**POLYETHYLENE (PE), POLYPROPYLENE (PP), POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET), AND POLYVINYL CHLORIDE (PVC) PLASTIC WASTES CLASSIFICATION**

**DEVICE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Neerapattanagul S. ,Thanthongdee K. ,Thaweesuksatian J.

*Kamnoetvidya Science Academy, Thailand, Rayong*

sasipha\_n@kvis.ac.th

Nowadays waste management has become a global issue supposed to be concerned. It can be simply solved by waste separation in order to reduce the amount of waste disposed of and the emission of toxins from incineration. Moreover, disposable waste can be recycled and renewed to conserve resources. Likewise, plastic waste is usually applied in various packages. Recyclable plastic is distinguished into 7 types: polyethylene terephthalate (PET), high-density polyethylene (HDPE), low-density polyethylene (LDPE), polystyrene (PS), polyvinyl chloride (PVC), polypropylene (PP), others. However, some plastic types compose of toxic chemicals that can affect the body in the acute and chronic phases. So plastic waste separated systematically and properly will reduce the effect on the body, environment, and pollution. However, manual sorting is mostly used for sorting plastic waste in plastic segregation plants. Plastic waste is classified by observing the resin identification code. It can cause human errors due to a lack of skills and experience. But this method might be useful if plastic waste is large enough to classify as taking time. Besides, other techniques also have a limitation, and they have to be used in conjunction with others. In previous research, near-infrared reflectance spectroscopy (NIR) distinguishes waste by using an absorbance spectra pattern. This method is not suitable for classifying dark-colored plastics [1][2]. The electromagnetic sorting technique has poor accuracy and not appropriate for types that have a little different electrostatic charge [3]. Furthermore, the sink-float sorting technique can sort by different plastic densities. Plastics that are placed in water or any solution will have different levels of floating. It can use to sort plastic containing heavy metals out. Although this method widely uses, it takes a lot of time. In some waste sorting plants, they use a camera along with deep learning to classify types of plastics waste and use robotic arms to sorts some types out. For example, robotic arms in FANUC company named WAR uses artificial intelligence by object detection algorithm to identify types of plastic waste, together with Karel as a programming language for coding the movement of robots to pick it out. This method is quite fast and precise classification. But entrepreneurs have to spend high costs purchasing many robotic arms. Nevertheless, some researchers found that deep convolutional neural networks object detector for real-time waste identification is precise, fast, and has high accuracy [4]. The convolutional neural network is one of the feedforward neural networks in the bio-inspired neural network group. This type of neural network mimics the way human detects and recognize the image, separating the image into parts and analyze the picture part by part before combined them all. A convolutional neural network consists of a convolution layer responsible for finding the relationship between each group of pixels by using filters. Different filter use gives different results and relationships of different features such as Image border and sharpness [5].

According to the issues mentioned before, the purpose of this project is to invent a device that is capable of classifying polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), polyvinyl chloride (PVC) using artificial intelligence (AI) since these types are referred as the most used plastic types [6].

**Method.** The process for this research consists of 2 essential parts: device construction and software development. The first part is device construction, the most component of the conveyor was designed and mimic using Solidwork. Channel frame, frame spacer, conveyor roller were constructed using acrylic sheets as a material cut by a laser cutting machine; the parts were perforated and made a thread in order to make screws and rings able to be worn and connected. A Stepper motor controlled by Arduino was used to drive the belt. A camera was installed on the stand placed in the upper of the conveyor. The beam sensors were located before a stand of camera. It is used to detect plastic waste and send a signal to the camera to takes an image when the plastic waste is in the proper position. Steel structures were material for the lag frame; frame parts were welded together and combined with rollers. The lag frame supports the conveyor and makes it easier to move the machine.

For software development, plastic waste datasets labeled with features from WaDaBa were used to train a model [7]. WaDaBa is a dataset consisting of 4000 plastic waste images in a different orientation; each of the images was labeled following the resin identification code and other features such as light, deformation level, and color. However, the code representing features of the plastic image labeled in the first place was unable to be used with the model. Therefore, the process of organizing data was needed to be done. The images were sorted into files respecting their types according to the resin identification code; this process was done by using a python code on Jupyter Notebook[8]. Afterward, the data was sorted into train set, validation set, and test set with the ratio of 80:10:10. Then, the convolutional neural network (CNN) was created with layers 11 written in python on a platform named Kaggle. The data was used to train the model and the efficiency of the model was determined using two values: accuracy and loss function. The evaluation was reported in both numerical and graph indicating the relationship between those two values and epochs of training.

**Result.** As the model was evaluated, the highest accuracy achieved was 93.51*%* by using 75 epochs training and the batch size of 512. The other parts of the device including the conveyor and the bin system were found to function precisely under the control of microcontrollers. In the next process of research, both parts will be assembled and the accuracy of the device in sorting types of plastic will be determined.

**Discussion.** According to the accuracy of the model it can be concluded that the model can classify types of plastic from the image precisely with high accuracy. And from the graph representing the relationship between accuracy and epoch of training, it was found that the accuracy of the model remains constant without fluctuation at 70 epochs. However, there is the presentation of the peak in the graph representing the relationship between loss function and epoch of training. This was suggested to occur according to the inappropriate batch size of data or malfunction of the model. Therefore, the model batch size will be decreased and the graph indicating the relationship will be determined. The other parts of the device, as mentioned in the result part, can function precisely under the control of the microcontrollers—Arduino.

1. Biswajit Ruj, V. P. (2015). Sorting of plastic waste for effective recycling. *Research*Cr*ate.*
2. Daniel Octavian Melinte, A.-M. T. (2020). Deep Convolutional Neural Networks Object Detector for Real-Time Waste Identification. *MDPI.*
3. Hamed Masoumi, S. M. (2012). Identification and classification of plastic resins using near infrared reflectance spectroscopy. *ResearchGate.*
4. Massen, R. (1998). *Patent No. 5794788.*
5. Deep Learning & Neural Networks. (2019). *Sub-brain*
6. The Eleven Most Important Types of Plastic. (2016). *creativemechanisms*
7. J. Bobulski, J. Piatkowski, PET waste classification method and Plastic Waste DataBase WaDaBa, Conference Proc. IP&C 2018, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 681, Springer Verlag, 2018, pp.57-64.
8. Collin, C. (2017) How to build an image classifier for waste sorting. *towardsdatascience*

**УСТРОЙСТВО КЛАССИФИКАЦИИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА (PE), ПОЛИПРОПИЛЕНА (PP), ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА (PET) И ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА (ПВХ)**

**С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТ (AI)**

Нирапаттанагул С., Тхантхонгди К., Тависуксатиан Дж.

*Kamnoetvidya Science Academy,* Таиланд, Районг

sasipha\_n@kvis.ac.th

В настоящее время обращение с отходами представляет собой глобальную проблему. Ее можно решить достаточно просто за счет разделения отходов, что позволит снизить количество выбрасываемых вредных веществ и токсинов, образующихся при сжигании мусора. Кроме того, одноразовые отходы можно перерабатывать и обновлять, что приведет к экономии ресурсов. Также пластиковые отходы обычно образуются в результате использования различных упаковок.

Перерабатываемый пластик подразделяется на 7 типов: полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиэтилен высокой плотности (HDPE), полиэтилен низкой плотности (LDPE), полистирол (PS), поливинилхлорид (PVC), полипропилен (PP) и другие. Однако некоторые виды пластика состоят из токсичных химикатов, которые могут повлиять на организм, находящийся в острой и хронической фазах заболеваний. Таким образом, систематическая и правильная сортировка пластиковых отходов снижает их воздействие на людей, окружающую среду и ее загрязнение.

При этом на заводах по сортировке пластмасс для разделения пластиковых отходов в основном используется ручная сортировка. Пластиковые отходы классифицируются по идентификационному коду пластмасс, что может привести к ошибкам оператора сортировки из-за недостатка навыков и опыта. Этот метод может быть полезен при наличии достаточного количества времени и при условии, что пластиковые отходы достаточно крупные. У других используемых методов также существуют ограничения, и для хорошего результата нужна комбинация методов. Существуют исследования, в которых предлагается использовать спектроскопию отражения в ближней инфракрасной области (NIR), позволяющая различать отходы по спектру поглощения. Этот метод не подходит для классификации темных пластмасс [1] [2]. Электромагнитная сортировка имеет низкую точность и не подходит для типов отходов, которые имеют немного другой электростатический заряд [3]. Метод сортировки по принципу «тонет-плывет» позволяет сортировать отходы по разной плотности пластика. Пластмассы, помещенные в воду или любой раствор, будут иметь разный уровень плавучести. Этот метод можно использовать для сортировки пластика, содержащего тяжелые металлы. Хотя этот метод широко используется, он требует много времени. На некоторых заводах по сортировке мусора используют видеокамеры с глубоким обучением для классификации типов пластиковых отходов и роботизированные манипуляторы для сортировки некоторых типов отходов. Например, в компании FANUC применяются роботизированные руки под названием WAR, которые используют искусственный интеллект с помощью алгоритма обнаружения объектов для определения типов пластиковых отходов. В качестве языка программирования для кодирования сортирующего движения роботов используется Karel. Этот метод приводит к достаточно быстрой и точной классификации. Но предпринимателям приходится тратить большие средства на приобретение большого количества роботизированных рук. Тем не менее, некоторые исследователи показали, что детектор объектов на основе глубоких сверточных нейронных сетей, используемый для идентификации отходов в реальном времени является быстрым методом с высокой точностью [4]. Сверточная нейронная сеть – одна из нейронных сетей прямого распространения в группе нейронных сетей, основанных на биологических принципах.

Этот тип нейронной сети имитирует то, как человек обнаруживает и распознает изображение, разделяя изображение на части и анализируя изображение по частям, прежде чем объединить их. Сверточная нейронная сеть состоит из сверточного слоя, отвечающего за обнаружение взаимосвязи между каждой группой пикселей с помощью фильтров. Использование разных фильтров дает разные результаты и использует взаимосвязь различных функций, таких как границы изображения и резкость [5].

В соответствии с проблемами, упомянутыми ранее, цель этого проекта – разработать устройство, способное классифицировать полиэтилен (PE), полипропилен (PP), полиэтилентерефталат (PET), поливинилхлорид (PVC) с использованием искусственного интеллекта (AI), поскольку эти типы относятся к наиболее часто используемым типам пластмасс [6].

**Метод**. Процесс исследования состоит из двух основных частей: конструирования устройства и разработки программного обеспечения. Первая часть – это конструирование устройства: большая часть конвейера была спроектирована и имитирована с использованием Solidwork. Швеллерная рама, распорка рамы, конвейерный ролик были сконструированы из акриловых листов, вырезанных станком для лазерной резки; в деталях были выполнены перфорация и резьба, чтобы можно было вставить и соединить винты и кольца . Для привода конвейерной ленты использовался шаговый двигатель, управляемый Arduino. Камера была установлена на стойке, размещенной в верхней части конвейера. Датчики луча располагались перед стойкой камеры. Они использовались для обнаружения пластиковых отходов и отправки сигнала на камеру, чтобы сделать снимок, когда пластиковые отходы находятся в правильном положении. Лаговая рама была выполнена из стальных конструкций. Детали рамы сваривались между собой и соединялись роликами. Стяжная рама поддерживает конвейер и облегчает перемещение машины.

При разработке программного обеспечения для обучения модели использовались наборы данных по пластиковым отходам, помеченные функциями из WaDaBa [7]. WaDaBa – это набор данных, состоящий из 4000 изображений пластиковых отходов в разной ориентации; каждое из изображений помечено по идентификационному коду смолы и другим характеристикам, таким как свет, уровень деформации и цвет. Однако изначально имевшийся код, описывающий особенности изображений пластиковых отходов, не мог использоваться с моделью. Следовательно, необходимо было завершить процесс организации данных. Изображения были отсортированы по файлам в соответствии с их типами согласно идентификационному коду смолы; этот процесс был выполнен с использованием кода Python в Jupyter Notebook [8]. После этого данные были распределены в выборку для обучения, контрольную выборку и выборку для тестирования с соотношением 80:10:10. Затем была создана сверточная нейронная сеть (CNN) с 11 слоями, написанными на языке Python на платформе Kaggle. Данные использовались для обучения модели, а эффективность модели определялась с использованием двух значений: точности и функции потерь. Оценка была представлена как в числовом виде, так и в виде графика, показывающего взаимосвязь между этими двумя значениями и эпохами обучения.

**Результат.** При оценке модели наивысшая точность составила 93,51% при использовании 75 эпох обучения и размера партии 512. Было обнаружено, что другие части устройства, включая конвейер и систему контейнеров, под управлением микроконтроллеров функционируют с хорошей точностью. На следующем этапе исследования будут собраны обе части и будет определена точность устройства при сортировке типов пластика.

**Обсуждение.** Учитывая точность модели, можно сделать вывод, что модель может классифицировать типы пластика по изображению с высокой точностью. А из графика, демонстрирующего взаимосвязь между точностью и эпохой обучения, было обнаружено, что точность модели остается постоянной без колебаний на этапе в 70 эпох. Однако на графике присутствует пик, демонстрирующий взаимосвязь между функцией потерь и эпохой обучения.

Было высказано предположение, что это произошло из-за несоответствующего размера партии данных или неисправности модели. Следовательно, размер партии модели будет уменьшен и будет определен график, показывающий взаимосвязь. Другие части устройства, как указано в части результатов, могут функционировать с хорошей точностью под управлением микроконтроллеров  Arduino.