

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшекласников
по политехническим дисциплинам для учащихся 9-11 классов

Направление: физика

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЁНОК**

Собянина Юлия Андреевна,

11 класс, МАОУ «Гимназия №1» г. Соликамска

Ябурова Евгения Александровна,

учитель физики, к.п.н.

Пермь. 2022.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Характеристика полиэтилена и его применения.....	5
Выводы по главе 1.....	7
Глава 2. Описание опытов, проведенных с полиэтиленовыми пленками...	8
Выводы по главе 2.....	17
Заключение.....	18
Библиографический список.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных упаковочных материалов на протяжении более полувека была и остается сейчас полиэтиленовая пленка. В современном мире ведется много споров о том, какими достоинствами и недостатками она обладает. На эту тему написано много статей и исследовательских работ. Но однозначного ответа на вопрос о том, наносит ли полиэтилен вред здоровью человека, так и не было найдено.

В рамках проведения данного исследования мы заинтересовались, какими физическими свойствами обладает полиэтилен, ведь вполне очевидно, что именно этими свойствами объясняется его широкая применимость – в этом состоит *актуальность* проводимого *исследования*. Поиск ответа на вопросы: «Какими свойствами обладают полиэтиленовые пленки?», «Одинаковы ли свойства разных видов полиэтилена?», «Какие свойства полиэтилена позволяют использовать его в качестве одного из основных упаковочных материалов?» обусловил выбор *проблемы исследования*.

Цель исследования – экспериментальное изучение физических свойств полиэтиленовых пленок двух основных видов – высокого и низкого давления.

Задачи исследования:

- 1) познакомиться с историей возникновения полиэтилена, его основными характеристиками и применениями;
- 2) рассмотреть классификацию полиэтилена;
- 3) разработать серию экспериментов по исследованию свойств полиэтилена высокого и низкого давления;
- 4) провести опыты по изучению физических свойств полиэтиленовых пленок двух основных видов (ПВД и ПНД);
- 5) провести сравнение полученных в ходе экспериментов результатов.

Объект исследования – полиэтиленовые пленки.

Предмет исследования – физические свойства полиэтилена высокого и низкого давления.

Гипотеза исследования: у полиэтиленов высокого и низкого давления большинство физических свойств окажется сходным, однако, обнаружатся и различия.

В процессе проведения исследовательской работы были использованы следующие *методы*:

- теоретические: анализ источников информации, систематизация собранных сведений;
- эмпирические: наблюдения, опыты, обработка, интерпретация и сравнение полученных в результате экспериментов данных.

Практическая значимость исследования заключается в том, что представленный в работе материал может быть использован учителями физики при проведении опытов по исследованию электропроводности, прочности и

пластичности различных веществ, а также при проведении внеклассных занятий по теме «Свойства упаковочных материалов».

Работа состоит из двух глав, введения, заключения и списка литературы.

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИЭТИЛЕНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

В связи с широким применением пленочных полимерных материалов в различных отраслях промышленности объем их производства неуклонно возрастает. Основные требования, предъявляемые к пленкам – это хорошие физические и химические свойства: термопластичность, высокая химическая стойкость, нерастворимость и отсутствие электропроводности.

Полиэтилен – самая массовая пластмасса в производстве упаковочных материалов (рис. 1). Это один из старейших полимеров, остающийся и сегодня незаменимым для производства специальных пленок, пакетов, контейнеров, канистр и т. п. Вопреки развитию технологий и внедрению новых материалов, значимость полиэтилена не становится меньше, наоборот, спрос на него только увеличивается [4].



Рис. 1

Полиэтилен – это материал, получаемый из этилена (рис. 2). Это термопластичный полимер, который в толстом слое становится непрозрачным. Его химическая структура – это цепочка атомов углерода, к каждому из которых присоединяется по две молекулы водорода.

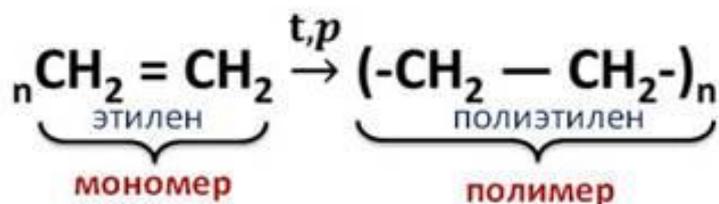


Рис. 2

Впервые полиэтилен был получен в 1898 году немецким химиком Гансом фон Пехманом. Открытие произошло совершенно случайно: когда ученый разогревал диазометан, он обнаружил осадок (похожий на воск) на дне пробирки. Вещество, полученное таким образом, было практически идентично сегодняшнему аналогу. Ученый совершенно не догадывался о значимости этого материала. Спустя время всем известный полиэтилен в своем привычном виде был представлен Эриком Фосета и Реджинальдом Гибсоном [3].

Полиэтилен классифицируется на четыре основных вида:

- *полиэтилен высокого давления (ПВД)* – это эластичный мягкий материал, который получают при полимеризации этилена;
- *полиэтилен низкого давления (ПНД)* – термопластичный полимер, получаемый из нефти;
- *полиэтилен среднего давления (ПСД)* – это жесткий продукт, состоящий из смеси ПВД и ПНД;
- *линейный полиэтилен высокого давления (ЛПВД)* – это эластичный мягкий материал, обладающий самыми высокими физико-химическими показателями [6].

Физические свойства полиэтилена находятся в сильной зависимости от его вида. Менее плотный полиэтилен высокого давления более мягкий, чем полиэтилен низкого давления. Он более эластичный, меньше страдает от разрывов и проколов, однако имеет более низкую температуру плавления. Полиэтилен низкого давления более твердый и прочный ввиду более высокой плотности.

Полиэтилен низкого давления имеет высокую способность к растяжению, стоек к химическим соединениям, не пропускает влагу, обладает высокой теплостойкостью и морозоустойчивостью при сильном охлаждении. Из полиэтилена такого вида изготавливается пищевая и упаковочная пленка, перчатки и изоляционные материалы. ПНД широко используется в кабельной промышленности.

Полиэтилен высокого давления подвержен деформации, отличается высокой химической стойкостью, диэлектричен и морозоустойчив, допускает растрескивание под воздействием нагрузок. В промышленности из ПВД изготавливается тара, упаковка для парфюмерной и пищевой промышленности (бутылки, тубики и др.). Пригоден полиэтилен высокого давления для изготовления контейнеров, труб и деталей трубопроводов.

Цвет полиэтилена: от прозрачного до белого в зависимости от толщины.

Запах полиэтилен не имеет.

Эластичность полиэтилена высокая.

Температура плавления полиэтилена колеблется в пределах от 103 до 132°C: полиэтилен высокого давления плавится в диапазоне температур 103 – 110°C; полиэтилен низкого давления – при температурах 125 – 132°C [5].

Полиэтиленовые плёнки широко используются в различных отраслях промышленности, таких как упаковка пищевых продуктов, промышленных товаров, корма для животных, сельское хозяйство, гигиена, защитная пленка,

упаковка изделий медицинской промышленности, бытовой химии, мебели и строительных материалов. Наиболее широкое применение полиэтиленовая пленка нашла в упаковочной отрасли, а уникальные диэлектрические свойства полиэтилена нашли свое применение в производстве инструмента, защитной и рабочей одежды, кабельной продукции [4].

К главным преимуществам полиэтиленовых плёнок можно отнести:

- удобство при транспортировке (она занимает минимум места);
- высокую прочность (может выдержать сильные нагрузки);
- благодаря своему составу она защищена от негативного воздействия внешней среды;
- ввиду того, что пленка прозрачная, визуально можно увидеть продукцию, которой она обмотана [6].

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Полиэтилен – это материал, получаемый из этилена. Его химическая структура – это цепочка атомов углерода, к каждому из которых присоединяется по две молекулы водорода.

2. Полиэтилен классифицируется на четыре основных вида: полиэтилен высокого давления, полиэтилен низкого давления, полиэтилен среднего давления и линейный полиэтилен высокого давления. Физические свойства полиэтилена находятся в сильной зависимости от его вида.

3. Полиэтилен из-за ряда своих уникальных физических и химических свойств нашел широкое применение в промышленности, главным образом в производстве упаковочной тары.

ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ ОПЫТОВ, ПРОВЕДЁННЫХ С ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМИ ПЛЁНКАМИ

Опишем результаты опытов по исследованию свойств разных видов полиэтилена. Всего было проведено 9 экспериментов, часть из них для наглядного представления подтверждается фотографиями.

Опыт №1. Проверка полиэтилена на электропроводимость.

Оборудование и материалы: вилка, упаковочная пленка, тетрадная обложка, кусочек пищевого контейнера, мультиметр.

Примечание: упаковочная пленка и тетрадная обложка – это полиэтилен низкого давления, а пищевой контейнер – полиэтилен высокого давления.

Ход работы. Прикоснулись мультиметром к металлической вилке. Прибор показал, что металл проводит электрический ток (рис. 3).

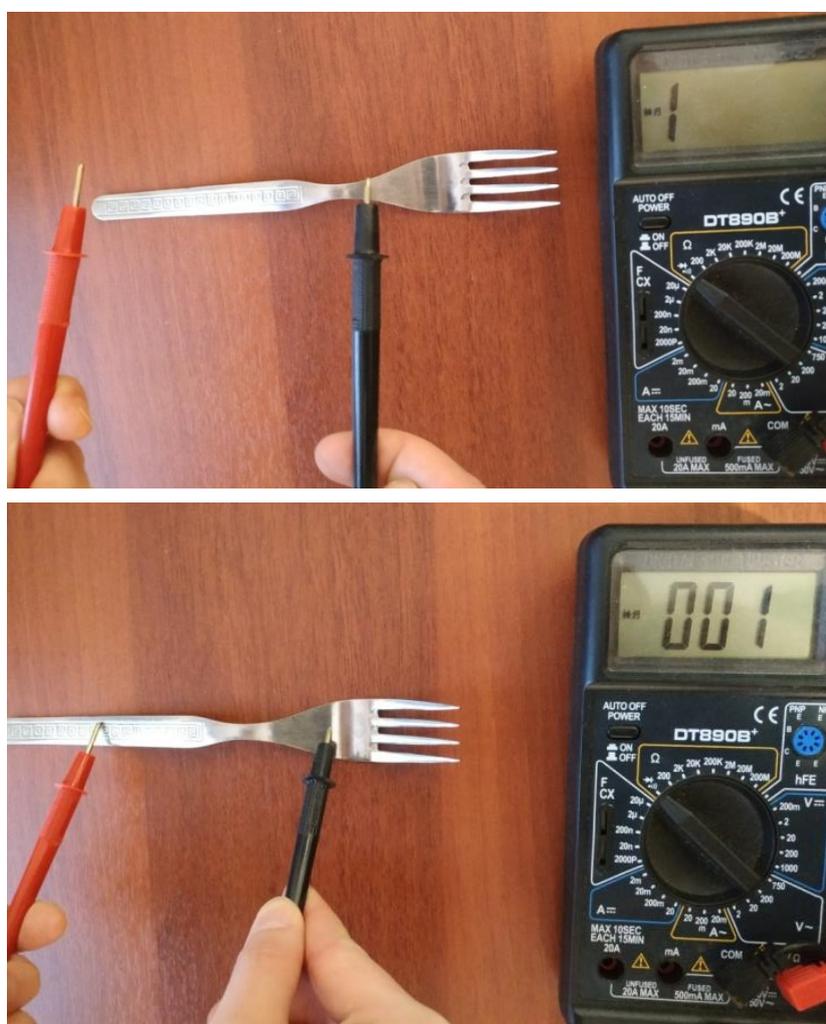


Рис. 3

Затем завернули вилку в упаковочную пленку в один слой и дотронулись до неё прибором. Показания на дисплее мультиметра значительно

уменьшились. Отсюда сделали вывод, что упаковочная пленка слабо проводит электрический ток.

Повторили опыт для тетрадной обложки (рис. 4), а затем для материала одноразового пищевого контейнера. Электропроводимости этих веществ зафиксировано не было. Вероятно, тетрадная обложка обладает достаточной толщиной для того, чтобы не создать условий для протекания тока.

Делаем вывод: ПНД слабо проводит электрический ток, а ПВД является диэлектриком [1].



Рис. 4

Опыт №2. Плавкость и термопластичность полиэтиленовых плёнок.

Оборудование и материалы: упаковочная пленка, тетрадная обложка, кусочек пищевого контейнера, зажигалка, свеча, спички, железный поднос, железные щипцы, кипящий чайник.

Ход работы. Зажгли свечу спичками и в пламя свечи поочередно с помощью щипцов внесли упаковочную пленку, затем тетрадную обложку, затем кусочек контейнера. Отметим, что температура пламени свечи колеблется в пределах от 300 (в нижней части) до 1200°C (в верхней части) [2]. Мы старались помещать предметы в самой верхней части пламени для обеспечения одинаковости температуры.

Все виды полиэтилена со временем стали размягчаться, а затем плавиться. Быстрее процесс размягчения начался у контейнера, с небольшим запозданием у упаковочной пленки. Более длительное время понадобилось тетрадной обложке.

Повторили эксперимент с зажигалкой. Температура огня в зажигалках достигает примерно 800 – 1000°C [2]. Мы экспериментировали с верхней частью пламени, температура которой наибольшая среди всех зон, но меньше, чем в верхней части пламени свечи. Результат эксперимента ничем не отличался от предыдущего (со свечкой).

Провели еще один эксперимент – поочередно помещали разные виды полиэтилена в струю пара от кипящей в чайнике воды. Наблюдали процесс размягчения и упаковочной пленки, и тетрадной обложки, и контейнера,

однако, интенсивнее размягчение произошло у контейнера. Плавления ни у одного из материалов не наблюдалось. Это полностью подтверждает факт, отраженный в главе 1 про температуру плавления разных видов полиэтилена.

В качестве наглядного подтверждения вышесказанного на рис. 5-8 представлены эксперименты с тетрадной обложкой.

Исходя из результатов проведенного опыта, сделали выводы:

- 1) любой вид полиэтилена легкоплавок;
- 2) любой вид полиэтилена термопластичен – при нагревании он не разрушается, а лишь плавится (надо отметить, что именно это свойство широко используется в промышленности);
- 3) более подверженным воздействию высоких температур оказался полиэтилен высокого давления;
- 4) температура плавления различных видов полиэтилена больше 100°C ;
- 5) в размягчённом состоянии полиэтилен любого вида легко меняет форму; при обычной температуре изменить его форму достаточно сложно.



Рис. 5

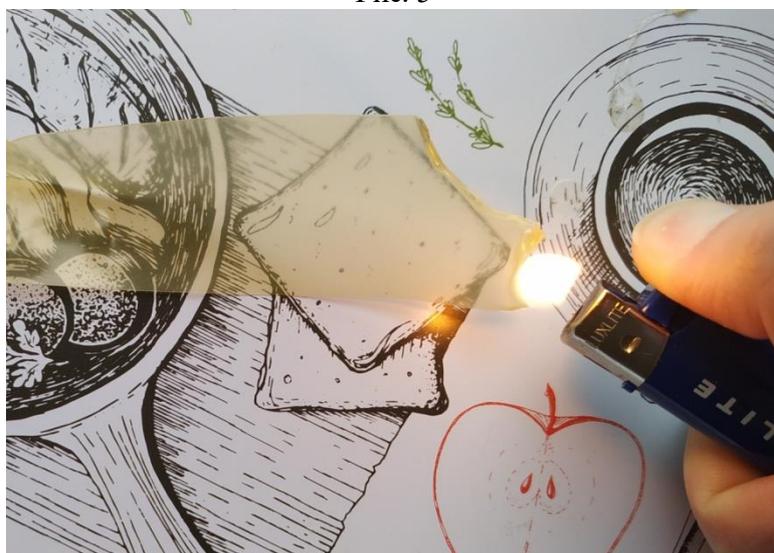


Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8

Во время проведения эксперимента нами были зафиксированы следующие особенности горения полиэтилена:

- ✓ воспламеняемость – полиэтилен является легковоспламеняемым материалом;
- ✓ плавление – во время плавления течет по каплям, хорошо горит;
- ✓ запах – во время плавления явно ощущался запах горящего парафина;
- ✓ цвет пламени – пламя светящееся, вначале голубоватое, потом желтое;
- ✓ наличие копоти – имеется;
- ✓ дым – имеется;
- ✓ самогашение – некоторое время продолжает гореть при удалении из пламени.

Опыт №3. Проверка на водонепроницаемость.

Оборудование и материалы: йод, крахмал, два стакана с водой, полиэтиленовый пакет.

Ход работы. Взяли два стакана с водой и добавили в них йод. В один стакан опустили марлю с крахмалом, а в другой полиэтиленовый пакет с крахмалом. Через некоторое время вода в стакане, в котором находилась марля, окрасилась в синий цвет, а вода в другом стакане своего цвета не поменяла. Таким образом, можно сделать вывод, что полиэтилен водонепроницаем (рис. 9-11).



Рис. 9



Рис. 10



Рис. 11

Опыт №4. Проверка полиэтиленовой пленки на пластичность.

Оборудование и материалы: линейка, упаковочная плёнка, тетрадная обложка, кусочек пищевого контейнера.

Ход работы. Взяли кусочек обложки длиной 22 см (рис. 12) и за противоположные концы потянули в разные стороны. Обложка достаточно хорошо деформируется, ее длина после прекращения действия силы составила 24,5 см. Отметим, что после прекращения деформации обложка в исходное состояние не вернулась (рис. 13).

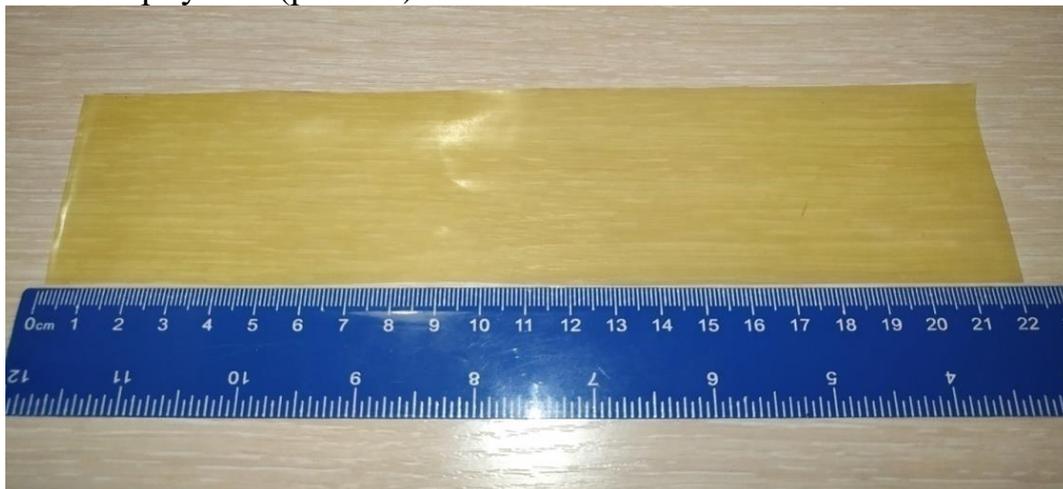


Рис. 12



Рис. 13

Аналогичный опыт провели с упаковочной пленкой. Результаты эксперимента оказались сходными, однако, деформация упаковочной пленки при том же воздействии оказалась чуть меньше, чем тетрадной обложки.

На основании наблюдений сделали вывод, что упаковочная пленка и тетрадная обложка очень пластичны. Напомним, что пластичность – свойство твердых тел изменять форму и размеры под влиянием внешних нагрузок и сохранять ее, когда нагрузки перестают действовать.

Провели опыт для кусочка контейнера. И в этом случае удалось обнаружить его пластичность, хотя деформация была несущественной. При увеличении нагрузки было замечено растрескивание материала контейнера.

Опыт №5. Проверка полиэтиленовой пленки на прочность.

Оборудование и материалы: фасовочный полиэтиленовый пакет, полиэтиленовый пакет для продуктов, вода, стакан.

Ход работы. Для проверки полиэтилена на прочность взяли фасовочный полиэтиленовый пакет и стали постепенно заполнять его водой – сначала налили в него стакан воды, потом 2, потом 3 и т.д. Даже практически целиком заполненный водой пакет не порвался. Это говорит о его высокой прочности.

Провели аналогичный опыт для пакета для продуктов – он выдержал 6,5 литров воды, что также свидетельствует о его высокой прочности.

Опыт №6. Разложение полиэтиленовой пленки в земле.

Оборудование и материалы: упаковочная плёнка, тетрадная обложка, кусочек пищевого контейнера, земля.

Ход работы. Заполнили землей три пустых цветочных горшка. В первый из них поместили кусочки упаковочной пленки, во второй – кусочки тетрадной обложки, в третий – кусочки контейнера. Все предметы разместили в центр горшков, то есть покрыли их толстым слоем земли. Через 1 месяц после начала эксперимента пронаблюдали, в каком состоянии находится полиэтилен – никаких изменений с ним не произошло. Через 3 месяца вновь пронаблюдали за состоянием наших предметов из полиэтилена – они чуть потемнели, при этом признаков разложения замечено не было.

Опыт №7. Исследование полиэтилена на морозоустойчивость и теплостойкость.

Из жизненного опыта нам известно, что полиэтилен обладает высокой морозоустойчивостью – хранимые в полиэтиленовых пакетах и пищевых контейнерах продукты могут длительное время находиться в морозильной камере холодильника и с ними ничего не происходит.

Кроме того, мы знаем, что специальные полиэтиленовые пакеты используются для запекания продуктов в духовых шкафах, следовательно, обладают высокой теплоустойчивостью. Проверим экспериментально, какие виды полиэтилена теплоустойчивы.

Оборудование и материалы: упаковочная плёнка, тетрадная обложка, кусочек пищевого контейнера, специальный пакет для запекания (изготовлен из ПНД), духовой шкаф.

Ход работы. На противне разместили кусочки упаковочной пленки, тетрадной обложки, пищевого контейнера, специальной пленки для запекания. Установили температуру духовки 180°C. По мере нагревания духовки заметили: первым начал размягчаться контейнер (чтобы избежать его возгорания удалили его с противня), затем практически одновременно упаковочная пленка и тетрадная обложка (также удалили их). Пакет для запекания находился в духовке при температуре 180°C в течение 1,5 часов – его размягчения выявлено не было. Это свидетельствует о том, что полиэтилен

низкого давления, из которого изготовлен пакет для запекания, обладает более высокой теплостойкостью.

Дополнительно к вышеописанным экспериментам мы провели два опыта по исследованию химических свойств полиэтилена.

В пробирки с бромной водой и раствором перманганата калия поместили мелкие кусочки полиэтилена (упаковочной пленки, тетрадной обложки и пищевого контейнера). Пронаблюдали, будет ли происходить изменение окраски растворов.

В результате наблюдений установили, что при помещении разных видов полиэтилена в пробирки с раствором $KMnO_4$ и бромной водой не наблюдается никаких изменений, следовательно, эти вещества не действуют на полимер.

В следующем опыте в пробирки с растворами серной кислоты и щелочи поместили измельченные кусочки полиэтилена разных видов (ПНД и ПВД).

Заметили, что и в этом случае не наблюдается никаких изменений, следовательно, полиэтилен устойчив к воздействию химических реагентов.

После серии экспериментов настало время систематизировать и проанализировать собранные сведения, а также найти сходства и различия в свойствах полиэтилена высокого и низкого давления (см. таблицу 1).

Таблица 1. Сходства и различия в свойствах полиэтиленов высокого и низкого давления

<i>Свойства полиэтилена</i>	<i>Полиэтилен высокого давления</i>	<i>Полиэтилен низкого давления</i>
Электропроводимость	Диэлектричен	Слабо проводит электрический ток
Плавкость	Легкоплавок. Легковоспламеняем. При внесении в пламя сначала размягчается, затем плавится; процесс размягчения начинается практически сразу после внесения в пламя. Температура плавления выше $100^{\circ}C$.	Легкоплавок. Легковоспламеняем. При внесении в пламя сначала размягчается, затем плавится; для начала размягчения требуется более длительное время, чем для ПВД. Температура плавления выше $100^{\circ}C$.
Термопластичность	Термопластичен – при нагревании не разрушается, а лишь плавится. В размягчённом состоянии легко меняет форму.	Термопластичен – при нагревании не разрушается, а лишь плавится. В размягчённом состоянии легко меняет форму.
Горение	Горение	Горение

	сопровождается запахом парафина, дымом и копотью. Пламя светящееся, вначале голубоватое, потом желтое. Некоторое время продолжает гореть при удалении из пламени.	сопровождается запахом парафина, дымом и копотью. Пламя светящееся, вначале голубоватое, потом желтое. Некоторое время продолжает гореть при удалении из пламени.
Водонепроницаемость	Водонепроницаем	Водонепроницаем
Пластичность	Пластичен. Материал мягкий и эластичный, хорошо подвержен деформации. При высоких нагрузках обнаруживает растрескивание.	Пластичен. Материал более твердый и более прочный; обладает высокой способностью к растяжению.
Прочность	Прочный	Прочный
Разложение в почве	Длительное время может находиться в земле без разрушения	Длительное время может находиться в земле без разрушения
Морозоустойчивость	Высокая	Высокая
Теплоустойчивость	Низкая	Высокая
Взаимодействие с бромной водой и перманганатом калия	Не взаимодействует	Не взаимодействует
Взаимодействие с растворами серной кислоты и щелочи	Не взаимодействует	Не взаимодействует

Анализ таблицы полностью подтверждает нашу гипотезу – у полиэтиленов высокого и низкого давления много сходных свойств, оба материала:

- термопластичные;
- водонепроницаемые;
- легкоплавкие;
- легковоспламеняемые;
- при внесении в пламя сначала размягчаются, затем плавятся;
- температура плавления выше 100°C;
- горение сопровождается запахом парафина, дымом и копотью; пламя светящееся, вначале голубоватое, потом желтое; некоторое время продолжают гореть при удалении из пламени;
- пластичные;
- прочные;

- длительное время могут находиться в земле без разрушения;
- морозоустойчивы;
- не взаимодействуют с бромной водой, перманганатом калия, серной кислотой и щелочью.

Тем не менее, ряд свойств ПВД и ПНД имеет существенное различие:

- ПВД диэлектрик, ПНД слабо проводит электрический ток;
- у ПВД процесс размягчения начинается практически сразу после внесения в пламя, ПНД для размягчения требуется более длительное время;
- ПВД – материал мягкий и эластичный, хорошо подвержен деформации, при высоких нагрузках обнаруживает растрескивание; ПНД – материал более твердый и более прочный, обладает высокой способностью к растяжению;
- теплоустойчивость ПВД низкая, ПНД – высокая.

Одним из вопросов, которые мы ставили перед собой в начале исследования, был следующий: «Какие свойства полиэтилена позволяют использовать его в качестве одного из основных упаковочных материалов?». Проведенные эксперименты позволяют дать однозначный ответ на него – это прочность материала, его морозоустойчивость, влагонепроницаемость, химическая стойкость, эластичность и высокая способность к растяжению.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Нами было проведено 9 экспериментов, направленных на изучение свойств двух основных видов полиэтилена – полиэтилена высокого давления и низкого давления.
2. У ПВД и ПНД больше сходных свойств, чем различий, что полностью подтверждает гипотезу исследования.
3. Выявленные в ходе опытов свойства позволили объяснить, почему полиэтилен в современном мире используется в качестве одного из самых распространенных упаковочных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная исследовательская работа была посвящена поиску ответа на вопросы: «Какими свойствами обладают полиэтиленовые пленки?», «Одинаковы ли свойства разных видов полиэтилена?», «Какие физические свойства полиэтилена позволяют использовать его в качестве одного из основных упаковочных материалов?».

При написании исследования мы познакомились с историей возникновения полиэтилена, его основными характеристиками и применениями; рассмотрели классификацию полиэтилена; разработали серию экспериментов по исследованию свойств полиэтилена высокого и низкого давления; провели опыты по изучению физических свойств полиэтиленовых пленок двух основных видов и провели анализ и сравнение полученных в ходе экспериментов результатов.

В процессе проведения исследовательской работы мы пришли к следующему выводу: у ПВД и ПНД большинство свойств сходны, однако, есть и такие свойства, которые существенно отличают их друг от друга. Полиэтилен используется в качестве одного из основных упаковочных материалов из-за прочности, морозоустойчивости, влагонепроницаемости, химической стойкости, эластичности и высокой способности к растяжению.

Всё вышесказанное позволяет говорить о том, что поставленная в работе цель достигнута, задачи исследования решены, гипотеза подтверждена.

Исследовательская работа имеет большие перспективы для продолжения, а именно, нам предстоит исследовать химические свойства полиэтилена разных видов для получения наиболее полного представления об одном из основных упаковочных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковтунович, М. Г. Домашний эксперимент по физике. 7-11 классы : пособие для учителя [Текст] / М. Г. Ковтунович. – М. : Гуманитарный изд. центр ВЛАДОС, 2007. – 208 с.
2. Энциклопедический словарь юного физика : Для сред. и ст. шк. возраста [Текст] / Сост. Чуянов В. А. – М. : Педагогика-пресс, 1995. – 334 с.
3. История полиэтилена: неожиданное рождение пластикового пакета [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://article.unipack.ru/21914>, свободный – (11.10.2020).
4. Описание и способы применения полиэтилена [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://stroy-podskazka.ru/polietilen/sposoby-primeneniya/>, свободный – (09.01.2021).
5. Полиэтилен, виды полиэтилена, физические, химические свойства, материалы из полиэтилена [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://101hit.ru/notes/view/articles/474/polietilen-vidy-polietilena-fizicheskie-himicheskie-svoystva-materialy-iz-polietilena/>, свободный – (11.12.2020).
6. Полиэтилен, виды, характеристики, свойства и получение [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://втораяиндустриализация.рф/polietilen-vidyi-harakteristiki-svoystva-i-poluchenie/>, свободный – (15.11.2020).