

УДК 502.504 : 606 : 628.4.043

КОНФИГУРАЦИЯ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ© 2023 Э.С.Цховребов¹, Ф.Х. Ниязгулов²¹ ВНИИ ГО ЧС (ФЦ), г. Москва, Россия² Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Россия

Статья поступила в редакция 15.02.2023

Целью настоящей работы послужило создание конфигурации ресурсосберегающей системы обращения использованной электробытовой и электронной техники, реализующей состояние экологической безопасности территорий, формирование комфортной, безопасной, благоприятной среды жизнедеятельности людей, защищенность населения и территорий от возможных угроз возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. Основными задачами проводимого исследования определены: сбор, обобщение, систематизация материалов, композиция результатов исследований в области методов, способов, технологий сбора, сортировки, переработки электронного лома; сопоставительный анализ компонентного состава завершившей срок эксплуатации электронной и электробытовой техники, приборов, установок, средств автоматизации и измерений; системный анализ методов и технологий, обеспечивающих максимальное извлечение полезных компонентов из электронных отходов для их повторного использования в виде вторичного сырья в экономическом цикле; разработку конфигурации организационно-технической системы и технологической инфраструктуры всего цикла обращения с электронными отходами, реализующих обеспечение состояния защищенности людей, природной среды от негативного воздействия опасных техносферных объектов, благоприятность жизнедеятельности человека. Результаты проведенного исследования могут быть использованы при актуализации территориальных схем обращения с отходами, территориальных и отраслевых схем планирования отходоперерабатывающей инфраструктуры, производственно-технических комплексов раздельного сбора, накопления, обработки завершившей срок эксплуатации электротехнической продукции.

Ключевые слова: экологическая безопасность, комфортность, благоприятность, жизнедеятельность, отходы электротехнического и электронного оборудования.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-107-116

ВВЕДЕНИЕ

Происходящие в мире современные процессы и тенденции научно-технического развития, роста объемов и расширения форм потребления, диктуют необходимость разработки новых нестандартных подходов к обеспечению экологической безопасности территорий, созданию благоприятной, комфортной и безопасной среды жизнедеятельности населения, включая предупреждение чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера [1-5].

Отходы электронного и электротехнического оборудования (далее - ОЭЭО) являются одним из самых быстрорастущих и экологически опасных групп отходов в мировом масштабе. В мире

ежегодно образуется примерно 45-50 млн тонн бывшей в употреблении электротехнической, электронной продукции, при этом наблюдается неуклонная тенденция к росту в силу информатизации и цифровизации общественного коммуникационного пространства.

По разным оценкам в Российской Федерации по состоянию на 2016-2017 гг. ежегодное образование подобного рода отходов составляло 0.9-1,4 млн т или примерно 9,7 кг на одного жителя страны. Это не самый высокий показатель в мире. Так, к примеру, в Норвегии ежегодное количество образовавшихся ОЭЭО на душу населения составило 28,3 кг, в Швейцарии 26,3 кг [5-7]. Однако это не означает, что для Российской Федерации поднятая экологическая проблема не является актуальной и значимой с точки зрения обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности в населенных пунктах и за их пределами. Нерешенность проблемы раздельного сбора, обработки, утилизации таких отходов приводит к их размещению в составе смешанного бытового и/или производственного мусора

Цховребов Эдуард Станиславович, кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник Центра "Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций" ВНИИ ГО ЧС (ФЦ) МЧС России.

E-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

Ниязгулов Филюз Хайдарович, соискатель, старший преподаватель РУТ МИИТ. E-mail: transgeo@yandex.ru

на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО), несанкционированных свалках, нанося при этом значительный непоправимый вред окружающей среде. Активизируется появление таких отходов на обочинах дорог, в оврагах, лесных массивах, сельхозугодьях, водоохраных зонах водоёмов. ОЭЭО содержат материалы, вещества и их соединения различного уровня токсичности для здоровья человека и опасности для окружающей среды, включая чрезвычайно и высокотоксичные/опасные.

С другой стороны, большинство ценных компонентов бывшей в употреблении электронной продукции могут быть востребованы в качестве вторичных ресурсов. В компонентном составе этих отходов присутствуют дорогостоящие редкоземельные металлы (европий, диспрозий, неодим, иттрий, тербий и др.), широко применяемые при выпуске электронной продукции, их стоимость за 1 кг может варьироваться от 110 до 5 500 \$ [8]. По экспертным оценкам, в среднем один мобильный телефон может содержать по массе ценных вторичных ресурсов (в граммах): меди - 8,75; кобальта - 3,81; железа - 3,00; олова - 1,00; серебра - 0,25; золота - 0,024; палладия - 0,009, на сумму от 1-1,5 \$ [8-11]. Суммарные приведенные затраты выделение металлов из ОЭЭО в 13 раз ниже по сравнению с добычей этих металлов из природной среды [8].

В связи с этим, во многих странах мира значительные объемы ОЭЭО выбираются из ТКО и разбираются частными лицами с целью извлечения наиболее ликвидных вторичных материалов, в первую очередь, драгоценных и редких металлов (золота, серебра, палладия, кобальта и ряда других).

Однако, до сих пор одним из препятствий создания высокоэффективной переработки ОЭЭО является низкое качество либо непроработанность с учетом всевозможных факторов, условий, ограничений комплексных организационно-технических систем обращения, так и экологически безопасных ресурсосберегающих технологий их раздельного сбора, обработки, утилизации.

И, если, в сфере создания отдельных технологий, за последние десятилетия научные исследования существенным образом продвинулись вперед (например, результативность выделения редкоземельных металлов биотехнологическим способом может достигать до 95 % [7,9]), то в плане разработки концепций экологически безопасных ресурсосберегающих систем обращения использованной электротехнической и электронной продукции в отраслевом, региональном, муниципальном форматах актуальная эколого-экономическая проблема остается нерешенной. Основной целью формирования

таких комплексных систем является не только развитие малого и среднего предпринимательства, создание новых рабочих мест, пополнение бюджетов, а, в первую очередь, создание благоприятной, комфортной, безопасной среды жизнедеятельности людей, защита населения и территорий от экологических угроз и факторов, способных вызвать негативные последствия в виде чрезвычайных экологических ситуаций техногенного плана.

Методы исследования базируются на системном анализе научно-технической информации в области экологически безопасного обращения отходов электротехнических, электронных изделий в Российской Федерации и за рубежом, ресурсосберегающих методов, систем, технологий раздельного сбора, изолированного накопления, обработки, повторного использования полезных ресурсных составляющих завершившей свой срок эксплуатации, бывшей в употреблении разнородной продукции такого типа.

Концепция проводимого исследования основывается на общепринятых в мировом сообществе приоритетах и стратегиях обращения с отходами, в том числе: «Circular economy» (экономика замкнутого цикла), «Green economy» (зелёная экономика) [12-16], «Zero waste» (ноль отходов) [17-20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования, на базе проведения ретроспективного, сопоставительного анализа литературных источников, обобщения, систематизации, композиции полученных данных, уточнен перечень источников образования ОЭЭО, составляющих полезных элементов и их удельных количеств образования в зависимости от типа использованной техники.

Исследуемые отходы образуются после утраты потребительских свойств многочисленными группами потребительских товаров, таких как компьютерная техника, бытовая техника (электроплиты, холодильники, телевизоры, микроволновые печи, стиральные машины, электроплитки, посудомоечные машины, плееры, музыкальные центры, пылесосы, утюги, кухонные комбайны, электро- мясорубки, соковыжималки, чайники, кофеварки и пр.), оргтехника, электроинструменты, носители информации, телефоны и радиосвязь, автоэлектроника, фото-, видео-, аудиотехника, КИП, системы безопасности.

Источниками получения вторичного сырья из лома ОЭЭО служат: кабели и провода, печатные платы, микросхемы, припои, контакты, отдельные детали, узлы и блоки, металлические и пластиковые детали фурнитура.

Электронная и электробытовая техника включает в своем составе множество востребованных в экономическом цикле утильных фракций, значительную долю которых составляют: черные и цветные металлы, сплавы, стекло, полимеры различных видов: полистирол, поливинилхлорид, АБС, поликарбонат, полиамид, а также стеклопластик и резинотехнические изделия.

Усредненные показатели компонентного состава некоторых видов ОЭЭО (в % по данным Швейцарской федеральной лаборатории естественных наук и технологий EMPA) приведены в таблице 1; компонентный состав отходов основных типов компьютерной и оргтехники (по данным инструментальных исследований ЦЛАТИ в %), средств мобильной связи (письмо производителя ООО «Транстрейд» от 29.11.2016 г. «О компонентном составе проводных телефонов Ritmix RT-440», «Зеленый портал») в % – в таблице 2.

В рамках следующего этапа исследования, на основе системного анализа сложившихся систем и процессов управления, регулирования исследуемой сферы деятельности, выявлены причины, условия, факторы, не способствующие налаживанию эффективной комплексной ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с ОЭЭО.

Среди причин низкого уровня развития индустрии и предпринимательской деятельности по переработке ОЭЭО можно выделить:

- отсутствие мотива у собственника / производителя отходов, переработчиков и заготовителей вторичного сырья к разделному сбору, утилизации;

- неразвитость производственно-технологической инфраструктуры разделного сбора, на-

копления, обработки, утилизации ОЭЭО от населения и предприятий;

- сложный компонентный состав ОЭЭО, требующих привлечения профильных специалистов и инженерно-технических работников для обеспечения полноценной, качественной, безопасной обработки, повторного применения полезных ресурсных компонентов данного вида отходов;

- недостаточное количество технически подготовленных переработчиков данной группы отходов, инновационных технологий в данной сфере.

Таким образом, недостаточное развитие в России рынка вторичных материалов, ограниченность их использования в производстве сдерживает развитие инфраструктуры сбора и утилизации отходов электрической, электронной техники, средств автоматики, иных технических средств.

Вместе с тем, проведенный анализ показал, что современные технологии и системы обращения с такими отходами позволяют перерабатывать до 90% от веса использованных электронных и электротехнических изделий.

На основе имеющегося опыта автора по разработке проекта национальной отходоперерабатывающей стратегии, сделан вывод о том, что, в целях обеспечения утилизации этих отходов на уровне ведущих стран в мире (не менее 90%) промышленно-технологические комплексы по селективному сбору, обработке, утилизации ОЭЭО должны включать:

- стационарные и передвижные пункты по разделному сбору ОЭЭО у населения и хозяйствующих субъектов;

- многофункциональные комплексы по обработке (разборке, очистке, мойке, сортировке,

Таблица 1 – Усредненные показатели компонентного состава некоторых видов ЭЭО
Table 1 – Averaged indicators of the component composition of some species

Состав \ Вид техники	Крупная бытовая	Мелкая бытовая	Электроника
Черные металлы	43	29	36
Цветные металлы:			
алюминий	14	9,3	5
медь	12	17	4
свинец	1,6	0,57	0,29
кобальт	0,0014	0,0068	0,018
ртуть	0,000038	0,000018	0,00007
золото	0,00000067	0,00000061	0,00024
серебро	0,0000077	0,000007	0,0012
палладий	0,0000003	0,00000024	0,00006
рутений, индий	0	0	0,0005
АБС-пластик	0,29	0,75	18
Полимеры (ПВХ, ПЭ, ПА)	19	37	12
Стеклопластик	0	0	9
Стекло	0,017	0,16	0,3
Другое (РТИ и пр.)	10	6,9	5,7

Таблица 2 – Компонентный состав отходов основных типов компьютерной и оргтехники, средств мобильной связи
Table 2 – The component composition of the waste of the main types of computer and office equipment, mobile communications

Состав \ Тип техники	Системный блок	Монитор жидкокристаллическ.	Картридж ПУ (содержание тонера ≤7%)	Клавиатура, манипулятор (мышь)	Мобильный телефон, факс (Зеленый портал)
Черные металлы	48,89±14,67	6,2± 1,9	29,97 ± 8,99	6,79	18-20
Цветные металлы:	11,19 ± 3,36	4,3 ± 1,3	9,65 ± 2,90	0,84	
алюминий				0,2	
медь				0,62	16-20
золото					0,0098
серебро					0,033
палладий					0,003
рутений, индий					
кобальт					до 1
Олово					до 1
Марганец				0,016	
Хром				0,004	
Пластик, АБС-пластик	19,74 ± 5,92		45,65 ± 13,70	81,3	45-56
Полимеры (ПВХ, ПЭ, ПП)	0,080±0,029 (ПЭ) 0,018±0,006 (поролон)	32,3 ± 9,7		8,9 (ПЭ) 0,28 (ПП)	
Стеклопластик, текстолит	19,0 ± 5,7			0,22	3-5
Стекло	0,006±0,002	57,2 ± 17,2			
Резинотехнические изделия	1,06 ±0,32 (каучук)		2,32 ± 0,70	1,49	
Магнитный стержень			10,34 ± 3,10		
Керамика	0,008±0,003			0,18	7-10

изменению размеров (дроблению, измельчению, расплаву), а также сепарации) данных отходов;

- производственно-технические комплексы по утилизации отходов ЭЭО, выпуску новой конкурентоспособной, качественной, безопасной продукции и сырья из извлеченных вторичных материальных ресурсов - ценных компонентов использованной электробытовой, электронной техники.

В ходе организации системы раздельного сбора и изолированного накопления ОЭЭО следует принимать во внимание некоторые особенности, свойства, характеристики бывшей в употреблении специфической продукции:

- пригодность к дальнейшей эксплуатации (в т.ч. после реставрации, ремонта) всего изделия, отдельных деталей, блоков, либо отсутствие таковой;

- наличие повреждений, степень физического и морального износа как всего изделия, так и отдельных его частей, блоков, узлов, деталей;

- стоимость пригодной для дальнейшего применения в хозяйственном обороте использованной продукции после ремонта и восстановления (рециклинг) или извлеченных полезных компонентов (рекуперация);

- капитальные вложения и эксплуатационные затраты на изолированное накопление и складирование специальным образом, селективный сбор, первичную предварительную и технологическую обработку отходов (сортировку, сепарацию, расплав, чистку, брикетирование и пр.), оцененные в сравнении с расходами на полное раздробление и обезвреживание ОЭЭО.

При этом, с финансово-экономической точки зрения даже простейшая ручная разборка и сепарация этих отходов с использованием отвёртки и паяльника может давать ежемесячную прибыль в сотни тысяч рублей от реализации, в первую очередь, ценных металлов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Раздельный сбор полезных компонентов ОЭЭО

Fig. 1 - Separate collection of useful components of the E-waste

Многофункциональные сортировочные комплексы технологической обработки ОЭЭО должны планироваться с использованием современных технологий высокоэффективной и экологически безопасной подготовки этих специфических отходов к дальнейшему повторному применению в хозяйственном обороте: сортировка по крупности (грохочение); оптическая сортировка; механическое измельчение; расплав; магнитная, электромагнитная, магнитно-гидростатическая, электростатическая сепарация. Рассмотрим кратко суть каждого метода и технологического процесса обработки ОЭЭО.

Сортировка по крупности (грохочение) предусматривает направление электронного лома, содержащего частицы различного размера на грохот с размерами ячейки сита 20 мм, а затем – на ленточный транспортер, в конце разгрузочной части которого установлена наклонная стенка с зазором между верхним концом стенки и лентой транспортера. Куски лома определенного размера, минуя зазор, попадают на дальнюю от разгрузочного барабана транспортера плоскость и поступают в первую приемную емкость; остальные проваливаются в зазор и поступают на отсев во вторую приемную емкость.

Предварительная оптическая сортировка некоторых типов лома ОЭЭО основывается на смачивании смеси с водой и, с помощью вибропитателя вибропитателя осуществляют сепарацию частиц. Разработанная схема сортировки предусматривает смачивание исходного материала (1:1) в смесительном барабане, отделение полиэтилена в коническом классификаторе и извлечение резины вместе с поливинилхлоридом в отсадочной машине. Полимерная фракция содержит до 98 % полимера (с менее 0,1 % металлизированных продуктов); легкая фракция отсадочной машины - 99 % резины и ПВХ (менее 0,1 % металлической «фазы»), металли-

ческий концентрат (после разделения на концентрационном столе) - более 98 % металлов.

Для извлечения благородных металлов из электронного лома применяются гидрометаллургические методы, включающие технологические процессы выщелачивания сплавов, обработки щелочами и кислотами с переводом драгоценных металлов в растворимые комплексные соединения, электролиз в барабане в растворе содержащим йодид и гидроксид калия.

Высокоселективная магнитно-гидростатическая сепарация реализует разделение цветных металлов или компонентов сплава и позволяет получать обогащенный концентрат, исключая процесс плавки. Разделение происходит в гравитационных, а затем - центробежных сепараторах. Применяются три типа магнитных жидкостей с различной магнитной проницаемостью. В качестве магнитов используются электромагниты стандартные и сверхпроводящие.

Электромагнитная сепарация реализуется с применением следующих технических средств: наклонный перфорированный цилиндрический барабан с увеличивающейся к нижнему торцу площадью сечения отверстий с патрубками на каждом из них, расположенных кольцевыми рядами; магнитная система в виде неподвижных дугообразных электромагнитов, расположенных под барабаном между рядами патрубков; магнитная система с источником импульсного тока; питатель и приемники продуктов сортировки.

Электростатическая сепарация в поле вихревых токов во вращающемся барабане при наложении магнитного поля высокой частоты применяется для отделения магнитной и разделения немагнитной фракций после оптической сортировки и магнитно-гидростатической сепарации с получением разнородного качественно концентрата.

При использовании данных технологий в среднем переработка 4-5 кг лома в течение 10



Рисунок 2 – Многофункциональный сортировочный комплекс переработки ОЭЭО
Fig. 2 – Multifunctional sorting processing complex of E-waste

час реализует извлечение 95% серебра, 96% золота, 97% палладия.

Вышеназванные технологические процессы объединяются в многофункциональном сортировочном комплексе (рисунок 2).

На производственно-технических комплексах осуществляется металлургический и гидрометаллургический передел обработанных вторичных материальных ресурсов из ОЭЭО.

Экотехнопарки как комплексные объекты по обработке и утилизации отходов могут объединять в себе всю систему обращения, начиная от сбора ОЭЭО и, заканчивая, выпуском продукции из извлеченных ценных вторичных материальных ресурсов, разработкой инновационных технологий утилизации и обезвреживания отходов, техники, оборудования для этих целей, представляя собой научно-производственный кластер.

Драгоценные металлы, извлеченные из электронного лома (золото, серебро, платина, палладий), возвращаются в электронную промышленность или превращаются в слитки для продажи на свободном рынке. Стекло, полимеры, резина после измельчения и/или брикетирования используются при выпуске продукции. Обработанные цветные металлы и сплавы (олово, медь, свинец, алюминий, кадмий, ртуть) реализуются по рыночным ценам.

Целью создания системы эффективного обращения с ОЭЭО является формирование современной экологически безопасной и экономически эффективной комплексной системы управления замкнутым циклом обращения данных отходов, а также использования извлеченных из них вторичных материальных ресурсов в различных отраслях и секторах экономики, включая товарно-сырьевые биржи и электронные торговые площадки.

В рамках конфигурации инновационной системы определены:

1. Разработка информационно-аналитической системы, позволяющей вести объективный учет и мониторинг источников, количества образования ОЭЭО, их обращения до преобразования в различные виды ценного вторсырья.

2. Разработка типового экологически безопасного научно-производственного комплекса по сбору, обработке, утилизации ОЭЭО для городского округа.

3. Разработка типовой региональной (муниципальной) системы раздельного сбора ОЭЭО у населения и хозяйствующих субъектов.

4. Формирование эффективного организационно-финансового механизма расширенной ответственности товаропроизводителей электронной и электробытовой техники и оборудования.

Концептуальные отличия предлагаемой организационно-технической системы от аналогичных, принятых в территориальных схемах обращения с отходами (не в части ТКО) представлены в таблице 3.

ВЫВОДЫ

В работе впервые сформирована конфигурация организационно-технической системы управления обращением ресурсной составляющей ОЭЭО.

Основными результатами предлагаемой организационно-управленческой системы являются, с одной стороны, обеспечение утилизации ОЭЭО на уровне ведущих стран (не менее 90%), возврат в экономический цикл востребованного сырья, с другой, обеспечение экологической безопасности территорий от подобного рода опасных и токсичных техносферных объектов, исключение размещения ОЭЭО на полигонах ТКО и несанкционированных свалках, повышение уровня комфортности и благоприятности городской среды.

Таблица 3 – Концептуальные отличия предлагаемой организационно-технической схемы от действующих территориальных схем обращения отходов
Table 3 – Conceptual differences of the proposed organizational and technical scheme from the existing territorial waste management schemes

Параметры	Действующие схемы	Предлагаемая схема
Вид деятельности	Обращение с опасными отходами	Обращение с ресурсной составляющей отходов (ВМР, ВЭР), вторичным сырьём
Задействованные приоритеты иерархии обращения с отходами	Обработка, утилизация, обезвреживание, а также экологически опасный вид обращения: размещение (хранение + захоронение)	<i>Доминантные:</i> максимальное использование сырья, предупреждение, сокращение образования, снижение класса опасности. <i>Обеспечивающие:</i> обработка, утилизация, обезвреживание
Область регулирующего законодательства	Преимущественно экологическое и санитарно-эпидемиологическое	Преимущественно: экономического развития, промышленной политики, технического регулирования
Идентификация предмета деятельности	Отходы производства и потребления. Вторичные ресурсы - как отходы, подлежащие переработке	Изначальная идентификация использованных предметов, веществ в источниках образования в качестве материально-сырьевых ресурсов
Преобладающая схема сбора	Преимущественно смешанная	Селективный сбор, изолированное накопление, обработка в источниках образования
Отходо-перерабатывающая технологическая база	КПО как объекты сортировки преимущественно ТКО 4 и 5 класса опасности, полигоны хранения хвостов сортировки, объекты энергетической утилизации	Многофункциональные сортировочные комплексы приема всех видов городских отходов 3-5 классов опасности, а также ОЭЗО с полным набором технологических операций обработки до стандартизированного вторсырья. Производственно-технические комплексы выпуска продукции с его применением.
Схемы перевозки	Преимущественно автомобильный транспорт	Смешанные автомобильные и железнодорожные перевозки
Расположение источников экологической опасности	Населенный пункт, пред-приятия переработки, термоутилизация, полигоны хвостов сортировки	Инфраструктура по обработке, утилизации (в т.ч. энергетической), обезвреживания отходов вне черты населенных пунктов

Необходимым условием эффективного внедрения системы является налаженный процесс геотехнического, инструментально-лабораторного, геоинформационного мониторинга обращения данных опасных отходов.

Материалы и результаты исследований могут быть использованы при формировании региональных, отраслевых концепций безопасного обращения использованного электронного, электротехнического оборудования, территориальных схем планирования, в ходе актуализа-

ции территориальных схем обращения с отходами в субъектах Российской Федерации в части отдельного сбора, накопления, обработки, повторного использования ОЭЗО.

Создание и развитие систем экологически безопасного обращения с ресурсной составляющей подобных отходов служит значимым фактором предупреждения экологических и санитарно-гигиенических угроз и рисков, возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цховребов Э.С., Лебин А.Н., Белоусов В.Г. Новейшая история развития природоохранной деятельности в России // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2012. Т. 18. № 2. С. 192–196.
2. Цховребов Э.С., Ниязгулов Ф.Х. Оценка уровня экологической безопасности регионов на основе нечётких показателей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2022. Т. 24. № 5 (109). С. 60–68.
3. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. Materials Science Forum. 2019. Т. 945. Pp. 988–994.
4. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. инженерная геология. гидрогеология. Геокриология. 2020. № 1. С. 6–11.
5. Рудакова Л.В., Чугайнова А.А. Анализ технологий утилизации электронных отходов // Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды». Том III. Белгород. 2018. С. 125–131.
6. Гофман В.Р., Попов А.А. К вопросу об управлении отходами потребления электронной техники в системе экологического менеджмента в Российской Федерации // Вестник Южно-уральского государственного университета. 2010. № 11. С. 44–51.
7. Акаев О., Войнаровская А., Желязный С., Жуковский В. Термическая переработка отходов электронной промышленности // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2012. Т. 18. № 2. С. 8–10.
8. Xianlai Zeng, John A. Mathews, and Jinhui Li. Urban Mining of E-Waste is Becoming More Cost-Effective Than Virgin Mining // Environmental Science & Technology. Publication Date (Web): April 4, 2018 (Article). Pp. 121–125.
9. Mehmet Ali Kücükler, Jean-Baptiste Nadal, Kerstin Kuchta. Comparison between batch and continuous reactor systems for biosorption of neodymium (nd) using microalgae // International journal of plant, animal and environmental sciences. 2016. Pp. 197–203.
10. Baldé C.P., Forti V., Gray V., Kuehr R., Stegmann P. The Global E-waste Monitor – 2017 // United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. 2017. 53 p.
11. Ладыгин К.В. Стомпель С.И., Спектор Ю.Л. Переработка электронного лома по технологии термической деструкции // ТБО. 2018. № 6. С. 30–31.
12. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation & Recycling. 2017. No 127. P. 9.
13. Hart, J., Adams, K. and others. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. Procedia CIRP. 2019. No 80. Pp. 619–624.
14. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States, Ecological Economics, 2019. Vol.155. Pp 7–19.
15. Ehresman T., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy International Environmental Agreements: Politics, Law & Economic, 2015. Vol. 15. Iss. 1. Pp. 13–27.
16. Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A Report of the Int. Resource Panel. United Nations Environment Programme, Kenya. 2020. URL: <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon>.
17. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of Buildings and the Built Environment. Life Cycle Assessment. Theory and Practice. 2018. Chapter 28. Pp. 695–720.
18. Bartoletto A. Waste prevention policy and behaviour. New approaches to reducing waste generation and its environmental impacts. Routledge studies in waste management and policy. L.; N.Y.: Routledge. 2015. P. 30.
19. Robin Murray. Zero waste. Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.
20. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. Procedia Engineering. Vol. 145. 2016. Pp. 1306–1313.

CONFIGURATION OF A RESOURCE-SAVING ELECTRONIC EQUIPMENT CIRCULATION SYSTEM IN ORDER TO CREATE A SAFE LIVING ENVIRONMENT

© 2023 E.S. Tskhovrebov¹, F.H. Niyazgulov²

¹FSBI Research Institute of Emergency Situations (FC), Moscow, Russia

²Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russia

Abstract. The purpose of this work was to create a configuration of a resource-saving system for handling used household and electronic equipment that implements the state of environmental safety of territories, the formation of a comfortable, safe, favorable environment for people's life, the protection of the population and territories from possible threats of man-made and natural emergencies. The main objectives of the conducted research are defined: collection, generalization, systematization of materials, composition of research results in the field of methods, methods, technologies for collecting, sorting, processing electronic scrap; comparative analysis of the component composition of electronic and household appliances, devices, installations, automation and measurement equipment that have completed their service life; system analysis of methods and technologies that ensure maximum extraction of useful components from electronic waste for their reuse as secondary raw materials in economic turnover; development of the configuration of the organizational and technical system and technological infrastructure of the entire cycle of waste management of electronic and electrical equipment, implementing ensuring the state of protection of people, the natural environment from the negative effects of hazardous technosphere objects, the favorable and comfortable living environment of citizens. The results of the conducted research can be used in the development and updating of territorial waste management schemes, territorial and sectoral schemes for planning waste processing infrastructure, industrial and technical complexes for collecting, accumulating, and processing these specific wastes.

Keywords: environmental safety, comfort, favorability, vital activity, waste of electrical and electronic equipment.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-107-116

REFERENCES

1. *Tshovrebov E.S., Lebin A.N., Belousov V.G.* Noveishaya istoriya razvitiya prirodoohrannoi deyatel'nosti v Rossii [The newest history of development of nature protection activity in Russia]. Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova [Bulletin of N.A. Nekrasov Kostroma State University]. 2012. Vol.18. No. 2. Pp. 192-196. (In Russ.).
2. *Tshovrebov E.S., Niyazgulov F.H.* Otsenka urovnya ekologicheskoy bezopasnosti regionov na osnove nechetkih pokazateley [Assessment of the level of environmental safety of regions based on fuzzy indicators]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [J]. 2022. Vol. 24. No. 5 (109). Pp. 60-68. (In Russ.).
3. *Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U.* Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. Materials Science Forum. 2019. T. 945. Pp. 988-994.
4. *Suzdaleva A.L.* Ekologicheskaya globalistika i ustoychivoe razvitie na etape tehnogennoy transformatsii biosfery [Ecological globalistics and sustainable development at the stage of technogenic transformation of the biosphere]. Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya. Geokryologiya [Geoecology. engineering geology. hydrogeology. Geocryology]. 2020. No.1. Pp. 6-11. (In Russ.).
5. *Rudakova L.V., Chugaynova A.A.* Analiz tehnologiy utilizatsii elektronnykh othodov [Analysis of e-waste disposal technologies]. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii «Innovatsionnye puti resheniya aktualnykh problem prirodopol'zovaniya I zashity okruzhayushey sredy» [Materials of the reports of the International Scientific and Technical Conference «Innovative ways to solve urgent problems of nature management and environmental protection»]. Vol.III. Belgorod.2018.Pp.125-131
6. *Gofman V.R., Popov A.A.* K voprosu ob upravlenii othodami potrebleniya elektronnoi tehniki v sisteme ekologicheskogo menedzhmenta v Rossiyskoy Federatsii [On the issue of waste management of Electronic equipment consumption in the Environmental Management System in the Russian Federation]. Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of South-Ural State university]. 2010. No. 11. Pp. 44-51.

7. *Akaev O., Voinarovskaya A., Zheleznyi S., Zhukovskiy V.* Termicheskaya pererabotka othodov elektronnoy promyshlennosti [Thermal processing of electronic industry waste] Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova [Bulletin of N.A. Nekrasov Kostroma State University]. 2012. Vol. 18. No. 2. Pp. 8-10. (In Russ.).
8. *Xianlai Zeng, John A. Mathews, and Jinhui Li.* Urban Mining of E-Waste is Becoming More Cost-Effective Than Virgin Mining // Environmental Science & Technology. Publication Date (Web): April 4, 2018 (Article). Pp. 121-125.
9. *Mehmet Ali Kücükler, Jean-Baptiste Nadal, Kerstin Kuchta.* Comparison between batch and continuous reactor systems for biosorption of neodymium (nd) using microalgae // International journal of plant, animal and environmental sciences. 2016. Pp. 197-203.
10. *Baldé C.P., Forti V., Gray V., Kuehr R., Stegmann P.* The Global E-waste Monitor – 2017 // United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. 2017. 53 p.
11. *Ladygin K.V., Stompely S.I., Spektor Yu. L.* Pererabotka elektronnoy loma po tehnologii termicheskoy destruktzii [Processing of electronic scrap by thermal destruction technology]. Zhurnal TBO [TBO magazine]. 2018. No. 6. Pp. 30-31.
12. *Kirchherr J., Reike D., Hekkert M.* Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation & Recycling. 2017. No 127. P. 9.
13. *Hart, J., Adams, K. and others.* Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. Procedia CIRP. 2019. No 80. Pp. 619–624.
14. *Domenech T., Bahn-Walkowiak B.* Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States, Ecological Economics, 2019. Vol.155. Pp 7-19.
15. *Ehresman T., Okereke C.* Environmental justice and conceptions of the green economy International Environmental Agreements: Politics, Law & Economic, 2015. Vol. 15. Iss. 1. Pp. 13-27.
16. *Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N.* Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A Report of the Int. Resource Panel. United Nations Environment Programme, Kenya. 2020. URL: <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon>.
17. *Goldstein B., Rasmussen F.* LCA of Buildings and the Built Environment. Life Cycle Assessment. Theory and Practice. 2018. Chapter 28. Pp. 695–720.
18. *Bartoleto A.* Waste prevention policy and behaviour. New approaches to reducing waste generation and its environmental impacts. Routledge studies in waste management and policy. L.; N.Y.: Routledge. 2015. P. 30.
19. *Robin Murray.* Zero waste. Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.
20. *Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K.* Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. Procedia Engineering. Vol. 145. 2016. Pp. 1306–1313.

Eduard Tshovrebov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Center of the Research Institute of the Ministry of Emergency Situations of Russia. E-mail: rebrovstanislav@rambler.ru
Filyuz Niyazgulov, adyunkt, Russian university of transport (RUT MIIT). E-mail: transgeo@yandex.ru