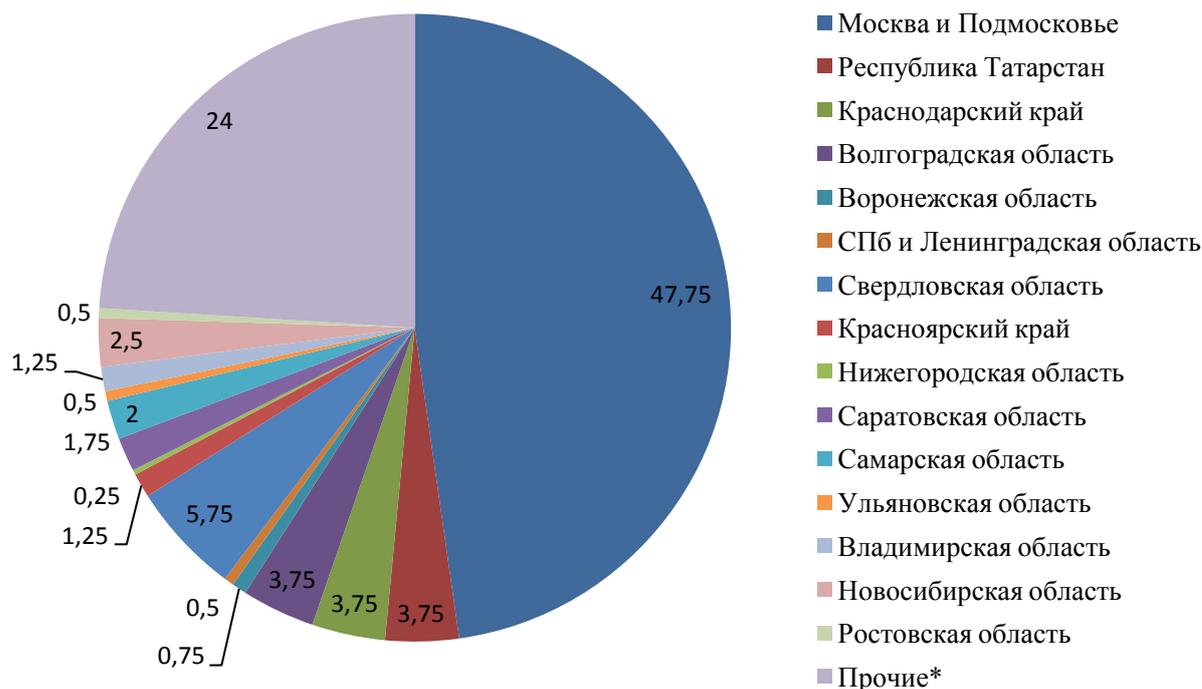


Рисунок 17 – Распределение объемов сбора РЭЛ по регионам РФ

По данной диаграмме видно, что значительная часть лома собирается в Москве и Московской области (47,75%). Далее располагается Свердловская область – 5,75 %, Республика Татарстан, Краснодарский край и Волгоградская область имеют показатель по 4%.

Если сопоставить среднюю оценку образования лома печатных плат (35,6 тыс. тонн) и среднюю оценку сбора (7,3 тыс. тонн), то коэффициент сбора лома печатных плат в РФ составит 20 %.

Интерпретировать полученный коэффициент сбора можно через сравнение с рынками лома печатных плат других стран.

Исходя из имеющихся открытых данных, в качестве рынка для сравнения можно принять рынок лома печатных плат стран Скандинавии. Собираемый в регионе лом перерабатывается на металлургическом заводе Ronskar (Швеция). По данным за 2012 год структура поставок электронного лома (в основном представлен ломом печатных плат) на Ronskar выглядела следующим образом: 20% страны Скандинавии, 70% страны Европы, 5% страны Северной Америки, 5% прочие страны [43]. По данным производственной от-

четности в 2012 году завод переработал 37 тыс. тонн электронного лома. Исходя из структуры поставок, 7,4 тыс. тонн приходилось на страны Скандинавии. Это значение можно принять в качестве объема сбора лома печатных плат в регионе.

Потенциальное ломообразование печатных плат в Скандинавии можно оценить на базе объема образования электронных отходов. Суммарно в Дании, Швеции и Норвегии образуется 496 тыс. тонн ОЭЭО, что потенциально формирует 15,4 тыс. тонн лома печатных плат в год. Исходя из объемов переработки на заводе Ronskar, коэффициент сбора будет составлять 48%. Это в 2,4 раза выше, чем российский показатель (20%).

Полученные данные указывают на то, что существует потенциал увеличения сбора лома печатных плат. Порядка 11 тыс. тонн в год лома печатных плат (если исходить из уровня сбора стран Скандинавии), которые потенциально могли быть собраны размещаются в составе электроники и бытовой техники на полигонах ТБО, либо, учитывая низкие издержки хранения отработанной электроники, остаются у населения.

Развитие практики сбора и переработки электронных отходов во всем мире, способствует тому, что большая часть вторсырья, содержащего драгоценные компоненты – может быть вовлечена для повторного использования в производственный цикл при одновременном сокращении непрерывного извлечения новых материалов.

Исходя из динамики потенциального образования лома печатных плат в 2012 – 2019 гг., представленной на рисунке 13 (по исходным данным таблицы 5) и фактически достигнутым в РФ коэффициентом сбора лома печатных плат (20%) можно предположить, что в составе не утилизированной бытовой техники и электроники находится порядка 171,4 тыс. тонн лома печатных плат, которая размещается на свалках и мусорных полигонах, нанося вред окружающей среде.

Размещение значительных объемов бытовой техники и электроники на свалках затрагивает проблему электронных отходов. На сегодняшний день эта одна из основных глобальных проблем защиты окружающей среды.

Текущие оценки международных организаций указывают, что утилизируются порядка 20% электронных отходов [44]. Остальные 80% либо попадают на свалки, либо перерабатываются в неформальном секторе (Китай, Гана). В обоих случаях наносится ощутимый вред окружающей среде.

Наличие опасных и вредных веществ, а также дефицитных и ценных компонентов в составе электронных отходов показывает необходимость осуществлять переработку электронных отходов экологически обоснованным способом. Данное мероприятие позволит избежать выброса опасных веществ в окружающую среду и потерь экологически и экономически ценных компонентов. Хотя в некоторых странах законодательные акты запрещают использование некоторых видов опасных веществ и настаивают на их замене более безопасными материалами. Однако, в потреблении у населения находятся приборы, которые не удовлетворяют требованиям законодательных норм. Поэтому утилизация данных электронных приборов должна подвергаться особому контролю, чтобы сдерживать риски, которые они могут представлять для окружающей среды и здоровья населения. Кроме того, новое оборудование может также по-прежнему содержать меньшие количества этих запрещенных веществ из-за того, что они технически еще не могут быть заменены или устранены.

При этом авторами подчеркивается, что электронные отходы важный источник вторичных материалов, в том числе таких ценных, как драгоценные и цветные металлы.

Из этого следует, что состояние рынка лома печатных плат тесно связано с проблемой электронных отходов, и мерами предпринимаемыми для её решения. К примеру, если посмотреть на уровень сбора электронных отходов в различных странах [45], то наиболее высокие показатели характерны для скандинавских стран: Норвегии, Дании Швеции, т.е. стран, которые, как бы-

ло показано выше, характеризуется высоким уровнем сбора лома печатных плат.

На сегодняшний день в отечественной научной литературе проблема электронных отходов в основном рассматривается, через анализ государственной политики в области обращения с электронными отходами [46;47]. Однако, это лишь одна сторона проблемы. Важнейшим аспектом является экономика сбора и переработки электронных отходов, которая, в частности, достаточно детально изучена для европейского рынка электронных отходов и лома печатных плат [48 – 50].

Понимание экономических механизмов, которые препятствуют сбору и переработке электронных отходов позволят объективно проанализировать возможный потенциал увеличения сбора лома печатных плат в РФ, а также оценить эффективность мер государственной политики в этой сфере (экологический сбор).

По итогам проведенного исследования был определен диапазон потенциального образования (30,6 – 40,6 тыс. тонн в год) и сбора лома (6,7 – 7,9 тыс. тонн в год) печатных плат в РФ. На основании полученных оценок был рассчитан коэффициент сбора лома печатных плат (20%). Сравнительный анализ с рынками лома печатных плат развитых стран (страны Скандинавии) показал наличие потенциала увеличения сбора лома печатных плат в РФ, что свидетельствует о недостаточном уровне переработки лома печатных плат. На сегодня на свалках и полигонах ТБО размещено порядка 171,4 тыс. тонн лома печатных плат в составе бытовой техники и электроники, которая оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Дальнейший анализ потенциала увеличения сбора должен базироваться на исследовании экономики сбора и переработки лома печатных плат в России.

2.2 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Деятельность производственных предприятий заключается в принятии ежедневных решений технического и организационного характера, которые необходимы для повышения эффективности производственного процесса и всей работы предприятия в целом. Целесообразность внедрения таких решений должна рассматриваться не только с технической точки зрения, но и с экономической. Не все прогрессивные технические решения могут быть экономически эффективными. Поэтому необходимо проверка экономической целесообразности внедрения какой-либо инновации на предприятии с учетом особенностей его функционирования [51].

Извлечение благородных металлов из вторичных материалов с применением пирометаллургической схема переработки лома печатных плат включает в себя шесть основных металлургических процессов:

- плавление концентратов на штейн;
- конвертирование медного штейна;
- огневое рафинирование;
- электролитическое рафинирование;
- плавление шлама благородных металлов;
- плавление аффинированного золота.

Плавление лома происходит в шахтной печи. Шахтные печи работают по принципу противотока – шихта и топливо загружаются сверху и опускаются вниз, раскаленные газы, выполняющие роль окислителя или восстановителя пронизывают шихту снизу вверх. По мере плавления уровень металла опускается и производят загрузку новой порции шихты. В нижнюю часть печи через фурмы вдувают воздух. Максимальные температуры (1350 –1550 °С) развиваются в области фурм при сгорании топлива и шихты. Процесс идет с высоким выделением тепла, за счет чего происходит плавление ших-

ты. Теплообмен между газами и шихтой осуществляется противотоком, что обеспечивает высокий коэффициент использования тепла (до 85 %) [52]. В шахтных печах сырье подвергается плавке с переводом меди и драгоценных металлов в медь черную и штейн печи шахтной. Цинк, свинец, олово распределяются между возгонами, которые улавливаются при очистке газов. Полученная черная медь и штейн направляются в конвертер.

Конвертирование – это процесс окисления с последующим переводом в шлак основных химических элементов: железо, олово, цинк, никель, сера, мышьяк и т.д. Процесс конвертирования черной меди и штейна происходит в конвертере путем продувки расплава внутри конвертера через фурмы воздухом. Конечным продуктом процесса конвертирования является черновая медь, которая разливается в изложницы. Вес слитка черновой меди может достигать 1500 кг. Химический состав черновой меди: 96,0 – 99,4% Cu, 0,01 – 0,04 % Fe, 0,02 – 0,1 % S, 100 – 500 г/т Au, 1000 – 2500 г/т Ag.

Третьим этапом переработки является огневое рафинирование черновой меди. Цель операции: удаление вредных примесей (таких как кислород, сера, железо, никель, цинк, свинец, мышьяк, растворенные газы) и получение медных анодов. Содержание меди в анодах по окончании процесса рафинирования составляет 99,4 – 99,6 % [52]. Процесс рафинирования проходит в стационарной (отражательной) печи. Топливом служит мазут, при помощи которого происходит отапливание печи. В качестве окислителя используют воздух, восстановителя – природный газ.

Полученные аноды отправляются на электролитическое рафинирование. Основная цель этого передела – получение катодной меди высокой частоты (99,0 – 99,97% меди), удовлетворяющей требованиям электротехнической промышленности, а также извлечение редких и благородных металлов в шлам. Аноды и катоды располагают параллельно друг к другу в ваннах. Ванны наполняют электролитом, состоящий из водного раствора сульфата меди и свободной серной кислоты. Аноды имеют положительный, а катоды отрицательный заряд. В результате разности потенциалов происходит электрохи-

мическое растворение меди на аноде и осаждение чистой меди на катоде. Примеси, находящиеся в аноде оседают на дне ванны в виде шлама. Катодная медь отправляется на реализацию заказчику, а шлам благородных металлов на получение сплава Доре в отделение переработки шламов. Основными характеристиками, определяющими параметры и показатели электролитического рафинирования меди, являются плотность тока, выход металла по току, напряжение на ванне, удельный расход электроэнергии.

Плавление шлама благородных металлов является пятым этапом переработки электронного лома пирометаллургическим способом. В отделение переработки шламов после цикла обезмеживания, шлам переплавляется в отражательной печи. В процессе плавки и рафинирования происходит полное удаление примесей путем их сильного окисления. Полученный сплав серебряно-золотой направляется в аффинаж, где происходит процесс разделения и рафинирования золота и серебра.

После растворения в царской водке золота и серебра раствор фильтруется. Полученный золотой шлам с содержанием золота 99% отправляется на плавку в индукционной печи. Из печи золото выливается в слитки или гранулы.

Расчет затрат топливно-энергетических ресурсов полного технологического цикла на переработку лома печатных плат пирометаллургическим способом является довольно трудоемким из – за своей многостадийности. Кроме того, сопутствующие удельные затраты ТЭР на каждой из стадий являются незначительными в сравнении с удельными затратами ТЭР на основное оборудование. Исходя из этого, было принято решение выполнить расчеты удельных затрат ТЭР на переработку лома печатных плат по основному оборудованию шести основных металлургических процессов [53].

Схема технологического процесса по переработке лома печатных плат пирометаллургическим способом представлена на рисунке 18.

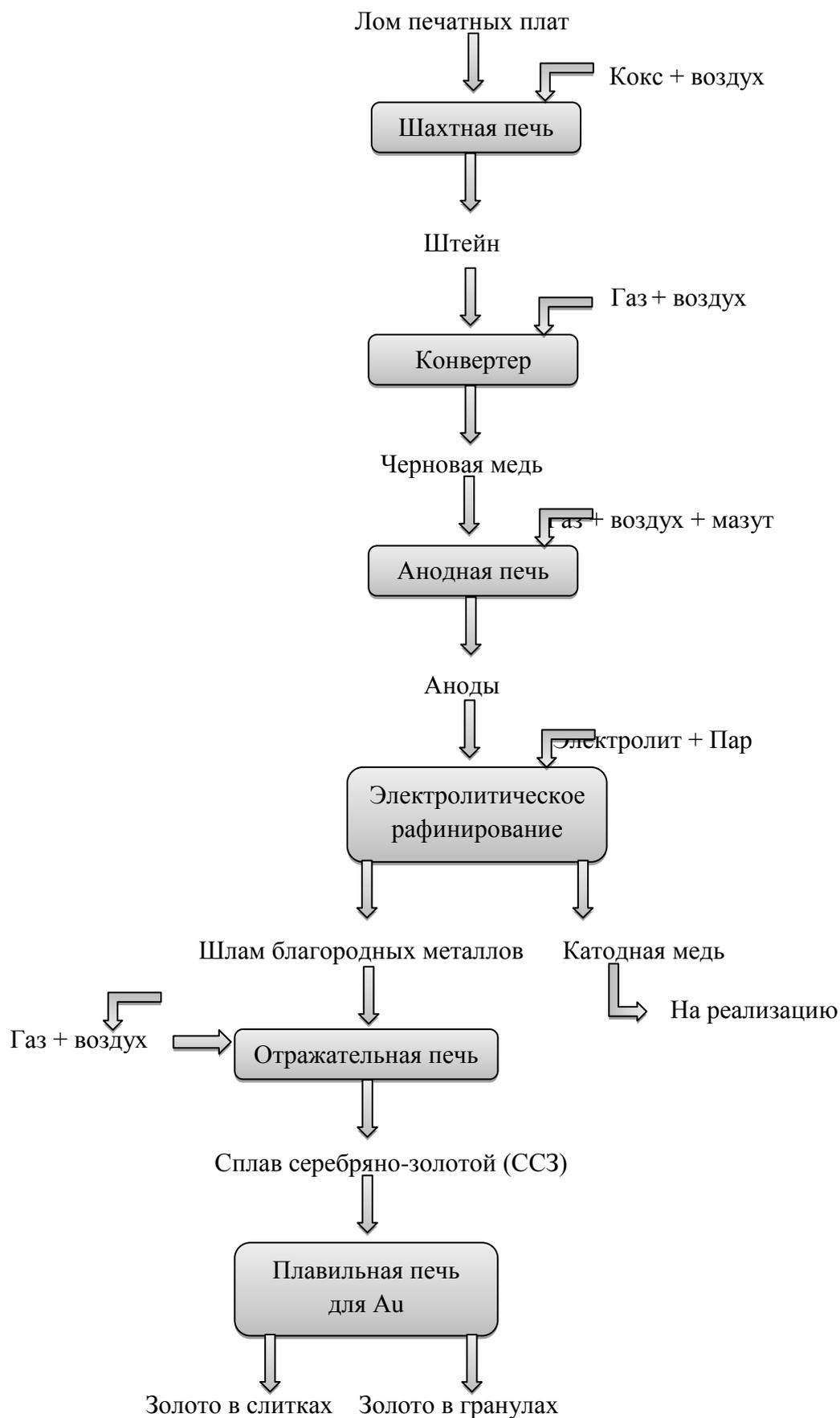


Рисунок 18 – Схема технологического процесса по переработке лома печатных плат пирометаллургическим способом

Основное оборудование для реализации переработки лома печатных плат пирометаллургическим способом и ТЭРы представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Потребность линии переработки электронных плат пирометаллургическим способом в энергетических ресурсах

| Наименование оборудования | Наименование ТЭР | Значение ТЭР, ед.изм. | Коэффициент перевода в т.у.т | Значение ТЭР, $q_{уд}$ т.у.т./ед.пр |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Шахтная печь + Конвертер | Газ | 0,217 тыс.м ³ /ед.пр | 1,154 | 0,251 |
| | Кокс металлургический | 0,454 т/ед.пр | 0,990 | 0,449 |
| | Электроэнергия | 0,524 тыс.кВт ч /ед.пр | 0,123 | 0,064 |
| Анодная печь | Мазут | 0,004 т/ед.пр | 1,370 | 0,005 |
| | Газ | 0,098 тыс.м ³ /ед.пр | 1,154 | 0,113 |
| | Электроэнергия | 0,007 тыс.кВт ч /ед.пр | 0,123 | 0,001 |
| Электролизная ванна | Электроэнергия | 0,397 тыс.кВт ч /ед.пр | 0,123 | 0,049 |
| | Пар | 0,030 Гкал/ед.пр | 0,143 | 0,004 |
| Отражательная печь | Электроэнергия | 0,031 тыс.кВт ч /ед.пр | 0,123 | 0,004 |
| | Пар | 0,038 Гкал/ед.пр | 0,143 | 0,005 |
| | Газ | 0,005 тыс.м ³ /ед.пр | 1,154 | 0,006 |
| Плавильная печь для золота | Электроэнергия | 0,007 тыс.кВт ч /ед.пр | 0,123 | 0,001 |
| | Пар | 0,005 Гкал/ед.пр | 0,143 | 0,001 |
| Итого | | | | 0,953 |

Для качественного сравнения удельных затрат ТЭР было принято решение перевести все единицы ТЭР в тонны условного топлива (т.у.т). Пересчет осуществляется при помощи общедоступного калькулятора.

Из таблицы 8 можно сделать вывод, что наибольшее значение потребления топливно – энергетических ресурсов происходит на переделе получения черновой меди 0,764 т.у.т/ед.пр.

Процесс переработки лома печатных плат должен быть экономически эффективным, как и любой другой технологический процесс. Для этого необходимо определить основные экономические показатели эффективности.

Учитывая, что объем информации по переработки лома печатных плат невелик, то в данном случае следует ограничиться оценкой экономической эффективности технологий по основным статьям затрат.

Для сравнения технологий переработки лома печатных плат целесообразно рассмотреть следующие показатели экономической эффективности:

- основные затраты;
- маржинальная прибыль;
- рентабельность переработки.

Поведение затрат в значительной степени зависит от изменения уровня деловой активности, т. е. от изменения объема производства. Информация о поведении затрат, необходимая руководителю для принятия различных управленческих решений, может быть получена с помощью маржинального подхода, в основу которого положена концепция маржинальной прибыли [54].

Маржинальная прибыль – это разность между выручкой от реализации продукции и переменными затратами (при расчете на весь объем реализуемой продукции) или разность между продажной ценой единицы продукции и переменными расходами, приходящимися на единицу продукции.

Для расчета маржинальной прибыли необходимо затраты на производство и реализацию продукции представить в виде суммы переменных и постоянных затрат, формула (1):

$$Z = Z_{\text{пер}} + Z_{\text{пост}} \quad (1)$$

Переменные затраты – часть текущих издержек производства, общая величина которых на весь объем изменяется прямо пропорционально изменению объема производства; в расчете на единицу продукции они остаются неизменными.

Постоянные затраты – часть текущих издержек производства, общая сумма которых не зависит от того, много или мало продукции произведено

или продано. При изменении объема производства общая величина постоянных затрат не изменяется или изменяется незначительно; в расчете на единицу продукции они изменяются обратно пропорционально изменению объема производства.

В данном случае для оценки эффективности технологий переработки лома печатных плат будут учитываться только переменные затраты, а именно затраты на приобретение сырья и материалов ($Z_{\text{сыр}}$; $Z_{\text{мат}}$) и затраты на топливно-энергетические ресурсы ($Z_{\text{ТЭР}}$) по формуле (2):

$$Z = Z_{\text{сыр}} + Z_{\text{ТЭР}} + Z_{\text{мат}} \quad (2)$$

Остальные статьи затрат (з/пл рабочим, обслуживание оборудования и т.д.) не используем в расчетах, так как задачей является сравнение технологических операций переработки лома и данное допущение не повлияет на конечный результат.

Для определения затрат на сырье необходимо рассчитать сколько требуется переработать электронного лома, чтобы получить 1 кг золота. В расчете принято содержание золота 185 гр/т, исходя из того, что в ломе печатных плат содержание Au составляет от 0,005 до 0,032 % (50 – 320 гр/т). Следовательно, для получения 1 кг чистого золота требуется 5,4 тонн лома печатных плат.

Стоимость сырья принята из анализа цен на приобретение лома печатных плат предприятиями РФ и составила 285 руб/кг с учетом содержания золота.

Затраты на ТЭР определяются по формуле (3):

$$Z_{\text{ТЭР}} = q_{\text{уд}} \times C_{\text{ТЭР}} \quad (3)$$

где $q_{\text{уд}}$ – удельные затраты ТЭР, т.у.т./ед.пр.

$C_{\text{ТЭР}}$ – стоимость 1 тонны условного топлива (т.у.т.), руб.

Стоимость 1 т.у.т. принимаем равной 15 964 рубля (\$215 по текущему курсу) [55].

Затраты на материалы определяются по формуле (4):

$$Z_{\text{мат}} = q_{\text{мат},i} \times C_{\text{мат},i} \quad (4)$$

где $q_{\text{мат},i}$ – количество i -ого материала, кг./ед.пр.

$C_{\text{мат},i}$ – стоимость i -ого материала, руб/кг

Расчет затрат на материалы при переработке лома печатных плат пи-рометаллургическим способом представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет затрат на материалы при переработке печатных плат пи-рометаллургическим способом

| Наименование | Цена за кг, руб | Затраты на материалы, $Z_{\text{мат}}$, руб | |
|---------------------------|-----------------|--|----------------|
| | | Количество, кг/ед.пр. | Сумма, руб |
| Кислота соляная | 28,00 | 0,29 | 8,37 |
| Кислота азотная | 34,00 | 0,30 | 10,20 |
| Пиросульфит на-трия | 259,00 | 0,04 | 11,40 |
| Аммоний водный | 106,00 | 0,15 | 15,90 |
| Мочевина (карбо-мид) | 36,14 | 0,03 | 1,30 |
| Натр едкий | 85,00 | 0,03 | 2,55 |
| Уголь древесный | 29,00 | 0,01 | 0,38 |
| Уголь каменный | 33,00 | 110,40 | 3643,20 |
| Тиомочевина | 239,00 | 0,07 | 16,73 |
| Желатин (клей мез-дровый) | 730,00 | 0,08 | 58,40 |
| Сода кальциниро-ванная | 19,80 | 1,00 | 19,80 |
| Песок форм | 18,50 | 1,04 | 19,24 |
| <i>Итого</i> | | | <i>3811,36</i> |

Маржинальная прибыль рассчитывается по формуле (5):

$$P_{\text{марж}} = B - Z_{\text{пер}} \quad (5)$$

где $P_{\text{марж}}$ – маржинальная прибыль от реализации единицы продукции, руб./кг;

$Z_{\text{пер}}$ – переменные затраты в себестоимости продукции, руб.

Поскольку основные затраты рассчитаны на единицу продукции, будет целесообразно принять выручку от продажи 1 кг золота по данным котировок ЦБ РФ и составляет 4415,6 тыс.руб.

Показатель прибыли является абсолютной величиной производственно-хозяйственной деятельности, а ее относительной величиной является рентабельность.

Рентабельность переработки лома печатных плат определяется по формуле (6):

$$P = \frac{\Pi}{B} \times 100\% \quad (6)$$

По формулам (2), (5) и (6) были рассчитаны экономические показатели эффективности переработки лома печатных плат и результаты расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели экономической эффективности при пиromеталлургической переработки лома печатных плат

| Показатели | Пиromеталлургический способ |
|---|-----------------------------|
| Основные затраты, Z, руб | 1 558 025,06 |
| Маржинальная прибыль, $P_{\text{марж}}$, руб | 2 857 634,94 |
| Рентабельность переработки, % | 64,8 |

2.3 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В СОЧЕТАНИИ С ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Извлечение благородных металлов из вторичных материалов с применением гидрометаллургических процессов можно условно разделить на две стадии. На первой стадии происходит вскрытие продукта в водном растворе с применением минеральных или органических веществ. При этом в зависимости от состава материала и применяемых реагентов возможно селективное отделение неблагородных примесей от благородных составляющих либо полный перевод всех компонентов в раствор. На второй стадии происходит извлечение ценных компонентов из раствора [52].

Переработка лома печатных плат вызывает особые трудности. Они возникают в том случае, когда благородный металл «экранирован» от контакта с растворителем [56].

Механическая стадия переработки лома печатных плат включает в себя следующие операции:

- роторная дробилка;
- молотковый дезинтегратор;
- воздушная сепарация;
- электростатическая сепарация;
- магнитная сепарация.

Лом поступает в роторно – ножевой измельчитель, где происходит дробление плат и кусков блока. Далее по конвейеру материал поступает в ударно – роторный дезинтегратор, который позволяет получать после первичного измельчения на выходе размеры частиц не более 5 – 7 мм. Данный этап обеспечивает интенсивное разрушение слоистой структуры платы.

Далее на пути следования материала идет грохот. Он разделяет фракции и направляет соответствующую на дальнейшую переработку. Не про-

шедшая через грохот фракция отправляется на повторное дробление для получения необходимого размера.

Измельченная фракция направляется на воздушную сепарацию, где происходит выделение пластика, который может быть реализован предприятиям для соответствующей переработки. Данный цикл позволяет выделить до 92% металлов [57].

Следующий этап электростатическая сепарация предназначен для выделения керамики. Данный метод позволяет выделить 92 – 98 % металлов в зависимости от качества лома. Неэлектропроводная фракция отправляется на утилизацию, а электропроводная на магнитную сепарацию.

Целью магнитной сепарации является отделение черных металлов. Для этого используют барабанные магнитные сепараторы с низкоградиентным магнитным полем. Полученная, в результате сепарации, ферромагнитная фракция (порядка 40%) отгружается на реализацию.

В результате вышеперечисленных процессов получается полиметаллический концентрат, который необходимо разделить на отдельные металлы.

Процесс растворения начинается с добавления в реактор «царской водки». Следующим шагом является фильтрация полученного раствора. Золото-содержащий раствор поступает на кондиционирование в высококонцентрированный раствор азотной кислоты при температуре 80 – 90 С⁰ для удаления остаточного содержания хлорида серебра и нерастворившейся части платины и палладия. Полученный золотой шлам плавится в индукционной печи с графитовым тиглем. Продуктом плавки является золото в слитках или золотые гранулы.

На рисунке 19 представлена технологическая схема переработки лома печатных плат механическим способом в сочетании с гидрометаллургической обработкой.

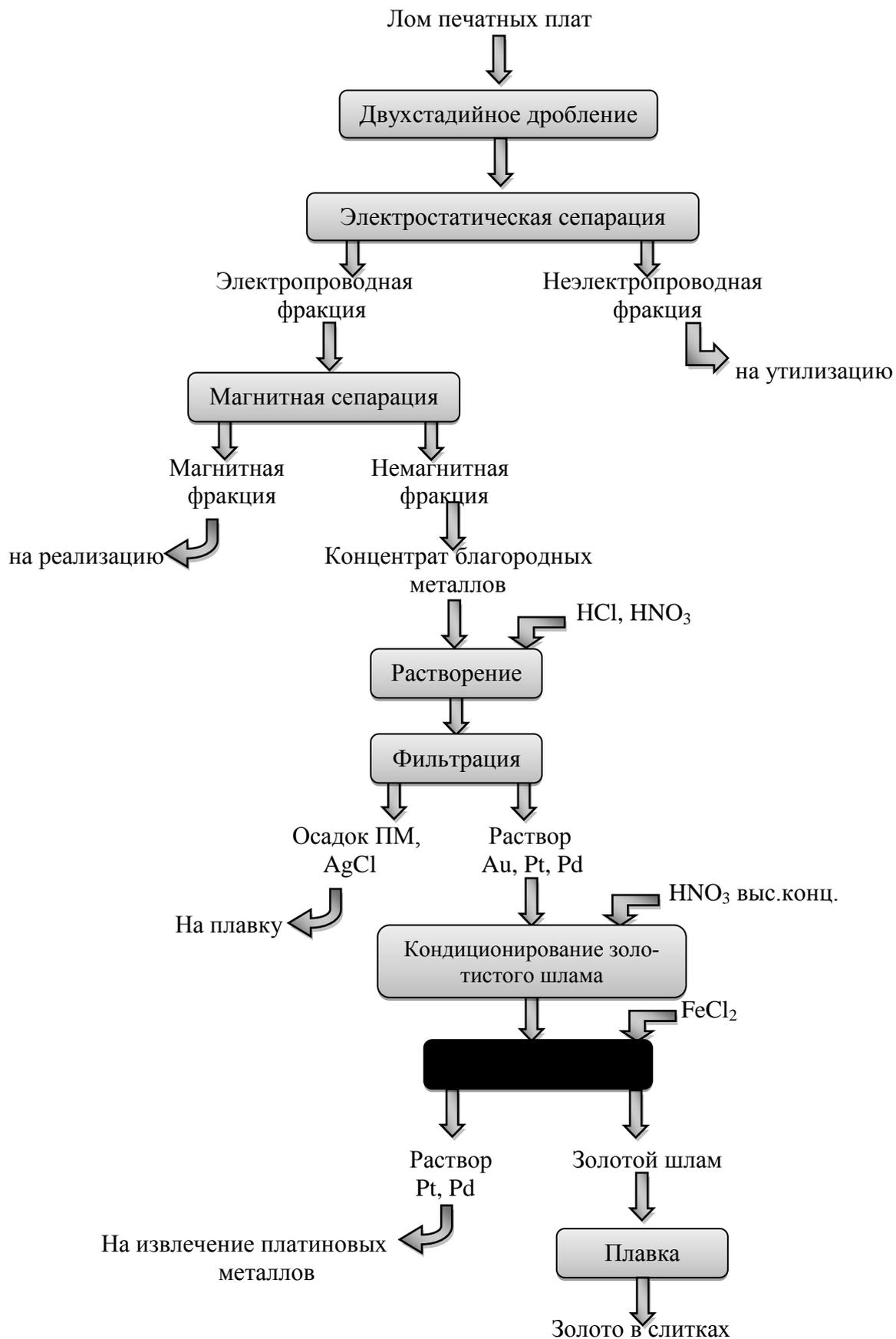


Рисунок 19 – Схема технологического процесса по переработке лома печатных плат гидрометаллургическим способом

Основное оборудование для реализации переработки лома печатных плат механическим способом с применением гидрометаллургической обработкой и ТЭРы представлены в таблице 11. По аналогии с первым способом в таблице будут учтены только основные топливно-энергетические ресурсы. Таблица 11 – Потребность линии переработки печатных плат гидрометаллургическим способом в энергетических ресурсах

| Наименование оборудования | Наименование ТЭР | Значение ТЭР, ед.изм. | Коэффициент перевода в т.у.т | Значение ТЭР, $q_{уд}$ т.у.т./ед.пр |
|---|------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Дробилка 2-х типов | Электроэнергия | 0,134 кВт ч | 0,123 | 0,016 |
| Грохот | Электроэнергия | 0,015 кВт ч | 0,123 | 0,002 |
| Электростатический сепаратор | Электроэнергия | 0,008 кВт ч | 0,123 | 0,001 |
| Магнитный сепаратор | Электроэнергия | 0,008 кВт ч | 0,123 | 0,001 |
| Реактор растворения и кондиционирования | Электроэнергия | 0,003 кВт ч | 0,123 | 0,0004 |
| Электролизер | Электроэнергия | 0,397 тыс.кВт ч /ед.пр | 0,123 | 0,048 |
| | Пар | 0,035 Гкал/ед.пр | 0,143 | 0,005 |
| Вакуумный насос | Электроэнергия | 0,022 кВт ч | 0,123 | 0,003 |
| Индукционная печь | Электроэнергия | 0,045 тыс.кВт ч /ед.пр | 0,123 | 0,005 |
| <i>Итого</i> | | | | <i>0,081</i> |

По данным из таблицы 11 можно сделать вывод, что механическая разделка потребляет меньше топливно – энергетических ресурсов, чем гидрометаллургическая обработка.

Расчет затрат на материалы при переработке лома печатных плат механическим способом с гидрометаллургической обработкой представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет затрат на материалы при переработке печатных плат механическим способом в сочетании с гидрометаллургической обработкой

| Наименование | Цена за кг, руб | Затраты на материалы, $Z_{\text{мат}}$, руб | |
|-------------------|-----------------|--|-----------------|
| | | Количество, кг/ед. пр. | Сумма, руб |
| Кислота соляная | 28,00 | 470,0 | 13160 |
| Кислота азотная | 34,00 | 70,3 | 2390,2 |
| Сульфид натрия | 74,00 | 8,0 | 592 |
| Гидроксид натрия | 27,00 | 153,0 | 4131 |
| Селитра аммиачная | 21,87 | 11,0 | 240,57 |
| <i>Итого</i> | | | <i>20503,77</i> |

По формулам (2), (5) и (6) были рассчитаны экономические показатели эффективности переработки лома печатных плат и результаты расчетов приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Показатели экономической эффективности гидрометаллургической переработки лома печатных плат

| Показатели | Гидрометаллургический способ |
|---|------------------------------|
| Основные затраты, Z , руб | 1 560 796,87 |
| Маржинальная прибыль, $P_{\text{марж}}$, руб | 2 834 863,13 |
| Рентабельность переработки, % | 64,2 |

Согласно данным таблицы 10 и 13 можно сделать вывод, что переработка лома печатных плат гидрометаллургическим способом является более рентабельной (64,8 %). Однако, анализируя переменную часть затрат, следует отметить, что затраты на топливно – энергетические ресурсы при гидрометаллургическом способе переработки довольно выше, чем при гидрометаллургическом способе.

Однако, предприятиям для принятия экономически-обоснованных решений при выборе способа переработки лома печатных плат необходим комплексный подход, который включает сравнение технологических процессов,

необходимых ресурсов, производительности установок, условий применения технологий. Данный подход может быть выражен через алгоритм действий, разработанный в третьей главе магистерской диссертации.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА

3.1 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПО ВЫБОРУ СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ И ЛОМА

В условиях конкуренции предприятиям цветной металлургии для экономической стабильности необходимо постоянное совершенствование производственной деятельности [58]. Диверсификация, связанная с переработкой электронного лома является одним из направлений совершенствования.

В теории и практике инвестиций различными авторами предложено широкое разнообразие методических подходов к оценке эффективности разработанных инвестиционных проектов.

Предложенный нами методический подход определения выбора развития предприятия включает следующие этапы:

- выявление тенденций в области по обращению с электронными отходами;
- разработка алгоритма по выбору способа переработки электронного лома;
- оценка экономической эффективности способа переработки;
- принятие решения о выборе направления переработки электронных отходов и лома.

Мировые тенденции таковы, что объемы электронных отходов стремительно растут и к 2022 году достигнут отметки в 60 млн. тонн. В России данная цифра составляет порядка 1,5 млн. тонн и ежегодный прирост варьируется в пределах 5-7%. Наличие такого большого источника драгосодержащего сырья является потенциальным доходом для предприятий цветной металлургии.

Для исследования возможности переработки лома печатных плат на предприятиях цветной металлургии необходимо учитывать следующие основные организационно-технологические характеристики:

- планируемый сортамент выпускаемых продуктов;
- качественные и количественные параметры ресурсов технологического процесса, которые состоят из сырьевых, материальных, энергетических, технологических, организационных;
- экономическая оценка эффективности технологического процесса;
- организационные характеристики технологического объекта, включающие уровень адекватности технологии ставящимся целям, анализ технологических рисков, наличие альтернатив и способы освоения выбранной технологии и т.д.;
- внешние факторы, к которым относятся эксплуатационные требования, требования экологичности процесса, характеристика рынка производимой продукции и т. д. [59].

Наиболее значимым критерием эффективности при выборе организационно-технологического решения является экономическая оценка эффективности технологического процесса.

Поэтому для обоснования выбранной технологии необходимо провести экономический расчет на основе методики расчета технико-экономических и производственных показателей.

Данные результаты являются одним из условий принятия положительного решения о целесообразности внедрения технологического цикла по переработке лома печатных плат в производство.

Затруднение, при рассмотрении вопроса о возможности переработки лома печатных плат на предприятиях цветной металлургии, вызывает выбор способа переработки лома печатных плат.

Для реализации данного направления деятельности предприятию необходимо найти инновационное технологическое решение, позволяющее эффективно извлекать драгоценные металлы из сырья с очень низким содержанием.

Правильный выбор способа переработки лома печатных плат для конкретного предприятия является основой успешной деятельности и фактором долгосрочной конкурентоспособности [60].

Для правильного выбора технологии предприятиям следует проанализировать конкретные требования. Все требования, предъявляемые предприятиями при выборе способа переработки можно представить в виде алгоритма.

На основе данного алгоритма возможно:

- выполнить анализ способов переработки, а именно сравнить два наиболее распространенных технологических процесса: пирометаллургический и гидromеталлургический процессы;
- сравнить соответствующие им технологические критерии, которые включают в себя степень извлечения, энергоемкость процесса, степень автоматизации, срок производства готовой продукции;
- сравнить соответствующие им организационные критерии, которые включают в себя срок ввода технологического процесса, технические возможности предприятия (кем будет осуществлен монтаж оборудования), срок освоения производства.

Предлагаемый алгоритм выбора способа переработки электронного лома представлен на рисунке 20.

- формирование цели о возможности внедрения способа переработки лома печатных плат;
- сбор информации с целью проведения последующей оценки;
- выбор пути для осуществления цели;
- определение капитальных вложений и источников финансирования;
- предварительный выбор способов переработки;
- оценка способов переработки по технологическим и организационным критериям;
- оценка экономической эффективности способа переработки лома печатных плат;
- принятие решения о внедрении в производство.

Сбор информации с целью проведения последующей оценки включает в себя поиск сведений о современном состоянии переработки электронных отходов и лома в России, ёмкости ломообразования, способов приобретения и поставки сырья и т.д.

При наличии основного оборудования для переработки лома печатных плат проводится оценка о возможности внедрения цикла на действующем производстве. Для этого определяются капитальные вложения на переоснащение основных производственных фондов и оценивается наличие источников финансирования. При положительном результате производится оценка экономической эффективности, основным критерием которой является определение показателя интегрального экономического эффекта.

Показатель ЧДД является одним из наиболее часто применяемых показателей для оценки эффективности инвестиционного проекта.

Чистый дисконтированный доход предприятия от инвестиционного проекта ЧДД определяется как разность между общей дисконтированной стоимостью поступлений денежных средств и стоимостью дисконтированных расходов.

Необходимо отметить, что по мере снижения ставки дисконта ЧДД увеличивается. Условием принятия решения о внедрении цикла переработки лома печатных плат являются следующие критерии [61]:

- если $ЧДД > 0$, проект следует принять к реализации;
- если $ЧДД < 0$, проект неэффективен, следует отклонить;
- если $ЧДД = 0$, данный проект не изменит благосостояние предприятия, предприятие увеличится в масштабах, но не получит прибыли.

Если выбирается путь строительство нового производства по переработке лома печатных плат, то первым этапом является определение капитальных вложений на реализацию проекта. При наличии источников финансирования осуществляют выбор способа переработки лома печатных плат.

Извлечение драгоценных металлов основывается на двух базовых способах переработки: пирометаллургический и гидрометаллургический. Далее вводятся ограничения по технологическим критериям: степень извлечения, энергоемкость, срок производства готовой продукции, автоматизация технологического процесса, отдавая предпочтение наиболее производительным. При удовлетворении данных критериев необходимо определиться с организационной частью осуществления проекта, а именно: определение срока строительно-монтажных работ, оценка технических возможностей предприятия, определение срока выхода на полную производственную мощность.

Если ни один из способов переработки не отвечает предъявляемым требованиям, то применяют сочетание способов. В частности, использование предварительной механической разделки для получения более однородного сырья, экономии топливно-энергетических ресурсов и сокращения времени на производство готовой продукции.

В результате вышеприведенного сравнительного анализа определяется оптимальный способ переработки лома печатных плат.

Для принятия решения о внедрении в производство цикла по переработке лома печатных плат проводится оценка экономической эффективности по следующим основным показателям:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- индекс доходности инвестиции (ИД);
- срок окупаемости проекта.

Внутренняя норма доходности характеризует максимальную отдачу, которую можно получить от проекта, то есть ту норму прибыли на вложенный капитал, при которой чистый дисконтированный доход равен нулю.

Индекс доходности инвестиций показывает, сколько рублей чистого дохода получит инвестор на каждый рубль вложенных в проект единовременных затрат.

Условия принятия проекта по данному инвестиционному критерию следующие:

- если $ИД > 1$, то проект следует принять;
- если $ИД < 1$, то проект следует отклонить;
- если $ИД = 1$, проект ни прибыльный, ни убыточный.

Дисконтированный срок окупаемости инвестиционного проекта – минимальный временной интервал от начала осуществления проекта, за который возмещаются первоначальные капитальные затраты суммарными результатами от реализации проект [62].

Для определения критического объема производства рассчитывается точка безубыточности.

Точка безубыточности – это минимальный объем производства продукции (в натуральных единицах), при котором прибыль равна нулю. Значение точки безубыточности рассчитывается по формуле [63].

При решении задачи выбора способа переработки предприятию необходимо определиться с главным вопросом: строить новое производство или проводить реконструкцию действующего производства. Критерием выбора является сравнение показателей экономической эффективности. Несмотря на то, что капитальные вложения при реконструкции действующего производства значительно ниже, чем при строительстве нового производства, и воз-

врат инвестиций наступит на более раннем этапе, следует учитывать срок эксплуатации основных производственных фондов.

Главную роль в долгосрочной перспективе при выборе инвестиционных вложений на создание нового производства или реконструкцию действующего решают тенденции по образованию электронных отходов. В настоящее время ежегодные темпы роста электронных отходов в России составляют около 7% и с каждым годом неуклонно растут. Поэтому переработка электронных отходов является перспективным направлением с целью повышения эффективности деятельности предприятия. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что максимального экономического эффекта с учетом тенденций ломообразования, можно достичь только при строительстве нового производства.

3.2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЛОМА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Основной целью создания проекта по переработке лома печатных плат является определение экономических показателей, позволяющих принять решение о целесообразности переработки.

Ожидаемые результаты проекта:

- извлечение прибыли от переработки лома печатных плат;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду;
- сокращение количества непереработанных электронных отходов;
- улучшение социальной среды путем создания рабочих мест.

Перспективы развития проекта:

- расширение сортамента перерабатываемого сырья электронных отходов;
- увеличение объемов производства;
- внедрение комплексной переработки электронного лома, с целью получения дополнительной прибыли за счет реализации попутных продуктов.

Критериями оценки успешности проекта являются:

- соблюдение сроков реализации проекта;
- оснащённость необходимым оборудованием;
- деятельность в соответствии с действующим законодательством;
- наличие финансовых ресурсов.

Согласно разработанному алгоритму и результатов экономических показателей, полученных во второй главе было определено, что наиболее приемлемым способом переработки является пирометаллургический с предварительной механической разделкой.

Механическая стадия переработки лома печатных плат включает в себя следующие операции:

- роторная дробилка;
- молотковый дезинтегратор;
- воздушная сепарация;
- электростатическая сепарация;
- магнитная сепарация.

По предложенной схеме возможно сокращение топливно-энергетических ресурсов за счет исключения из производственного цикла шахтной плавки и конвертирования.

На долю этих технологических процессов приходилось порядка 80% топливно-энергетических ресурсов. В результате данного технологического решения происходит значительное снижение объема выброса вредных веществ, что положительно скажется на экологической обстановке в регионе.

На рисунке 21 представлена технологическая схема переработки лома печатных плат пирометаллургическим способом в сочетании с механической разделкой.

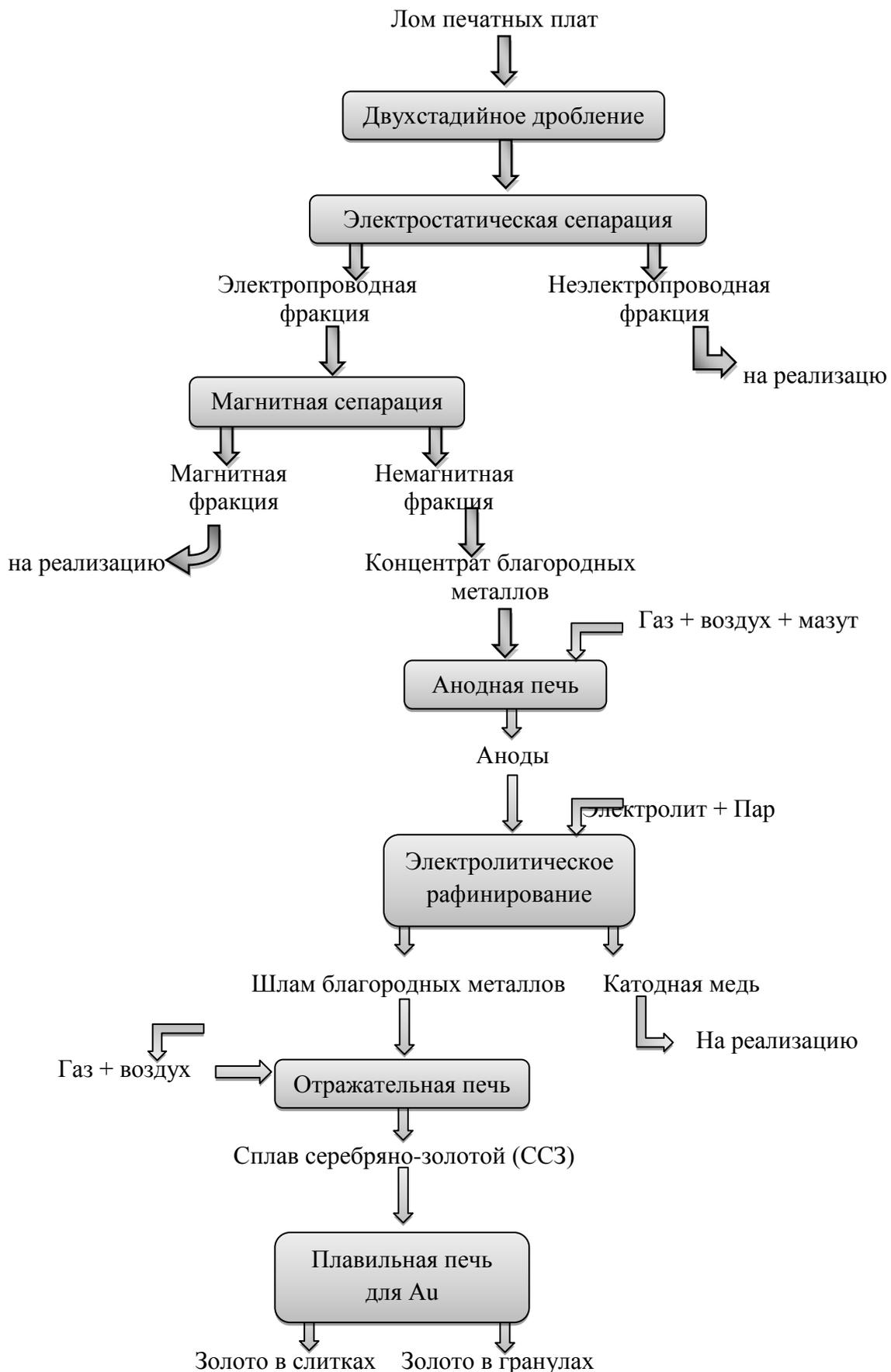


Рисунок 21–Схема технологического процесса по переработке лома печатных плат пирометаллургическим способом в сочетании с механической разделкой

Риски проекта и мероприятия по их локализации указаны в таблице 14.

Таблица 14 – Риски проекта и мероприятия по их устранению

| Риск | Мероприятия по их устранению |
|---|---|
| Организационно-управленческие | |
| Ошибки проектирования | Тщательный подбор проектной организации (на конкурсной основе). |
| Нарушение сроков реализации проекта | Контроль на каждой стадии реализации; применение штрафных санкций |
| Необходимость лицензирования деятельности | Соблюдение мероприятий при лицензировании деятельности |
| Финансовый риск | |
| Недостаточное финансирование проекта | Привлечение дополнительных денежных средств |
| Увеличение стоимости реализации проекта | Включение в бюджет проекта непредвиденных затрат; формирование резервов |
| Коммерческий риск | |
| Задержка выхода на рынок | Соблюдение всех сроков реализации проекта |
| Изменение цены на закупку сырья | Соблюдение договоров на закупку сырья |
| Технологический риск | |
| Низкое качество сырья | Предъявление претензий; замена поставщика |
| Износ оборудования | Соблюдение графика ППР |
| Форс-мажор | Страхование объектов организации |

Успешность проекта может быть признана в следующих случаях:

- реализация проекта осуществлена в заданные сроки;
- финансирование проекта соответствует проектному значению;
- проект успешно работает в штатном режиме;
- увеличение количества перерабатываемого лома печатных плат;

снижение негативного воздействия на окружающую среду.

С целью определения состава операций была применена методика последовательной иерархической структуры работ проекта. Данная методика позволяет разделить проект на отдельные части, управлять которыми значительно проще.

Декомпозиция задач представляет собой схему, представленную на рисунке 22, где задачи проекта отражают их отношение друг к другу и к проекту в целом. Иерархичная структура проекта основана на графической природе, которая помогает предсказать результаты, основанные на случайных сценариях. Декомпозиция используется для того, чтобы структурировать и разделить проект на легкоуправляемые компоненты.

Структура организации работ будет включать в себя 4 основных фазы:

- начальная фаза: разработка концепции проекта: (сбор исходных данных, определение цели и задач, утверждение концепции), создание системы контроля и формирование команды проекта;
- проектно-изыскательские работы: разработка проектно-сметной документации (выдача заданий, составление сметы, утверждение проекта), проведение переговоров, получение лицензии по обращению с отходами;
- строительство объекта: строительно-монтажные работы, закупка и поставка оборудования, материалов и комплектующих, монтаж оборудования;
- завершение проекта: заключение договоров и контрактов, заключение контрактов на реализацию продукции.

Структура работ проекта представлена на рисунке 22.

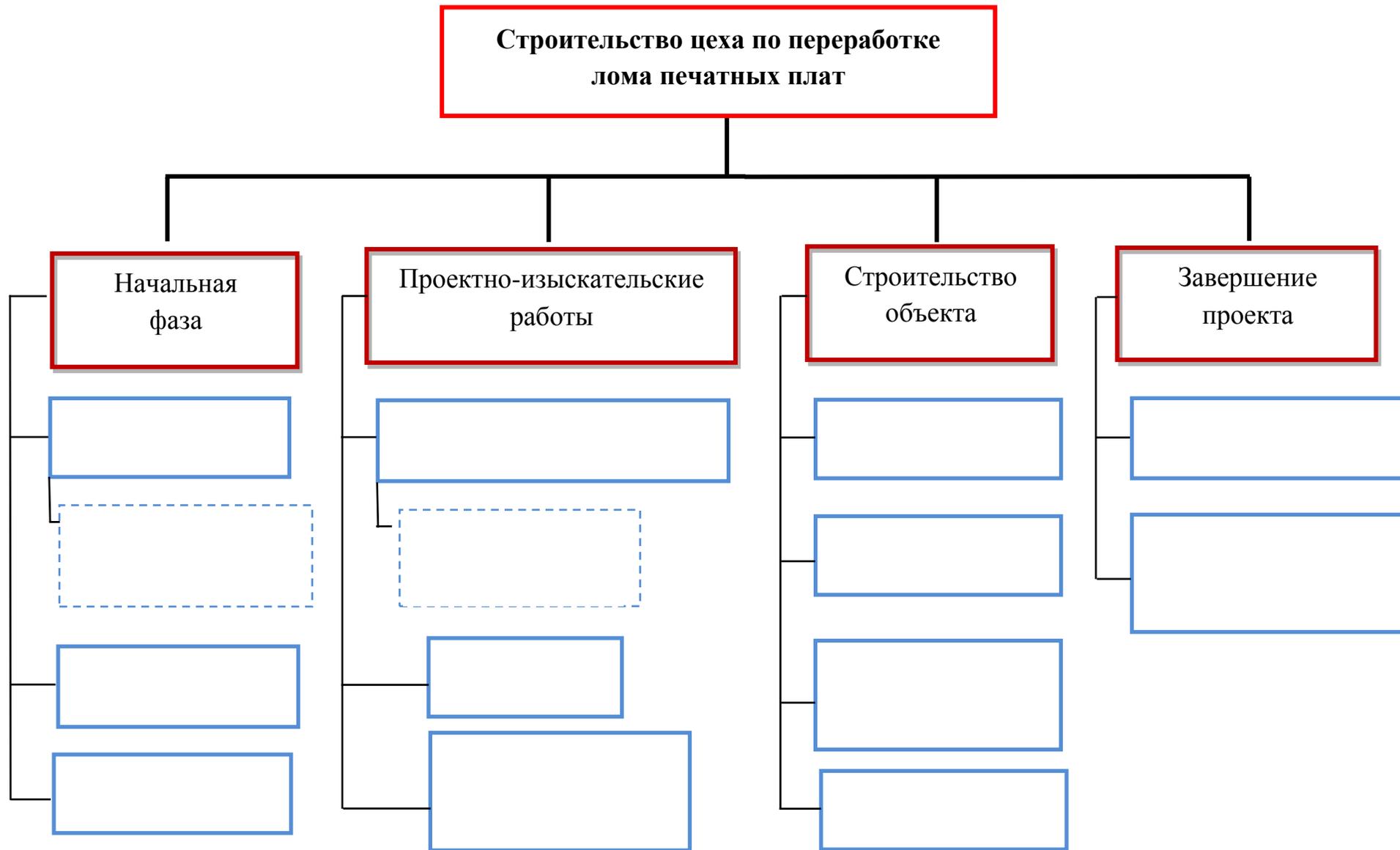


Рисунок 22 – Иерархическая структура проекта

Для снижения вероятности наступления непредвиденных ситуаций необходимо чётко обозначить рамки плана управления проекта. Особое значение имеет ресурсное обеспечение проекта, представленное в таблице 15.

Таблица 15 – Ресурсное обеспечение проекта

| Наименование ресурса | Комментарий |
|--------------------------|---|
| Материальные | - здание предприятия (необходимое оснащение помещений средствами пожаротушения, видеонаблюдения; организация внутриобъектового режима; необходимое оборудование) - техническое оснащение (компьютеры, телефоны, офисная мебель и т.д.) - транспортное оснащение |
| Финансовые ресурсы | совокупность собственных средств в размере 53,715 млн.руб. и привлеченных кредитных денежных средств в размере 125,336 млн.руб. |
| Правовые ресурсы | - учредительные документы предприятия - лицензия на обращение с отходами - подтверждающие документы о квалификации персонала |
| Кадровые ресурсы | опытные работники с соответствующей квалификацией |
| Интеллектуальные ресурсы | - инженеры с необходимым набором навыков и уровнем компетенции - наличие менеджеров способных двигать проект |
| Информационные ресурсы | наличие системы поиска регулярной информации, базы данных и т. д. |

Производственная мощность предприятия (цеха) представляет собой максимально возможный годовой объем производства продукции заданного качества, ассортимента и номенклатуры изделий при условиях полного использования фонда времени работы и паспортной производительности оборудования с учетом применения прогрессивной технологии и передовых методов организации и управления производством [62]. Общая производственная мощность для непрерывных производств определяется по формуле (7):

$$M_{\text{непр}} = \Pi \times T_{\text{эф}} \quad (7)$$

где Π – производительная мощность продукции за смену, предоставляемая производителем оборудования, ед/ч;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования, ч;

В непрерывных производствах эффективный фонд времени работы оборудования определяется по формуле (8):

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{рем}} \quad (8)$$

Производительность ведущего оборудования – 240 т лома печатных плат в месяц. Время простоя оборудования в планово-предупредительных ремонтах составляет 25 дней в год.

Следовательно, можно принять производственную мощность при полном освоении равным 2700 т лома печатных плат в год.

Проектом предусматривается создание нового производства на действующем предприятии. На территории предприятия имеются все необходимые условия для строительства нового производства:

- подготовленная площадка с необходимой инфраструктурой;
- обеспеченность необходимыми энергоресурсами;
- квалифицированный персонал.

Общая сумма капитальных вложений на создание нового производства будет включать затраты на строительство зданий и сооружений и приобретение, доставку и монтаж оборудования.

На основании разработанной технологической схемы, годовой производительности цеха в единичной мощности оборудования рассчитывается необходимое количество основного и вспомогательного оборудования. Стоимость основного оборудования определяется по прейскурантам оптовых цен. Мелкое и неучтенное оборудование, контрольно-измерительное оборудование (КИП), автоматизация, монтажные работы и транспортные расходы принимается в процентном отношении к общей стоимости всего оборудования. Процент годовых амортизационных отчислений для оборудования принимается по утвержденным нормам амортизационных отчислений [54]. Объем капитальных затрат на оборудование представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Смета капитальных затрат на оборудование

| Наименование оборудования | Стоимость, тыс.руб. | Норма амортизации, % | Амортизационные отчисления, тыс.руб. |
|---|---------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Дробилка роторно – ножевая CrushPlast | 1070 | 10,00 | 107,0 |
| Дробилка молотковая Molot-3000 | 233 | 10,00 | 23,3 |
| Грохот | 198 | 10,00 | 19,8 |
| Электростатический сепаратор ЭЛКОР-3 | 2220 | 10,00 | 222,0 |
| Магнитный сепаратор | 2280 | 10,00 | 228,0 |
| Анодная печь | 22200 | 10,00 | 2220,0 |
| Электролизная ванна | 1238 | 10,00 | 123,8 |
| Отражательная печь | 14145 | 10,00 | 1414,5 |
| Реактор растворения и кондиционирования | 198 | 10,00 | 19,8 |
| Электролизер | 450 | 10,00 | 45,0 |

Окончание таблицы 16

| Наименование оборудования | Стоимость, тыс.руб. | Норма амортизации, % | Амортизационные отчисления, тыс.руб. |
|---------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Вакуумный насос VPR- 16 | 107 | 10,00 | 10,7 |
| Индукционная печь | 1230 | 10,00 | 123,0 |
| Итого | 45567 | - | - |

Таблица 16 показывает, что стоимость основного оборудования составляет 45567 тыс. руб. Нормативный срок службы оборудования составляет 10 лет.

Расчет балансовой стоимости оборудования с учетом затрат на приобретение, доставку и монтаж приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Балансовая стоимость оборудования

| Показатель | Сумма, тыс.руб. |
|--|-----------------|
| Стоимость основного оборудования, тыс.руб. | 45567 |
| Прочее оборудование (20 %) | 9113 |
| Всего общая стоимость оборудования | 54680 |
| Транспортировка (25 %) | 13670 |
| Запчасти к оборудованию (7 %) | 3828 |
| Затраты на монтаж (20 %) | 10936 |
| Стоимость КИПиА (15 %) | 8202 |
| Балансовая стоимость оборудования | 91316 |

На основе информации о структуре инвестиций по аналогичным предприятиям отрасли и рассчитанных затрат на оборудование определяется объем капитальных вложений на создание основных производственных фондов. Структура инвестиций производства представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Смета затрат на основные производственные фонды

| Направление инвестиций | Стоимость основных фондов, тыс. руб. | Структура основных фондов, % |
|--|--------------------------------------|------------------------------|
| Здания | 68040 | 38 |
| Сооружения | 19696 | 11 |
| Приобретение, доставка и монтаж оборудования | 91316 | 51 |
| Всего | 179052 | 100 |

Таким образом, инвестиции в новое производство составляют 179052 тыс. руб.

Затраты на сырье, материалы и энергетические ресурсы ведутся прямым счетом по каждому из используемых ресурсов по формуле (9):

$$Z_M = \sum_{i=1}^n H_{Pi} \times C_{Pi} \quad (9)$$

где Z_M – материальные затраты, тыс. руб.;

H_{Pi} – норма расхода i -го ресурса на единицу продукции, нат. ед.;

C_{Pi} – цена i -го ресурса на единицу, руб.;

Расчет материальных затрат на переработку лома печатных плат для производства золота приводится в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет затрат на сырье, материалы и энергетические ресурсы

| Наименование затрат | Ед. изм. | Цена, руб./ед.пр | На 1 кг | | На весь выпуск | |
|--------------------------|----------|------------------|---------|-------------------|----------------|-------------------|
| | | | Кол-во | Сумма, руб. | Кол-во | Сумма, тыс.руб |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Сырье и материалы | | | | | | |
| Лом печатных плат | т | 520000 | 5,40 | 2808000 | 2700 | 1404000,00 |
| Кислота соляная | кг | 28 | 470,29 | 13168,12 | 235145,00 | 6584,06 |
| Кислота азотная | кг | 34 | 70,60 | 2400,40 | 35300,00 | 1200,20 |
| Пиросульфит натрия | кг | 259 | 0,04 | 10,36 | 20,00 | 5,18 |
| Аммоний водный | кг | 106 | 11,15 | 1181,90 | 5575,00 | 590,95 |
| Гидроксид натрия | кг | 49 | 153,00 | 7497,00 | 76500,00 | 3748,50 |
| Мочевина (карбонид) | кг | 36,14 | 0,03 | 1,08 | 15,00 | 0,54 |
| Натр едкий | кг | 85 | 0,03 | 2,55 | 15,00 | 1,28 |
| Уголь древесный | кг | 29 | 0,01 | 0,29 | 5,00 | 0,15 |
| Уголь каменный | кг | 51 | 110,40 | 5630,40 | 55200,00 | 2815,20 |
| Тиомочевина | кг | 239 | 0,07 | 16,73 | 35,00 | 8,37 |
| Желатин (клей мездровый) | кг | 730 | 0,08 | 58,40 | 40,00 | 29,20 |
| Сода кальцинированная | кг | 19,8 | 1,00 | 19,80 | 500,00 | 9,90 |
| Песок форм | кг | 18,5 | 1,04 | 19,24 | 520,00 | 9,62 |
| Итого | | - | - | 2838006,27 | - | 1419003,14 |

Окончание таблицы 19

| Топливо-энергетические ресурсы | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------------------|--------|-------------------|
| Электроэнергия | тыс.кВт ч | 3400 | 0,877 | 2981,80 | 438,50 | 1490,90 |
| Газ природный | тыс.м ³ | 4298 | 0,103 | 442,69 | 51,50 | 221,35 |
| Пар | Гкал | 330,1 | 0,073 | 24,10 | 36,50 | 12,05 |
| Мазут | т | 15539 | 0,004 | 62,16 | 2,00 | 31,08 |
| Итого | - | - | - | 3510,75 | - | 1755,37 |
| Всего затрат | - | - | - | 2841517,02 | - | 1420758,51 |

Таким образом, переменная часть затрат по переработке лома печатных плат на единицу продукции составит 2 814 517,02 руб., а на годовой выпуск продукции – 1420,76 млн.руб.

Расчет потребности в персонале для выполнения запланированного объема продукции осуществляется с использованием норм труда. Численность руководителей, специалистов и служащих определяется в соответствии с производственной структурой объекта, штатным расписанием или нормами обслуживания.

Расчет фонда заработной платы руководителей, специалистов и рабочих определяется по окладам.

Результаты расчета годового фонда заработной платы сводятся в таблицу 20.

Таблица 20 – Расчет годового фонда заработной платы рабочих, руководителей, служащих

| Расчет годового фонда заработной платы | | | |
|---|------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Наименование профессий и групп рабочих | Количество, чел. | Оклад в месяц, тыс.руб. | Фонд заработной платы за год тыс.руб |
| Основной производственный персонал | | | |
| Аппаратчик | 20 | 29,25 | 7020 |
| Плавильщик | 25 | 34,06 | 10218 |
| Оператор линии | 10 | 30,81 | 3697,2 |
| Итого | 55 | - | 20935,2 |
| Вспомогательный рабочий персонал | | | |
| Дежурный слесарь | 5 | 23,79 | 1427,4 |
| Дежурный электрик | 5 | 24,83 | 1489,8 |
| Электрогазосварщик | 2 | 26,91 | 645,84 |
| Итого | 12 | - | 3563,04 |

Окончание таблицы 20

| Руководители, специалисты, служащие | | | |
|-------------------------------------|-----------|-------|-----------------|
| Начальник цеха | 1 | 77,22 | 926,64 |
| Зам. Начальника цеха | 1 | 68,38 | 820,56 |
| Механик цеха | 1 | 59,54 | 714,48 |
| Экономист | 1 | 36,79 | 441,48 |
| Начальник отделения | 1 | 53,95 | 647,4 |
| Старший мастер | 1 | 45,63 | 547,56 |
| Сменный мастер | 5 | 39,39 | 2363,4 |
| Итого | 11 | - | 6461,52 |
| Всего | 78 | | 30959,76 |

По данным таблицы 20 годовой фонд заработной платы рабочих (основных и вспомогательных) – 24498,24 тыс. руб. Фонд заработной платы руководителей, специалистов и служащих – 6461,52 тыс. руб. Всего годовой фонд заработной платы работающих составляет 30959,76 тыс. руб.

Расчет годовой суммы амортизационных отчислений осуществляется линейным способом по формуле (10):

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \times \Phi_i}{100} \quad (10)$$

где N_i – средняя норма амортизации по i -ой группе основных фондов, %;
 Φ_i – балансовая стоимость i -ой группы основных фондов тыс. руб.;
 n – число групп основных фондов.

Норма амортизации рассчитывается исходя из нормативного срока службы (эксплуатации) основных фондов по формуле (11):

$$N_i = \frac{100}{T_{сли}} \quad (11)$$

где $T_{сли}$ – нормативный срок службы i – ой группы основных фондов, лет.

В проекте по переработке лома печатных плат нормативный срок службы для зданий и сооружений – 40 лет, для оборудования – 10 лет.

Затраты на амортизационные отчисления представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Годовые амортизационные отчисления

| Наименование ОПФ | Балансовая стоимость, тыс. руб. | Срок службы, лет | Норма амортизации, % | Годовая сумма амортизации, тыс. руб. |
|---------------------|---------------------------------|------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Здания и сооружения | 87735 | 40 | 2,5 | 2193,4 |
| Оборудование | 91316 | 10 | 10 | 9131,6 |
| Всего | 179052 | - | - | 11325,0 |

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования – РСЭО включают фонд заработной платы и страховые взносы ремонтных рабочих, расходы на содержание и эксплуатация оборудования (2 % от стоимости оборудования), расходы на ремонт оборудования (5 %) от стоимости оборудования, прочие расходы (20 % от суммы предыдущих статей расходов)[61].

Расчет величины расходов на РСЭО приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Смета РСЭО

| Наименование расходов | Укрупненный норматив, % | Сумма, тыс. руб. |
|--|-------------------------|------------------|
| Содержание и эксплуатация оборудования | 2 | 1826,33 |
| Ремонт оборудования | 5 | 4565,81 |
| Фонд заработной платы вспомогательного производственного персонала | - | 3563,04 |
| Страховые взносы (30%) | 30 | 1068,91 |
| Прочие расходы | 20 | 2204,82 |
| Итого | - | 13228,91 |

Целесообразно подразделить расходы по управлению и организации производства на две части: расходы на уровне отдельных цехов (цеховые расходы) и на уровне предприятия в целом (общехозяйственные расходы).

Цеховые расходы включают фонд заработной платы и страховые взносы руководителей, специалистов, служащих; расходы на содержание и ремонт зданий и сооружений (5 % и 2 % от их стоимости, соответственно); за-

траты на охрану труда (20 % к ФЗП работающих, так как вредные условия труда); прочие цеховые расходы (30 % от суммы предыдущих расходов)[54].

Расчет величины цеховых расходов приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Цеховые расходы

| Наименование расходов | Укрупненный норматив, % | Сумма, тыс. руб. |
|---|----------------------------|---------------------|
| 1. Фонд заработной платы руководителей и специалистов | - | 6461,52 |
| 2. Страховые взносы (30%) | 30 от п.1 | 1938,46 |
| 3. Содержание зданий и сооружений | 5 (данные табл.18) | 4386,76 |
| 4. Ремонт зданий и сооружений | 2 (данные табл.18) | 1754,70 |
| 5. Затраты на охрану труда | 20 (данные табл.20) | 6191,95 |
| 6. Прочие расходы | 30 от (Σ п. 1 – 5) | 6220,02 |
| Итого | - | 26953,41 |

Величина общехозяйственных и прочих производственных расходов рассчитывается укрупнено в размере 20 % от стоимости передела.

$$Z_{оп} = (1755,37 + 4386,76 + 4386,76 \times 0,3 + 13228,91 + 11325,0 + 26953,41) \times 0,20 = 11793,10 \text{ тыс.руб.}$$

Расчет общей величины накладных расходов приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Смета накладных расходов

| Наименование расходов | Сумма, тыс. руб. | Примечание |
|---|---------------------|----------------|
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (без амортизации) | 13228,91 | См. таблицу 22 |
| Цеховые расходы | 26953,413 | См. таблицу 23 |
| Общехозяйственные и прочие производственные расходы | 11793,10 | - |
| Итого | 51975,42 | - |

Для расчета себестоимости золота составляется проектная калькуляция, где на основе расчетов, выполненных в предыдущих разделах (таблицы 19–24), определяются все затраты на производство и реализацию 1 кг (калькуляционной единицы) и годового выпуска золота. Коммерческие расходы

(расходы, связанные со сбытом продукции) принимаются в размере 6 % от производственной себестоимости.

Предполагается, что вся произведенная за год продукция будет продана и оплачена в том же году. Выручка от реализации продукции определяется как произведение объема производства и цены реализации продукции без учета налога на добавленную стоимость. Цена золота принята по данным ЦБ РФ.

Проектная калькуляция себестоимости золота приведена в таблице 25.

Годовой выпуск – 500 кг., калькуляционная единица – 1 кг.

Стоимость основных производственных фондов – 179052 тыс. руб.

Здания и сооружения – 87735 тыс. руб.

Оборудование – 91316 тыс. руб.

Таблица 25 – Проектная калькуляция себестоимости золота

| Наименование статей расходов | На единицу продукции, руб. | На весь выпуск, тыс. руб. | Процент к итогу |
|--|----------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1. Сырье и материалы | 2838006,27 | 1419003 | 89,20 |
| 2. Топливо и энергия на технологические нужды | 3510,75 | 1755 | 0,11 |
| 3. ФЗП основных рабочих | 41870,40 | 20935 | 1,32 |
| 4. Страховые взносы (30 % к ФЗП) | 12561,12 | 6281 | 0,39 |
| 5. Амортизация ОПФ | 22650,02 | 11325 | 0,71 |
| 6. РСЭО | 26457,82 | 13229 | 0,83 |
| 7. Цеховые расходы | 53906,83 | 16504 | 1,04 |
| Цеховая себестоимость | 2998963,20 | 1489032 | – |
| 8. Общехозяйственные и прочие производственные расходы | 23586,20 | 11793 | 0,74 |
| Производственная себестоимость | 3022549,40 | 1500825 | – |
| 9. Коммерческие расходы | 181352,96 | 90050 | 5,66 |
| Полная себестоимость | 3 203 902,36 | 1 590 875 | 100 |

Таким образом, полная себестоимость 1 кг золота составит 3 203 902,36 руб., а себестоимость всего выпуска – 1 590,88 млн. руб.

На основе анализа структуры себестоимости золота можно сделать вывод, что данное производство является материалоемким (доля сырья и материалов в себестоимости составляет порядка 90 %).

Выручка от реализации продукции за год определяется по формуле(12):

$$B = Q \times C \quad (12)$$

Выручка составит 2 207,8 млн.руб.

Строительство цеха по переработке лома печатных плат предполагается осуществить за два года. При этом в течение первого года планируется освоить 60 % вложений в строительство зданий и сооружений – 52641 тыс. руб.; приобрести, доставить и установить 40 % оборудования – 36527 тыс. руб. В течение второго года планируется осуществить остальные затраты, предусмотренные проектом – 89884 тыс. руб.

Период освоения производства (в % мощности) составит: в первый год производства (третий год реализации проекта) – 80 %; во второй год производства (четвертый год реализации проекта) – 90 %.

Общий период производства исходя из срока службы ведущего оборудования – 10 лет. Общий срок жизни инвестиций – 10 лет.

Расчет денежных потоков (затрат и результатов) по годам реализации проекта осуществляется в базисных ценах, сложившихся на определенный момент времени и остающихся неизменными в течение всего расчетного периода, то есть без учета уровня инфляции.

Распределение инвестиций по годам реализации проекта отражается в таблице 26. Источники и условия финансирования проекта строительства цеха по переработке лома печатных плат представлены в таблице 27.

Таблица 26 – Общие инвестиции

В миллионах рублей

| Элементы инвестиций | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | | | Итого |
|--|---|--------|----------|---|----------------------------------|---|---|---|---|----|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | Строительство | | Освоение | | Полная производственная мощность | | | | | | |
| Строительство зданий и сооружений | 52,641 | 35,094 | - | - | - | - | - | - | - | - | 87,735 |
| Приобретение, доставка и монтаж оборудования | 36,527 | 54,790 | - | - | - | - | - | - | - | - | 91,316 |
| Итого | 89,168 | 89,884 | - | - | - | - | - | - | - | - | 179,052 |

Таблица 27 – Источники финансирования

В миллионах рублей

| Наименование источников | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | | | Итого |
|-------------------------|---|---------|----------|---|----------------------------------|---|---|---|---|----|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | Строительство | | Освоение | | Полная производственная мощность | | | | | | |
| Собственный капитал | 37,601 | 16,115 | - | - | - | - | - | - | - | - | 53,715 |
| Кредиты банков | - | 125,336 | - | - | - | - | - | - | - | - | 125,336 |
| Итого | 37,601 | 141,451 | - | - | - | - | - | - | - | - | 179,052 |

Собственный капитал составит – 53,716 млн. руб., в том числе: в первом году – 37,601 млн. руб., во втором – 16,115 млн. руб. Размеры дивидендов по акциям – 5 % годовых. Сумма дивидендов в год составит $53,716 \cdot 0,05 = 2,686$ млн. руб.

Кредит банка – 125,336 млн. руб. (во втором году сроком на три года). Ставка процентов – 20 % годовых. Возврат кредита будет осуществляться с третьего по пятый год реализации проекта в равных долях.

Расчет общей суммы возврата кредита и оплаты процентов за кредит (финансовых издержек) представлен в таблице 28.

Таблица 28 – Расчет общей суммы возврата кредита и оплаты процентов

В миллионах рублей

| Показатель | Годы реализации проекта по порядку | | | | | Итого |
|---------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Возврат кредита | - | - | 41,779 | 41,779 | 41,779 | 125,336 |
| Остаток кредита | - | 125,336 | 83,557 | 41,779 | - | - |
| Проценты по кредиту банка | - | - | 25,067 | 16,711 | 8,356 | 50,134 |
| Всего | - | 125,336 | 150,403 | 100,269 | 50,134 | 175,470 |

Таким образом, к концу пятого года реализации проекта будет возвращена вся сумма кредита в размере 125,336 млн.руб. и будут погашены проценты по нему (50,134 млн.руб.).

Для расчета производственных затрат составляется производственная программа в соответствии с графиком реализации проекта.

Большое значение для анализа и управления издержками производства на предприятии с целью их снижения имеет классификация издержек на постоянные и переменные.

С увеличением объема производства и реализации продукции себестоимость единицы продукции снижается за счет снижения постоянных затрат на единицу продукции.

В соответствии с графиком реализации проекта полное освоение производственной мощности будет достигнуто на пятом году.

Расчет выручки от реализации золота определяется в соответствии с производственной программой по цене – 4415,6 руб./г., принимаемой постоянной в течение всего периода производства.

Производственная программа по годам представлена в таблице 29.

Таблица 29 – Производственная программа по годам

| Показатель | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | |
|---|---|---------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Освоение | | Полная производственная мощность | | | | | |
| Процент освоения производственной мощности, % | 80 | 90 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Объем производства, кг | 400 | 450 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Объем производства, млн.руб | 1766,24 | 1987,02 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 |

Расчет производственных затрат по годам реализации проекта приведен в таблице 30.

Расчет прибыли от реализации золота приведен в таблице 31.

Таблица 30 – Расчет производственных затрат по годам реализации проекта

В миллионах рублей

| № п/п | Показатель | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | Итого | |
|----------|---|---|----------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| | | Освоение | | Полная производственная мощность | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| 1 | Процент освоения производственной мощности, % | 80 | 90 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - |
| 2 | Материальные затраты (табл.19) | 1135,203 | 1277,103 | 1419,00 | 1419,00 | 1419,00 | 1419,00 | 1419,00 | 1419,00 | 1419,00 | 10926,324 |
| 3 | Затраты на ФЗП основных рабочих (табл.20) | 20,935 | 20,935 | 20,935 | 20,935 | 20,935 | 20,935 | 20,935 | 20,935 | 20,935 | 167,482 |
| 4 | Страховые взносы (30%) | 6,281 | 6,281 | 6,281 | 6,281 | 6,281 | 6,281 | 6,281 | 6,281 | 6,281 | 50,244 |
| 5 | Накладные расходы (табл.24) | 51,975 | 51,975 | 51,975 | 51,975 | 51,975 | 51,975 | 51,975 | 51,975 | 51,975 | 415,803 |
| 6 | Коммерческие расходы (табл.25) | 72,040 | 81,045 | 90,050 | 90,050 | 90,050 | 90,050 | 90,050 | 90,050 | 90,050 | 693,381 |
| 7 | Операционные затраты (стр.1÷6) | 1286,43 | 1437,34 | 1588,24 | 1588,24 | 1588,24 | 1588,24 | 1588,24 | 1588,24 | 1588,24 | 12253,235 |
| 8 | Амортизационные отчисления (табл.21) | 11,325 | 11,325 | 11,325 | 11,325 | 11,325 | 11,325 | 11,325 | 11,325 | 11,325 | 90,600 |
| 9 | Выплата процентов по кредиту (табл.28) | 25,067 | 16,711 | 8,356 | - | - | - | - | - | - | 50,134 |
| 10 | Общие затраты(стр.7÷9) | 1322,83 | 1465,38 | 1607,92 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 12393,97 |
| 11 | Удельные общие затраты, тыс.руб/кг | 3,307 | 3,256 | 3,216 | 3,199 | 3,199 | 3,199 | 3,199 | 3,199 | 3,199 | - |

Таблица 31 – Отчет о прибылях и убытках

В миллионах рублей

| № п/п | Показатель | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | Итого | |
|----------|---------------------------------|---|---------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| | | Освоение | | Полная производственная мощность | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| 1 | Выручка от реализации продукции | 1766,24 | 1987,02 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 17000,06 |
| 2 | Общие затраты | 1322,83 | 1465,38 | 1607,92 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 1599,57 | 12393,97 |
| 3 | Прибыль до вычета налогов | 443,41 | 521,64 | 599,88 | 608,23 | 608,23 | 608,23 | 608,23 | 608,23 | 608,23 | 4606,09 |
| 4 | Налог на прибыль (20%) | 88,683 | 104,329 | 119,975 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 921,218 |
| 5 | Чистая прибыль | 354,732 | 417,316 | 479,900 | 486,585 | 486,585 | 486,585 | 486,585 | 486,585 | 486,585 | 3684,873 |
| 6 | То же нарастающим итогом | 354,732 | 772,048 | 1251,948 | 1738,533 | 2225,118 | 2711,703 | 3198,288 | 3684,873 | 3684,873 | - |

Финансовая состоятельность проекта оценивается путем составления отчета о движении денежных средств, что позволяет получить реальную картину состояния средств на предприятии и определить их достаточность для проекта. Отчет о движении денежных средств охватывает все виды деятельности предприятия.

Проект является финансово реализуемым, если на каждом шаге расчетного периода в течение всего срока жизни инвестиционного проекта сальдо трех потоков денежных средств проекта (разница между притоками и оттоками) неотрицательное. При выявлении финансовой нереализуемости проекта необходимо корректировать схему финансирования проекта.

В качестве оттока рассматривается вложение собственного капитала предприятия, а в качестве притока – все поступления, остающиеся в распоряжении проектоустроителя после обязательных выплат (в том числе и по привлеченным средствам).

Практически это означает необходимость оценки рыночной стоимости основных фондов, земельных участков, производственных запасов на момент окончания инвестиционного проекта.

Таким образом, при анализе эффективности участия в проекте предприятия учитываются потоки денежных средств не только от инвестиционной и операционной, но и от финансовой деятельности.

Проект является финансово реализуемым, так как на каждом шаге расчетного периода в течение всего срока жизни проекта сальдо денежной наличности является неотрицательным.

Отчет о движении денежных средств представлен в таблице 32.

Денежные потоки для оценки эффективности участия предприятия в проекте заполняется на основании выполненных выше расчетов и представлены в таблице 33. Принимается, что норма дисконта $E = 10 \%$.

Таблица 32 – Отчет о движении денежных средств

В миллионах рублей

| № п/п | Показатель | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | | | Итого | |
|------------------------------------|---|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| <i>Операционная деятельность</i> | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Выручка от реализации продукции (табл.31) | - | - | 1766,24 | 1987,02 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 2207,8 | 17000,06 |
| 2 | Операционные затраты (табл.30) | - | - | 1286,433 | 1437,339 | 1588,244 | 1588,244 | 1588,244 | 1588,244 | 1588,244 | 1588,244 | 1588,244 | 12253,235 |
| 3 | Налог на прибыль (табл.31) | - | - | 88,683 | 104,329 | 119,975 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 121,646 | 921,218 |
| 4 | Денежный поток от операционной деятельности | - | - | 391,124 | 445,352 | 499,581 | 497,910 | 497,910 | 497,910 | 497,910 | 497,910 | 497,910 | 3825,607 |
| <i>Инвестиционная деятельность</i> | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Общие инвестиции | 37,601 | 141,451 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 179,052 |
| 6 | Денежный поток от инвестиционной деятельности | -37,601 | -141,451 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -179,052 |

Окончание таблицы 32

В миллионах рублей

| № п/п | Показатель | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | | | Итого |
|--------------------------------|---|---|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| <i>Финансовая деятельность</i> | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Собственный капитал | 37,601 | 16,115 | - | - | - | - | - | - | - | - | 53,715 |
| 8 | Кредит | - | 125,336 | - | - | - | - | - | - | - | - | 125,336 |
| 9 | Возврат кредита | - | - | 41,779 | 41,779 | 41,779 | - | - | - | - | - | 125,336 |
| 10 | Выплата процентов по кредиту | - | - | 25,067 | 16,711 | 8,356 | | | | | | 50,134 |
| 11 | Выплата дивидендов | - | - | 2,686 | 2,686 | 2,686 | 2,686 | 2,686 | 2,686 | 2,686 | 2,686 | 21,486 |
| 12 | Денежный поток от финансовой деятельности (стр.7+8-9-10-11) | 37,601 | 141,451 | -69,532 | -61,176 | -52,820 | -2,686 | -2,686 | -2,686 | -2,686 | -2,686 | -17,905 |
| 13 | Сальдо трех потоков (стр.4+6+12) | - | - | 321,592 | 384,177 | 446,761 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 3628,650 |
| 14 | То же нарастающим итогом | - | - | 321,592 | 705,769 | 1152,530 | 1647,754 | 2142,978 | 2638,202 | 3133,426 | 3628,650 | - |

Таблица 33 – Денежные потоки для оценки эффективности участия предприятия в проекте

В миллионах рублей

| № п/п | Показатель | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | | | Итого | |
|-------|---|---|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 1 | Сумма трех потоков денежных средств (табл.32) | - | - | 321,592 | 384,177 | 446,761 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 3628,650 |
| 2 | Собственный капитал | 37,601 | 16,115 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 53,715 |
| 3 | Чистый доход ЧД (стр. 1 – 2) | -37,601 | -16,115 | 321,592 | 384,177 | 446,761 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 3574,935 |
| 4 | То же нарастающим итогом | -37,601 | -53,715 | 267,877 | 652,053 | 1098,814 | 1594,038 | 2089,262 | 2584,487 | 3079,711 | 3574,935 | 3574,935 | - |
| 5 | Коэффициент дисконтирования (E=10%) | 0,909 | 0,826 | 0,751 | 0,683 | 0,621 | 0,564 | 0,513 | 0,467 | 0,424 | 0,386 | 0,351 | - |
| 6 | Чистый дисконтированный доход ЧДД | -34,183 | -13,318 | 241,617 | 262,398 | 277,403 | 279,541 | 254,128 | 231,026 | 210,023 | 190,930 | 170,116 | 1899,566 |
| 7 | То же нарастающим итогом | -34,183 | -47,500 | 194,116 | 456,514 | 733,918 | 1013,459 | 1267,587 | 1498,613 | 1708,636 | 1899,566 | 1899,566 | - |

Из таблицы 33 видно, что чистый доход (ЧД) проекта составляет 3574,935 млн. руб.

На рисунке 23 представлена диаграмма интегрального экономического эффекта с учетом года реализации проекта.



Рисунок 23 – Диаграмма значений чистого дисконтированного дохода по годам

В соответствии с расчетом чистый дисконтированный доход проекта нарастающим итогом за десять лет составляет 1899,566 млн.руб. На рисунке 21 хорошо видно динамику изменения величины чистого дисконтированного дохода. Поскольку интегральный экономический эффект больше нуля, то проект является экономически эффективным. Срок окупаемости находится в рамках третьего года.

Момент окупаемости проекта (простой) определяется на основании данных в строке 4 таблицы 33. Для уточнения положения момента окупаемости будем считать, что в пределах одного шага чистый денежный поток меняется линейно. Тогда расстояние $t_{ок}$ от начала шага до момента окупаемости определяется по формуле (13):

$$t_{\text{ок}} = 2 + \frac{|P_{t-}|}{|P_{t-}| + |P_{t+}|} \quad (13)$$

где $|P_{t-}|$ – отрицательная величина накопленного денежного потока на шаге до момента окупаемости;

$|P_{t+}|$ – положительная величина накопленного денежного потока на шаге до момента окупаемости.

В таблице 33 $|P_{t-}| = -53,715$ млн.руб., $|P_{t+}| = 267,877$ млн.руб., тогда

$$t_{\text{ок}} = 2 + \frac{|-53,715|}{|-53,715| + |267,877|} = 2 + \frac{53,715}{53,715 + 267,877} = 2,17 \text{ г.}$$

Таким образом, простой срок окупаемости составляет 2,17 г. или с начала производства 0,17 г.

Срок окупаемости с учетом дисконтирования также наступает на третьем году.

При более точном расчете по формуле (13):

$$t_{\text{ок}} = 2 + \frac{|-47,500|}{|-47,500| + |194,116|} = 2 + \frac{47,500}{47,500 + 194,116} = 2,20 \text{ г.}$$

Срок окупаемости окажется равным 2,20 г. или с начала производства 0,20 г.

Показатель внутренней нормы доходности был определен при помощи программы Microsoft Excel. Исходные данные для расчета представлены в таблице 33.

Для определения точного значения ВНД возьмем две нормы дисконта – 240 и 241 %.

Далее, исходя из полученных значений, приведенных в таблице 34:

$$\text{ЧДД (240 \%)} = 0,002 \text{ млн. руб.}$$

$$\text{ЧДД (241 \%)} = -0,047 \text{ млн. руб.},$$

Точное значение ВНД определяется по формуле (14):

$$\text{ВНД} = E_1 + \frac{\text{ЧДД}(E_1)}{\text{ЧДД}(E_1) - \text{ЧДД}(E_2)} \times (E_2 - E_1) \quad (14)$$

где E_1 – значение коэффициента дисконтирования, при котором ЧДД больше нуля;

E_2 – значение коэффициента дисконтирования, при котором ЧДД меньше нуля;

$\text{ЧДД}(E_i)$ – приведенная стоимость проекта при i -ом условии.

$$\text{ВНД} = 240 + \frac{0,002}{0,002 - (-0,047)} \times (241 - 240) = 240,05\%$$

Значение ВНД составит 240,05%. При этой норме дисконта интегральный экономический эффект становится равным нулю. Так как ВНД больше проектной нормы дисконта, то это показывает коммерческую эффективность проекта.

Денежные потоки для определения ВНД представлены в таблице 34.

Индекс доходности инвестиций показывает, сколько рублей чистого дохода получит инвестор на каждый рубль вложенных в проект единовременных затрат. Индекс доходности дисконтированных инвестиций определяется по формуле (15):

$$\text{ИДД} = 1 + \frac{\text{NPV}}{\text{ID}} \quad (15)$$

где NPV – это чистый дисконтированный доход проекта, млн.руб.

ID – дисконтированная стоимость инвестиций, млн.руб.

$$\text{ИДД} = 1 + \frac{1899,566}{151,084} = 13,57$$

Таблица 34 – Денежные потоки для определения ВНД

В миллионах рублей

| № п/п | Показатель | Годы инвестиционного периода по порядку | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Чистый доход ЧД (из таблицы 33) | -37,601 | -16,115 | 321,592 | 384,177 | 446,761 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 | 495,224 |
| 2 | Коэффициент дисконтирования (E=240%) | 0,29412 | 0,08651 | 0,02544 | 0,00748 | 0,00220 | 0,00065 | 0,00019 | 0,00006 | 0,00002 | 0,000005 |
| 3 | Чистый дисконтированный доход ЧДД | -11,059 | -1,394 | 8,182 | 2,875 | 0,983 | 0,321 | 0,094 | 0,028 | 0,008 | 0,002 |
| 4 | То же нарастающим итогом | -3,253 | -4,647 | 3,535 | 6,410 | 7,394 | 7,714 | 7,808 | 7,836 | 7,844 | 7,847 |
| 5 | Коэффициент дисконтирования (E=241%) | 0,29326 | 0,08600 | 0,02522 | 0,00740 | 0,00217 | 0,00064 | 0,00019 | 0,00005 | 0,00002 | 0,000005 |
| 6 | Чистый дисконтированный доход ЧДД | -11,027 | -1,386 | 8,110 | 2,841 | 0,969 | 0,315 | 0,092 | 0,027 | 0,008 | 0,002 |
| 7 | То же нарастающим итогом | -11,027 | -12,413 | -4,302 | -1,461 | -0,492 | -0,177 | -0,085 | -0,057 | -0,050 | -0,047 |

Для оценки устойчивости проекта к колебаниям спроса на продукцию определяется точка безубыточности, при полном освоении производственной мощности.

Точка безубыточности определяет тот объем продаж, при котором предприятие не имеет ни прибыли, ни убытка.

Постоянные издержки в составе общих затрат складываются из следующих показателей: затраты на ФЗП основных рабочих, страховые взносы, накладные расходы, амортизация.

Переменная часть затрат складывается из материальных затрат и коммерческих расходов.

Критический объем производства (кг), определяется по формуле (16):

$$Q_{\text{кр}} = \frac{FC}{P - AVC} \quad (16)$$

где FC – постоянные затраты, млн.руб.;

P – цена единицы продукции, млн. руб.;

AVC – переменные затраты единицы продукции, млн.руб.

$$Q_{\text{кр}} = \frac{90,516}{4,415 - 3,018} = 64,64 \text{ кг.}$$

На рисунке 24 представлен графический расчет точки безубыточности. Для наглядного изображения точки безубыточности график был построен в увеличенном масштабе. При полном объеме производства в 500 кг выручка составит 2207,8 млн.руб.

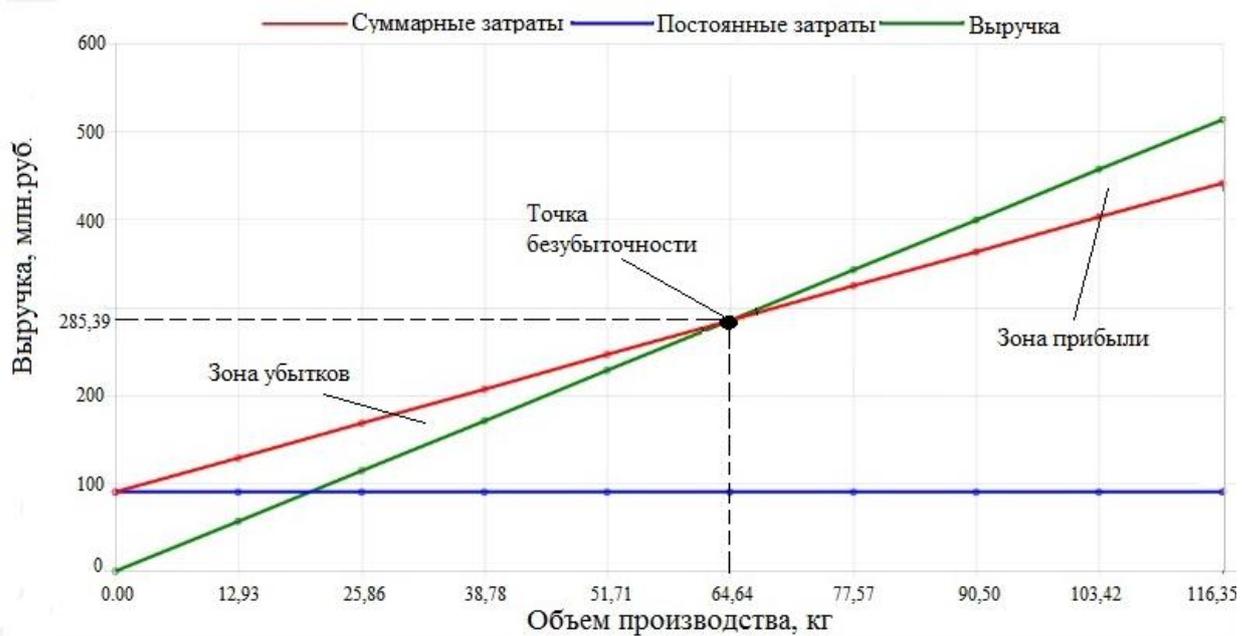


Рисунок 24 – График расчета точки безубыточности

Три главные линии показывают зависимость суммарных затрат, постоянных затрат и выручки от объема производства. Критический объем производства составляет 64,64 кг золота, при котором величина выручки равна ее суммарным затратам на производство и реализацию продукции – 285,39 млн. руб.

При уровне безубыточности – 0,13 проект считается устойчивым к колебаниям спроса на продукцию.

Запас финансовой прочности определяет риск в проекте. Он показывает, на сколько процентов должен снизиться объем продаж, прежде чем предприятие станет нести убытки. Расчет запаса финансовой прочности определяется по формуле (17):

$$\text{ЗФП} = \frac{B - (Q_{\text{кр}} \times Ц)}{B} \times 100\% \quad (17)$$

где B – выручка от реализации продукции, руб.

Ц – цена единицы продукции, руб.

$$\text{ЗФП} = \frac{2207,8 - (64,64 \times 4,415)}{2207,8} \times 100\% = 87,07\%$$

Запас финансовой прочности проекта составит 87,07%.

Движение денежных средств (финансовые потоки) в реальном масштабе времени представлено в виде финансового профиля проекта на рисунке 25.

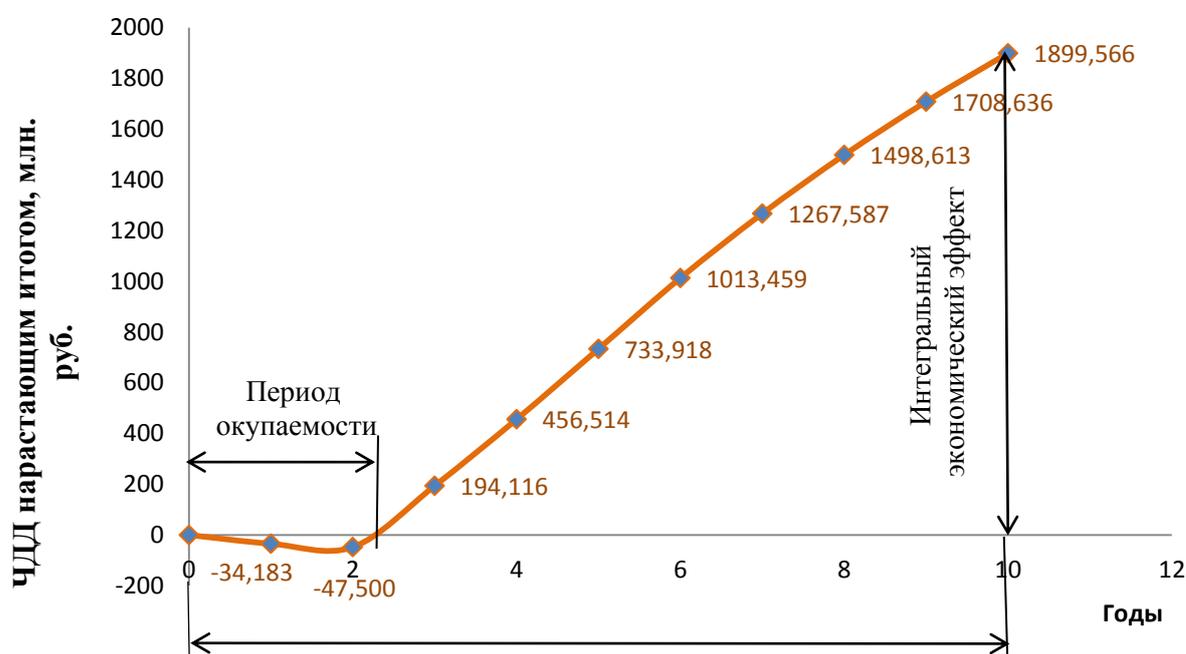


Рисунок 25 – Финансовый профиль проекта

Таким образом, был сделан расчет бизнес-проекта по строительству цеха по переработке электронного лома. Итоговые результаты представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Основные технико-экономические показатели проекта

| Номер строки | Наименование показателей | Единица измерения | Значение показателей |
|--------------|--|-------------------|----------------------|
| 1 | Объем производства продукции: | | |
| | в натуральном выражении | кг | 500 |
| | в стоимостном выражении | млн.руб. | 2 207,800 |
| 2 | Общая сумма инвестиций | млн.руб | 179,052 |
| 3 | Численность работающих – всего в том числе рабочих | чел. | 78 |
| | | чел. | 67 |
| 4 | Фонд заработной платы работающих – всего в том числе рабочих | млн.руб | 30,960 |
| | | млн.руб | 24,498 |
| 5 | Себестоимость продукции: единицы продукции всего выпуска | тыс.руб. | 3 203, 902 |
| | | млн.руб. | 1 590, 875 |
| 6 | Рентабельность продукции | % | 30,6 |

Продолжение таблицы 35

| | | | |
|---|--|----------|-----------|
| 7 | Точка безубыточности | кг | 64,64 |
| 8 | Показатели эффективности участия предприятия в проекте | | |
| | Норма дисконта | % | 10 |
| | Срок окупаемости простой | лет | 2,17 |
| | с учетом фактора времени | лет | 2,20 |
| | Чистый дисконтированный доход | млн.руб. | 1 899,566 |
| | Внутренняя норма доходности | % | 240,05 |

Результаты технико-экономических показателей по оценке эффективности строительства нового производства по переработке лома печатных плат свидетельствуют о практической возможности и экономической целесообразности реализации рассматриваемого проекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в диссертационном исследовании, сводятся к следующим основным положениям:

- Обзор литературных источников, посвященных тематике исследования, показал, что объем образования ОЭЭО в мире с каждым годом неуклонно растет и в настоящее время достигает более 50 млн. тонн. В России ежегодно образуется около 1,0 – 1,5 млн. тонн ОЭЭО, при этом поддается переработке лишь 5-7%.

Основной проблемой при утилизации ОЭЭО, из-за которой возникает сложность в выборе технологии, является многокомпонентность сырья. Анализ данных по технологиям зарубежных компаний показывает, что в основном их деятельность направлена на комплексную переработку, с целью извлечения не только благородных металлов, но и других ценных компонентов. Чаще всего применяется технология пирометаллургической переработки электронного лома. В России, в целом, переработка направлена на извлечение драгоценных металлов пирометаллургическим способом без предварительной механической разделки или обогащения. Учитывая тот факт, что электронный лом является «бедным» сырьем, то предприятиям цветной металлургии следует разрабатывать технологические процессы таким образом, при котором возможно комплексное извлечение ценных компонентов.

На основании проведенного анализа было определено, что сегодня основной формой, которую принимают металлы в современной электронике и бытовой технике, являются печатные платы. Поэтому, для данного проекта в качестве основного вида сырья был выбран лом печатных плат.

- Оценка уровня образования лома печатных плат проводилась двумя методическими подходами: на основе исторического потребления электроники и бытовой техники и от величины образования электронных отходов. В результате проведенной оценки уровня ломобразования печатных плат, ёмкость российского рынка находится в диапазоне от 30,6 до 40,6 тыс. тонн в

год. При этом в работе был посчитан коэффициент сбора лома печатных плат, который составил 20%. Низкий коэффициент сбора характеризуется отсутствием достаточных экономических стимулов у потребителей электроники. Для сравнения, коэффициент сбора в странах Европы составляет 48%. Полученные данные указывают на то, что существует потенциал увеличения сбора лома печатных плат.

С целью выбора оптимальной технологической схемы переработки лома печатных плат, были рассмотрены два распространенных способа переработки: пирометаллургический и механический с гидromеталлургической обработкой. Результат сравнительного анализа двух способов переработки показал, что наиболее эффективным способом переработки будет комбинированная технологическая схема, то есть пирометаллургический способ с предварительной механической разделкой.

- В ходе решения одной из поставленных задач был разработан методический подход к выбору направления переработки электронных отходов и лома, соотнесенный с тенденциями, включающий систему показателей для выбора способа и результаты их экономической оценки, алгоритм принятия решения о способе переработки, позволяющий на основе полученных результатов выбрать приоритетные направления для инвестирования.

В качестве подтверждения выбора направления инвестирования был рассчитан проект, подразумевающий создание нового производства по переработке лома печатных плат. Результаты технико-экономических показателей по оценке эффективности строительства нового производства по переработке лома печатных плат свидетельствуют о практической возможности и экономической целесообразности реализации рассматриваемого проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р «Об утверждении стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года».
2. Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники : утв. Гос. комитетом Рос. Федерации по телекоммуникациям 19.10.1999.
3. UN and World Business Council for Sustainable Development. – 2019. URL:http://www.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf (дата обращения: 26.04.2020).
4. Карпухин А.И. Перспективные технологии аффинажа благородных металлов // А.И. Карпухин, И.И. Стелькина, С.Г. Рыбкина [и др.] // Цветные металлы. – 2007. – № 5. – С. 29–31.
5. Погосян А.Т. Разработка оптимальной технико–экономической структуры переработки электронного лома : автореф. дис. канд. техн. наук / А.Т. Погосян.. – Москва, 2007. – 24 с
6. Доронина М.С., Карпов Ю.А., Барановская В.Б., Лолейт С.И. Возвратное металлосодержащее сырье – общая характеристика и классификация для целей сертификации (обобщающая статья) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов – 2016. – №82(6). – С. 70-80
7. Лолейт С.И. Аналитический контроль и сертификация вторичного сырья на ОАО «Щёлковский завод вторичных драгоценных металлов» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – № 6. – С. 69-74
8. Приказ МПР РФ от 18 июля 2014 года N 445 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов» (с изменениями и дополнениями), Федеральная служба по надзору в сфере природопользования / Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420209965> (дата обращения 25.11.2019)

9. Лолейт С.И. Разработка экологически чистых технологий комплексного извлечения благородных и цветных металлов из электронного лома: спец. 05.16.02 «Металлургия черных и цветных металлов»: дис. ... д-ра техн. наук / Лолейт Сергей Ибрагимович; Нац.исслед.технолог.ун-т МИСиС. – Москва, 2010. – 245 с.

10. Обзор ситуации по переработке ОЭЭО // UNIDO — Организация ООН по промышленному развитию. URL: http://www.unido.ru/upload/files/0/01_OEEO_rus.pdf (дата обращения 08.11.2020)

11. Balde C. P. et al. The Global E-waste Monitor 2017, United Nations University, International Telecommunication Union & Solid Waste Association, Bonn/Geneva/Vienna, URL: www.globalewaste.org. (дата обращения 08.05.2020)

12. Сайлаубекова П. Н., Рыскулова А. К. Текущая ситуация в отрасли переработки ОЭЭО. / Твёрдые бытовые отходы, 2019, № 6, с. 58–60.

13. Global E-waste Key Statistics // The Global E-waste Monitor 2020// - URL: <https://www.tadviser.ru/images/3/3f/The-Global-E-waste-Monitor-2020-Quantities-flows-and-the-circular-economy-potential.pdf> (дата обращения 10.07.2020)

14. Электротехнические отходы (мировой рынок). Электронный мусор // Tadvizer. Государство, бизнес, IT. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения 13.10.2020)

15. Годовой отчет 2018 // UNIDO – Организация ООН по промышленному развитию. – URL: http://www.unido.ru/upload/files/a/annual_report_2018_rus.pdf (дата обращения 15.10.2020)

16. Материалы фирм и компаний: Herauers (ФРГ), Degussa (ФРГ), Handy and Harman (США), Johnson Matthey (Великобритания), Tanaka Kikinzoku Kodyu KK (Япония), SIPI of Metal Corp. (США), Rand Refinery LTD (ЮАР), Behr Precious Metals (США). // М.: ОНТИ : Гиналмаззолото. 2005. – 67 с.

17. Фаюстов, А. А. Возрастание актуальности утилизации электронных отходов в эпоху глобальной цифровой экономики / А. А. Фаюстов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 50 (288). — С. 237-243. — URL: <https://moluch.ru/archive/288/65076/> (дата обращения: 12.09.2020).

18. Теляков А.Н. Разработка эффективной технологии извлечения цветных и благородных металлов из отходов радиотехнической промышленности: спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»: дис. ... канд. тех. наук / Теляков Алексей Наильевич; С.-Петерб. гос. гор. ин-т им. Г.В. Плеханова. – Санкт-Петербург, 2007. – 177 с.

19. Утилизация продуктов производства электроники // Отходы.ру – Справочно – отраслевой портал об отходах. – URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=237> (дата обращения 15.06.2020)

20. Электронные отходы // Гринпис России. – URL : <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/toxics/e-waste> (дата обращения 21.02.2020)

21. Федеральный закон РФ от 01.01.2017 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

22. Федеральный закон РФ от 26.03.1998 № 41–ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» (с последующими измен.и доп.).

23. Карпов Ю.А. Проблемы пробоотбора, пробоподготовки и анализа вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы / Ю.А. Карпов // Заводская лаборатория. – 1996. – № 10. – с.4–7.

24. Стрижко Л.С. Извлечение цветных и благородных металлов из электронного лома / Л.С. Стрижко, С.И.Лолейт. – М. : Изд. Дом «Руда и металлы», 2009. – 160 с.

25. Дистанова А.А., Воскобойникова В.В., Комплекс для переработки радиоэлектронного лома. / Твердые бытовые отходы, 2012, №5, с.60-62.

26. Переработка вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы / Под ред. Ю. А. Карпова. – М.: Госкомдрагмет. Гиналмазолото, 1996. – 290 с.
27. Shengen Zhang, Yunji Ding, BoLiu, De'anPan, Chein-chiChang, Volinsky A. A. Challenges in legislation, recycling system and technical system of waste electrical and electronic equipment in China // *Waste Management*. – 2015. – №45. – С. 361–373.
28. Etsuro Shibata. Treatments of Secondary Raw Materials in Non-Ferrous Smelters in Japan. URL: <https://www.ec.europa.eu> (дата обращения: 25.02.2019).
29. Хефели В., Амманн А., Сергеенкова А. П. Печатные платы как ресурс // *Твердые бытовые отходы*. – 2017. № 2 (128). – С. 26–28.
30. Рюмин А. И. Опознавательная-информационная система классификации лома электронных изделий. — Красноярск : ИПК Платина, 1999. — 283 с.
31. Воскобойников В.В. Опыт утилизации электронных отходов в России / В.В. Воскобойников. // Организация управления отходами электронного и электротехнического оборудования в России: ситуация в отрасли и перспективы ее развития. - 2014. – URL: <https://docviewer.yandex.ru/voskoboynikov-v-v-uurscu-pdf.pdf> (дата обращения 05.07.2019).
32. Волкова А. В. Рынок утилизации отходов / НИУ ВШЭ. 2018. — URL: https://docviewer.yandex.ru/Рынок_утилизации_отходов_2018.pdf (дата обращения: 25.04.2019).
33. Брыкин А. В., Семчук И. М. Анализ и перспективы рынка вторичной переработки электроники и компонентов электронных устройств в РФ // *Успехи в химии и химической технологии*. 2011. № 13 (129). С. 41–46.
34. Максимова М. А. Анализ состояния переработки электронного лома в России // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*, 2016, № 3 (56), С. 102–111.

35. Martin Ruhrberg. Assessing the recycling efficiency of copper from end-of-life products in Western Europe // *Resources, Conservation and Recycling*. 2006, №2. С.141-165.
36. Thomas G Goonan. Copper Recycling in the United States in 2004. U.S. Geological Survey / 2004. – URL: <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1196x/> (дата обращения: 20.03.2019).
37. Baldé C. P., Forti V., Gray V., Kuehr R., Stegmann P. The Global E-waste Monitor. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). Bonn, Geneva, Vienna. – 2017. – С. 116.
38. Санакова Т.Ю. Комиссаров В.А. Электронные отходы в СНГ сегодня и завтра // *Твердые бытовые отходы*. – 2016. – № 10 (124). – С. 34-36.
39. Dalrymple I., Wright N., Kellner R., Bains N., Geraghty K., Goosey M., Lightfoot L. An integrated approach to electronic waste (WEEE) recycling // *Circuil World*. – 2007. – №33, ч. 2. – С. 52–58.
40. Abhishek Kumar Awasthi, Xianlai Zeng, Jinhui Li. Integrated bioleaching of copper metal from waste printed circuit board — a comprehensive review of approaches and challenges // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – №23, – С. 141–156.
41. Кружкова Г.В. Совершенствование системы ценообразования на электронный лом на предприятии вторичной металлургии драгоценных металлов // *Экономика в промышленности*. – 2012. – № 4. – С. 53-55.
42. Татарникова М.А. Организационно-экономический механизм формирования системы управления отходами бытовой техники и электроники на региональном уровне: спец. 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством»: автореферат дис. ... канд. экон. наук / Татарникова Марина Анатольевна; С.-Петерб. гос. инженер.-эконом. ун-т. – Санкт-Петербург, 2009. – 19 с.
43. Sundqvist R. Expansion of e-scrap capacity at Rönnskär. – 2010. – URL:<https://www.boliden.com/globalassets/investor-relations/reports->

andpresentations/capital-markets-day/2010/cmd/5-electronic-scrap-rogersundqvist-general-manager-boliden-ronnskar.pdf (дата обращения 15.11.2019)

44. UN and World Business Council for Sustainable Development // New Circular Vision for Electronics Time for a Global Reboot. – 2019. – URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf (дата обращения 20.03.2019).

45. Salhofer S., Steuer B., Ramusch R., Beigl P. WEEE management in Europe and China – A comparison // Waste Management. – 2016. – №57. – С. 27–35.

46. Хакимов Р.Т. Хизбуллин Ф.Ф., Саттаров А.Р. К вопросу организации переработки твердых бытовых отходов в Российской Федерации // Техно-технологические проблемы сервиса. – 2014. – № 3 (29). – С. 82-87.

47. Смирнова Т.С. Марьев В.А., Комиссаро В.А. Расширенная ответственность производителя – новая парадигма в системе управления отходами // Твердые бытовые отходы. – 2015. – №2 (104) . – С. 10-15.

48. Cucchiella F., D'Adamo I., Lenny Koh S. C., Rosa P. A profitability assessment of European recycling processes treating printed circuit boards from waste electrical and electronic equipments // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – №64. – С. 749–760.

49. D'Adamo I., Rosa P., Terzi S. Challenges in waste electrical and electronic equipment management: A profitability assessment in three European countries // Sustainability. – 2016. – №7. – С. 633.

50. Ghodrat M., Rhamdhani M. A., Brooks G., Masood S., Corder G. Techno economic analysis of electronic waste processing through black copper smelting route // Journal of Cleaner Production. – 2016. – №126. – С. 178–190.

51. С.Г. Баранчикова Экономическая эффективность технических решений : учебное пособие / С.Г. Баранчикова [и др.] ; под общ. ред. проф. И. В. Ершовой. – Екатеринбург : Издательство Урал. ун-та, 2016. – 140 с.

52. Ю.А. Котляр. Металлургия благородных металлов: учебник/ Ю.А. Котляр, М.А. Меретуков, Л.С. Стрижко – Москва: МИСИС, Издательский дом «Руда и Металлы». – 2005 г. – 392 с.

53. С.А. Рубис. Технология переработки полиметаллического сырья, содержащего платину и палладий : автореф дис. ... канд. техн. наук : / С.А. Рубис Станислав Александрович; Санкт-Петербург., 2012. - 19 с.

54. И.В. Логинова. Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии: учебное пособие/ И.В. Логинова, , А.А. Шопперт, Д.А. Рогожников, А.В.Кырчиков – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. – 253 с.

55. Департамент по энергоэффективности // О расчетной стоимости 1 т.у.т в 2020 году. – URL: http://energoeffekt.gov.by/supervision/framework/information/2664-20170301_new1. (дата обращения 23.06.2020).

56. Колмакова А.А. / Физико-химические закономерности процессов вскрытия электронного лома, содержащего благородные металлы, смесью серной и азотной кислот: спец. 05.16.07 «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов»: автореферат дис. ... канд. техн. наук/ Колмакова Анна Анатольевна; Гос. ун-т цвет. мет. и золота. – Красноярск, 2004. – 24 с.

57. Н.В. Михайлова, А.В. Ясинская. Технологии извлечения металлов из современного электронного лома: / Обогащение руд. – 2018. – 62 с.

58. О.Ю. Хрипунова. Экономический алгоритм отбора проектов для повышения конкурентоспособности нефтехимического предприятия // О.Ю. Хрипунова, Ж.В. Дедик. – Инновационная наука. – 2018. - № 4. – С. 107-112. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32826684> (дата обращения 01.12.2020)

59. Н. А. Маладжанова. Разработка экспертной системы выбора технологии переработки отходов химико – технологической системы// Н. А. Маладжанова, Б. Б. Богомоллов. – Успехи в химии и химической технологии. –

2013. – № 9 (149). – С. 84-89. – URL:
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20382994> (дата обращения 04.12.2020)

60. Юзов О.В. Анализ производственно–хозяйственной деятельности металлургических предприятий : учебное пособие / О.В. Юзов., А.М. Седых. – Москва: МИСиС, 2005. – 360 с.

61. Л.М. Теслюк. Оценка эффективности инвестиционного проекта: учебное пособие/ Л.М. Теслюк, А.В. Румянцева – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2014. – 111 с.

62. С.А. Сироткин. Экономическая оценка инвестиционных проектов / С.А. Сироткин, Н.Р. Кельчевская. – Москва: Издательство: «ЮНИТИ-ДАНА». – 2012 – 311 с.

63. Руткаускас Т.К. Экономика организации (предприятия): учебное пособие / Т. К. Руткаускас [и др.] – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2018. – 260 с.