

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ 2021 г.
«___»_____

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ЭВМ

_____ Г.И. Радченко

«___»_____ 2021 г.

Информационная система на базе ИНС для кластеризации и распознавания
элементов питания на конвейере

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУРГУ-090401.2021.594 ПЗ ВКР

Руководитель работы,

к.т.н., доцент каф. ЭВМ

_____ И.Л.Кафтанников

«___»_____ 2021 г.

Автор работы,

студент группы КЭ-222

_____ В.С.Михайлов

«___»_____ 2021 г.

Нормоконтролёр,

ст. преп. каф. ЭВМ

_____ С.В. Сяськов

«___»_____ 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭВМ

_____ Г.И. Радченко

«___» _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу бакалавра

студенту группы КЭ-222

Михайлову Владимиру Сергеевичу

обучающемуся по направлению

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

Тема работы: «Информационная система на базе ИНС для кластеризации и распознавания элементов питания на конвейере» утверждена приказом по университету от 26 апреля 2021 года №714-13/12

Срок сдачи студентом законченной работы: 9 июня 2021 г.

Исходные данные к работе:

- Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6, № 3. С. 28–59.

Перечень подлежащих разработке вопросов:

- обзор программно-аппаратных решений для выполнения поставленной задачи;
- изучение и выбор оптимальной топологии нейронной сети;
- выбор средств и инструментов для создания нейронной сети
- программирование нейронной сети;
- обучение нейронной сети;
- тестирование нейронной сети.

Дата выдачи задания: 1 декабря 2020 г.

Руководитель работы:

Доцент каф. ЭВМ, к.т.н. _____ /И.Л. Кафтанников /

Студент _____ /В.С. Михайлов /

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Этап	Срок сдачи	Подпись руководителя
Введение и обзор литературы	13.03.202 1	
Разработка модели, проектирование	25.04.202 1	
Реализация системы	19.05.202 1	
Тестирование, отладка, эксперименты	27.05.202 1	
Компоновка текста работы и сдача на нормоконтроль	08.06.202 1	
Подготовка презентации и доклада	09.06.202 1	

Руководитель работы _____ /И.Л. Кафтанников/

Студент _____ /В.С. Михайлов /

АННОТАЦИЯ

В.С. Михайлов. Информационная система на базе ИНС для кластеризации и распознавания элементов питания на конвейере. – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ВШЭЖН; 2021, 55 с., 16 ил., библиогр. список – 14 наим.

В выпускной квалификационной работе выполнена разработка искусственной нейронной сети для решения задачи классификации элементов питания разного типа по имеющимся фотоизображениям.

Проведен анализ имеющихся программных и аппаратных продуктов для создания собственного проекта.

Спроектирована и обучена искусственная нейронная сеть для распознавания батареек по их фотоизображениям.

Оглавление

АННОТАЦИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Постановка задачи	8
Вывод по разделу	27
2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	28
2.1.1 РУЧНАЯ СОРТИРОВКА	28
2.1.2 АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА	29
2.1.2.1 OPTISORT.....	30
2.1.2.2 WINACK	32
2.1.2.3 OBS 500	36
Вывод по разделу	38
3 Разработка программного комплекса	39
3.1 Построение модели.....	39
3.2 Выбор инструментария	45
Вывод по разделу	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
Библиографический список	55

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является создание искусственной нейронной сети для решения задачи классификации типов батареек по их изображениям. Данная задача из нескольких подзадач, характерных для создания такой системы. Первая подзадача – это подготовка обучающего набора данных и набора для тестирования сети. Данные наборы являются фотографиями этих батареек. Вторая подзадача – это выбор топологии сети и ее проектирование, эта подзадача является очень важной, так как неправильно спроектированная сеть не сможет эффективно выполнять поставленную задачу. Третья подзадача – это обучение нейронной сети и ее тестирование.

Основная цель классификации батареек состоит в том, что после сортировки по типу каждый элемент будет утилизироваться способом, который подходит для утилизации каждого вида. Существует много разных типов батареек, и метод переработки всех типов отличается, поэтому нельзя производить утилизацию батареек без их предварительной сортировки.

Механическую часть сортировки выполняет специальный станок, к которому по конвейеру поступают батарейки, к станку через специальную плату подключен компьютер и цифровая камера, которая делает снимок каждой батарейки, затем этот снимок поступает на вход нейронной сети на компьютере, далее сеть определяет к какому типу относится данная батарейка, после чего специальный механизм на станке отправляет данную батарейку в соответствующий контейнер.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1 Требования

Для решения задачи классификации батареек по их изображениям требуется создать искусственную нейронную сеть, которая будет распознавать тип батареек, находящейся на конвейере, подающем элементы питания из общей кучи. Распознанные батарейки будут отсортированы специальной машиной под управлением компьютера и перемещены в соответствующий каждому типу контейнер для их дальнейшей утилизации. Существует несколько основных типов батареек, которых в общей массе всех элементов питания подавляющее большинство, и которые нейронная сеть будет распознавать. Малоизвестные и редко используемые типы, о которых почти нет информации, или не поддающиеся распознаванию батареек, например, сильно поврежденные, будут отправлены в соответствующий контейнер, который будет хранить все нераспознанные элементы, которые будут сохранены и переработаны позднее.

1.2 Виды и типы батареек

Существует много классификаций батареек по разным типам и критериям. Помимо размеров и химического состава, классифицируют по напряжению, принципу работы, внутреннему устройству и другим признакам.

Источники питания подразделяются на две основные группы по возможности повторного использования, гальванические и аккумуляторные:

Гальванические:

- Солевые батарейки (Heavy Duty)
- Щелочные батарейки (ALKALINE)
- Литиевые батарейки (Lithium)

Аккумуляторные:

1. Щелочные:
 - NiCd, никель-кадмий
 - NiMH, никель-металл-гидрид
 - Li-Ion, литий-ион
 - LiCoO₂, литий оксид кобальта

2. Свинцово-кислотные

- гелевые
- тяговые
- стартерные
- с трубчатыми электродами
- с намазными пластинами

В гальванических элементах происходящие химические реакции во время их работы являются необратимыми, поэтому отсутствует возможность их последующей перезарядки и дальнейшего использования, такие батарейки являются одноразовыми. В аккумуляторных элементах питания применяют обратимые химические реакции, следовательно, они имеют возможность накапливать энергию для многократного использования.

Также батарейки различаются по своему размеру, который необходимо учитывать при их сортировке, так как некоторые сортировочные системы способны работать только с некоторыми размерами.

В таблице 1 представлены основные размеры батареек

Таблица 1 – Размеры батареек

Наиболее распространенное имя	Название IEC	Название ANSI / NEDA	Типичная емкость (мАч)	Номинальное напряжение (В)	Форма	Габаритные размеры
123	CR17354 (литий)	5018LC (литий)	1500 (литий) 700 (литий-ионный)	3	Цилиндр	L 34,5 мм D 17 мм
4,5 Вольт	3LR12 (щелочной) 3R12 (углерод-цинковый)	MN1203 (марганец)	6100 (щелочной) 1200 (углерод-цинковый)	4.5	В разобранном виде	В 65 мм Д 61 мм Ш 21 мм

9 Вольт	6LR61 (щелочной) 6F22 (углерод-цинковый) 6KR61 (NiCd)	1604A (щелочной) 1604D (углерод-цинковый) 1604LC (литий) 7.2H5 (NiMH) 11604 (NiCd)	565 (щелочной) 400 (углерод-цинковый) 1200 (литий) 175 (NiMH) 120 (NiCd) 500 (литий-полимерный реактор)	9 7,2 (NiMH и NiCd) 8,4 (немного NiMH и NiCd)	Прямоугольный	В 48,5 мм Д 26,5 мм Ш 17,5 мм
A23	3LR50 (щелочной)	1181A (щелочной)	40 (щелочной)	12	Цилиндр (или стопка кнопок)	L 29 мм D 10 мм
AA	LR6 (щелочной) R6 (углерод-цинковый) FR6 (Литий -FeS ₂) HR6 (NiMH) KR157 / 51 (NiCd) ZR6	15A (щелочной) 15D (углерод-цинк) 15LF (Литий -FeS ₂) 1.2H2 (NiMH) 10015 (NiCd)	2700 (щелочной) 1100 (углерод-цинк) 3000 (литий - FeS ₂) 1700– 2900 (NiMH) 600– 1000 (NiCd)	1,5 1,2 (NiMH и NiCd)	Цилиндр	L 50,5 мм D 13,5– 14,5 мм

	(Ni-Mn)					
AAA	LR03 (щелочной) R03 (углерод-цинк) FR03 (Li – FeS2)	24A (щелочной) 24D (углерод-цинк) 24LF (Li – FeS2)	1200 (щелочной) 540 (углерод-цинк) 800–1000 (Ni – MH)	1,5 1,2 (NiMH и NiCd)	Цилиндр	L 44,5 мм D 10,5 мм
AAAA	LR8D4 25 (щелочной)	25A (щелочной)	625 (щелочной)	1.5	Цилиндр	L 42,5 мм D 8,3 мм
C	LR14 (щелочной) R14 (углерод-цинк)	14A (щелочной) 14D (углерод-цинк)	8000 (щелочной) 3800 (углерод-цинковый) 4500–6000 (NiMH)	1,5 1,2 (NiMH)	Цилиндр	L 50 мм D 26,2 мм
CR927			30 (литий)	3	Монета	D 9,5 мм H 2,7 мм
CR1220	CR1220 (литий)		40 (литий)	3	Монета	D 12,5 мм H 2,0 мм
CR1225	CR1225 (литий)		50 (литий)	3	Монета	D 12,5 мм H 2,5 мм
CR1616	CR1616 (литий)		50 (литий)	3	Монета	D 16 мм H 1,6 мм

CR1620	CR1620 (литий)		78 (литий)	3	Монета	D 16 мм H 2,0 мм
CR2016	CR2016 (литий)	5000LC (литий)	90 (литий)	3	Монета	D 20 мм H 1,6 мм
CR2025	CR2025 (литий)	5003LC (литий)	160 (литий)	3	Монета	D 20 мм H 2,5 мм
CR2032	CR2032 (литий)	5004LC (литий)	225 (литий)	3	Монета	D 20 мм H 3,2 мм
CR2450	CR2450 (литий)	5029LC (литий)	610 (литий)	3	Монета	D 24,5 мм H 5,0 мм
CR-V3			2000 (литий) 1300 (литий-ионный)	3	В разобранном виде	52,20 × 28,05 × 14,15 мм
D	LR20 (щелочной) R20 (углерод-цинк)	13A (щелочной) 13D (углерод-цинк)	19500 (щелочной) 8000 (углерод-цинковый) 9000–11500 (NiMH)	1,5 1,2 (NiMH)	Цилиндр	L 61,5 мм D 34,2 мм
Дуплекс	2R10			3	Цилиндр	B 74,6 мм Г 21,8 мм
F				1.5	Цилиндр	L 91 мм D 33 мм
J	4LR61 (щелочной)	1412A (щелочной)	625 (щелочной)	6	Квадрат с отсутствующим углом	B 48,5 мм Д 35,6 мм

						Ш 9,18 мм
SR41	AG3 LR41 D384 / 392	LR41 (щелоч ной) SR41 (оксид серебр а)	1135SO (оксид серебра) 1134SO (оксид серебра)	1,50 (щелочн ой) 1,55 (оксид серебра)	Кнопка	Г 7,9 мм В 3,6 мм
SR43	AG12 LR43 D301 / 386	LR43 (щелоч ной) SR43 (оксид серебр а)	1133SO (оксид серебра) 1132SO (оксид серебра)	1,50 (щелочн ой) 1,55 (оксид серебра)	Кнопка	D 11,6 мм H 4,2 мм
SR44	AG13 LR44 D303 / 357	LR44 (щелоч ной) SR44 (оксид серебр а)	1166A (щелоч ной) 1107SO (оксид серебра) 1131SO P (оксид серебра)	1,50 (щелочн ой) 1,55 (оксид серебра)	Кнопка	D 11,6 мм H 5,4 мм
SR48	AG5 D309 / 393	SR48 (оксид серебр а)	1136SO (оксид серебра) 1137SO (оксид серебра)	1,55 (оксид серебра)	Кнопка	Г 7,9 мм В 5,4 мм
SR54	AG10 LR54 D389 / 390	LR54 (щелоч ной) SR54 (оксид	1138SO (оксид серебра)	1,50 (щелочн ой) 1,55	Кнопка	D 11,6 мм H 3,1 мм

		серебр а)		(оксид серебра)		
SR55	D381 / 391	SR55 (оксид серебр а)	1160SO (оксид серебра)	1,55 (оксид серебра)	Кнопка	D 11,6 мм H 2,1 мм
SR57	SR927 W AG7 D395 / 399	LR57 (щелоч ной) SR57 (оксид серебр а)	116550 (оксид серебра)	1,55 (оксид серебра)	Кнопка	D 9,4 мм H 2,8 мм
SR58	D361 / 362	SR58 (оксид серебр а)	1158SO (оксид серебра)	1,55 (оксид серебра)	Кнопка	Г 7,9 мм В 2,1 мм
SR59	D396 / 397	SR59 (оксид серебр а)	1163SO (оксид серебра)	1,55 (оксид серебра)	Кнопка	Г 7,9 мм В 2,6 мм
SR60	AG1 D364	SR60 (оксид серебр а)	1175SO (оксид серебра)	1,55 (оксид серебра)	Кнопка	Г 6,8 мм В 2,15 мм
SR66	AG4 D377	SR66 (оксид серебр а)	1176SO (оксид серебра)	1,55 (оксид серебра)	Кнопка	D 6,8 мм H 2,6 мм

[2]

Из таблицы 1 видно, что существует много размеров батареек, это необходимо учитывать при сортировке, так как конструкции некоторых устройств рассчитаны только на определенные размеры батареек и не смогут работать с другими.

1.3 Сортировка и переработка батареек

Данная сортировка является частным примером утилизации бытовых отходов. Батарейки содержат в себе опасные химические соединения, которые самостоятельно не будут распадаться в рамках адекватных сроков, для этого потребуется минимум несколько десятилетий.

Также одна батарейка, которая попала в окружающую среду без утилизации, будет при своем медленном разложении в течение долгого времени загрязнять почву и воду тяжелыми химическими элементами примерно в 20 и 400 метрах вокруг себя соответственно. После данного загрязнения данная местность будет практически непригодна для жизни растений, некоторых насекомых и небольших млекопитающих в течение долгого времени.

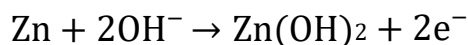
Так как батарейки выбрасываются десятками тонн по всему миру, экологический ущерб носит колоссальные масштабы.

В среднем в месяц человек выбрасывает около 4–6 батареек. Это 120 м.кв. загрязненной почвы.

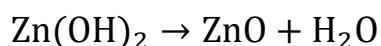
Для примера можно взять марганцево-цинковые (щелочные батарейки). В марганцево-цинковых батарейках используется пассивный уголь и двуокись марганца, электролит из хлорида аммония и катод из цинка. В перерывах между эксплуатацией элементы питания могут «восстанавливаться» – это обусловлено выравниванием локальных неоднородностей в композите электролита, вызванных разрядом. Это немного продлевает срок службы батарейки. Щелочные батарейки содержат растворенные тяжелые металлы, круг металлов узкий, батарейки различаются по составу металлов, в состав может входить от 10 до 20 элементов таблицы Менделеева, многие из этих элементов являются сильно токсичными веществами.

Далее продемонстрировано протекание химических процессов.

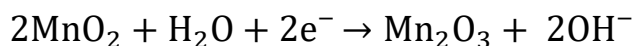
На аноде проходят реакции окисления цинка. Вначале образуется гидроксид цинка:



затем происходит разложение на оксид цинка и воду.



На катоде происходят реакции восстановления оксида марганца (IV) в (III):



В отличие от солевого элемента, в щелочном электролит в процессе разрядки батареи практически не расходуется, а значит достаточно малого его количества. Поэтому, в щелочном элементе в среднем в 1,5 раза больше диоксида марганца.

Измерение кислотности воды по окончании опыта:

В одной из емкости с батареей уровень кислотности рН дистиллированной воды увеличился до 12, в другой до 9.

Количество проросших семян по окончании опыта:

Изначально было посажено по 50 семян кресс-салата в каждый из образцов почвы. Опыт показал, что влияние «батареек» очень велико и выкидывать их опасно для окружающей среды. Там, где были задействованы «батарейки» проросло менее 40 % от общего количества семян. [3]

Из опыта выше можно сделать вывод, что вследствие загрязнения элементами питания окружающей среды заметно снизилась выживаемость семян.

Также из сортировки и последующей утилизации можно извлекать практическую пользу в виде получаемых естественных элементов, которые можно использовать повторно в разных сферах промышленности, при этом ресурсы планеты будут более эффективно распределяться.



Рисунок 1 – Выброшенные батарейки

На рисунке 1 показаны использованные батарейки, у которых уже начал процесс разложения и, следовательно, загрязнения окружающей среды. Без специальной защиты взаимодействовать с такими батарейками вредно для здоровья.

Существуют разные способы переработки батареек, они отличаются технической сложностью, стоимостью процесса, принципом работы, технологией.

Ниже представлены самые распространенные способы переработки.

1. Пирометаллургическая переработка

В пирометаллургической переработке (плавке) используются высокотемпературные печи для сжигания больших количеств аккумуляторных блоков и горючих аккумуляторных материалов (например, графитового анода, алюминиевой проволоки, бумаги и пластмассового корпуса). Этот процесс восстанавливает химические компоненты (например, медь, кобальт, никель, железо) в расплавленные металлы, которые собираются в виде сплавов для отправки на металлургические заводы для дальнейшей обработки и переработки.

Он извлекает ценные переходные металлы, но оставляет после себя печной шлак, состоящий из золы сгоревших компонентов и в основном содержащий литий, алюминий, кремний, кальций и некоторые соединения железа. Поскольку извлекать отдельные компоненты из шлака неэкономично, некоторые переработчики продают или повторно используют шлак (богатый структурными оксидами) в качестве добавки к цементу, в то время как другие подвергают шлак дальнейшим этапам извлечения с использованием гидрометаллургии. Ключевым преимуществом пирометаллургической переработки является то, что все химические элементы аккумуляторов могут быть переработаны одновременно.

Плюсы

- Гибкий ввод процесса - применимо к батареям любого химического состава, типов и конфигурации.
- Без сортировки или измельчения - Никакой предварительной механической обработки не требуется. Аккумуляторы для бытовой электроники можно обрабатывать целыми блоками.
- Высокое извлечение металлов
- Более высокая прибыль от извлечения Co, Ni, Cu.
- Отсутствие выбросов SOx при производстве металлов
- Коммерчески жизнеспособный

Минусы

- Очистка газа необходима для предотвращения токсичных выбросов в атмосферу.
- Энергоемкая и дорогая очистка газа.
- Li и Al уходят в шлак
- Дальнейшее рафинирование необходимо для отделения элементарных металлов от металлических сплавов.
- Капиталоемкий и требует большого объема
- Не подходит для LFP

2. Гидрометаллургическая переработка

Гидрометаллургическая переработка (выщелачивание) использует кислоты для растворения металлических компонентов батарей, которые в основном находятся в катоде LIB. Для облегчения растворения аккумуляторные блоки разбираются, а элементы обычно дополнительно дробятся путем дробления и измельчения. После того, как металлы переводятся в раствор, в зависимости от предприятия по переработке может потребоваться несколько этапов экстракции растворителем, химического осаждения и электролиза для разделения составляющих элементов в виде неорганических солей.

Медную и алюминиевую фольгу легко восстановить как чистые металлы, хотя они должны быть отделены друг от друга. Этот процесс особенно привлекателен для катодов LFP и LMO, поскольку до сих пор это единственный метод, разработанный для извлечения из них какой-либо значительной ценности. Он также может восстанавливать электролит и анодные материалы.

Плюсы

- Высокоэкономичен и не требует больших вложений.
- Низкая температура и низкая энергия
- Более высокая скорость восстановления
- Применимо к аккумуляторной батарее любого химического состава и конфигурации.
- Гибкость процессов разделения и восстановления для конкретных металлов
- Высокая чистота продуктов. Пленка субстрата восстанавливается напрямую.
- Выход может быть преобразован в предшественники катода
- Энергоэффективность по сравнению с пирометаллургией
- Нет выбросов в атмосферу

Минусы

- Утилизация требует оптимизации определенного химического состава батарей, чтобы обеспечить высокий уровень извлечения и прибыль.
- Требуется уменьшение размера.
- Кислота разрушает структуру катода

- Нет ценного продукта от LFP
- Экстракция растворителем, необходимая для разделения Co и Ni
- Большой объем технологических сточных вод следует обрабатывать, рециркулировать или утилизировать.

3. Физическая / механическая переработка

Физическая или механическая переработка состоит из ручного или автоматического демонтажа и дробления аккумуляторных блоков для восстановления основных компонентов в их первоначальном состоянии (например, электродов, проводки, корпуса). Некоторые восстановленные компоненты (например, электроды) могут быть использованы непосредственно в производстве новых батарей, в то время как другие компоненты (например, проводка) нуждаются в переработке с использованием обычных пиро- или гидросхем (в качестве металлов). Этот процесс позволяет сразу же повторно использовать компоненты в новых батареях без дополнительной обработки.

Плюсы

- Практически все аккумуляторные материалы можно восстановить.
- Сохраняет ценную катодную структуру
- Может восстанавливать анод, электролит и фольгу
- Может использоваться для LFP
- Используется для быстрого откоса и малых объемов
- Низкая температура и энергия
- Избегает максимального воздействия на производство первичного материала

Минусы

- Требуется механическая предварительная обработка и разделение
- Восстановленный материал может не работать так же хорошо, как первичный материал.
- Смешивание катодных материалов может снизить ценность переработанного продукта.
- Требуется ввод с одним катодом

- Может восстановить устаревший состав
- Деградация может ограничивать повторы
- Покупатели должны быть уверены в качестве
- Не демонстрируется в масштабе. [7]

Далее будет рассмотрен процесс переработки нескольких типов батарей, а также список материалов, которые получают после их утилизации.

1. Свинцово-кислотные батареи

Свинцово-кислотные батареи - один из самых распространенных типов батарей. Ориентировочно, но не ограничиваясь, эта категория включает автомобильные и мотоциклетные аккумуляторы, аккумуляторы ИБП и другие коммерческие аккумуляторы.

Несомненно, это самый простой тип батарей для переработки и восстановления свинца, пластика и серной кислоты. Простой и экономичный процесс многократного восстановления свинца делает этот вид утилизации аккумуляторов наиболее распространенным в мире. В настоящее время считается, что 98% всех свинцово-кислотных аккумуляторов перерабатываются.

Процесс переработки свинцово-кислотных аккумуляторов

В начале процесса переработки используется молотковая мельница для разрушения свинцово-кислотных аккумуляторов. Затем сломанные части батареи попадают в чан, где пластик отделяется от металлов. В частности, пластик плавает, тогда как свинец и другие металлы опускаются на дно чана.

Затем пластик удаляется, сушится и отправляется на переработку в центр переработки. В большинстве случаев восстановленный пластик используется для новых аккумуляторных ящиков, причем процесс повторяется несколько раз.

Свинец, сконцентрированный на дне чана, направляется в плавильные печи, где его разливают в изложницы. Любые плавающие примеси удаляются скребком, когда свинец еще расплавлен. После охлаждения слитки вынимаются из изложниц и отправляются производителям аккумуляторов, которые переплавляют их и производят новые аккумуляторы.

Что касается серной кислоты, содержащейся в батареях, нейтрализация является наиболее распространенной практикой. При необходимости нейтрализованная вода обрабатывается и проверяется на соответствие стандартам чистой воды. В качестве альтернативы кислоту обрабатывают и превращают в сульфат натрия, вещество, которое имеет множество применений в стекольной, текстильной и моющей промышленности.

Возрастающей проблемой наших дней является сочетание свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов. Требуется повышенное внимание, поскольку эта смесь может привести к критическим инцидентам, таким как взрывы и травмы.

Восстановленные материалы:

1. Вести
2. Серная кислота
3. Пластик

2. Никель-кадмиевые батареи.

Никель-кадмиевые батареи относятся к категории аккумуляторных батарей. Несмотря на то, что они были изобретены и использовались более 100 лет, они потеряли большую долю рынка по сравнению с другими аккумуляторными батареями, такими как NiMH и литий-ионные батареи.

Утилизация никель-кадмиевых аккумуляторов важна, так как таким образом достигается их утилизация со свалок. В частности, при утилизации на свалке металлическая оболочка подвергнется коррозии, и кадмий выйдет наружу. Следовательно, кадмий растворяется и превращается в воду. К сожалению, следы кадмия уже обнаружены в океанах.

Процесс переработки никель-кадмиевых аккумуляторов

Для переработки никель-кадмиевых аккумуляторов используется процесс регенерации металла при высоких температурах. Сначала снимаются все пластиковые детали. Затем металлические части направляются в печь, где плавятся

все высокотемпературные металлы, входящие в состав батареи (например, никель, марганец и т. Д.).

Расплавленные металлы попадают в ванну, где они затвердевают во время литья. Что касается низкотемпературных металлов (например, кадмия и цинка), они разделяются в процессе плавления.

Восстановленные материалы:

1. Высокотемпературные металлы, в том числе никель, марганец и т. Д.
2. Низкотемпературные металлы, включая кадмий, цинк и т. Д.
3. Пластик
3. Никель-металлогидридные батареи (NiMH).

По своему содержанию никель-металлогидридные батареи считаются полутоксичными. Несмотря на эту категоризацию, гораздо предпочтительнее выбросить эти батареи в ближайший к вам мусорный бак, чем выбрасывать их вместе с другими бытовыми отходами, даже в небольших количествах.

Процесс переработки никель-металлогидридных аккумуляторов

Сушка является основным элементом процесса переработки никель-металлогидридных аккумуляторов. В частности, перед началом процесса переработки весь пластик удаляется. Затем применяется полностью контролируемый процесс сушки с точки зрения температуры и времени.

Сушка используется для удаления влаги с батарей. «Влага» поступает из электролита гидроксида калия (KOH) и содержащейся в нем H_2O . После сушки аккумуляторные элементы направляются в производство сплавов или производство нержавеющей стали.

Восстановленные материалы:

1. Никель
2. Стали
3. Пластик
4. Первичные литиевые батареи.

Первичные литиевые батареи также известны как литий-металлические батареи. Свое название они получили от металлического лития, который является их основным компонентом. Первичные литиевые батареи в основном используются в часах, слуховых аппаратах, датчиках и резервной памяти, а также в военном бою.

С точки зрения управления, литий-металлические батареи требуют особого внимания, поскольку они содержат металлический литий, который бурно реагирует при контакте с водой или влагой.

При утилизации на свалке утечка металлического лития из раздробленных батарей, скорее всего, приведет к возгоранию. С пожарами на свалках трудно справиться, и они подвергают серьезному риску не только окружающую среду, но и всю свалку.

Очень хороший способ избежать таких инцидентов - полностью разрядить батареи перед утилизацией.

Подчеркивается, что литий-ионные аккумуляторы для ноутбуков и мобильных телефонов не содержат металлического лития.

Процесс переработки первичных литиевых батарей

Первый шаг переработки металлических литиевых батарей - обнажить их содержимое. Это происходит с использованием измельчителей или высокоскоростного молотка в зависимости от размера батарей.

Затем выпущенное содержимое погружают в щелочную воду. Этот основной раствор нейтрализует электролиты, позволяя одновременно восстанавливать черные и цветные металлы.

Восстановленный металлолом продается переработчикам, чтобы уравновесить затраты на переработку этих батарей.

После извлечения металла нейтрализованный раствор фильтруют для извлечения углерода. Восстановленный углерод прессуется в листы углеродного кека. В качестве альтернативы можно использовать кобальт для рециркуляции части углерода.

Гидроксид лития в растворе превращается в карбонат лития. Карбонат лития представляет собой мелкий белый порошок, который используется для производства литиевых слитков и фольги для аккумуляторов. Кроме того, он обеспечивает металлический литий для производства батарей с диоксидом серы.

Восстановленные материалы:

1. Литий
2. Черные металлы
3. Цветные металлы, например, марганец и никель.
4. Углерод
5. Литий-ионные батареи.

Литий-ионные аккумуляторы можно считать практически безвредными. Тем не менее, их переработка более чем рекомендована из-за постоянно растущих объемов производства.

Несмотря на то, что стоимость извлеченных металлов может во многих случаях не покрывать фактических затрат на переработку, по экологическим причинам требуется переработка литий-ионных батарей.

Процесс переработки литий-ионных аккумуляторов

Применяемый процесс переработки литий-ионных батарей такой же, как и в никель-кадмиевых батареях.

Восстановленные материалы:

1. Литий
2. Черные металлы
3. Цветные металлы, например, кобальт и алюминий.
4. Углерод
6. Щелочные батареи.

Щелочные батареи - это батареи, в основе которых лежит реакция между цинком и оксидом марганца. Перезаряжаемые щелочные батареи позволяют повторно использовать специально разработанные элементы.

Снизив в 1996 году содержание ртути в них, несколько властей во всем мире разрешают их захоронение на свалках. Однако в таких регионах, как Калифорния и Европа, все батареи считаются опасными отходами и подлежат особым правилам обращения с ними.

В настоящее время рециркуляция щелочных элементов довольно низкая, примерно четыре процента. Однако прилагаются усилия к тому, чтобы к 2025 году этот показатель увеличился до сорока процентов.

Процесс утилизации щелочных батарей

Утилизация щелочных батарей - это специализированный процесс механического разделения.

Восстановленные материалы:

1. Цинк
2. Марганцевый концентрат
3. Стали
4. Бумага
5. Пластик
6. Фракции латуни.

Все восстановленные материалы повторно используются в новых продуктах, чтобы уравновесить стоимость процесса переработки. [5]

ВЫВОД ПО РАЗДЕЛУ

Существует большое количество разных батареек, которые отличаются по химическому составу, размеру и другим характеристикам. Есть менее и более токсичные составы элементов питания, но любая выброшенная батарейка, независимо от ее типа и состава, будет причинять вред окружающей среде. Поэтому необходимо правильно утилизировать их для нейтрализации вреда, предотвращения загрязнения природы и получения вторичного сырья для повторного производства других продуктов.

2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

В аналитическом обзоре представлены готовые существующие программно-аппаратные решения, которые являются наиболее подходящими для выполнения поставленной задачи.

2.1 Обзор существующих решений.

2.1.1 РУЧНАЯ СОРТИРОВКА

Первый метод является ручной сортировкой. Это самый простой, дешевый и примитивный метод, в котором всю работу выполняет человек. В современных условиях ручная сортировка почти не имеет никакого смысла, так как объемы использованных батареек растут очень большими темпами в сравнении с теми объемами, которые могут быть отсортированы ручным способом. Обычно ручной сортировкой занимается большая группа людей, находящихся возле конвейера, по которому движутся батарейки.

Из плюсов можно отметить, что сортировка ручным методом не требует больших материальных затрат, так как в основном необходимо поддерживать работоспособность конвейера, по которому движутся батарейки.

К недостаткам относится крайне низкая производительность сортировки, также необходимо учитывать, что многие собранные батарейки уже могут находиться на стадии разложения, поэтому данный метод может нанести вред здоровью, если не использовать индивидуальные средства защиты, такие как спецодежда, маска, перчатки, очки и т.д.

Подводя итог, можно сделать вывод, что ручная сортировка с дальнейшей переработкой подойдет очень небольшим предприятиям, либо энтузиастам, которые готовы заниматься этим самостоятельно.



Рисунок 2 – Ручная сортировка батареек

На рисунке 2 изображена ручная сортировка, в которой применяется ручной труд, также на данном изображении видны индивидуальные средства защиты на каждом человеке, которые необходимы при работе с этим видом отходов.

2.1.2 АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА

В автоматической сортировке основную часть работы выполняет электронно-механическое устройство под управлением компьютера со специальным ПО, которые разработано специально для выполнения этих задач. Человек выполняет роль оператора, который управляет всем процессом с помощью компьютера, подключенного к устройству и набора программ. В основном оператор запускает и останавливает процесс сортировки, а также вносит корректирующие настройки, если такие необходимы.

Обычно такие устройства создаются по заказу и производственные мощности предприятия, например, объемы утилизации, которое предприятие способно обеспечить.

В принципиальной схеме работы данных программно-аппаратных комплексов управление осуществляется компьютером, который подает нужные команды на станок в определенное время по заданному алгоритму или с помощью оператора.

Батарейки с помощью механического устройства из общей кучи поступают в один ряд на конвейер, где находится устройство, которое распознает их тип, после этого распознанная батарейка переходит из конвейера в контейнер, соответствующий данному типу. На рисунке 3 продемонстрирован общий принцип автоматической сортировки батареек.

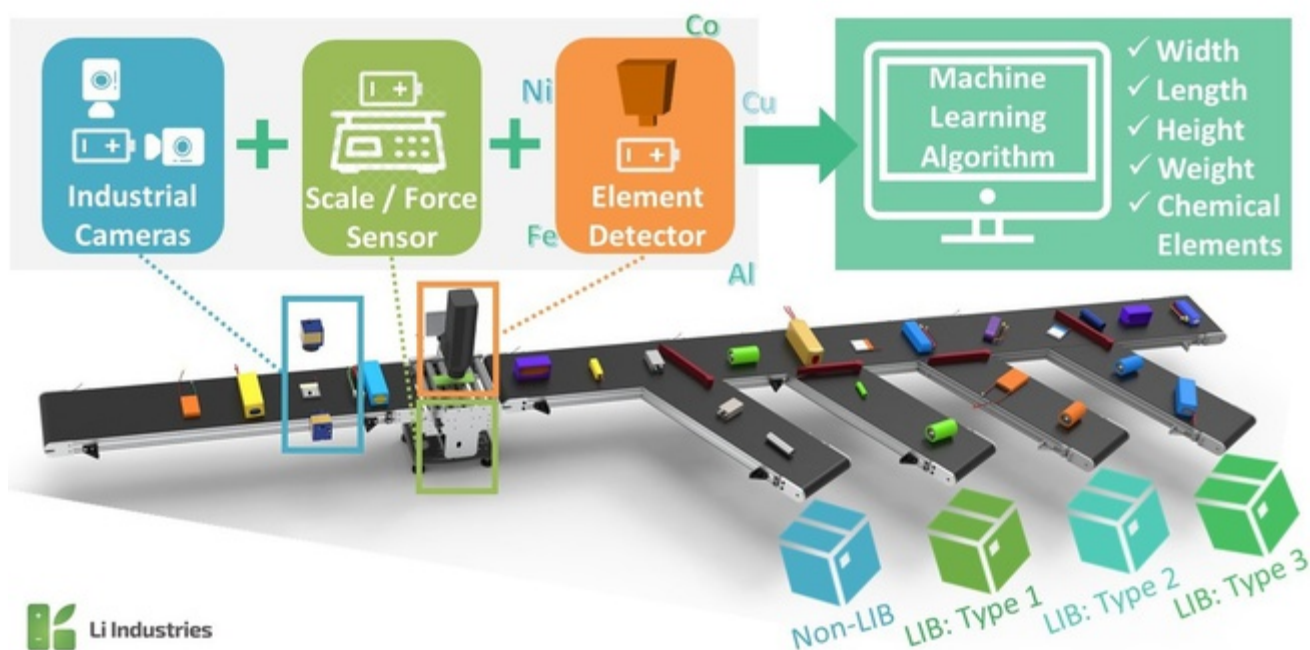


Рисунок 3 – Процесс автоматической сортировки батареек

2.1.2.1 OPTISORT

Данный проект является автоматизированной системой сортировки батареек. Это решение является полностью законченным продуктом и не требует дополнительного оборудования и программного обеспечения. Система состоит из аппаратной и программных частей.

За программную часть отвечает искусственный интеллект, находящийся в компьютере, который способен распознавать примерно 2000 различных типов

батареек и сортировать их в зависимости от химического состава, размера и других критериев.

В качестве аппаратной части выступает электромеханическая система, состоящая из конвейеров, фотокамер, воздушной пушки и других механизмов. Когда большой объем смешанных по типу и размеру аккумуляторов поступает по конвейерной ленте, данные камеры, расположенные внутри устройства фотографируют каждый отдельный элемент питания, затем программа сопоставляет сделанное фото с примером из базы данных изображений. Фотография батарейки сравнивается с примером на основе нескольких признаков, таких как форма, цвет, логотип, размер и др.

После успешной идентификации батарейка смещается с ленты в сортировочный контейнер струей сжатого воздуха и его изображение добавляется в базу данных. Данный процесс происходит с высокой скоростью и точностью.

Также программа, которая находится в компьютере, самообучается в процессе сортировки на основе новых изображений и со временем точность распознавания увеличивается. [1]



Рисунок 4 – Изображение системы Optisort

На рисунке 4 изображена данная система, справа находится приемочный лоток, в который загружаются батарейки, которые необходимо отсортировать,

далее видна система, которая поднимает часть батареек и подает их на конвейер. Слева находится устройство, которое распределяет батарейки в контейнеры.

2.1.2.2 WINACK

Автоматическая машина для сортировки аккумуляторных элементов питания профессионально разработана для сортировки 18650 цилиндрических литиевых аккумуляторных элементов. Благодаря модульной конструкции (электрическое управление), управлению серводвигателем (привод) и стандартным компонентам управления (электрическая цепь) сортировочная машина может выполнять испытание сортировки на основе испытаний напряжения и внутреннего сопротивления перед началом работы.

Машина для сортировки аккумуляторов имеет 8 каналов для аккумуляторных элементов «OK» и 1 для аккумуляторных элементов «NG», что значительно повышает эффективность сортировки и обеспечивает нормализацию сортировки элементов.

Во время работы ячейки будут загружаться и храниться вручную, что обеспечивает автоматизацию сортировки. Кроме того, с дополнительной системой сканирования штрих-кода и сложными функциями записи, запроса и загрузки тестовых данных, этот аппарат обеспечивает функцию слежения и контроль сортировки ячеек.

Основные функции:

1. Высокая точность и стабильность

Автоматическая машина для сортировки ячеек аккумуляторов использует тестер аккумуляторов HIOKI 3561 для измерения напряжения и сопротивления с помощью метода четырехпроводной системы, который обеспечивает высокую точность и стабильность.

Ошибка повторного испытания напряжения находится в пределах $\pm 0,3$ мВ, а внутреннего сопротивления - в пределах $\pm 0,3$ мОм. Разрешение напряжения составляет всего 0,1 мВ, а разрешение внутреннего сопротивления - всего 0,1 мОм.

2. Высокая точность управления и надежность.

Привод автоматической машины для сортировки аккумуляторных элементов использует управление серводвигателем, которое является точным и стабильным; электрическая управляющая часть устройства имеет модульную конструкцию, которая отличается высоким уровнем интеграции, универсальностью и высокой надежностью.

3. Высокая производительность

Система тестирования объединяет процессы загрузки аккумуляторных элементов, проверки напряжения, проверки внутреннего сопротивления, распределения и приема элементов. Во время работы различные аккумуляторные элементы можно тестировать одновременно, соответственно, для 5 процессов, что значительно экономит время. 8 каналов ОК-cell могут поддерживать до 8 групп напряжений и внутренних сопротивлений, что значительно повышает эффективность сортировки аккумуляторных элементов. Таким образом, сортировочная машина может сортировать 5000 ячеек в час.

4. Выбираемые режимы сортировки

Тестовая система поддерживает режимы динамической и ручной сортировки, которые могут быть выбраны пользователями в зависимости от сборки аккумуляторной батареи.

5. Сканирование штрих-кода аккумуляторной батареи.

Штрих-код аккумуляторной батареи можно сканировать мгновенно с вероятностью успеха более 99%.

6. Данные испытаний

Данные тестирования включают время тестирования, штрих-код элемента батареи (должен быть оборудован модуль сканирования штрих-кода ячейки), значение напряжения элемента батареи, значение внутреннего сопротивления, приемный лоток элемента батареи и могут быть загружены на сервер для лучшего управления и контроля.

7. Режим приема сотовой связи

Батарейные элементы могут быть доставлены вручную в соответствующий ящик для ячеек в соответствии с различными спецификациями. [5]

Технические характеристики данного устройства представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики WINACK

Параметр		Значение
Voltage measurement	Разрешение:	0.1мВ
	Диапазон измерения:	19.9999В
	Точность:	$\pm 0.025\% R.D. \pm 6 \text{ед}$
Измерение внутреннего сопротивления	Разрешение:	0.01 мΩ/0.1 мΩ
	Диапазон измерения:	310.00мΩ/3.1000Ω
	Точность:	$\pm 0.7\% R.D. \pm 8 \text{ед}$
Частота измерения внутреннего сопротивления		1 кГц ± 0.2 Гц (четыре контакта переменного тока)
Testing efficiency	При сканировании:	5000 ячеек / час
	Без сканирования:	5000 ячеек / час
Данные теста	Результат теста включает время теста, штрих-код ячейки (при наличии модуля сканирования штрих-кода), напряжение, внутреннее сопротивление и приемный лоток ячейки.	
Применимый диапазон	Применимый элемент:	Цилиндрический аккумулятор 18650
	Ячейка должна быть обернута термоусадочной оболочкой из ПВХ, но не обнаженной или упакованной сульфатной оберткой, чтобы избежать короткого замыкания.	

[5]



Рисунок 5 сортировочное устройство WINACK

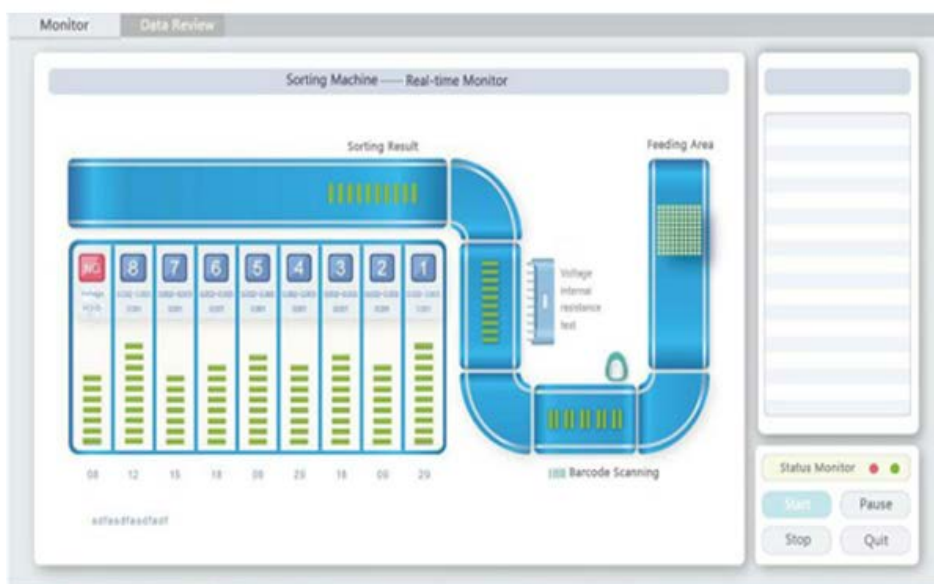


Рисунок 6 интерфейс программы сортировки WINACK

2.1.2.3 OBS 500

OBS 500 - это автоматический сортировщик использованных переносных аккумуляторов. Система представляет собой полную систему идентификации и сортировки для всех цилиндрических и 9-вольтовых батарей с общей емкостью более 500 кг (1000 фунтов) в час.

Система позволяет сборщикам и переработчикам эффективно сортировать смешанные потоки батарей на отдельные фракции материала с минимальными затратами труда и опыта.

Используя технологию машинного зрения, система не только распознает различные химические составы. Она также собирает данные, которые показывают относительную долю потока вторичной переработки для каждой марки и производителя.

Из обычного потока отработанных батарей OBS 500 может отсортировать все цилиндрические батареи до размера D и все батареи на 9 В, обычно от 75 до 80 процентов потока. Остальные батареи необходимо удалить в процессе предварительной сортировки. В базовой версии OBS 500 сортирует батареи по четырем разным химическим составам: щелочные, никель-металлогидридные, никель-кадмиевые и первичные литиевые. Также могут быть добавлены фракции для других химикатов, такие как углерод цинка, тионилхлорид лития и ион лития (цилиндрические). Степень чистоты крупных фракций (> 2,5% от всего объема) обычно составляет не менее 97%. Щелочь обычно имеет чистоту более 99 процентов.

С OBS 500 материал не только сортируется. Система также собирает информацию об аккумуляторах, такую как марка, тип, размер и теоретический вес. С помощью информации можно увидеть реальную долю рынка для каждого производителя. С помощью инструмента на основе Excel также можно анализировать долю рынка в различных подсегментах, таких как химия, собственная торговая марка / OEM или размер / тип. Этот же инструмент можно использовать также для отслеживания производства с подробным

протоколированием производительности в час, причин остановок и химического состава. [7]

На рисунке 7 показан программно-аппаратный комплекс OBS 500.

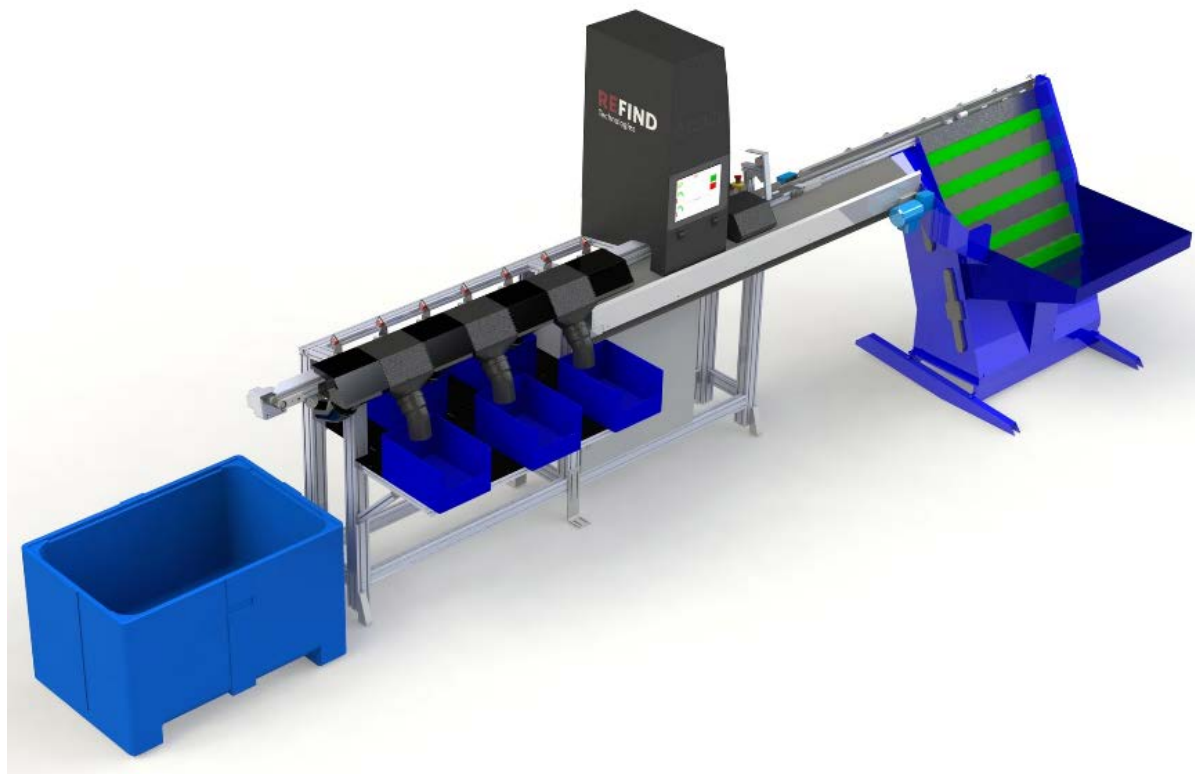


Рисунок 7 комплекс OBS 500

В таблице 2 представлены технические характеристики данного устройства.

Таблица 2. Технические характеристики OBS 500

Параметр	Значение
Производительность	0.5 т/час, 1000 т/год
Подача	10 бат/сек
Сортировка	6.7 бат/сек
Площадь основания	В: 2.5 x Д: 5.5 x Ш: 1.8 м
Номинальная мощность	2-3 кВт
Пневматика	9.5 бар, 200 л/мин

[8]

ВЫВОД ПО РАЗДЕЛУ

В качестве метода сортировки был выбран автоматический вариант, в котором применяется программно-аппаратный комплекс. Данный метод значительно ускоряет процесс сортировки большого объема батареек, а также позволяет применить собственную разработку программного решения с применением нейронной сети, которая по входным изображениям распознает тип батарейки и сортирует ее в один из контейнеров, соответствующий типу распознанной батарейки.

3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

3.1 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

Диаграмма прецедентов

На рисунке 8 изображена диаграмма прецедентов. Диаграмма отображает общую концептуальную модель системы взаимодействия с сортировочной системой.

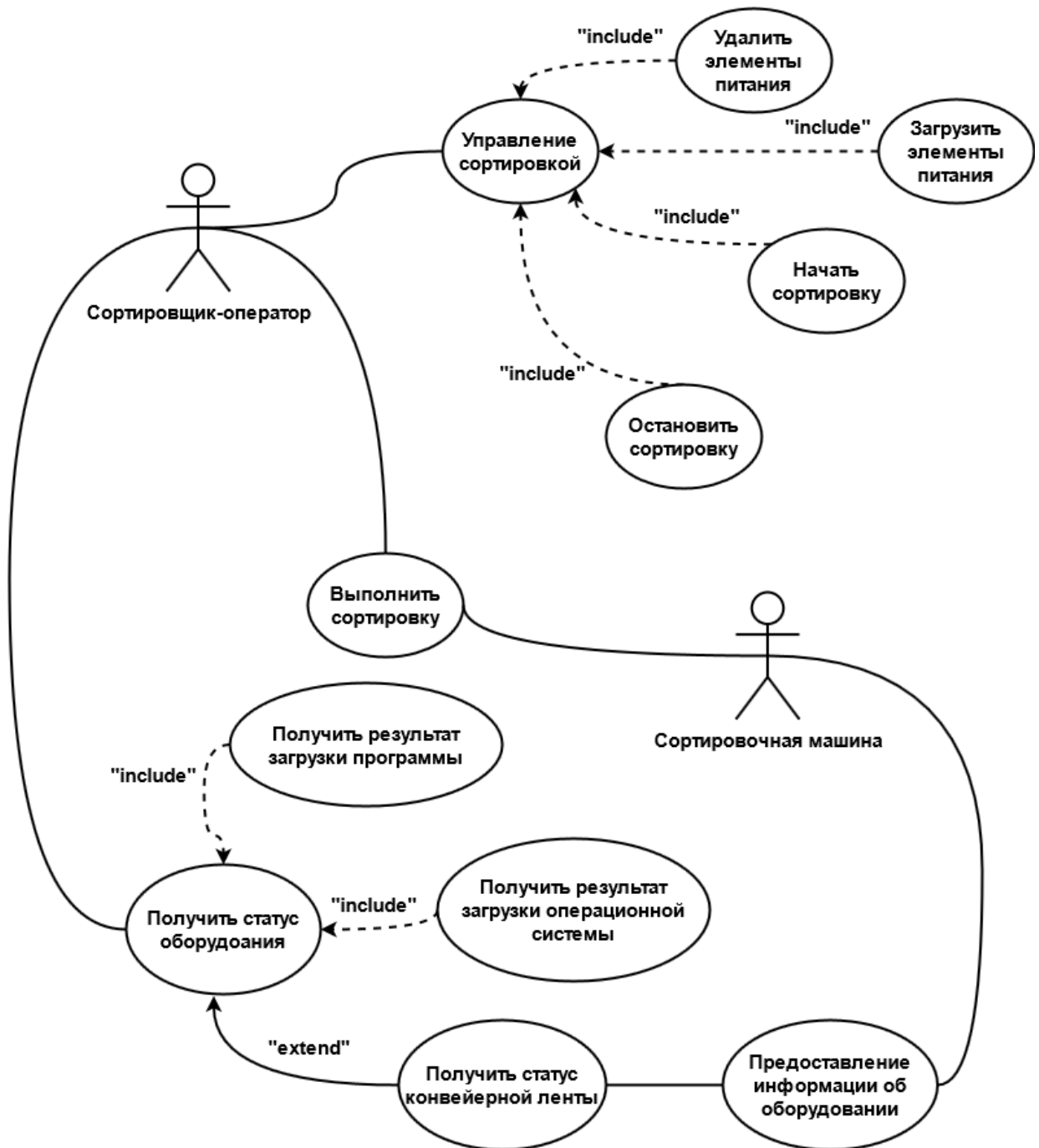


Рисунок 8 – Диаграмма прецедентов

Оператор сортировщик может управлять процессом сортировки, например, загрузить партию элементов питания в приемочный лоток, либо удалить их оттуда. Также оператор запускает процесс сортировки и останавливает его в случае необходимости. Остановка происходит, когда нужная партия батареек отсортирована, либо, когда в процессе сортировки возникли технические проблемы.

Перед началом сортировки оператор может получить общую информацию об оборудовании, чтобы оценить состояние всех элементов системы перед началом процесса. Например, оператор способен увидеть статус готовности операционной системы компьютера, который отдает команды электромеханическим элементам, затем оператор может увидеть статус загрузки программы, которая будет распознавать изображения батареек, либо узнать состояние конвейерной ленты, по которой движутся элементы питания.

Во время сортировки оператор контролирует процесс и в случае необходимости, например, успешно отсортированной партии элементов питания, выключает сортировочное устройство.

Диаграмма деятельности

На рисунке 9 изображена диаграмма деятельности. Данная диаграмма отображает общий алгоритм выполнения действий, начиная от запуска устройства, процесса сортировки и заканчивая завершением работы системы. Также в диаграмме рассмотрены возможные ошибки и ситуации, которые могут прервать процесс сортировки при выполнении алгоритма на разных этапах.

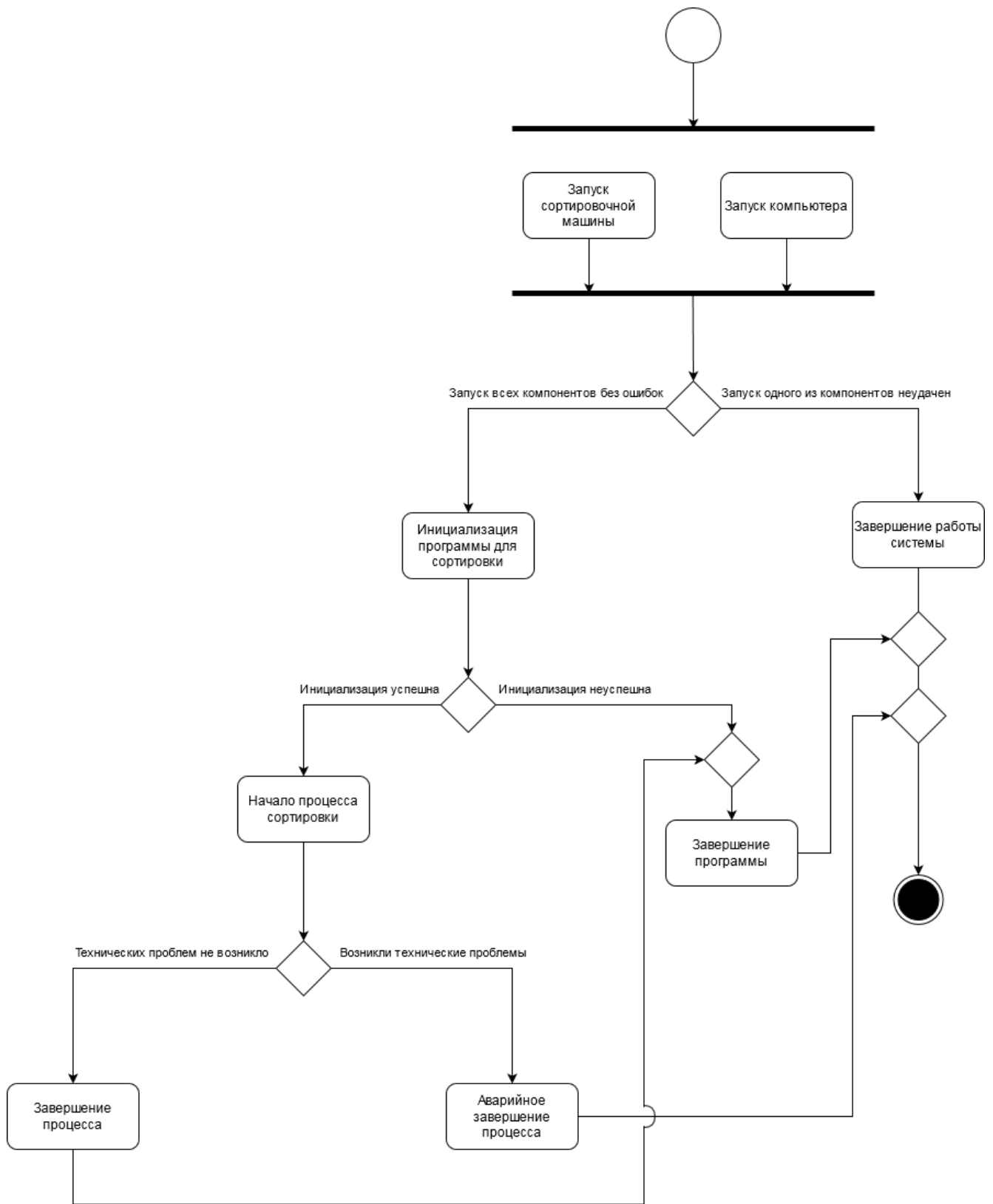


Рисунок 9 – Диаграмма деятельности

В начале происходит запуск сортировочной машины одновременно с запуском компьютера. Если запуск машины или компьютера оказался неуспешен, то идет выключение всей системы.

Если запуск произошел без ошибок, то далее идет инициализация программы сортировки батареек, которая находится на компьютере. Данная программа после успешного запуска готова к сортировке батареек. Если запуск неуспешен, то программа закрывается, после чего можно устранить неисправность, из-за которой произошел сбой инициализации.

Далее после запуска программы начнется сортировка батареек, сортировочная машина будет подавать элементы питания на конвейер из приемного лотка, где будут производиться снимки батареек и подаваться на вход программы. Во время сортировки могут возникнуть разные проблемы, по причине которых данный процесс будет прерван. Причины могут быть разного типа, например, отключение внешнего питания, поломка конвейерной ленты, сбой программы во время выполнения, если такие причины возникли, то произойдет аварийное завершение работы программы и процесс остановится.

Если никаких ошибок не возникло во время сортировки, то по окончании батареек в приемном лотке программа завершится и ее можно будет запустить повторно после пополнения приемного лотка, либо полностью выключить всю систему.

Диаграмма развертывания

На рисунке 10 изображена диаграмма развертывания. Данная диаграмма показывает общую схему аппаратной части системы.

Компьютер состоит из системного блока с монитором, клавиатурой и мышью для управления самим компьютером и программой сортировки, которая работает на нем, а также просмотра процесса и результата выполнения программы и вывода другой информации. Этот компьютер работает под управлением операционной системы Windows 10, на нем находится программа, которая занимается распознаванием батареек и отправкой сигналов на механизм

сортировки. Компьютер подключен к роутеру для выхода в Интернет. Может включаться и выключаться отдельно от сортировочной машины.

Сортировочная машина в основном состоит из приемочного лотка для загрузки батареек, системы конвейеров и сортировочного механизма. На данной машине установлено электрооборудование для сортировки и специальная плата, которая соединена с компьютером с помощью USB. Данное соединение эмулирует виртуальный COM порт для передачи управляющих сигналов от компьютера на сортировочную машину. Плата соединена с роутером, который обеспечивает это устройство связью с сетью Интернет и компьютером.

Роутер объединяет в одну подсеть плату сортировочной машины и компьютер, затем от роутера идет выход в Интернет. Конфигурация роутера настраивается через компьютер с помощью веб-интерфейса. В роутер вставлена сим-карта, которая обеспечивает беспроводной интернет, который не зависит от кабеля в случае проблем с проводной сетью. Такое решение позволяет иметь постоянную связь компьютера с сетью Интернет.

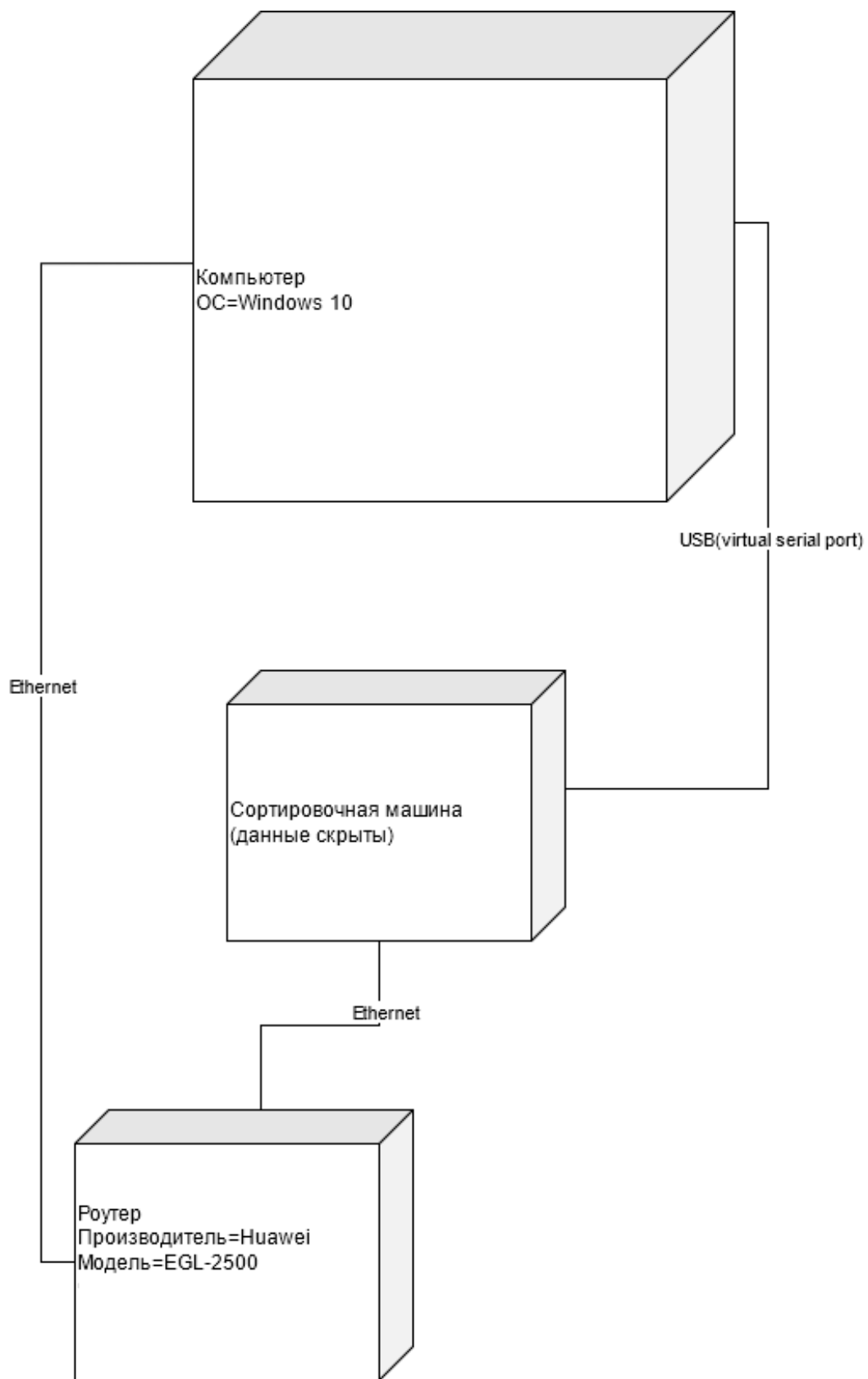


Рисунок 10 – Диаграмма развертывания

3.2 ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАРИЯ

Создание нейронной сети является комплексной задачей, которая включает в себя выбор языка программирования, создание топологии сети, выбор модели нейронной сети, написание и тестирование.

В качестве языка программирования был выбран язык Python.

Python - это интерпретированный, объектно-ориентированный язык, высокоуровневый язык программирования с динамической семантикой. Его высокий уровень встроенные в структурах данных, в сочетании с динамическими печатающими и динамическими привязками, делают его очень привлекательным для быстрого развития приложений, а также для использования в качестве сценариев или клея для соединения существующих компонентов вместе. Простой Python, простой для изучения синтаксиса подчеркивает читаемость и, следовательно, снижает стоимость обслуживания программы. Python поддерживает модули и пакеты, которые поощряют программную модульность и повторное использование кода. Переводчик Python и обширная стандартная библиотека доступны в источнике или двоичной форме без начисления для всех основных платформ и могут быть свободно распространены. [9]

По сравнению с другими высокоуровневыми языками программирования, Python более предпочтителен для работы с подобными задачами, а также для данного языка существует большое количество библиотек, с помощью которых можно упростить процесс создания, обучения и тестирования нейронных сетей.

Язык Python способен использовать функционал открытой библиотеки машинного обучения TensorFlow. Данная библиотека является разработкой компании Google, с помощью функций данной библиотеки можно создавать и обучать сверточные нейронные сети. При создании данной нейронной сети используется функционал этой библиотеки.

Для написания исходного кода и его тестирования была использована интерактивная кроссплатформенная среда разработки Spyder.

На рисунке 11 представлен интерфейс данной среды разработки.

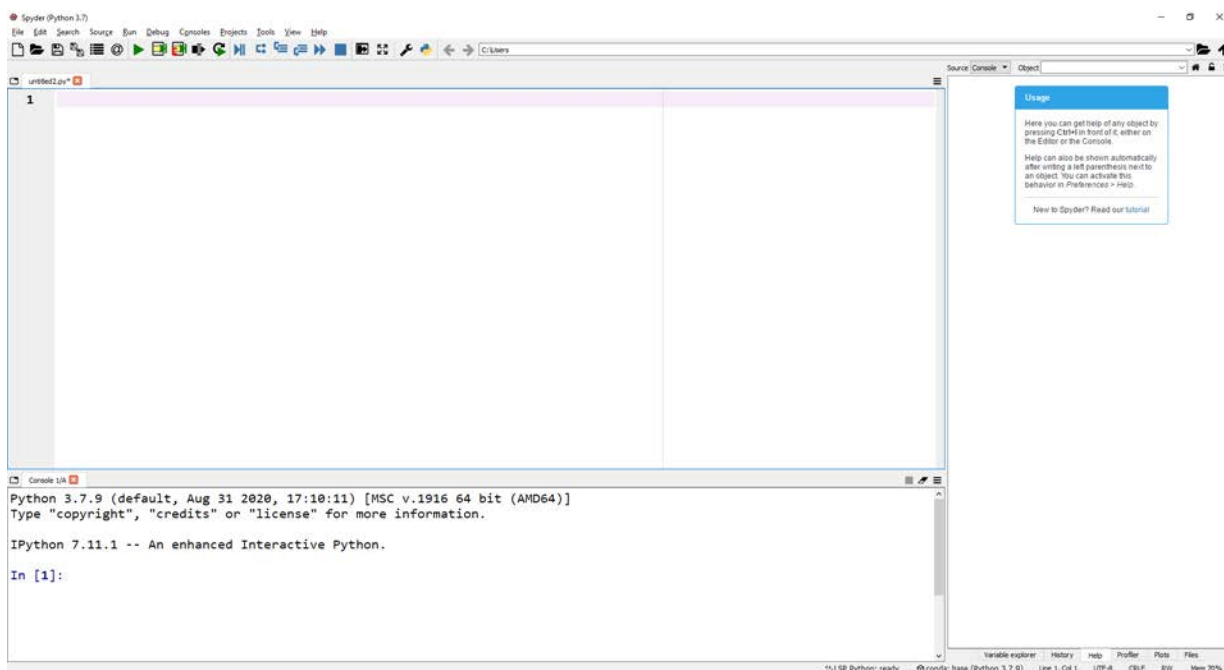


Рисунок 11 – Интерфейс Spyder

3.3 Создание топологии нейронной сети

Для решения поставленной задачи классификации элементов питания по снимкам была выбрана сверточная нейронная сеть.

Сверточной нейронной сетью называют нейросеть со следующей архитектурой, удобно визуализируемой в трехмерном пространстве (Рис. 12):

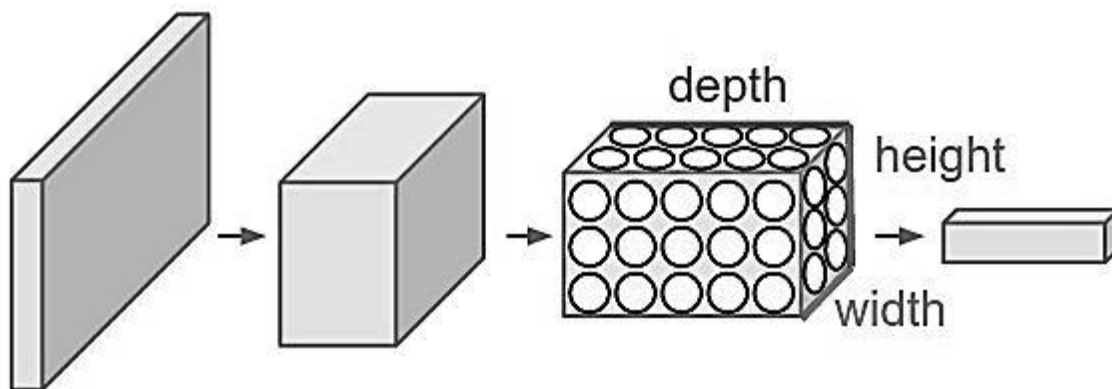


Рисунок 12 Архитектура сети

С математической точки зрения, такая архитектура позволяет уменьшить количество параметров сети, что позволяет улучшить обобщающие свойства сети. Кроме того, такая архитектура позволяет извлекать локальные свойства из входных данных.

В качестве входа каждый слой сети принимает трехмерный тензор, на практике чаще всего являющийся изображением. Таким образом, выходом данного блока будет новое изображение, являющееся результатом операции, называемой в графическом редактировании применением фильтра к входу. [14]

Данный тип нейронной сети имеет следующие преимущества по сравнению с обычной многослойной сетью:

- 1) большая временная эффективность по сравнению с перцептроном за счет меньшего количества настраиваемых параметров;
- 2) улучшенные способности выделения отдельных элементов на изображении (углы, кривые, прямые, яркие области и т. д.) за счет использования нескольких карт признаков на одном слое;
- 3) способность формирования высокоуровневых признаков на основе низкоуровневых в пределах одного класса за счет использования ядер свертки сравнительно небольшого размера вместо соединения нейронов двух соседних слоев по принципу «каждый с каждым», как у полносвязного перцептрона. [11]

Также данный тип сетей активно исследуется и развивается по некоторым причинам.

Рост популярности глубоких нейронных сетей, происходящий в последние несколько лет, можно объяснить тремя факторами. Во-первых, произошло существенное увеличение производительности компьютеров, в том числе ускорителей вычислений GPU (Graphics Processing Unit), что позволило обучать глубокие нейронные сети значительно быстрее и с более высокой точностью. Ранее имеющихся вычислительных мощностей не хватало для обучения сколько-нибудь сложной сети, пригодной для решения практических задач. Во-вторых, был накоплен большой объем данных, который необходим для обучения глубоких нейронных сетей. В-третьих, разработаны методы обучения нейронных сетей, позволяющие быстро и качественно обучать сети, состоящие из ста и более слоев, что раньше было невозможно из-за проблемы исчезающего градиента и переобучения. Сочетание трех факторов привело к существенному прогрессу в

обучении глубоких нейронных сетей и их практическом использовании, что позволило глубоким нейронным сетям занять лидирующую позицию среди методов машинного обучения. [13]

Структура сверточной сети состоит из разных слоев, каждый из которых выполняет свою определенную операцию.

Первым слоем данной сети является входной слой. Этот слой принимает на вход изображение определенного размера, так как камера делает снимки одного размера. Снимок является цветным RGB изображением с расширением JPEG. Изображение разбивается на 3 канала: красный, зеленый, синий, и в итоге получается 3 изображения одинакового размера.

Далее следует рассмотреть сверточный слой, который является набором карт признаков, у каждой карты имеется фильтр. Количество данных карт определяется требованиями к задаче, для большего качества распознавания нужно брать большое количество карт, но следует учитывать повышенную вычислительную сложность.

Ядро представляет из себя фильтр или окно, которое скользит по всей области предыдущей карты и находит определенные признаки объектов. Например, если сеть обучали на множестве лиц, то одно из ядер могло бы в процессе обучения выдавать наибольший сигнал в области глаза, рта, брови или носа, другое ядро могло бы выявлять другие признаки. Размер ядра обычно берут в пределах от 3x3 до 7x7. Если размер ядра маленький, то оно не сможет выделить какие-либо признаки, если слишком большое, то увеличивается количество связей между нейронами. Также размер ядра выбирается таким, чтобы размер карт сверточного слоя был четным, это позволяет не терять информацию при уменьшении размерности в подвыборочном слое, описанном ниже.

Ядро представляет собой систему разделяемых весов или синапсов, это одна из главных особенностей сверточной нейросети. В обычной многослойной сети очень много связей между нейронами, то есть синапсов, что весьма замедляет процесс детектирования. В сверточной сети – наоборот, общие веса позволяют

сократить число связей и позволить находить один и тот же признак по всей области изображения. [11]

Затем следует рассмотреть подвыборочный слой, задача которого в том, чтобы уменьшить размерность карты предыдущего слоя. Так как на предыдущей операции свертки были выявлены признаки, то для последующей обработки такое подробное изображение не нужно и данный слой уплотняет его. Также избавление от ненужных признаков защищает сеть от переобучения.

Последний из типов слоев это слой обычного многослойного персептрона. Цель слоя – классификация, моделирует сложную нелинейную функцию, оптимизируя которую, улучшается качество распознавания. [11]

Самым последним слоем является выходной слой, который активирует один из нейронов, который соответствует одному из типов элементов питания.

При создании нейронной сети необходимо выбрать готовую топологию, либо создать собственную, а также скомбинировать собственную с готовой.

Для данной задачи за основу была выбрана и модифицирована сеть VGG-16, которая разработана компанией Visual Geometry Group. [12] На рисунке 13 представлена архитектура оригинальной сети VGG-16.

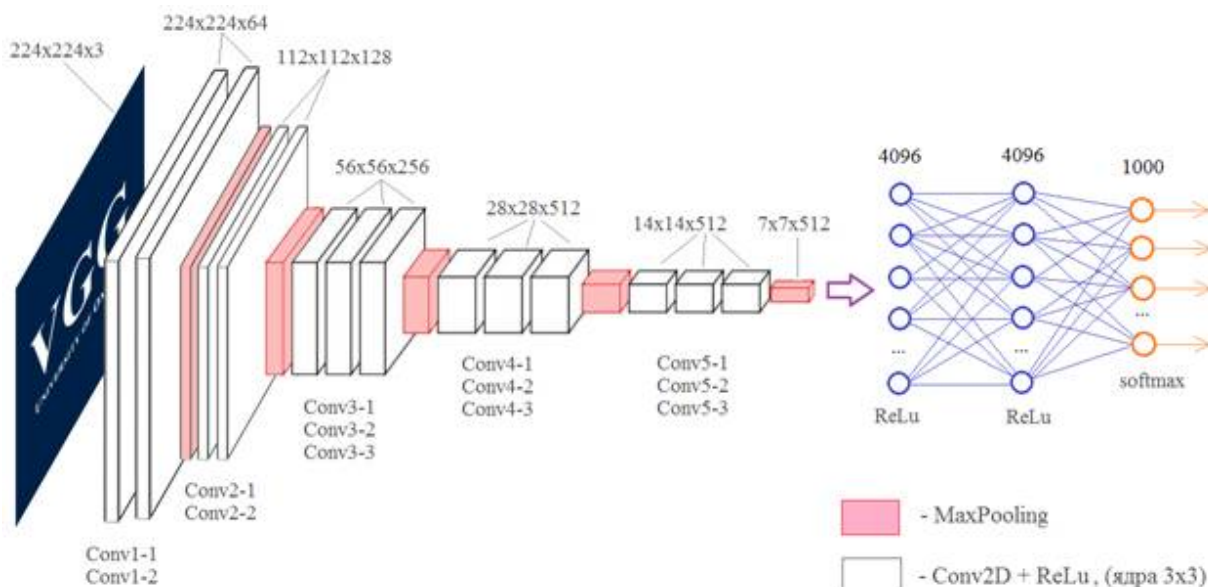


Рисунок 13 – Архитектура VGG-16

Данная топология сети доступна для открытого использования и представляет собой основную базу, которую можно модифицировать, исходя из

поставленной задачи. Модификации подвергся выходной слой, который был сокращен до количества распознаваемых элементов питания. Также было уменьшено количество фильтров в сверточных слоях и увеличен размер ядра. Данные модификации были произведены с целью адаптирования сети для решения поставленной задачи.

3.4 Написание кода

Код нейронной сети написан на языке Python с использованием библиотеки TensorFlow. В листинге 1 приведен фрагмент исходного кода, который производит инициализацию архитектуры нейронной сети.

Листинг 1 – Создание архитектуры нейронной сети

```
model = Sequential()
model.add(ZeroPadding2D((1,1), input_shape=(349, 173, 3)))
model.add(Conv2D(filters = 64, kernel_size = 5, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 64, kernel_size = 5, activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2)))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 64, kernel_size = 5, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 64, kernel_size = 5, activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2)))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 64, kernel_size = 5, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 256, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 256, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2)))
```

```

model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 512, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 512, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 512, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2)))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 512, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 512, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(ZeroPadding2D((1,1)))
model.add(Conv2D(filters = 512, kernel_size = 3, activation='relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2)))
model.add(Flatten())
model.add(Dense(units = 4096, activation='relu')); model.add(Dropout(0.5))
model.add(Dense(units = 4096, activation='relu')); model.add(Dropout(0.5))
model.add(Dense(8, activation='softmax'))

```

Данный код последовательно создает нужные слои с заданными параметрами, в которых указывается размер ядра и фильтра для каждого слоя, также задается количество входных и выходных нейронов.

Нейронная сеть работает с изображениями одинаковой величины по длине и ширине, так как камера, которая находится на сортировочной машине делает снимки одного размера, на которых изображены элементы питания. На рисунках 14, 15 и 16 приведены примеры фотографий, которые сделаны фотокамерой, которая является частью сортировочного комплекса.



Рисунок 14 Фотография батарейки

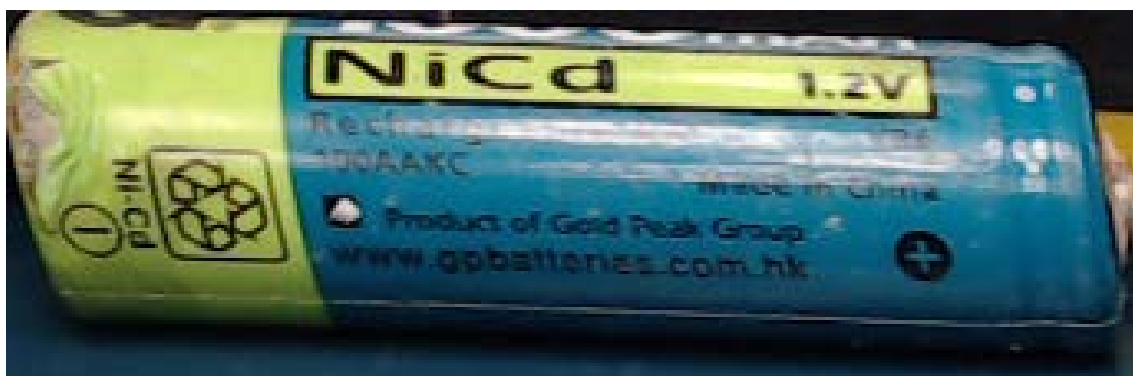


Рисунок 15 Фотография батарейки



Рисунок 16 Фотография батарейки

Данные фотографии показывают, что изображенные на них батарейки могут не содержать обозначений, по которым их можно идентифицировать, либо на фото могут появляться блики, которые усложняют задачу распознавания.

ВЫВОД ПО РАЗДЕЛУ

Выполнено описание разработки программного продукта, который решает задачу классификации.

Описана диаграмма прецедентов, на которой показана общая модель программно-аппаратного комплекса, описана диаграмма деятельности, которая демонстрирует общий алгоритм выполнения сортировочного процесса, также описана диаграмма развертывания, которая показывает физическую модель аппаратной части. Представлен фрагмент кода нейронной сети, а также показаны примеры снимков, с которыми работает нейронная сеть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа была направлена на создание искусственной нейронной сети, которая решает задачу классификации элементов питания по сделанным фотоснимкам. На данный момент предстоящей задачей является начало подготовки к экспериментальному внедрению данной сети на сортировочную систему.

Для решения задачи классификации был проведен аналитический обзор программно-аппаратных решений данной задачи.

В итоге написана программа на основе нейронной сети, которая классифицирует фотографию батарейки и распознает ее тип, для последующей сортировки механическим устройством. Задача решена для автоматизированной утилизации и переработки элементов электрического питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Веб-сайт «Newatlas» [Электронный ресурс]. URL: <https://newatlas.com/optisort-battery-sorting-machine/25513>
2. Веб-сайт «Chemeurope» [Электронный ресурс]. URL: https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/List_of_battery_sizes.html
3. Селезенев Н.С., Балаев А.Н., Никонов В.А. Последствия загрязнения объектов окружающей среды портативными гальваническими элементами // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12.
4. Веб-сайт «Winackbattery» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.winackbattery.com/products/Automatic-Battery-Cell-Sorting-Machine.html>
5. Веб-сайт «Recyclingview» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.recyclingview.com/batteries-recycling-processes/>
6. Веб-сайт «Roboticsbiz» [Электронный ресурс]. URL: <https://roboticsbiz.com/battery-recycling-methods-pros-and-cons/>
7. Веб-сайт «Refind» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.refind.se/optical-battery-sorter-500>
8. Веб-сайт «Refind» [Электронный ресурс]. URL: <https://static1.squarespace.com/static/52db07bee4b0947368464326/t/5a9cf25e0d9297b1259db39a/1520235106070/OBS500%28b%29web.pdf>
9. Веб-сайт «Python» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>
10. Бредихин Арсентий Игоревич Алгоритмы обучения сверточных нейронных сетей // Вестник ЮГУ. 2019. №1 (52).
11. Веб-сайт «Habr» [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/348000/>
12. Веб-сайт «Robots» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/>
13. Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6, № 3. С. 28–59.
14. Рогаль Андрей Александрович Применение методов глубокого обучения в задаче распознавания изображений // IN SITU. 2016. №6.