

приборостроения при изложении электронной теории полупроводников, принципа работы туннельных диодов и других приборов на квантовых эффектах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Шапоринский, С.А. Обучение и научное познание / С.А. Шапоринский. – М.: Педагогика, 1981. – 208 с.
2. Мощанский, В.Н. Формирование диалектико-материалистического мировоззрения на уроках физики / В.Н. Мощанский. – М.: Высшая школа, 1983. – 88 с.
3. Голин, Г.М. Образовательные и воспитательные функции методологии научного познания в школьном курсе физики / Г.М. Голин. – М.: МОПИ, 1986. – 95 с.
4. Планк, М. Картина мира современной физики / М. Планк // УФН. – 1929. – Т.9, вып. 4. – С. 407–436.
5. Mandelstam, L. Zur Theorie der Schrödingerschen Gleichung / L. Mandelstam, M. Leontowitsch // Zs. f. Phys. – 1928. – Bd. 47. – S. 131–138.
6. Гейзенберг, В. Иллюстрация соотношений неопределенностей на различных измерительных приборах / В. Гейзенберг // Физические принципы квантовой теории / В. Гейзенберг – Л.; М., 1932. – С. 34–40.
7. Эсаки, Л. Путешествие в страну туннелирования. Нобелевские лекции по физике 1973г. / Л. Эсаки // УФН. – 1975. – Т. 116, вып. 4. – С. 569–582.
8. Гапоненко, С.В. Оптические аналогии квантовых явлений: учеб.-метод. пособие. / С.В. Гапоненко, С.В. Жуковский, В.Н. Хильманович. – Минск: РИВШ, 2009. – 88 с.

ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМИ ОТХОДАМИ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

И. И. Хлудеев¹, Л. К. Герасимова², О. Д. Бичан³

¹⁾ *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь, e-mail: ivan2khl@mail.ru*

²⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, e-mail: geral@bsu.by*

³⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, e-mail: bichan@bsu.by*

Проведен анализ изменений в области управления электронными отходами в развитых и развивающихся странах мира, а также в государствах СНГ за последнее десятилетие. Изучена динамика роста производства электрических и электронных товаров в странах с различным благосостоянием в зависимости от наличия законов, регламентирующих обращение с электронными отходами, и развитости сетей по их сбору и утилизации. Отмечено существенное повышение роли научно-технического сообщества в поиске решений данной проблемы, подтверждаемое результатами анализа баз данных патентных организаций, который выявил бурный рост числа подаваемых заявок на патенты. Установлены различия в правовом администрировании управления электронными отходами в странах ЕС и СНГ. Отмечается специфика законодательства Республики Беларусь и роль вузовской науки в успешном решении проблемы электронных отходов. Полученные результаты используются в лекционных материалах ряда учебных дисциплин, связанных с техносферной безопасностью, «зелёной» энергетикой и экологией.

Ключевые слова: электронные отходы (ЭО); утилизация; управление электронными отходами; патентная заявка.

THE GLOBAL PROBLEM OF ELECTRONIC WASTE MANAGEMENT AND FEATURES OF ITS SOLUTION IN BELARUS

I. I. Khludeev¹, L. K. Gerasimova², O. D. Bichan²

¹⁾ *Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, st. P. Brovki, 6, 220013, Minsk, Belarus*

²⁾ *Belarusian State University, pr. Nezavisimosti, 4, 220030, Minsk, Belarus*

Corresponding author: I. I. Khludeev (ivan2khl@mail.ru)

The article analyzes changes in the field of electronic waste management in developed and developing countries, as well as in the CIS countries over the past decade. The article studies the growth dynamics of electrical and electronic goods production in countries with different levels of prosperity depending on the availability of laws regulating the handling of electronic waste and the development of networks for their collection and disposal. It notes a significant increase in the role of the scientific and technical community in finding solutions to this problem, confirmed by the results of the analysis of patent organization databases, which revealed a rapid increase in the number of patent applications filed. Differences in the legal administration of electronic waste management in the EU and the CIS countries are established. The article highlights the specifics of the legislation of the Republic of Belarus and the role of university science in successfully solving the problem of electronic waste. The results obtained are used in lecture materials for a number of academic disciplines related to technosphere safety, green energy and ecology.

Key words: electronic waste (EW); recycling; E-waste management; patent application.

Человечество переживает значительную электронизацию, включая цифровую трансформацию, с технологиями, глубоко меняющими все аспекты нашего образа жизни: быт, учеба, общение, работа. Использование нескольких электронных устройств, подключенных к Интернету, становится нормой. В их число, помимо привычных компьютеров и телефонов, добавляются электросамокаты, бытовая техника, электроника, инструменты, различные датчики, а также энергосберегающее оборудование (светодиоды, фотоэлектрические элементы).

Это, в свою очередь, привело к резкому росту количества так называемых электронных отходов (ЭО) или отходов электрического и электронного оборудования (ЭЭО), при утилизации которых возникает масса компонентов, содержащих как опасные, так и ценные материалы. Объем производства ЭО в мире вырос с 34 млн т в 2010 году до 62 млн т в 2022 году, увеличиваясь ежегодно в среднем на 2,3 млн т. Уровень сбора и переработки за тот же период времени увеличился с 8 млн т (2010 г) до 13,8 млн т (2022 г) при среднегодовой скорости роста 0,5 млн т. Таким образом, рост образования ЭО опережает рост официальной переработки почти в 5 раз.

Основные причины этого – технологический прогресс, рост потребления и электронизации, короткий жизненный цикл электрического и электронного оборудования, ограниченные возможности их ремонта и недостатки инфраструктуры управления ЭО. По данным Международного союза электросвязи ООН и ЮНИТАР в 2022 году произведено около 62 млн т ЭО, из которых только 13,8 млн т были официально собраны и переработаны экологически безопасным способом. 16 млн т ЭО

собираются и перерабатываются вне формальных систем в высокоразвитых странах с эффективной инфраструктурой управления ЭО. Еще 18 млн т ЭО будут обрабатываться в бедных странах в основном неформальным сектором. Около 14 млн т ЭО утилизируются как остаточные отходы, основная масса которых захоранивается на свалках по всему миру. Глобальный процент сбора ЭО от произведенного количества составил чуть более 22% (Европа – 42,8%, Океания – 41,4%, Северная и Южная Америка – 30%, Азия – 11,8%, Африка – 0,7%) [1].

ООН прогнозирует к 2030 году ужесточение проблемы ЭО из-за взрывного роста таких отходов. Так, реализация планов по переходу от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии в конечном итоге приведут к образованию большего количества ЭО. Например, ожидается, что ЭО от фотоэлектрических панелей вырастут в 4 раза с 0,6 млн т в 2022 году до 2,4 млн т в 2030 году, что необходимо учитывать при внедрении «зеленой» энергетики.

Поэтому были разработаны 3 различных сценария развития – обычный, прогрессивный и амбициозный. Прогнозируется, что в 2030 г. будет произведено 82 млн т электронных отходов.

- В сценарии обычного развития, основанном на данных предыдущих лет, глобальный показатель сбора и переработки ЭО снизится до 20 % в 2030 г и мир не сможет достичь 30-процентного целевого показателя на 2023 г., установленного Международным союзом электросвязи.

- В прогрессивном сценарии глобальный уровень сбора и переработки увеличится до 38 процентов к 2030 году. Это может быть достигнуто, если страны с высоким уровнем дохода, имеющие инфраструктуру и законодательство по управлению ЭО, достигнут уровня сбора в 85 % к 2030 году (целевой показатель в законодательстве ЕС об ЭО), а другие страны добьются уровня в 10 %.

- Амбициозный сценарий предполагает рост глобального уровня сбора и переработки до 60 % к 2030 году.

Решение данной проблемы требует усилий со стороны государств в сфере развития законодательной базы в отношении ЭО, так и со стороны научного сообщества по разработке экологических и экономических методов переработки ЭО.

Растет число стран, реализующих политику, законодательство или регулирование в отношении ЭО. На июнь 2023 года – это 81 страна из 193 (42 % всех стран, или 72 % населения). Из них 67 стран имели правовой документ, регулирующий политику, законодательство или регулирование в отношении ЭО, в 67 странах имеются правовые положения о расширенной ответственности производителя (РОП) для ЭО. В 36 странах в рамках реализации политики РОП имеется широкая сеть пунктов для раздельного сбора ЭО, механизмы финансирования, инфраструктур управления ЭО, установлены целевые показатели уровня переработки.

Следует отметить, что производители электронного оборудования, научно-техническое сообщество и иные структуры пытаются внести свой вклад в решение данной проблемы. Важным показателем этого является патентование новых технических решений в этой сфере.

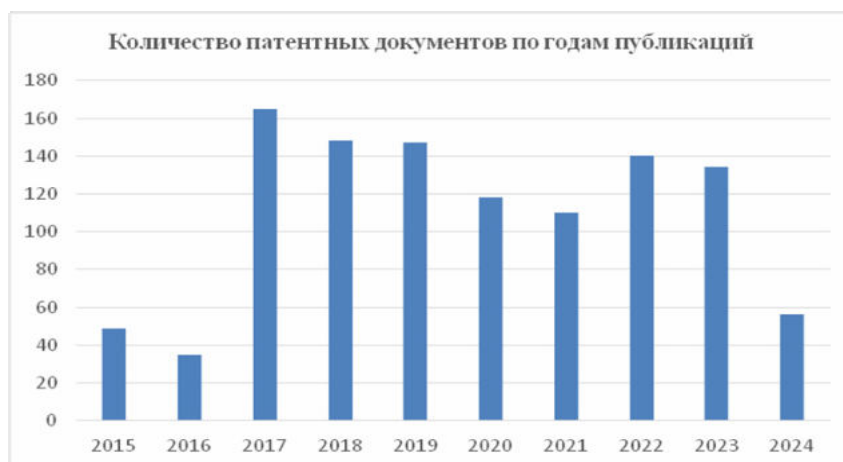
Поиск международных заявок на изобретения, распространяющихся на 157 стран по международной процедуре в соответствии с договором о патентной кооперации (РСТ), на 24.08.2024г. по теме «electronic waste» («электронные отходы») в базе ВОИС патентно-информационной системы PATENTSOPY [2] выявил 1299 патент-

ных документов из разных стран из 118,3 млн патентных документов в базе. Анализ отобранной информации свидетельствует о том, что лидером в патентовании по данной тематике является Китай – 884 РСТ-заявки, за ним следуют США – 97 заявок, далее Индия – 68, Республика Корея – 24 заявки.

В целом, доля патентных заявок на управление электронными отходами выросла со 148 на миллион заявок в 2010 году до 787 на миллион в 2022 году, однако большинство из них были связаны с технологиями переработки электрических кабелей. Число патентов, поданных на технологии, связанные с извлечением критического сырья, например, редкоземельных элементов, невелико. Несмотря на то, что роль таких элементов имеет решающее значение для будущих технологий, переработка занимает всего около 1 процента от текущего спроса на них. Это связано с изкой рыночной ценой на редкоземельные элементы, что сдерживает привлечение крупномасштабных коммерческих вложений в переработку электронных отходов.

В тоже время наблюдается иной подход к переработке ЭО, например, создание биоразлагаемых материалов и электронных плат (евразийские патенты №ЕА 042080В1, №ЕА202090626А1 и др.).

Анализ патентных документов по годам публикации в виде динамического ряда патентования, представленного на рисунке, позволил выделить периоды интенсивного патентования по рассматриваемой тематике.



Динамика патентования по годам

Как следует из рисунка, начиная с 2017 года количество подаваемых РСТ-заявок на изобретения по тематике «электронные отходы» возросло в 3 раза по сравнению с предыдущими годами и остается стабильно высоким, что может свидетельствовать о высокой заинтересованности в решении рассматриваемой проблемы.

Данные регионального мониторинга стран СНГ и Грузии показывают, что объёмы ЭО на свалках в этих странах суммарно выросли примерно на 50 % за последние 10 лет. При этом безопасно утилизировано всего 3,2 % ЭО, что в 7 раз ниже среднемирового показателя. По оценкам мониторинговой группы в 2019 году ЭО в странах СНГ и Грузии содержали 10 т золота, 1 млн т железа, 85000 т меди, 136 000 т алюминия и 700 т кобальта, общая стоимость которых составляет около \$2,6 млрд [3].

Среди стран СНГ Беларусь занимает 6 место по количеству электрического и электронного оборудования, размещенного на рынке (110 000 т), 5 место по количеству образовавшихся ЭО (71 000 т), и второе место по экологически безопасному обращению с ЭО (23 000 т). Беларусь единственная в СНГ имеет хорошо развитую систему сбора всех электронных отходов. Заводы по переработке ЭО имеются лишь в 4 странах СНГ, включая Беларусь, а также Россию, Казахстан и Украину.

Республика Беларусь при решении вопросов управления ЭО руководствуется положениями «Соглашения о сотрудничестве государств – участников СНГ в области обращения с отходами электронного и электротехнического оборудования», утвержденного постановлением Совета Министров РБ №286 от 22 мая 2021 г. Двенадцать стран СНГ имеют хорошо развитую нормативно-правовую базу в области управления отходами. Грузия, Молдова и Украина имеют специальное законодательство или нормативные акты по ЭО, в то время как Беларусь, Казахстан и Россия регулируют ЭО посредством подзаконных актов в национальном законодательстве.

В Беларуси управление электронными отходами регулируется в рамках категории опасных отходов. Нормативно-правовая база, касающаяся обращения с ЭО в Беларуси, включает в себя Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З «Об обращении с отходами» (в редакции 2019 г.), который отражает современные принципы обращения с отходами, включая предотвращение образования отходов, важность вторичной переработки и снижение негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду. Также имеются постановления Министерств природных ресурсов и охраны окружающей среды, промышленности, инструкции о порядке учета, хранения, сдачи и приемки лома и отходов, содержащих драгоценные металлы. Указом Президента страны от 17 января 2020 г. № 16 был введен принцип Расширенной Ответственности Производителя (РОП), в соответствии с которым в Беларуси регулируется обработка электронных отходов. Система РОП покрывает 53 кода УООН и 100 процентов общей массы электронных отходов. В Беларуси целевой показатель сбора электронных отходов от объёма реализации электрического и электронного оборудования на рынке с 2020 года составляет 30 %.

Единой формы статистической отчётности, позволяющей количественно определять образование отходов по всем источникам, в Беларуси не существует, но ведётся работа по совершенствованию ведомственных форм сбора данных в области обращения с электронными отходами.

В феврале 2022 г. в Республике Беларусь введены в действие 6 государственных стандартов, которые устанавливают требования к сбору, логистике и обработке отходов ЭЭО, а также к мониторингу загрязнения окружающей среды, которое может возникнуть в процессе осуществления такой деятельности. В частности, СТБ 2598-2021 устанавливает общие требования к процессам: приема, сортировки и хранения отходов ЭЭО перед обработкой, очистки от веществ, препятствующих экологически безопасной подготовке к повторному использованию. В стандартах СТБ EN 50625-2-1, СТБ EN 50625-2-2 и СТБ EN 50625-2-3 конкретизированы требования в отношении ламп; отходов ЭЭО, в составе которого имеются электронно-лучевые трубки и плоскопанельные дисплеи; отходов теплообменного оборудования и других отходов ЭЭО, содержащих летучие фторуглеводороды и (или) летучие углеводороды в хладагентах или вспенивающих агентах (порофорах). Стандарты подгруппы СТБ

CLC/TS 50625-3 охватывают процесс мониторинга устранения загрязнений окружающей среды и определяют виды методологии мониторинга эффективности очистки.

Электронные отходы в Беларуси делятся на 3 группы:

- крупногабаритные электронные отходы (такие как холодильники, морозильники, стиральные, посудомоечные и сушильные машины, газовые и электрические плиты и другое оборудование, размеры которого превышают 160 сантиметров в трёх измерениях);

- среднегабаритные электронные отходы (включая телевизоры, мониторы, системные блоки компьютеров, принтеры, копиры, сканеры, ноутбуки, звукозаписывающее или звуковоспроизводящее, видеозаписывающее или видеовоспроизводящее оборудование, кондиционеры, вентиляторы, микроволновые печи, обогреватели, электрические накопительные водонагреватели, пылесосы, пишущие и швейные машины и другое оборудование, размеры которого составляют от 80 до 160 сантиметров в трёх измерениях);

- малогабаритные электронные отходы (включая электронные отходы, не относящиеся к первым двум категориям, размеры которых в сумме составляют не более 80 сантиметров в трёх измерениях).

Свой вклад в решение проблем, связанных с обращением электронных отходов, вносят вузы Республики Беларусь – это научно-исследовательская и производственная деятельность, а также образовательный процесс. Так, в состав комплекса БГУ входит Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Унидрагмет БГУ» (УП «Унидрагмет БГУ», <https://bsu.by/structure/enterprises/>). Основная деятельность предприятия связана с пополнением Государственного фонда драгоценных металлов и драгоценных камней Республики Беларусь драгоценными металлами, полученными в результате переработки вторичного сырья. Одним из видов его деятельности является прием и утилизация электронного оборудования, содержащего драгоценные металлы у юридических лиц.

В учебных планах вузов предусмотрено изучение учебных дисциплин, в которых рассматриваются также вопросы обращения с отходами, включая электронные. В частности это дисциплина «Техносферная безопасность» (БГУИР), а также раздел «Основы экологии» в дисциплине Безопасность жизнедеятельности человека» (БГУ, БГУИР).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Balde, C.P. Global E-waste Monitor 2024 / C.P. Balde et al. // International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Geneva/Bonn. – 2024. – 148 p.
2. Сайт Всемирной организации интеллектуальной собственности // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search> – Дата доступа: 24.08.2024.
3. Balde, C.P., Iattoni, G., Luda di Cortemiglia, V., Nnorom, I.C., Pecheniuk, O., Kuehr, R. Regional E-waste Monitor for the CIS + Georgia - 2021. United Nations University (UNU) / United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) - co-hosting the SCYCLE Programme, Bonn, Germany. – 222 p.