

Региональная открытая конференция по научно-техническому творчеству
школьников «Лабиринты науки»

Секция «Химия»

Химия вторичной переработки: разделение и идентификация пластиков

Выполнили ученик 10 «Ф» класса

Гофман Константин Сергеевич

Научный руководитель,

учитель химии:

Смирнова Мария Владимировна

Ярославль, 2025

Оглавление

Введение.....	3
Теоретическая часть.....	5
Классификация полимеров.....	5
Код переработки.....	7
Практическая часть	8
Определение характера горения образцов	9
Определение образцов по плотности	11
Определение химической стойкости образцов	12
Создание методики комплексной идентификации пластмасс.....	15
Вывод.....	16
Список источников	17

Введение

Бурный рост производства и потребления пластиковой продукции поставил перед обществом острую проблему утилизации отходов. Накопление пластика на полигонах и в природных экосистемах приводит к тяжелым экологическим последствиям. В этом контексте вторичная переработка (рециклинг) - ключевое решение, позволяющее замкнуть жизненный цикл пластиковых изделий, сократить использование первичных ресурсов и уменьшить загрязнение планеты. Целью данного проекта является рассмотрение существующих технологий идентификации пластмасс, их экономических и технологических ограничений, а также оценка потенциала данного направления.

Актуальность:

Ежегодное производство 400 млн тонн пластика при периодах распада до 5000 лет создаёт неразрешимое уравнение для полигонного захоронения. Физика процесса рециклинга демонстрирует энергетическую эффективность: переработка алюминия даёт экономию 95% энергии, ПЭТ - 75%, что эквивалентно сохранению 2 кг нефти на каждом килограмме переработанного пластика. Биосферные последствия приобрели необратимый характер - 8 млн тонн пластиковых отходов ежегодно попадают в океан, формируя мусорные континенты площадью 1.6 млн км², а микропластик обнаруживается в 83% проб питьевой воды. При сохранении текущей динамики к 2050 году масса пластика в океане превысит биомассу всей рыбы, что свидетельствует о необходимости перехода от линейной экономики к циркулярной модели как единственной технологически возможной альтернативе коллапсу экосистем.

В условиях отсутствия доступного лабораторного оборудования (ИК-спектрометров) и специальных знаний существует практическая проблема оперативной идентификации видов пластиков для их корректной сортировки, что является критически важным этапом для эффективной переработки.

Существующие методы визуального распознавания по маркировке ненадежны, так как маркировка часто отсутствует, повреждена или нечитаема на изделиях. Это приводит к пересортице, загрязнению перерабатывающих потоков и, как следствие, к снижению качества регранулята и экономической нецелесообразности переработки. [1]

Проблема:

Как обеспечить эффективную сортировку пластиковых отходов для их последующей переработки, если существующая маркировка часто отсутствует или недостоверна, а применение сложного лабораторного оборудования экономически нецелесообразно на этапе сбора и первичной обработки сырья?

Цель работы:

Разработать методику идентификации пластиков, основанной на простых физико-химических свойствах, которую можно применить на малых предприятиях или в "полевых" условиях.

Задачи:

1. Изучить основные классификации полимеров;
2. Рассмотреть поподробнее классификацию пластмасс по коду переработки;
3. Изучить методы идентификации пластмасс;
4. Провести ряд аналитических исследований для получения информации о физико-химических свойствах пластмасс;
5. Разработать методику комплексной идентификации, последовательно применяющий тесты на плотность, горение и химическую стойкость.

Теоретическая часть

Классификация полимеров

Все современные пластмассы группируются по следующим принципам (данные о каждом виде перерабатываемой пластмассы приведены в таблице 1) [2, 3]:

- По способу получения:
 - полимеризационные;
 - поликонденсационные.
- По составу мономерных звеньев:
 - гомополимеры;
 - сополимеры.
- По строению полимерной цепи:
 - линейные;
 - разветвлённые;
 - сшитые.
- По поведению при нагревании:
 - термопласты;
 - реактопласты.
- По маркировке (код переработки):
 - PETE/PET – Полиэтилентерефталат (Бутылки от напитков, волокна);
 - HDPE/PE-HD – Полиэтилен высокой плотности (Канистры, трубы, игрушки);
 - PVC/V – Поливинилхлорид (Окна, напольные покрытия, кабели);
 - LDPE/PE-LD – Полиэтилен низкой плотности (Пленки, пакеты, гибкая упаковка);
 - PP – Полипропилен (Автодетали, медицинские изделия);
 - PS – Полистирол (Пенопласт, одноразовая посуда).

Таблица 1 – Общие характеристики пластмасс

Вид пластмассы и краткие обозначения	Код переработки	Способ получения	Состав мономерных звеньев	Строение полимерной цепи	Поведение при нагревании
1)Полиэтилентерефталат PET/ПЕТЕ/ПЭТ		поликонденсационный полимер	Гомополимер; Сополимер	Линейная структура	Термопласт
2) Полиэтилен высокого давления HDPE/ПВД		полимеризационный полимер	Гомополимер	Разветвлённая структура	Термопласт
3) Поливинилхлорид PVC/В/ПВХ		поликонденсационный полимер	Гомополимер	Линейная структура	Термопласт
4) Полиэтилен низкого давления LDPE/ПНД		полимеризационный полимер	Гомополимер	Линейная структура	Термопласт
5) Полипропилен PP/ПП		полимеризационный полимер	Гомополимер; Сополимер	Линейная структура	Термопласт
6) Полистирол PS/ПС		полимеризационный полимер	Гомополимер; Сополимер	Линейная структура	Термопласт

Код переработки

Код переработки - специальное обозначение, которое указывает на тип материала, из которого изготовлен предмет, и возможность его переработки для вторичного использования. В 1988 году Общество пластмассовой промышленности разработало коды идентификации смол (Resin Identification Codes) для сортировки различных видов пластмассовых бытовых отходов [4]. Наиболее часто используемым в упаковках видам пластмасс были присвоены числа 1–6. Цифры внутри треугольников обозначают вид пластика, из которого сделан продукт (таблица 1).

Основные методы идентификации пластмасс [5]:

I. Лабораторные (инструментальные) методы:

1. Спектральный анализ (определение по поглощению ИК-излучения)
2. Термический анализ (измерение тепловых эффектов при нагреве)
3. Хроматографические методы (изучение продуктов термического разложения)

II. Практические (полевые) методы:

1. Физико-механические тесты (сравнение массы, объема образца, проверка прочности, гибкости, твердости)
2. Термические тесты (анализ цвета пламени, запаха и поведения при нагреве)
3. Химические тесты (проверка реакции с растворителями)
4. Органолептические методы (определения показателей качества образца с помощью органов чувств человека)

Практическая часть

Для изучения физико-химических свойств каждой пластмассы были закуплены гранулы и взяты измельчённые пластмассы образцов. Общие характеристики пластмасс приведены в таблице 1.

Материалы и оборудование для исследования:

- образцы пластиков (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS) (рис.2);
- химические стаканы, пробирки;
- спиртовка/горелка;
- пинцет;
- ложка для сжигания веществ;
- фильтровальная бумага;
- растворы: NaOH (5 %), HCl (10 %), ацетон, этанол;
- весы;
- защитные очки, перчатки, лабораторный халат



Образцы (слева направо: ПЭТ, ПВД, ПВХ, ПНД, ПП, ПС)

Определение характера горения образцов

Для определения характера горения, каждый вид пластмассы измельчили и в вытяжном шкафу вносили в пламя спиртовки на ложке для сжигания веществ. Полученные данные перенесли в таблицу 2.



Горение ПЭТ



Горение ПВД



Горение ПВХ



Горение ПНД



Горение ПП



Горение ПС

Таблица 2 – Характеристика пламени образцов

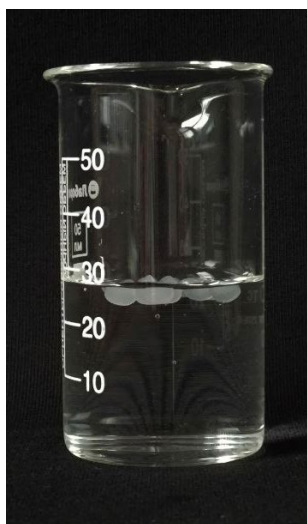
Вид пластмассы	ПЭТ	ПВД	ПВХ	ПНД	ПП	ПС
Цвет пламени	Жёлтый	Жёлтый (голубоватое основание)	Жёлто-зелёный	Жёлтый (голубоватое основание)	Жёлтый (голубоватое основание)	Ярко-жёлтый
Наличие копоти	Есть	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть
Запах	Сладковатый	Парафиновый	Едкий	Парафиновый	Сладковатый	Сладковатый
Горение вне пламени	Гаснет	Продолжает гореть	Гаснет	Продолжает гореть	Продолжает гореть	Продолжает гореть

Определение образцов по плотности

Для определения по плотности каждый вид пластмассы поместили в химический стакан с дистиллированной водой. Полученные результаты перенесли в таблицу 3.



ПЭТ в воде



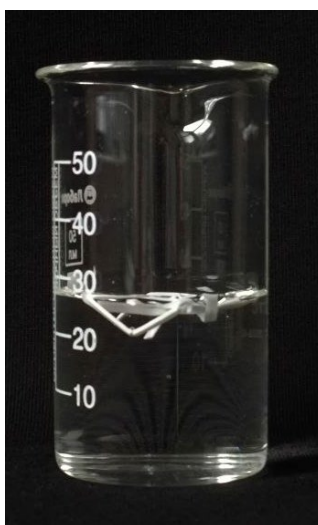
ПВД в воде



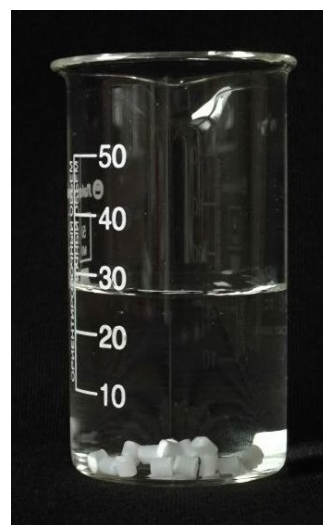
ПВХ в воде



ПНД в воде



ПП в воде



ПС в воде

Таблица 3 – характеристика «плавучести» образцов в воде

Вид пластмассы	ПЭТ	ПВД	ПВХ	ПНД	ПП	ПС
Тонет/ Не тонет	Тонет	Не тонет	Тонет	Не тонет	Не тонет	Тонет

Определение химической стойкости образцов

Для определения химической стойкости подготовили реактивы (растворы KOH, HCl и ацетон) и каждый вид пластмассы поместили в пробирки. В каждую добавили реактивы и в течении суток наблюдали за изменениями. Полученные результаты перенесли в таблицу 4.



ПЭТ в р-ре NaOH



ПЭТ в р-ре HCl



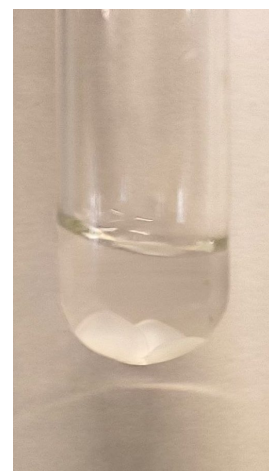
ПЭТ в ацетоне



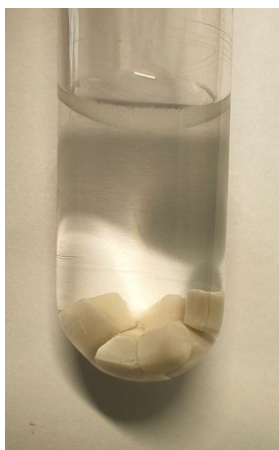
ПВД в р-ре NaOH



ПВД в р-ре HCl



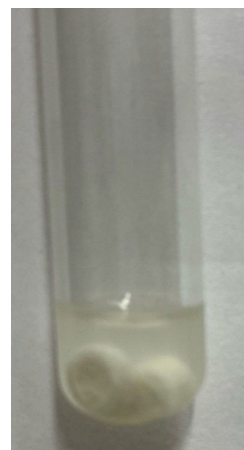
ПВД в ацетоне



ПВХ в р-ре NaOH



ПВХ в р-ре HCl



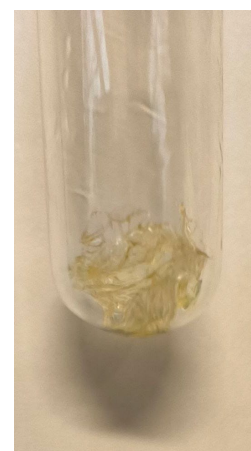
ПВХ в ацетоне



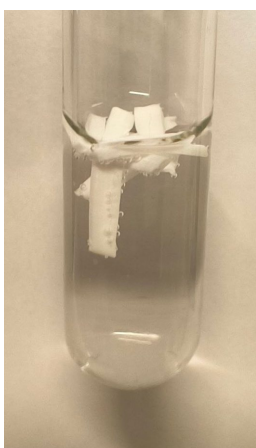
ПНД в р-ре NaOH



ПНД в р-ре HCl



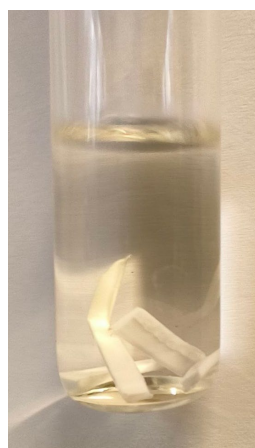
ПНД в ацетоне



ПП в р-ре NaOH



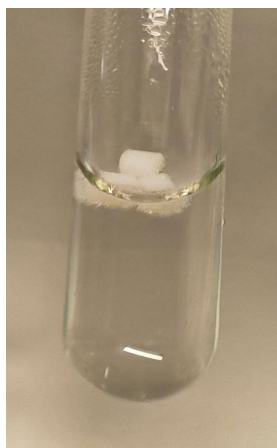
ПП в р-ре HCl



ПП в ацетоне



ПС в р-ре NaOH



ПС в р-ре HCl



ПС в ацетоне

Таблица 4 – Характеристика химической стойкости образцов

Вид пластмассы	ПЭТ	ПВД	ПВХ	ПНД	ПП	ПС
Раствор KOH	Устойчив	Устойчив	Устойчив	Устойчив	Устойчив	Устойчив
Раствор HCl	Устойчив	Устойчив	Устойчив	Устойчив	Устойчив	Устойчив
Ацетон	Помутнел	Устойчив	Набух	Стал рыхлым	Устойчив	Растворился

Создание методики комплексной идентификации пластмасс

По полученным в практической части результатам разработали алгоритм определения каждого изученного пластика в смеси с другими.

Методика определения вида пластмассы:

1 шаг – Все образцы поместить в воду:

- утонувшие образцы – ПЭТ / ПВХ / ПС;
- всплывшие образцы – ПВД / ПНД / ПП.

2 шаг – Утонувшие образцы поместить в ацетон:

- образец помутнел – ПЭТ;
- образец набух – ПВХ;
- образец растворился – ПС.

3 шаг – Всплывшие образцы внести в пламя горелки/спиртовки

- при сжигании парафиновый запах – ПВД / ПНД
- при сжигании сладковатый запах – ПП

4 шаг – Образцы, пахнувшие парафином, поместить в ацетон

- заметных изменений нет – ПВД
- образец стал рыхлым – ПНД

Вывод

Цель была достигнута, все поставленные задачи выполнены, а именно:

1. Были изучены основные классификации полимеров;
2. Были подробнее рассмотрены классификацию пластмасс по коду переработки;
3. Стали знакомы с основными методами идентификации пластмасс;
4. Был проведен ряд аналитических исследований для получения информации о физико-химических свойствах пластмасс;
5. Была разработана методика комплексной идентификации, которую можно использовать в малых пунктах сдачи пластика.

Список источников

1. ЮНЕП отвечает на 10 вопросов о пластиковом загрязнении | Новости ООН: <https://news.un.org/ru/story/2025/05/1464046>
2. Дополнительные главы химии. 10 класс. v1.12 — Сириус.Курсы: <https://edu.sirius.online/#/course/2433>
3. Виды пластика и их применение: маркировка, переработка и полезные свойства - Пластик | Блог Ubirator: <https://ubirator.com/o-kompanii/blog/vidy-plastika-i-ih-primeneniye?ysclid=mi677kmczh452331119>
4. Коды переработки пластиков: расшифровка маркировки с цифрами от 1 до 7: <https://inner.su/articles/kody-pererabotki-plastika-1-7-markirovka-rasshifrovka-cto-mozhno-utilizirovat/>
5. Методы идентификации полимеров: <https://plastinfo.ru/information/articles/220/>
6. Как определить пластик: <https://greenea.ru/greeneapedia/kak-opredelit-plastik/>