

---

---

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ШКОЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

---

---

№ 1 2019

Часть 4

**Общероссийский научный журнал для школьников**

Учредитель –  
АНО «Академия Естествознания»

Ответственный секретарь редакции –  
*Нефедова Наталья Игоревна* –  
+7 (499) 709-81-04  
E-mail: office@rae.ru

Почтовый адрес  
г. Москва, 105037, а/я 47  
АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ,  
редакция журнала  
«МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ШКОЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ  
ВЕСТНИК»

Подписано в печать 07.03.2019

Формат 60×90 1/8  
Типография  
Издательский Дом  
«Академия Естествознания»,  
г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Технический редактор  
Нестерова С.Г.  
Корректор  
Галенкина Е.С.

Усл. печ. л. 18,0  
Тираж 500 экз.  
Заказ МШНВ 2019/1

© ИД «Академия Естествознания»

Электронная версия: [www.school-herald.ru](http://www.school-herald.ru)

Правила для авторов: [www.school-herald.ru/rules](http://www.school-herald.ru/rules)

*Главный редактор*

*Стукова Наталья Юрьевна, к.м.н.*

*Зам. главного редактора*

*Бизенков Кирилл Александрович*

*Ответственный секретарь редакции*

*Нефедова Наталья Игоревна*

Журнал «Международный школьный научный вестник» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ЭЛ № ФС 77-67254).

Доступ к журналу бесплатен.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абзалов А.А. (Ташкент), Аблесимов Н.Е. (Новгородская обл.), Абуев К.К. (Кокшетау), Абуталипова Р.А. (Стерлитамак), Авдеева Е.В. (Калининград), Агаркова Л.В. (Ставрополь), Адамян В.Л. (Ростов-на-Дону), Алексеев А.П. (Владивосток), Андрущишин И.Ф. (Алматы), Анисимов В.П. (Тверь), Аничкина Н.В. (Липецк), Анохин А.М. (Стерлитамак), Антоненко Е.Р. (Краснодар), Апухтин А.Ф. (Волгоград), Артеменко М.В. (Курск), Асаул А.Н. (Ленинградская обл.), Асланян И.В. (Ставропольский край), Багрий Е.Г. (Волгоград), Базыльникова О.Ю. (Нефтеюганск), Баишева М.И. (Якутск), Байбародских И.Н. (Курганская область), Байсарина С.С. (Астана), Байтуганов В.И. (Новосибирск), Баубеков С.Д. (Тараз), Бахар Демир (Ататурк), Бейбалаев В.Д. (Махачкала), Бенеш Н.И. (Усть-Каменогорск), Бидарова Ф.Н. (Владикавказ), Бисмильдин Х.Б. (Караганда), Бобохужаев Ш.И. (Ташкент), Бозаджиев В.Ю. (Ростов-на-Дону), Бойко С.В. (Череповец), Бондарев Г.А. (Курск), Борисенко О.А. (Краснознаменск), Бочков П.В. (Норильск), Бошенятов Б.В. (Москва), Брашин Р.М. (Климовск), Брылев В.И. (Геленджик), Буланый Ю.И. (Энгельс), Бурлыков В.Д. (Элиста), Буряченко С.В. (Харьков), Бутенко Е.В. (Ростов-на-Дону), Быков Е.В. (Челябинск), Вадова Л.Ю. (Дзержинск), Вараксин В.Н. (Таганрог), Васильченко А.В. (Благовещенск), Васильев С.И. (Красноярск), Васильева В.С. (Челябинск), Васильева Ю.С. (Самара), Василькова Н.А. (Челябинск), Ветров А.Н. (Санкт-Петербург), Виговская М.Е. (Калининград), Викулина М.А. (Нижний Новгород), Виссарионов С.В. (Санкт-Петербург), Вишневская Г.М. (Иваново), Власенко М.Н. (Москва), Воробьева О.И. (Архангельск), Воронков Ю.С. (Таганрог), Ворфоломеева О.В. (Уральск), Габидуллина Г.Р. (Уфа), Гарус Я.Н. (Ставрополь), Гарькин И.Н. (Пенза), Гераскин А.А. (Омск), Герцен Т.А. (Пермь), Гинис Л.А. (Таганрог), Гичив Н.С. (Каспийск), Гладких В.И. (Москва), Глазунова Л.А. (Тюмень), Голованова Л.Н. (Нижний Новгород), Горбаток С.М. (Москва), Горбунов И.В. (Ногинск), Гусев А.И. (Бийск), Гусейнов Т.К. (Сумгаит), Далингер В.А. (Омск), Данилова О.Р. (Комсомольск-на-Амуре), Данилькевич А.В. (Волгоград), Дарменова Р.А. (Алматы), Дворцова И.В. (Азов), Декана Е.В. (Тула), Дементьев М.С. (Ставрополь), Джакибаева Г.Т. (Алматы), Джумагалиева К.В. (Астана), Дзодзиков М.Э. (Владикавказ), Долгова В.И. (Челябинск), Дроздов Г.Д. (Санкт-Петербург), Дудикова Г.Н. (Алматы), Егоров С.Б. (Москва), Егорова Г.И. (Тобольск), Егорова Ю.А. (Чистополь), Ерещенко М.В. (Ростов-на-Дону), Еркибаева Г.Г. (Шымкент), Ерохин А.Н. (Курган), Ершова И.Г. (Курск), Ершова Н.Г. (Великие Луки), Есаулов В.Н. (Кемеровская обл.), Есина Е.А. (Москва), Ефимова Н.С. (Москва), Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону), Жамулдинов В.Н. (Павлодар), Жаныс А.Б. (Кокшетау), Жарбулова С.Т. (Кызылорда), Жарикова Л.И. (Барнаул), Жданов О.Н. (Красноярск), Жесткова Е.А. (Арзамас), Жижин К.С. (Ростов-на-Дону), Жуков А.В. (Владивосток), Жунусова Ж.Н. (Астана), Загrevский О.И. (Томск), Захарченко А.В. (Томск), Захарьева Н.Н. (Москва), Заярский Д.А. (Саратов), Зобова Л.Л. (Кемерово), Ибраев И.К. (Темиртау), Иванов В.И. (Хабаровск), Иванова О.Н. (Якутск), Ивочкин Д.А. (Смоленск), Иглин А.В. (Ульяновск), Исупова И.В. (Геленджик), Ишукова Е.А. (Таганрог), Кайдакова Н.Н. (Алматы), Калеева Ж.Г. (Орск), Калимбетов Г.П. (Алматы), Каплунович И.Я. (Великий Новгород), Каплунович С.М. (Великий Новгород), Карманчиков А.И. (Ижевск), Касьянова Л.Н. (Иркутск), Кики П.Ф. (Владивосток), Килимник Е.В. (Екатеринбург), Кисляков В.А. (Москва), Ключникова Н.В. (Белгород), Ковалев А.Б. (Москва), Козин В.В. (Омская область), Койгельдина А.Е. (Семей), Коробейников А.В. (Ижевск), Королёв С.А. (Севастополь), Кострица С.Я. (Гродно), Косточенко Л.Н. (Москва), Косточенко М.В. (Москва), Котова Н.И. (Кемерово), Кошелева М.К. (Москва), Краченко А.В. (Владивосток), Крекшева Т.И. (Астана), Крохина Н.П. (Иваново), Крутлов Д.С. (Новосибирск), Крюченко Н.Н. (Геленджик), Кузнецов Н.М. (Апатиты), Кузнецова Е.В. (Набережные Челны), Кулагин А.Ю. (Уфа), Кумпилова А.Р. (Майкоп), Кулешева А.М. (Владикавказ), Курджиев М.Т. (Караचाевск), Курлыгина О.Е. (Москва), Курманбаев С.К. (Семей), Курчаева Е.Е. (Воронеж), Кутебаев Т.Ж. (Астана), Лавров В.Н. (Подольск), Лазутина А.Л. (Нижний Новгород), Лаптева Е.А. (Волгоград), Ларисова И.А. (Муравленко), Латышев О.Ю. (Краснодарский край), Лебедева Г.В. (Великий Новгород), Лебедева Е.Н. (Оренбург), Лелис Е.И. (Санкт-Петербург), Леснянская Л.А. (Забайкальский край), Ликотов Е.Ю. (Тюмень), Логинов В.В. (Нижний Новгород), Лытнева Н.А. (Орел), Магомедов М.М. (Махачкала), Мазина С.Е. (Москва), Мазова С.В. (Оренбург), Майдангалиева Ж.А. (Актобе), Максимов Д.А. (Москва), Маланчук И.Г. (Красноярск), Маль Г.С. (Курск), Мартусевич А.К. (Нижний Новгород), Мартынов Б.В. (Ростов-на-Дону), Масыгин В.Б. (Омск), Махлеева Л.В. (Старый Оскол), Медведев В.П. (Таганрог), Мейрбеков А.Т. (Туркестан), Меркулова Ю.В. (Москва), Микерова Г.Ж. (Краснодар), Миронова С.И. (Якутск), Михайлис А.А. (Ставропольский край), Мишин В.М. (Железноводск), Мозеров С.А. (Балабаново), Молдалиев Э.Д. (Нарын), Мосягина Н.Г. (Тамбов), Моторная С.Е. (Севастополь), Мракин А.Н. (Саратов), Муромцева О.В. (Белгород), Наминова К.А. (Элиста), Напалков С.В. (Арзамас), Наумин Н.И. (Саранск), Нахман А.Д. (Тамбов), Недоруба Е.А. (Ростов-на-Дону), Низовцев Н.А. (Орловская область), Николаева Л.В. (Якутск), Носов А.Г. (Саратов), Нургалеева А.М. (Алматы), Нуртазина М.Б. (Астана), Оганнисян Л.А. (Ростов-на-Дону), Окушова Г.А. (Томск), Оглоблин Г.В. (Комсомольск на Амуре), Олехнович О.Г. (Екатеринбург), Ооржак Х.Д. (Кызыл), Орлов И.И. (Липецк), Пальчикова Н.А. (Новосибирск), Паничкина М.В. (Таганрог), Партоев К. (Душанбе), Пенский О.Г. (Пермь), Першина Т.А. (Волгоград), Петрухина Е.В. (Орёл), Петуров В.И. (Чита), Плотникова Н.А. (Саранск), Половецкая О.С. (Тула), Попов В.В. (Таганрог), Попова Я.А. (Волгоград), Привалова И.Л. (Курск), Прокопенко Л.А. (Нерюнгри), Прокопьев Н.Я. (Тюмень), Пуйлова М.А. (Таганрог), Пучиньян Д.М. (Саратов), Пятин В.Ф. (Самара), Редеев Г.В. (Омск), Резер Т.М. (Ревда), Рогозин М.В. (Пермь), Розен С. (Eilat, Israel), Романова М.М. (Воронеж), Рубцова А.В. (Санкт-Петербург), Рунова Е.М. (Братск), Рыжкова-Гришина Л.В. (Рязань), Савина Н.В. (Омск), Савицкий Р.М. (Ростов-на-Дону), Садыков М.И. (Самара), Сарапулова Г.И. (Иркутск), Семенова Н.Н. (Саранск), Семилетова В.А. (Воронеж), Сергеева Б.В. (Краснодар), Сизов А.А. (Курск), Симонян Р.З. (Курск), Соколова С.А. (Волгоград), Соколова-Попова Т.А. (Красноярск), Соловых Г.Н. (Оренбург), Сопов А.В. (Майкоп), Степанов В.В. (Санкт-Петербург), Степанова О.А. (Семей), Степанова Э.В. (Красноярск), Суегин А.Н. (Ижевск), Суегин С.Н. (Москва), Тарасова А.П. (Белгород), Таршилова Л.С. (Уральск), Татарникова Л.Г. (Санкт-Петербург), Теплухин В.К. (Октябрьский), Теренин А.В. (Елабуга), Томашов В.В. (Ярославль), Третьяк Л.Н. (Оренбург), Трещевский Ю.И. (Воронеж), Трубникова В.В. (Курск), Тукшаитов Р.Х. (Казань), Туманов В.Е. (Черноголовка), Турчина Ж.Е. (Красноярск), Тутолмин А.В. (Глазов), Улимбашев М.Б. (Нальчик), Уразаева Л.Ю. (Сургут), Ухватаева Е.А. (Белгород), Федорова М.А. (Омск), Федок Р.С. (Владивосток), Фомина М.Н. (Чита), Хадарцева К.А. (Тула), Хажиева И.А. (Ургенч), Хачатурова С.С. (Москва), Ховалыг Н.А. (Кызыл), Хромешкин В.М. (Иркутск), Цыренов В.Ц. (Улан-Удэ), Чараева М.В. (Ростов-на-Дону), Чашин Е.А. (Ковров), Черепанов М.А. (Екатеринбург), Чернявская Н.Э. (Белгород), Чижаява Е.В. (Алматы), Чирцов А.С. (Санкт-Петербург), Чистякова А.А. (Магнитогорск), Шаймарданова Л.К. (Люберцы), Шангина А.И. (Екатеринбург), Шапошников В.И. (Краснодар), Шарыпова Н.В. (Шадринск), Шаяхметова В.Р. (Пермь), Шевченко Ю.С. (Ростовская область), Шемятихина Л.Ю. (Екатеринбург), Шерген Н.А. (Ульяновск), Шерешева М.Ю. (Москва), Шибкова Д.З. (Челябинск), Шитов С.Б. (Москва), Шишелова Т.И. (Иркутск), Шнайдер Н.А. (Красноярск), Шнейдер Е.М. (Невинномысск), Шубович А.А. (Волгоград), Шурупова Р.В. (Москва), Шахутлова З.З. (Майкоп), Шуурин К.В. (Мытищи), Юрова К.И. (Москва), Юсупов Ф. (Ургенч), Язева А.Б. (Нальчик), Яковлева Е.И. (Нижний Новгород), Япаров Г.Х. (Уфа), Ясницкий Л.Н. (Пермь).

## СОДЕРЖАНИЕ

**Физика**

СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОМОЩИ ЧТЕНИЮ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗРЕНИЯ <i>Ажмуратова Н.Р., Айналиев Н.З.</i>	494
КАТУШКА ТЕСЛА И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НЕЙ <i>Братчиков А.А.</i>	501
СВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ И БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ <i>Бушман Я.Р.</i>	510
ЕЩЕ РАЗ ОБ ЭФФЕКТЕ МАГНУСА <i>Калиманов И.М.</i>	517
ПРИБОРНЫЙ КОНТРОЛЬ СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА <i>Матвеева С.А.</i>	527
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВИЗОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Редченко В.О.</i>	533
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ СОЗДАНИИ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ <i>Спиридонова М.Н.</i>	543
ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ <i>Фролов М.С.</i>	550
МЫЛЬНЫЕ ПУЗЫРИ КАК ЛАЗЕРНЫЕ МИКРОРЕЗОНАТОРЫ С МОДАМИ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ <i>Шшиацкий М.Н.</i>	560
<b>Химия</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОГО ТЕТРАЭДРА $\text{LiF-LiNO}_3\text{-NaCl-NaNO}_3$ ЧЕТВЕРНОЙ ВЗАИМНОЙ СИСТЕМЫ $\text{Li, Na // F, Cl, NO}_3$ <i>Аксенова С.А.</i>	568
ПО СЛЕДАМ ШЕРЛОКА ХОЛМСА И ДОКТОРА ВАТSONА... <i>Ахмина П.В.</i>	572
ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ХИТОЗАНА В ШКОЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ <i>Галиева Э.И.</i>	581
БИОДИЗЕЛЬ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМЕРЗАНИЯ <i>Громов М.С.</i>	591
ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕДИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ <i>Коробкин А.Д.</i>	601
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО БЕМИТА И КОРУНДА <i>Пасечник Д., Морева М.</i>	610
МЁД – УНИКАЛЬНЫЙ ПРОДУКТ ПЧЕЛОВОДСТВА <i>Рудковский Е.А.</i>	615
ИЗУЧЕНИЕ ПОДЛИННОСТИ ОСНОВНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ <i>Соколова Д.А.</i>	623

## СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОМОЩИ ЧТЕНИЮ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗРЕНИЯ

Ажмуратова Н.Р., Айналиев Н.З.

с. Растопуловка, МБОУ «СОШ им. А. Джанибекова», 8 класс

Руководители: Ракин Г.В., с. Растопуловка, МБОУ «СОШ им. А. Джанибекова», учитель физики;

Разгалиева К.К., с. Растопуловка, МБОУ «СОШ им. А. Джанибекова», учитель биологии

В качестве эпиграфа к данной работе приводится следующее высказывание: «Во время учебы, на одном из семинаров по сенсорным нарушениям, в группе был проведен такой эксперимент: десяти слушателям завязали глаза и отправили самостоятельно выйти из кабинета, пройтись в круговую по знакомому коридору и вернуться обратно в аудиторию, ориентир – стена (за нее можно держаться руками). Идти было страшно, ничего не видно, годами хоженный коридор вдруг удлинился, и вообще стерлись какие-либо границы пространства, а вместе с ним и времени. Мы ощущали себя полностью оторванными от мира и очень беспомощными. А ведь такими и являются слепые и слабовидящие люди. Что им делать в пугающем социуме, как помочь?» [1].

**Актуальность** нашей работы состоит в следующем. На сегодняшний день во всем мире насчитывается около 39 миллионов слепых людей и 124 миллионов человек с плохим зрением. Каждые пять секунд в мире слепнет один взрослый человек, каждую минуту – ребенок.

Помощь таким людям всегда являлась актуальной задачей. Из всех созданных устройств помощи слепым и слабовидящим людям на данный момент наиболее доступными и наиболее распространенными являются два устройства – белая трость и шрифт Брайля.

На сегодняшний день создано большое количество различных устройств, предназначенных для облегчения жизни слепых людей. Однако практически все они по своей цене являются весьма дорогостоящими, что делает их недоступными для большинства людей.

С 1 декабря 2014 года в России действует Федеральный закон № 14 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам социальной защиты инвалидов в связи с ратификацией Конвенции о правах инвалидов». Согласно данному закону в различных госучреждениях, а также в общественном транспорте должна быть осуществлена программа помощи людям с ОВЗ «Доступная среда» [2].

Одним из основных пунктов реализации данной программы является то, таблички со шрифтом Брайля должны быть не только на вывески у входа в учреждение, но и у каждого кабинета.

Однако часто можно заметить то, что выполнение закона в ряде учреждений осуществляется не всегда в полной мере. Возможной причиной возможно является, то, что изготовление одной читаемой таблички со шрифтом Брайля размера А4, стоит не менее 2000 рублей. Кроме того, чтение на шрифте Брайля является не очень легким делом и требует достаточного количества времени для освоения этого навыка.

а



б



Рис. 1. Устройства помощи слепым людям:  
а – белая трость; б – шрифт Брайля



Рис. 2. Современные устройства помощи слепым людям

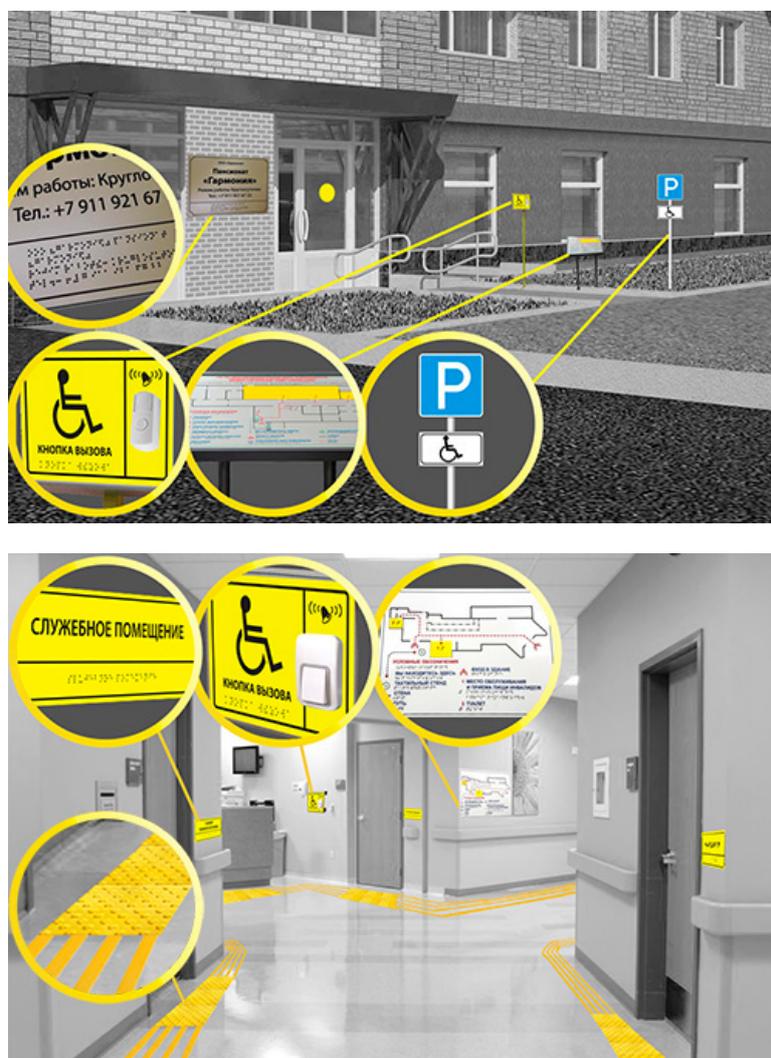


Рис. 3. Пример реализации программы «Доступная среда» в ОУ

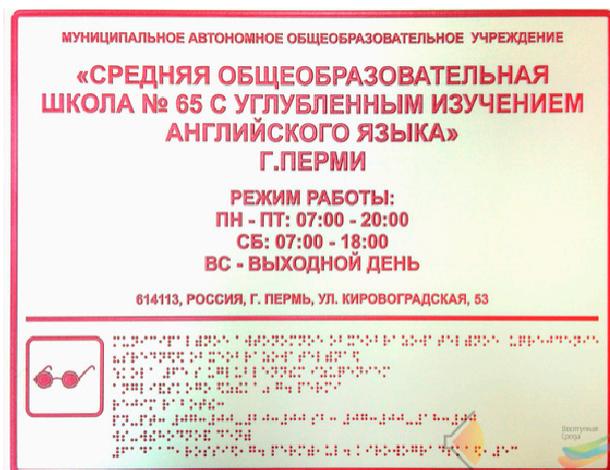


Рис. 4. Пример использования шрифта Брайля на вывески у входа и на табличке у кабинета

Таким образом, **целью** нашей работы является создание устройства помощи чтению для людей с ограниченными возможностями зрения, которое могло бы стать аналогом табличек со шрифтом Брайля. Исходя из поставленной цели, вытекают следующие **задачи**:

1. Изучить имеющуюся информацию.
2. Разработать теоретическую модель устройства.

*a*



3. Создать прототип устройства.

#### Создание устройства помощи чтению для людей с ограниченными возможностями зрения

Первоначально предполагалось использование следующих современных технологий – QR-код и блютуз модуль.

*б*



Рис. 4.  
*a* – QR-код, *б* – bluetooth-модуль

Однако в процессе реализации были выявлены следующие недостатки у QR-кода:

- Необходимость постоянного интернет соединения
- Высокие требования к оборудованию и окружающим условиям
- Проблемы сканирования при повреждении кода, а также у bluetooth модуля:
- Цена оборудования и монтажа
- Необходимость постоянного обслуживания
- Необходимость постоянной подачи питания.

Поэтому было принято решение отказаться от данных технологий.

Впоследствии был разработан прототип устройства, которое состоит из следующих частей:

1. Программно-аппаратный комплекс (ПАК), изготовленный из смартфона
2. VR-очки
3. Пульт дистанционного управления
4. Наушники

ПАК – это смартфон, работающий в режиме «киоска». «Киоск» – это электронное устройство, работающее с одной единственной программой и предоставляющий человеку ограниченный набор возможностей.

Наш прототип имеет следующие преимущества перед названными аналогами:

- Нет необходимости выхода в интернет
- Нечувствительность к искажениям кода
- Создание кода занимает несколько секунд
- Невысокие требования к оборудованию и окружающим условиям (плохое освещение и т. п.)

ПО для ПАК является программа Phonopaper, разработанная в 2014 году Александром Золотовым. Программа PhonoPaper основана на движке программы Virtual ANS – это программный симулятор легендарного советского фотоэлектронного синтезатора АНС.



Рис. 6. Логотип программы PhonoPaper [3]



Рис. 5. Фотография созданного прототипа

На рис. 7 представлен пример кода Phonorapper.

Октава – это музыкальный интервал, в котором соотношение частот между зву-

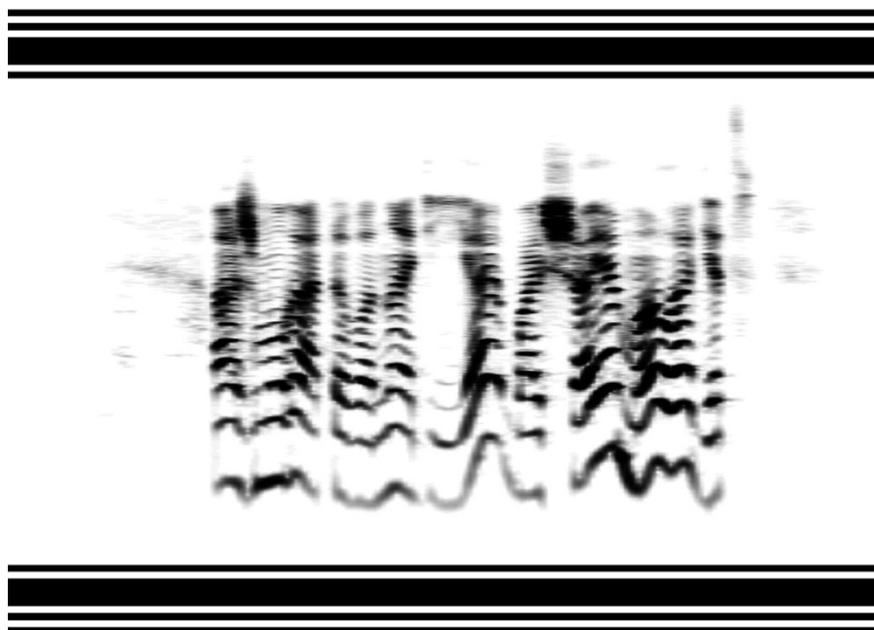


Рис. 7. Пример кода Phonorapper [3]

Как видно на рис. 8, код состоит из 8 октав, с возрастанием частот от низких к высоким снизу вверх.

ками составляет один к двум. Субъективно на слух октава воспринимается как устойчивый, базисный музыкальный интервал. Два



Рис. 8. Спецификация кода [3]

звука, отстоящие на октаву, воспринимаются очень похожими друг на друга, хотя явно различаются по высоте. Интервал октавы охватывает восемь ступеней диатонического звукоряда, например, от «до» до следующего «до» или от «ре» до следующего «ре» и т. д. В элементарной теории музыки (ЭТМ) октава обозначается цифрой 8.

Как же работает данная программа? Рассмотрим это на примере кода Virtual ANS.

Октавы делятся на более мелкие полутона (в одной октаве 6 тонов), а полутона преобразуются генератором в чистые тона – звуковые синусоидальные сигналы. Эти сигналы микшер преобразует в воспринимаемый человеком звук.

#### Апробация устройства

Апробация данного прототипа проводилась в Специальной Коррекционной

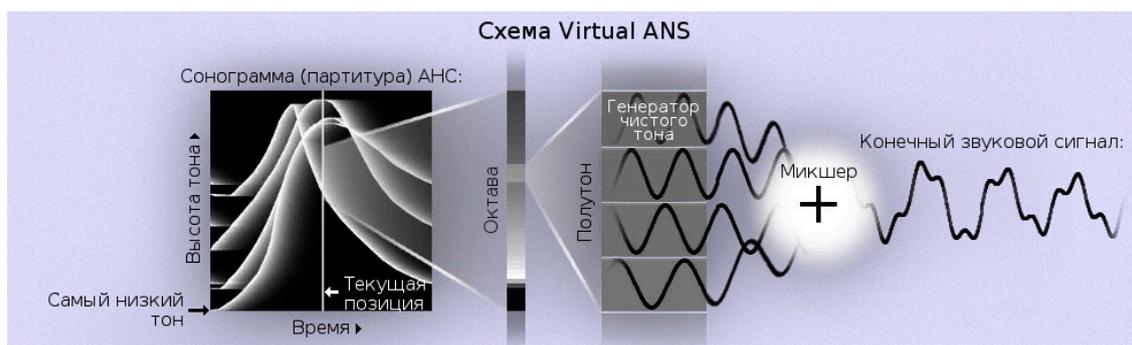


Рис. 9. Схема работы кода программы Virtual ANS [4]

Сканирующая линия «читает» изображение и разделяет его на октавы в зависимости от высоты тона и глубины пикселя.

Общеобразовательной Школе-Интернате для слепых и слабовидящих детей г. Астрахань.



Рис. 10. Апробация устройства в Специальной Коррекционной Общеобразовательной Школе-Интернате для слепых и слабовидящих детей г. Астрахань

Обсуждение получилось очень живым. Сотрудники школы-интерната были очень заинтересованы прототипом. В ходе дискуссии были определены дальнейшие пути усовершенствования устройства.

#### **Заключение**

В результате выполнения работы был разработан прототип устройства чтения для людей с ограниченными возможностями зрения.

Данный прототип имеет ряд преимуществ перед аналогами, одним из которых является гораздо меньшая цена перед аналогами.

Однако стоит отметить, что в дальнейшем планируется проведение работ с целью дальнейшего усовершенствования устройства.

#### **Список литературы**

1. Как помочь слепому ребенку – социализация слепых и слабовидящих [Электронный ресурс] / Сибирский медицинский портал. – URL: <http://www.sibmedport.ru/article/11124-kak-pomoch-slepomu-rebenku-sotsializatsija-slepyh-i-slabovidjashchih/>.
2. Федеральный закон от 1 декабря 2014 г. N 419-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам социальной защиты инвалидов в связи с ратификацией Конвенции о правах инвалидов» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] // Система ГАРАНТ. – URL: <http://base.garant.ru/70809036/#ixzz5WKcF7L9I>.
3. PhonoPaper [Электронный ресурс] // WarmPlace.ru. – URL: [http://warmplace.ru/soft/phonopaper/index\\_ru.php](http://warmplace.ru/soft/phonopaper/index_ru.php).
4. Октава [Электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Октава>.
5. Virtual ANS (спектральный синтезатор) [Электронный ресурс] // WarmPlace.ru. URL: [http://warmplace.ru/soft/ans/index\\_ru.php](http://warmplace.ru/soft/ans/index_ru.php).

## КАТУШКА ТЕСЛА И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НЕЙ

Братчиков А.А.

г. Пенза, МБОУ СОШ «№11 с углубленным изучением предметов гуманитарно-правового профиля», 8 класс

Руководитель: Абросимова М.А., г. Пенза, МБОУ СОШ «№11 с углубленным изучением предметов гуманитарно-правового профиля», учитель физики

Физика – экспериментальная наука. Источником знаний для нее является практическая деятельность: наблюдения, экспериментальные исследования явлений природы.

Однажды у меня перегорел провод у настольной лампы. И я задумался, как бы, не ремонтируя провод, передать энергию прямо в лампу на расстоянии. Я использовал Интернет – ресурсы и книги, чтобы найти информацию о катушке Тесла. Начиная изучать этот вопрос, я наткнулся на статью о Николе Тесла.

«В 1893 году Никола Тесла на всемирной выставке, проходившей в 1893 году в Чикаго, продемонстрировал беспроводное освещение люминесцентными лампами».

Я был впечатлен этими экспериментами и решил собрать катушку Тесла.

Цель исследовательской работы: провести исследования с катушкой Тесла.

### Задачи:

1. Собрать действующую катушку Тесла по ламповой технологии(УТТС).
2. Передать энергию беспроводным путем, используя катушку Тесла.
3. Провести эксперименты с катушкой Тесла.
4. Изучить практическое применение катушки Тесла.

**Гипотеза:** возможность передачи энергии на расстоянии; безопасность разрядов, создаваемых катушкой Тесла, для человека.

**Предмет исследования:** катушка Тесла, собранная по технологии ЛКТ, поля и разряды, генерируемые катушкой Тесла.

### Методы исследования:

1. Эмпирические.
2. Теоретические.

### Этапы исследования:

1. Теоретическая часть: изучение литературы и всевозможных схем и видов катушек Тесла.
2. Практическая часть: конструирование катушки Тесла и проведение экспериментов с ней.

### 1. Катушка Тесла. Устройство и виды

#### История открытия

Трансформатор Тесла, или катушка Тесла, устройство, изобретённое Николой Тес-

ла и носящее его имя, является резонансным трансформатором, производящим высокое напряжение высокой частоты. Прибор был запатентован 22 сентября 1896 года, как «Аппарат для производства электрических токов высокой частоты и потенциала»

История данного изобретения начинается с конца 19 века, когда гениальный ученый-экспериментатор Никола Тесла, работая в США, только поставил перед собой задачу научиться передавать электрическую энергию на большие расстояния без проводов. Указать конкретный год, когда именно пришла к ученому эта идея, вряд ли можно точно, однако известно, что 20 мая 1891 года Никола Тесла выступил с подробной лекцией в Колумбийском университете, где представил сотрудникам Американского института инженеров свои идеи и проиллюстрировал их, показав наглядные эксперименты.

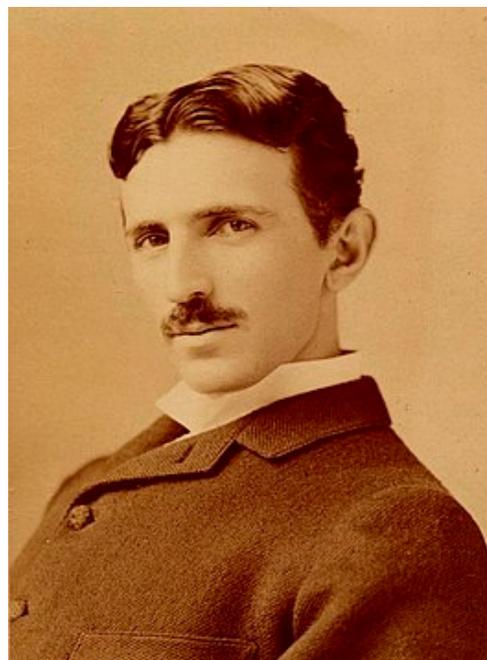


Рис. 1. Н. Тесла

Целью первых демонстраций было показать новый способ получения света посредством использования для этого токов высокой частоты и высокого напряжения,

а также раскрыть особенности этих токов. Справедливости ради отметим, что современные энергосберегающие люминесцентные лампы работают именно на принципе, который как раз и предложил для получения света Тесла.

Окончательная теория относительно именно беспроводной передачи электрической энергии вырисовывалась постепенно. Ученый потратил несколько лет жизни, доводя до ума свою технологию. Много экспериментируя и кропотливо совершенствуя каждый элемент схемы, он разрабатывал прерыватели, изобретал стойкие высоковольтные конденсаторы, придумывал и модифицировал контролеры цепей, но так и не смог воплотить свой замысел в жизнь в том масштабе, в каком хотел.

#### *Принцип работы*

Трансформатор Тесла основан на использовании резонансных стоячих электромагнитных волн в катушках. Его первичная обмотка содержит небольшое число витков и является частью искрового колебательного контура, включающего в себя также конденсатор и искровой промежуток. Вторичной обмоткой служит прямая катушка провода. При совпадении частоты колебаний колебательного контура первичной обмотки с частотой одного из собственных колебаний (стоячих волн) вторичной обмотки вследствие явления резонанса во вторичной обмотке возникнет стоячая электромагнитная волна и между концами катушки появится высокое переменное напряжение.

Работу резонансного трансформатора можно объяснить на примере обыкновенных качелей. Если их раскачивать в режиме принудительных колебаний, то максимально достигаемая амплитуда будет пропорциональна прилагаемому усилию. Если раскачивать в режиме свободных колебаний, то при тех же усилиях максимальная амплитуда вырастает многократно. Так и с трансформатором Тесла – в роли качелей выступает вторичный колебательный контур, а в роли прилагаемого усилия – генератор. Их согласованность («подталкивание» строго в нужные моменты времени) обеспечивает первичный контур или задающий генератор (в зависимости от устройства).

Торроид – это емкость вторичного контура.

#### *Виды катушек Тесла*

Искровая катушка **SGTC (Spark Gap Tesla Coil)** – классическая катушка Тесла – генератор колебаний выполнен на искровом промежутке (разряднике). Для мощных трансформаторов Тесла наряду с обычными разрядниками (статическими) используются более сложные конструкции разрядника.

Полупроводниковая катушка Тесла **SSTC (Solid State Tesla Coil)**, ее генератор выполнен на полупроводниках. Он включает в себя задающий генератор (с регулируемой частотой, формой, длительностью импульсов) и силовые ключи (мощные полевые MOSFET транзисторы). Данный вид катушек Тесла является самым интересным по нескольким причинам: изменяя тип сиг-

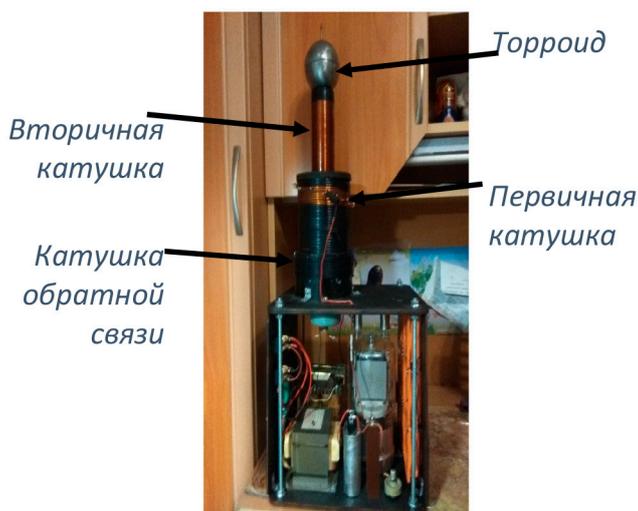


Рис. 2. Элементы катушки Тесла

нала на ключах, можно кардинально изменить внешний вид разряда. Также ВЧ сигнал генератора можно модулировать звуковым сигналом, например музыкой – звук будет исходить из самого разряда. Впрочем, аудио

модуляция возможна (с небольшими доработками) и в VTTC. К прочим достоинствам можно отнести низкое питающее напряжение и отсутствие шумного искрового разрядника, как в SGTC.

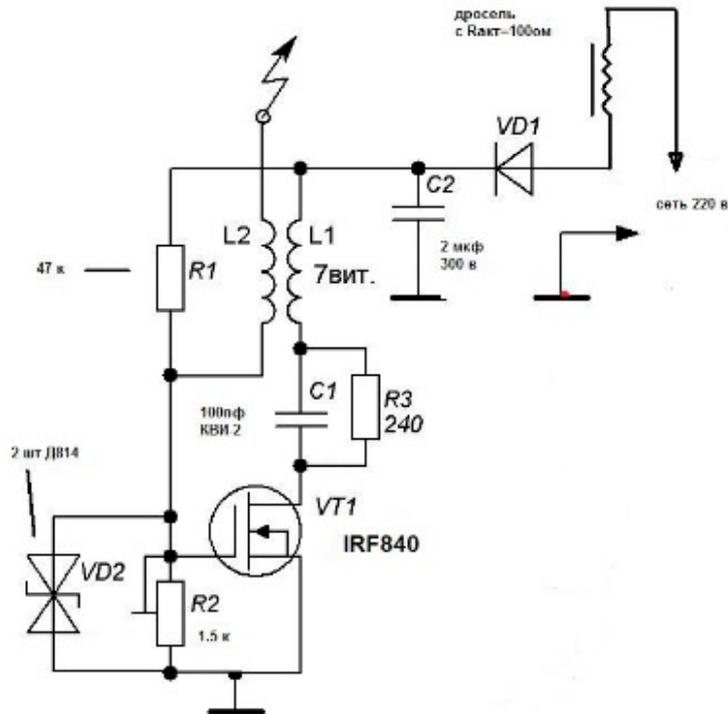


Рис. 3. Схема SGTC

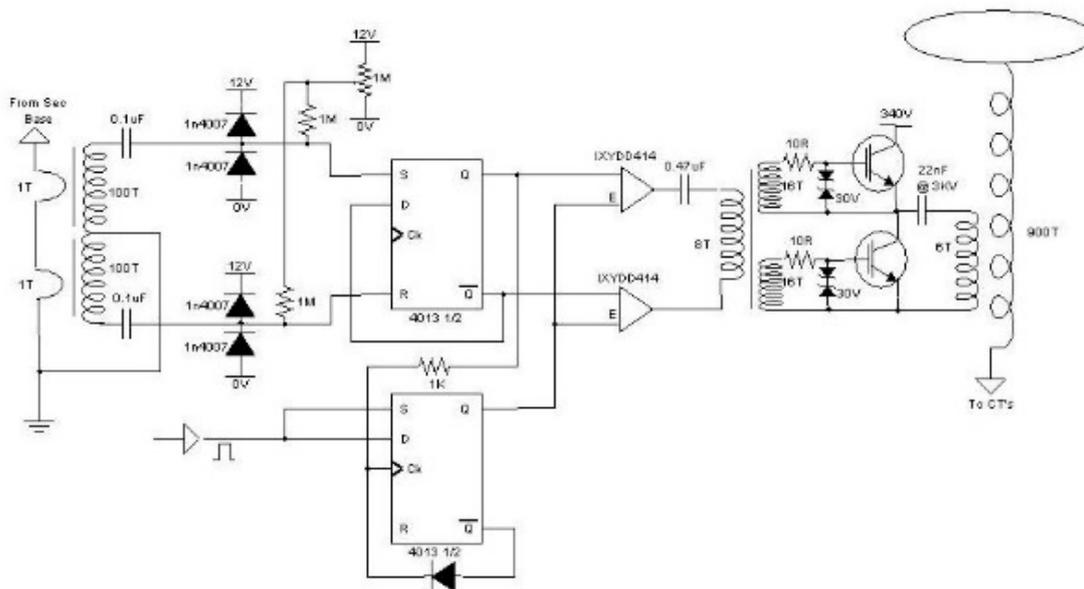


Рис. 4. Схема SSTC

**Полупроводниковая катушка с двойным резонансом DRSSTC (Dual Resonant Solid State Tesla Coil)** За счёт двойного резонанса разряды у такого вида катушек значительно больше, чем у обычной SSTC. Для накачки первичного контура используется генератор на полупроводниковых ключах – IGBT или MOSFET транзисторах.

### Генерирование озона катушкой Тесла

Известно, что молекула кислорода состоит из 2-х атомов:  $O_2$ . При воздействии разрядов катушки Тесла на молекулу кислорода она распадается на два отдельных атома. Однако атом кислорода не может существовать отдельно и стремится сгруппироваться вновь. В ходе такой перегруппи-

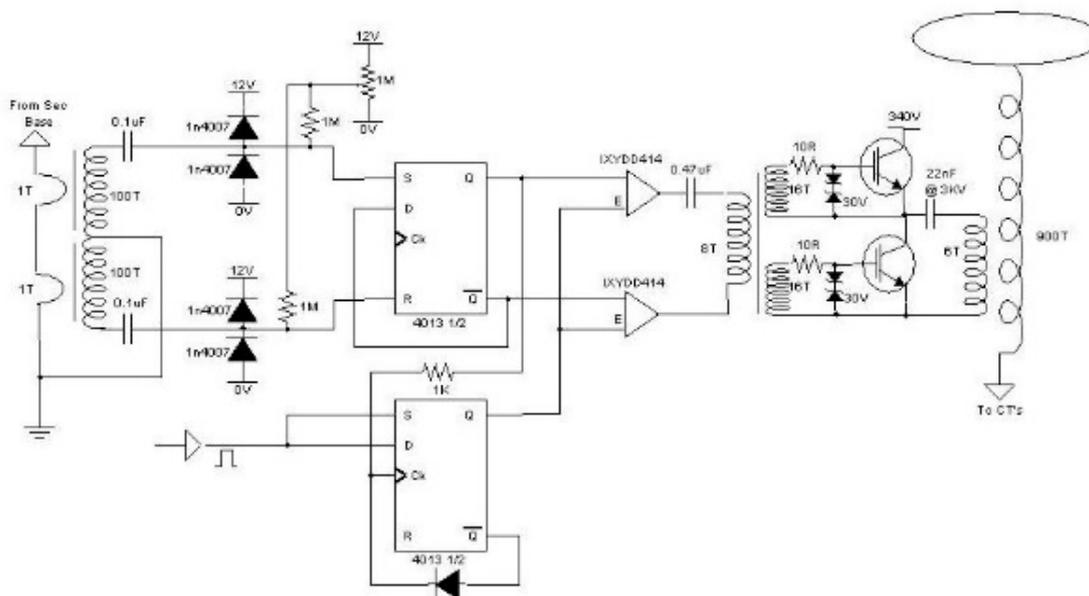


Рис. 5. Схема DRSSTC

В аббревиатурах названий катушек Тесла, питаемых постоянным током, часто присутствуют буквы DC, например DCSGTC.

Ламповая катушка Тесла VTTC (Vacuum Tube Tesla Coil) (рис. ЛКТ). В ней в качестве генератора ВЧ колебаний используются электронные лампы. Обычно это мощные генераторные лампы, такие как ГУ-81, однако встречаются и маломощные конструкции. Одна из особенностей – отсутствие необходимости в высоком напряжении. Для получения сравнительно небольших разрядов достаточно 300–600 Вольт. Также VTTC практически не издает шума, появляющегося при работе катушки Тесла на искровом промежутке.

Полученный озон поднимается в верхние слои атмосферы и затягивает озоновые дыры.

## 2. Действующая катушка Тесла по ламповой технологии (VTTC)

### Описание моей катушки Тесла

Моя катушка Тесла собрана на базе генераторного пентода ГУ-81М по автогенераторной схеме (рис. 6). Пентод – вакуумная электронная лампа с экранирующей сеткой, в которой между экранирующей сеткой и анодом размещена третья сетка, подавляющая динаatronный эффект.

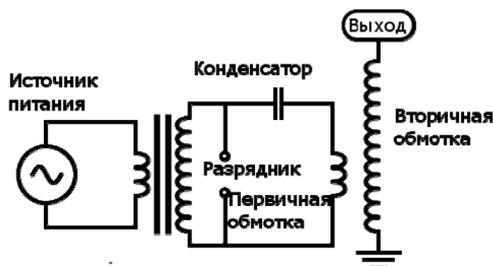


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная

На схеме видно, что лампа подключена как триод, т. е. все сетки лампы объединены в одну: конденсатор C1 и диод VD1, однопериодный удвоитель. Конденсатор C2 нужен, чтобы убирать помехи. Конденсатор C4 и катушка L1 составляют

первый колебательный контур. Катушка L3 и торроид составляют вторичный колебательный контур. Первичная катушка имеет отводы от 30–40 для подстройки резонанса. Вторичная катушка содержит 1100 витков.

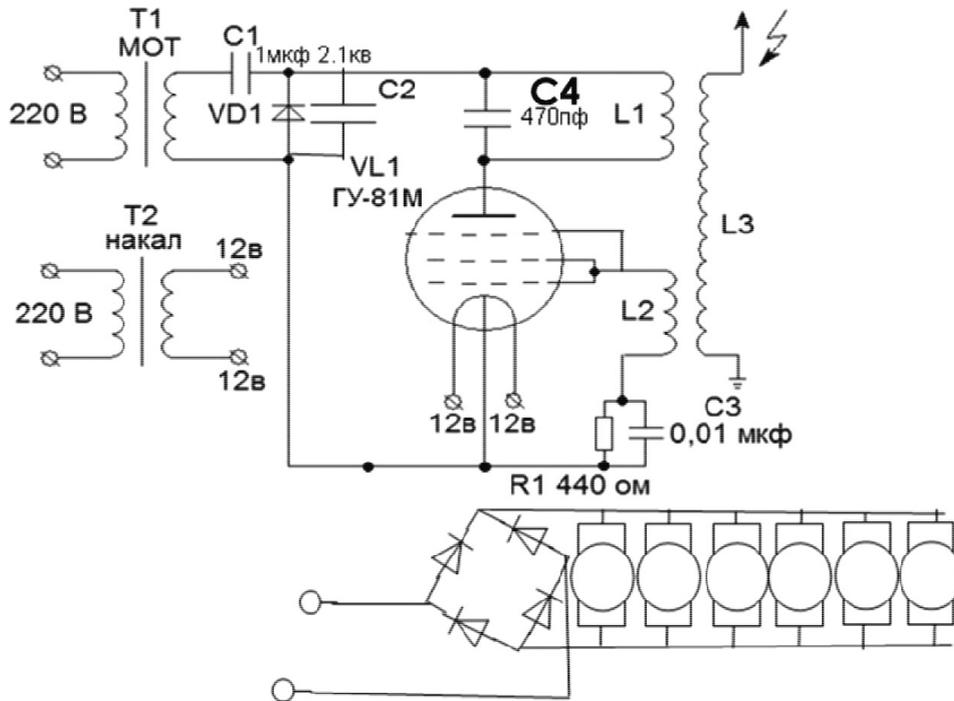


Рис. 7. Промежуточные этапы работы:  
а – расстановка элементов; б – тест на нагревание лампы

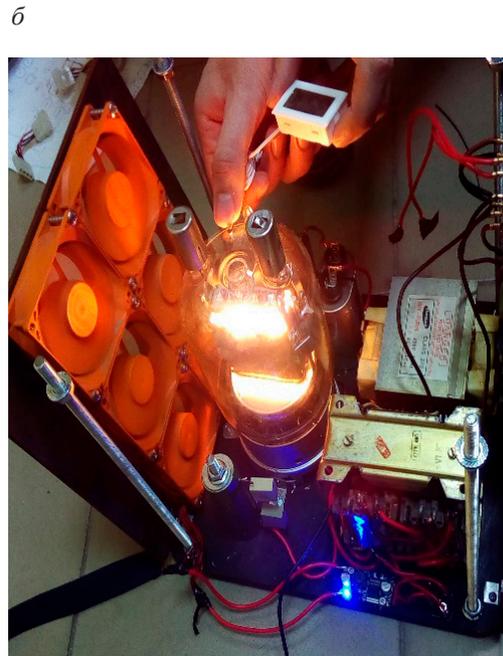
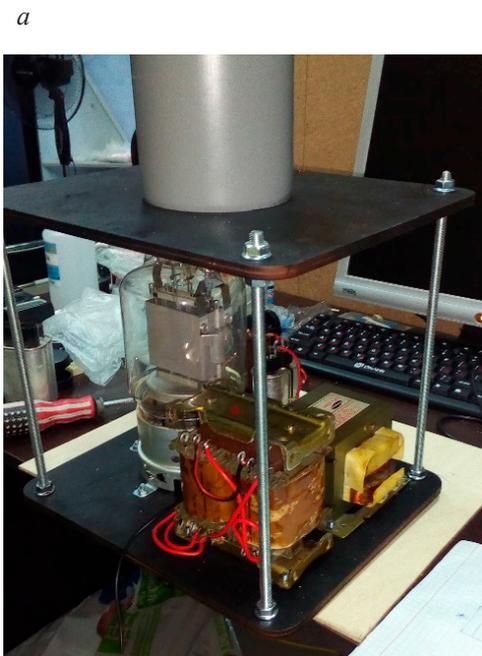


Рис. 7. Промежуточные этапы работы:  
а – расстановка элементов; б – тест на нагревание лампы

*Безопасность катушки Тесла*

Катушка Тесла безопасна для человека, так как частота разрядов очень большая и проявляется скин-эффект. Скин-эффект – эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения вглубь проводящей среды. В результате этого эффекта, например, переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое.

*Параметры катушки Тесла*

Первичный контур.  
 Индуктивность первичного контура  
 $L = 114,63 \text{ мкГн}$   
 Длина намотки первичного контура  
 $l = 16,24 \text{ м}$   
 Пиковый ток в первичного контура  
 $J = 29,44 \text{ А}$   
 Емкость ММС  $C = 690,29 \text{ пФ}$   
 Вторичный контур.  
 Индуктивность вторичного контура  
 $L = 11007,47 \text{ мкГн}$

*Расчет себестоимости*

## Расчёт себестоимости проекта

Таблица 1

№	Наименование	Количество	Цена (руб.)
1	Лампа Гу-81М	1	2440
2	МОТ	1	600
3	КЦ201Е	1	640
4	ТПП 318	1	600
5	Конденсатор 2мкф 2100В	1	250
6	Конденсатор 1000пф 12кВ	1	713
7	Конденсатор 470пф 15кВ	1	778
8	К78–2	4	272
9	Резистор 470 Ом	1	200
10	Вентиляторы	6	300
11	Разъем питания	1	65
12	Шайбы М12	1	80
13	Шайбы М8	16	50
14	Провода	1	50
15	Клеммы под винт М5	25	30
16	Клеммы штырьковые	40	20
17	Фанера	6	200
18	Шпильки	4	80
19	Гайки	16	55
20	Краска	1	150
21	Лак полиуретановый	1	270
22	Проволока медная 0.25мм	1	200
23	Проволока медная 2.5мм	1	600
24	Труба 50 см	1	50
25	Труба 110 см	1	90
26	Зажим «крокодил»	1	17
27	Переключатель	2	130
28	Диодный мост	1	30
	Итого		8960 руб.

Собственная емкость вторичного контура  $C = 4,3$  пФ

Длина провода вторичного контура  $l = 185,85$  м

Число витков вторичного контура  $N = 1160$  шт

Активное сопротивление вторичного контура  $R = 43,06$  Ом

Добротность вторичного контура  $Q = 908$

Емкость тороида  $C = 2,88$  пФ

Частота LC-резонанса  $\nu = 565,79$  кГц

Частота 1/4-резонанса  $\nu = 403,54$  кГц

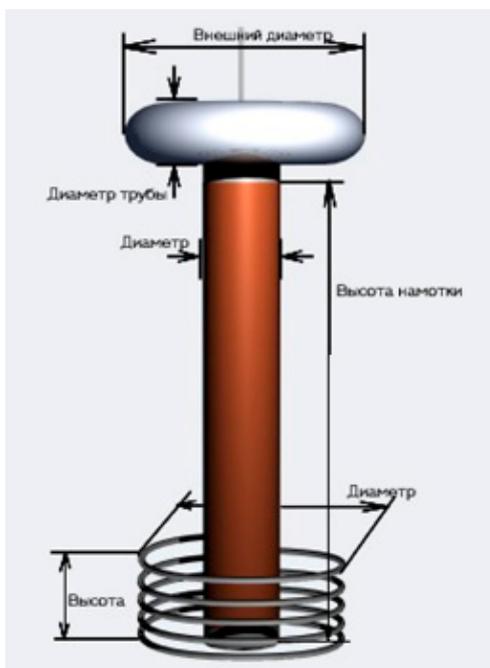


Рис. 8. Параметры катушки Tesla

### 3. Экспериментальные опыты применения катушки Tesla

#### Эксперимент №1. Демонстрация разряда в люминесцентной лампе

Оборудование: катушка Tesla, люминесцентная лампа

Как писал Tesla, при определенной частоте колебаний разряженный воздух проводит ток так же или даже лучше, чем медный провод. Конечно, это было бы невозможно, если бы отсутствовала единая волновая среда («эфир»). В отсутствие воздуха эфир становится чистым проводником, тогда как воздух только мешает, поскольку является изолятором.

Большая люминесцентная лампа загорается на расстоянии 39 см. Маленькая люминесцентная лампа загорается на расстоянии 30 см.



#### Эксперимент №2. Демонстрация газовых разрядов из предмета, находящегося в поле катушки Tesla

Оборудование: катушка Tesla, отвертка.  
При внесении отвертки в поле катушки Tesla, происходит появление разряда из проволоки в сторону тороида.



#### Эксперимент №3. Демонстрация действия катушки Tesla на лампу накаливания

Оборудование: катушка Tesla, лампа накаливания.

Лампа с нитью накаливания загорается, т.к. в нити возникает электричество за счёт создающегося переменного магнитного поля рядом, от катушки Tesla нить нагревается.



*Эксперимент №4. Демонстрация разряда в неоновой лампе*

Оборудование: катушка Tesla, неоновая лампа. При внесении неоновой лампы в поле действия катушки Tesla загорается разряд внутри лампы на расстоянии до 50 см.

Неоновая лампа загорается на расстоянии 38 см.

Оборудование: катушка Tesla, рука с напальчниками из фольги.



При внесении руки с напальчниками из фольги в поле катушки Tesla происходит появление разряда с напальчников в сторону тороида.

#### *Измерение расстояния от катушки Tesla*

Я измерил расстояние от лампы до катушки Tesla и освещённость от лампы.

**Таблица 2**

Предельные расстояния от катушки Tesla, на котором загораются лампы и освещённости лампы.

№	Название лампы	Расстояние (см)	Освещённость (lx)
1	Большая люминесцентная	39	20
2	Маленькая люминесцентная	30	5
3	Неоновая	38	2



*Эксперимент №5. Разряды из руки*

#### **Заключение**

Я построил катушку Tesla по ламповой технологии (VTTC). Провел эксперименты и убедился опытным путем, что передача энергии на расстоянии возможна, так

же я доказал, что разряды, создаваемые катушкой Тесла, безопасны для человека и не могут нанести вред. К выходной катушке можно прикасаться рукой, так как при протекании тока высокой частоты заряды текут только по поверхности проводника, не трогая сердцевину.

#### Список литературы

1. Гендельштейн Л.Э., Кайдалов А.Б. Физика 8 класс: учебник для общеобразовательных учреждений / Мнемозина, 2012.

2. Сворень Р.А. Электроника шаг за шагом.
3. Монк С., Шерц П. Электроника теория и практика.
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Трансформатор\\_Теслы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Трансформатор_Теслы).
5. <http://school-herald.ru/ru/article/view?id=530>.
6. <http://govorim-vsem.ru/viewtopic.php?t=70199>.
7. <https://infourok.ru/issledovatel'skaya-rabota-po-teme-katushka-tesla-demonstraciya-neveroyatnih-svoystv-elektromagnitnogo-polya-katushki-tesla-1014207.html>.
8. <http://cxem.net/tesla/tesla3.php>.
9. <https://elektro.guru/osnovy-elektrotehniki/katushka-tesla-svoimi-rukami.html>.
10. <http://flyback.org.ru/>.

## СВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ И БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Бушман Я.Р.

МОБУ «Гимназия №14», II класс

*Руководитель: Казанцева М.Б., МОБУ «Гимназия №14», учитель математики и физики*

Электричество играет порой невидимую, но жизненно важную роль в существовании многих организмов, включая человека. Например, кость живого организма обладает пьезоэлектрическими свойствами, поэтому ее деформация сопровождается возникновением электрического поля. Вследствие этого важную роль в саморегуляции нагрузки на кость играют изменения электрического поля в костной ткани. [2] Нам показалось интересным и возникновение нервного импульса и его поступление в головной мозг, обусловленное электрическими процессами в организме, поэтому мы хотим попытаться рассмотреть данный процесс в своей работе.

Безусловно, сердце является одним из важнейших органов жизнедеятельности организма, а один из главных показателей работы сердца – давление, с которым оно нагнетает кровь в сосуды. [2] Процесс этот сложный для понимания с биологической точки зрения, то я попыталась разобраться в нем, проведя сравнение его с движением жидкостей и газов по трубам.

Кроме того, при прочтении инструкций по применению лекарственных препаратов я не раз обращала внимание на слова «фармакодинамика» и «фармакокинетика» и это навело меня на мысль, что физика с биологией тесно связана.

Цель: показать взаимосвязь физики и биологии на примере некоторых процессов в живых организмах.

Задачи:

1. Изучить процесс поступления нервного импульса в головной мозг с физической и биологической точки зрения;
2. Провести аналогию между движением жидкостей и газов по трубам и движением крови и газов по кровеносным сосудам;
3. Применение полученных знаний на практике.

### 1. Живое электричество

Какова природа сигналов, передающихся от клетки к клетке по нервным волокнам?

В настоящее время природа нервного импульса раскрыта: это удивительно тонкий электрохимический процесс, в основе которого лежит перемещение ионов через оболочку клетки. Так как живой организм на 80% состоит из воды, то с точки зрения физики мы рассмотрим возникновение, про-

текание и поддержание в течение длительного времени электрический ток в электролитах.

#### 1.1. Электрический ток в жидкостях.

Атомы, потерявшие один или несколько наружных электронов, а также молекулы, в состав которых входят такие атомы, называются положительными ионами. Атомы или молекулы, имеющие лишние электроны, называются отрицательными ионами.

#### Ионы в электролитах

Что происходит в растворах солей или кислот, в газах, когда в них движутся электрические заряды?

Дистиллированная (химически чистая) вода почти не проводит электрический ток, но стоит в ней растворить немного какой-нибудь кислоты или соли, то раствор ток проводить начнет. Как это объяснить? Как объяснить также, что в отличие от металлов электрический ток в растворах кислот и солей связан с переносом вещества?

Данные явления наблюдаются вследствие диссоциации – процесса распада молекул на положительно заряженные и отрицательно заряженные ионы. Электролит – это жидкий проводник, носителями зарядов в котором являются положительные и отрицательные ионы. Наличием ионов и объясняется электропроводность растворов электролитов.

При повышении температуры электропроводность электролитов возрастает. Это можно объяснить тем, что при высокой температуре вязкость жидкостей (Вязкость (внутреннее трение) – одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой) уменьшается и ионы приобретают большую подвижность. Итак, ток в электролитах осуществляется движением ионов (положительных – к катоду, отрицательных – к аноду). Проводники такого рода называются ионными проводниками [5].

#### 1.2. Распространение нервных импульсов

В начале XX века между учеными велся спор, каким способом передается сигнал от одной нервной клетки на другую. Одни считали, что электрический заряд, пробежав

по одному нервному волокну, передается на другое по каким-то более тонким «проводам». Их оппоненты утверждали, что существуют вещества, которые переносят сигнал от одной нервной клетки к другой. В принципе, обе стороны оказались правы: *существуют химические и электрические синапсы*. Однако сторонники второй гипотезы оказались «правее» – *химические синапсы преобладают в организме человека*. [3]

Нервная ткань – совокупность связанных между собой нервных клеток (нейронов, нейроцитов) и вспомогательных элементов (нейроглии), которая регулирует деятельность всех органов и систем живых организмов. Это основной элемент нервной системы, которая делится на центральную (включает головной и спинной мозг) и периферическую (состоящую из нервных узлов, стволов, окончаний).

Строение нервной ткани. Основная структурная единица – это нейрон. Он имеет тело – перикарион, в котором находятся ядро, органеллы и цитоплазма и несколько отростков (рис. 1). Именно отростки являются отличительной чертой клеток этой ткани и служат для переноса возбуждения. Длина их колеблется от микрометров до 1,5 м. Тела нейронов также различных размеров: от 5 мкм в мозжечке, до 120 мкм в коре головного мозга.

Строение аксона. Начинается он от тела нейрона аксонным холмиком, на всем протяжении не разветвляется и только в конце разделяется на ветки. Аксон – это длинный отросток нейрона, который выполняет передачу возбуждения от перикариона.

Строение дендрита. У основания тела клетки он имеет конусообразное расширение, а дальше разделяется на множество веточек (этим обусловлено его название, «дендрон» с древнегреческого – дерево). Дендрит – это короткий отросток и необходим для трансляции импульса к соме (телу клетки). [7]

Передача импульсов в клетках осуществляется с помощью натрий-калиевого насоса.

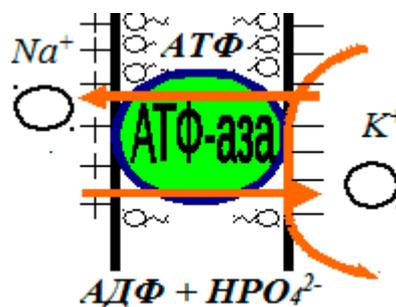


Рис. 2. Натрий-калиевый насос

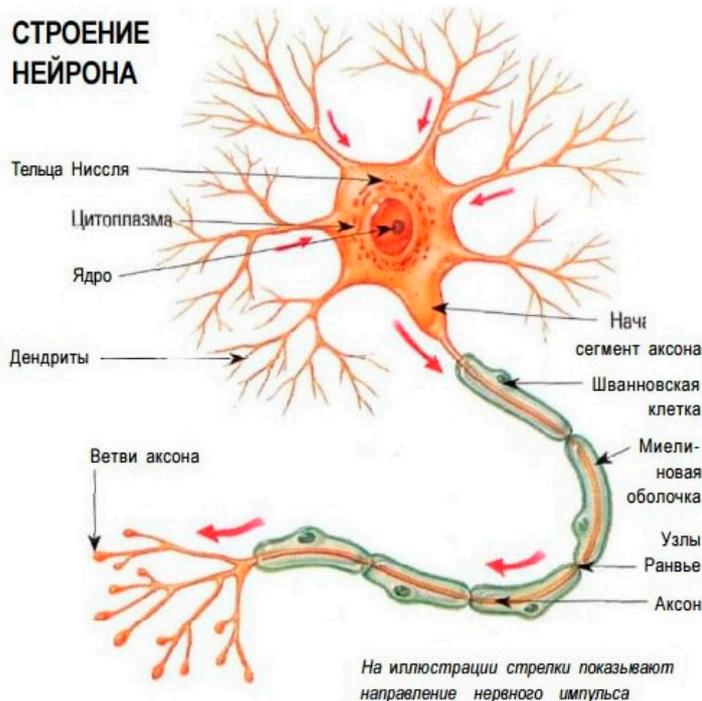


Рис. 1. Строение нейрона

Вследствие дисбаланса переносимых электрических зарядов внутренняя поверхность мембраны заряжается отрицательно, а внешняя – положительно. Ионы  $K^+$  и  $Na^+$  активируют аденозинтрифосфатазу (АТФ-аза) клеточных мембран, обеспечивающую энергией калий-натриевый насос (рис. 2). Активация других ферментов за счет ионов  $K^+$  и  $Na^+$  заключается в поддержании фермента в функционально активном состоянии. Эти ионы оказывают существенное влияние на деятельность центральной нервной системы (ЦНС). [4]

В процессе передачи нервного импульса важную роль играет нейромедиатор ацетилхолин. Ацетилхолин (рис. 3) производится в нервных клетках из холина и ацетилкофермента-А (ацетил-КоА).

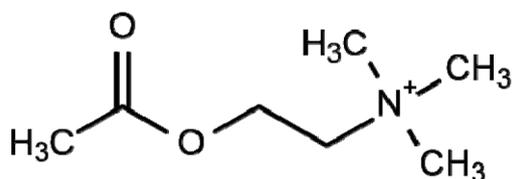


Рис. 3. Структура молекулы ацетилхолина

Рецепторы ацетилхолина делятся на две группы – мускариновые и никотиновые. Стимуляция мускариновых рецепторов приводит к изменению метаболизма в клетке через систему G-белков\* (метаболические рецепторы), а воздействие на никотиновые – к изменению мембранного потенциала (ионотропные рецепторы). Это происходит благодаря тому, что никотиновые рецепторы связаны с натриевыми каналами на поверхности клеток. [3]

## 2. Движение жидкостей

Какие же силы определяют движение жидкости?

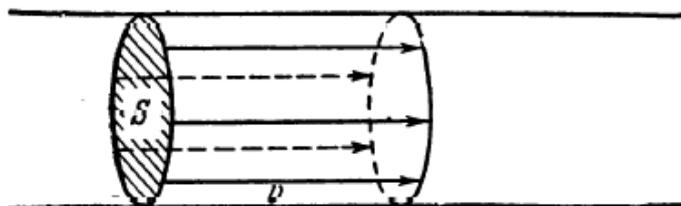


Рис. 4. В стационарном потоке расход жидкости  $Q = Sv$

### 2.1. Движение жидкостей и газов по трубам

Рассмотрим движение жидкостей и газов по трубам.

Жидкость в трубе или при обтекании твердых тел при течении с малыми скоростями течет слоями, скользящими друг по другу. Такое течение называется ламинарным.

При увеличении скорости течения характер течения меняется. Слои непрерывно перемешиваются, возникают области вихревого, вращательного движения. Такое течение называется вихревым или турбулентным.

#### Стационарный поток

Поток, в котором скорость жидкости или газа в данной точке пространства не меняется, называется стационарным. Жидкость в стационарном потоке течет по неизменным линиям, называемыми «линиями тока». При больших скоростях течения поток уже не является вполне стационарным из-за образования вихрей, но вдали от твердых тел и стенок трубы в ряде случаев мы можем этим пренебречь. Рассмотрим теперь стационарный поток жидкости (или газа) в трубе. Можно ввести понятие «расхода жидкости». Это, по определению, объем жидкости, протекающей мимо какой-либо точки трубы в единицу времени. Обозначим площадь поперечного сечения трубы  $S$ , скорость течения жидкости  $v$  (рис. 4). За одну секунду мимо отмеченной на трубе точки протекает объем жидкости, имеющий форму цилиндра с основанием  $S$  и с высотой  $v$ . Объем этого цилиндра, т. е. расход жидкости,  $Q = Sv$  (единица измерения –  $m^3/c$ ). Если жидкость несжимаема, то объем втекающей в трубу жидкости равен объему вытекающей, поэтому величина расхода ( $S$  – величина постоянная вдоль трубы, даже если труба имеет переменный диаметр  $D$ ). В более узких местах скорость течения возрастает по формуле

$$v = \frac{Q}{S} \left( s = \frac{\pi D^2}{4} \right).$$

Подчеркнем, что разная скорость в разных точках трубы не противоречит тому, что течение стационарно – лишь бы скорость не менялась во времени в данной точке трубы.

*Связь между давлением и скоростью в стационарном потоке*

Обратимся теперь к распределению давления в разных точках жидкости при стационарном течении жидкости по трубе переменного сечения (рис. 5).

жидкости через узкую часть трубы в широкой части трубы возникает повышение давления, связанное с инерцией жидкости.

Связь давления и скорости, объясненная нами с помощью второго закона Ньютона, конечно, находится в согласии с законом сохранения энергии [5].

Движение жидкостей и газов по трубам также объясняется законом Бернулли:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const};$$

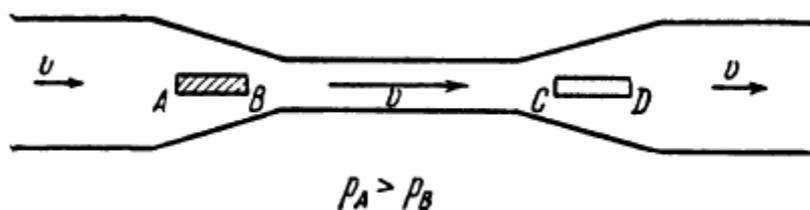


Рис. 5. Зависимость давления от скорости в стационарном потоке

Рассмотрим движение некоторого объема жидкости в трубе переменного сечения. В сужающейся части трубы выделенный объем движется ускоренно, в расширяющейся части – замедленно. По второму закону Ньютона тело массы  $m$  испытывает ускорение  $a$ , если на него действует сила:

$$F = m a.$$

В нашем случае  $m$  есть масса выделенного объема жидкости,  $a$  – ускорение. Сила  $F$  есть разность сил давления, действующих на заднюю (по ходу движения) поверхность выделенного объема и на переднюю поверхность:

$$F = p_A S - p_B S,$$

где  $S$  – величина задней и передней поверхности выделенного объема. На рисунке выделен объем около оси трубы в виде цилиндра или призмы. Конечно, такая форма выделенного объема сохраняется в трубе переменного сечения очень малое время, но для нашего рассуждения это не существенно.  $p_A$  и  $p_B$  – давление в точках  $A$  и  $B$ . Очевидно, в сужающейся части трубы ускорение и сила направлены вперед и давление в точке  $A$  больше давления в точке  $B$ . Аналогично для расширяющейся части трубы давление больше в точке  $D$ , чем в точке  $C$ . Мы можем сказать, что при проталкивании

здесь  $\rho$  – плотность жидкости;  $v$  – скорость потока;  $h$  – высота, на которой находится рассматриваемый элемент жидкости;  $p$  – давление в точке пространства, где расположен центр массы рассматриваемого элемента жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

Аналогия с уменьшением давления в суженной части трубы струи жидкости или газа прослеживается в движении крови по сосудам.

*Движение крови в кровеносных сосудах*

Гемодинамика – один из разделов биомеханики, изучающий законы движения крови по кровеносным сосудам. Задача гемодинамики – установить взаимосвязь между основными гемодинамическими показателями, а также их зависимость от физических параметров крови и кровеносных сосудов.

К основным гемодинамическим показателям относятся давление и скорость кровотока.

Скорость кровотока через сосуды сейчас определяют чаще всего с помощью двух методов: электромагнитного метода и метода разведения индикатора.

Режимы течения крови, как и жидкости, разделяют на ламинарное и турбулентное.

Рассмотрим подробнее движение крови в кровеносной системе организма (рис. 6).

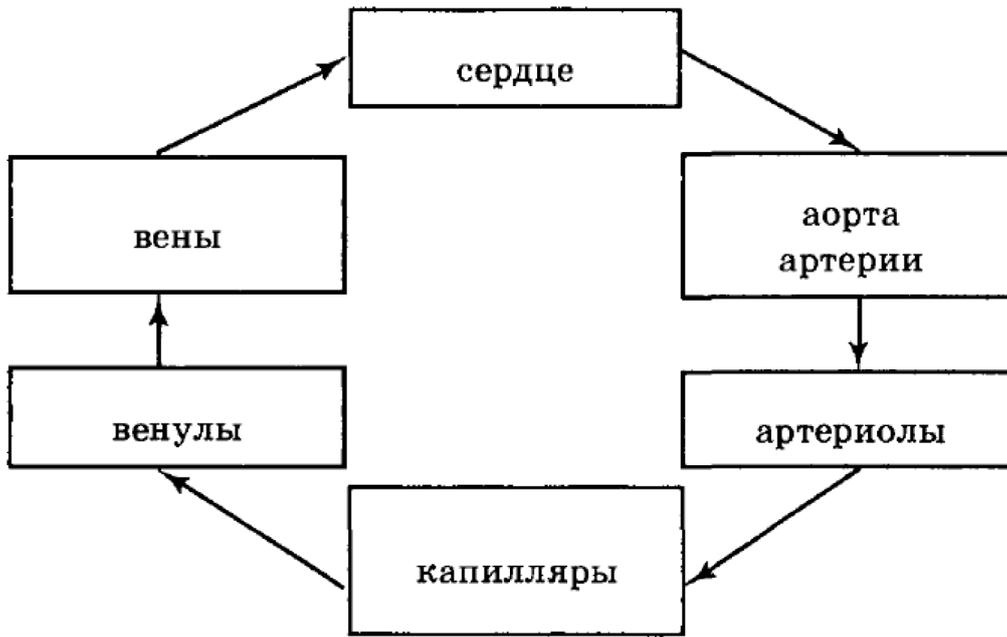


Рис. 6. Схематичное изображение кровеносно-сосудистой системы

*Модель Франка*

Для удобства рассмотрения выделим две фазы кровотока в системе «левый желудочек сердца – крупные сосуды – мелкие сосуды» (рис. 7):

1-я фаза – фаза притока крови в аорту из сердца с момента открытия аортального клапана до его закрытия (рис. 7). Во время поступления крови из сердца стенки крупных сосудов растягиваются благодаря их

эластичности, часть крови резервируется в крупных сосудах, а часть проходит в мелкие сосуды (рис. 7).

2-я фаза – фаза изгнания крови из крупных сосудов в мелкие после закрытия аортального клапана (рис. 7). Во время этой фазы стенки крупных сосудов за счет упругости возвращаются в исходное положение, проталкивая кровь в микрососуды. В это время в левый желудочек поступает кровь из левого предсердия (рис. 7).

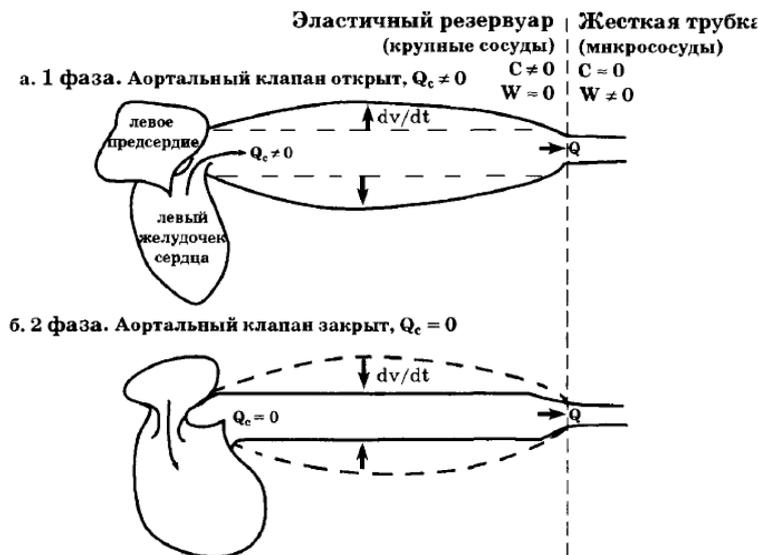


Рис. 7. Схема модели Франка

В модели Франка сделаны следующие допущения.

1. Все крупные сосуды объединены в один резервуар с эластичными стенками, объем которого пропорционален давлению. Они (а, следовательно, и резервуар) обладают высокой эластичностью; гидравлическим сопротивлением резервуара пренебрегают.

2. Система микрососудов представлена как жесткая трубка. Гидравлическое сопротивление жесткой трубки велико; эластичностью мелких сосудов пренебрегают.

3. Эластичность и сопротивление для каждой группы сосудов постоянны во времени и в пространстве.

4. Не рассматриваются переходные процессы установления движения крови.

5. Существует «внешний механизм» закрытия и открытия аортального клапана, определяемый активной деятельностью сердца [1].

ствует о том, что внутрисосудистое давление от аорты до полых вен резко снижается, а объем крови в венозном русле, наоборот, возрастает. Следовательно, артериальное русло характеризуется высоким давлением и сравнительно небольшим объемом крови, а венозное – большим объемом крови и низким давлением [6].

### 3. Практическое применение

#### Медицина

Как известно, многие люди страдают сосудистыми заболеваниями, а также, варикозным расширением вен, тромбофлебитом, тромбозом глубоких вен на ногах.

Разработано много лекарственных препаратов для лечения этих заболеваний. Я решила проанализировать аннотацию некоторых из них на фармакологические свойства, и мне кажется, что при разработке лекарственных препаратов учитывались и фи-

#### Общая характеристика движения крови по сосудам

Гидродинамические характеристики сосудистого русла большого круга кровообращения

Сосуд	Давление, мм рт. ст.	Объем, см <sup>3</sup>	Скорость кровотока, см х с <sup>-1</sup>	Сопротивление, дин. х с. х см <sup>-5</sup>
Аорта	100–120	30	50	64
Магистральные артерии	100–120	60	13	3,9 x 10 <sup>3</sup>
Ветвящиеся артерии	80–90	50	8	1,6 x 10 <sup>5</sup>
Терминальные артерии	80–90	25	6	1,2 x 10 <sup>5</sup>
Артериолы	40–60	25	0,3	2 x 10 <sup>10</sup>
Капилляры	15–25	60	0,07	3,9 x 10 <sup>11</sup>
Венулы	12–18	110	0,07	4 x 10 <sup>9</sup>
Терминальные вены	10–12	130	1,3	3,2 x 10 <sup>3</sup>
Ветвящиеся вены	5–8	270	1,5	0,5 x 10 <sup>4</sup>
Венозные коллекторы	3–5	220	3,6	250
Полые вены	1–3	100	33	26

Давление и скорость кровотока в системе кровообращения уменьшаются от аорты до венул (табл. 1), а кровеносные сосуды становятся все более мелкими и многочисленными. В капиллярах скорость кровотока замедляется наиболее выражено, что благоприятствует отдаче кровью веществ тканям. Для венозного отдела характерен низкий уровень давления и более медленная по сравнению с артериальным руслом скорость кровотока.

Сопоставление величин давления, кровотока и сопротивления сосудов в различных отделах сосудистого русла свидетель-

зические закономерности движения крови по сосудам.

Например:

А) Курантил.

Одним из его действующих веществ является дипиридабол. Дипиридабол снижает адгезивность тромбоцитов, препятствует образованию тромбов в сосудах и стабилизирует кровоток в очаге ишемии. Он способствует уменьшению общего периферического сопротивления сосудов и улучшает микроциркуляцию, нормализует венозный отток, снижает частоту возникновения тромбозов глубоких вен в послеоперацион-

ном периоде. Улучшает микроциркуляцию в сетчатке глаза и почечных клубочках.

Показания к применению:

– Лечение и профилактика нарушений мозгового кровообращения по ишемическому типу.

– Профилактика артериальных и венозных тромбозов.

Б) Венарус.

Оказывает вентонизирующее действие. Уменьшает растяжимость вен, повышает их тонус и уменьшает венозную застой; снижает проницаемость, ломкость капилляров и увеличивает их резистентность; улучшает микроциркуляцию и лимфоотток.

Показания к применению:

– судороги нижних конечностей;

– ощущение тяжести и распирания в ногах;

– боль;

– усталость в ногах.

#### *Задачи*

Я считаю, что в приведенных ниже задачах прослеживается прямая связь физики с биологией.

1. Что больше: скорость распространения электрического сигнала по проводам морского телеграфа или скорость распространения нервного импульса по мембране аксона? Почему?

2. Объясните биофизический механизм действия яда тетродотоксина и местного анестетика тетраэтиламмония.

3. Радиус сосуда уменьшился вдвое. Во сколько раз изменится объемная скорость кровотока при неизменном перепаде давления?

4. Во сколько раз изменится скорость падения давления в начале диастолы, если гидравлическое сопротивление мелких сосудов увеличилось на 20%?

5. Во сколько раз должно увеличиться давление крови в начале крупного сосуда, чтобы при сужении его просвета на 30 % давление на выходе из сосуда и объемная скорость кровотока остались бы прежними? В отсутствие сужения падение давления в сосуде составляет 0,2 от давления в начале сосуда.

6. Оцените, какое время эритроцит находится в капилляре [1].

#### **Заключение**

При выполнении работы:

1. Мы узнали, как осуществляется процесс передачи нервного импульса и процесс движения крови по сосудам:

2. Познакомились с интересными фактами, связанными с особенностями работы некоторых систем нашего организма;

3. Мы убедились, что при разработке лекарственных препаратов учитываются законы физики.

#### **Список литературы**

1. Биофизика: учебник для студентов высших учебных заведений / В.Ф. Антонов, А. . Черныш, В.И. Пасечник и др. – М.: ВЛАДОС, 1999. – 288 с.

2. Богданов К.Ю. Физик в гостях у биолога / К.Ю. Богданов. – 2-е изд. – М.: Изд-во МЦНМО, 2015. – 240 с.

3. Лебедев В. Молекула здравого ума: [Электронный ресурс]. 2015. – URL: <https://biomolecula.ru/articles/molekula-zdravogo-uma>.

4. Натрий-калиевый насос: [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/5813857/page:3/>.

5. Сахаров Д.И. Физика для техникумов/ Д.И. Сахаров, М.И. Блудов. – М., 1967. – 608 с.

6. Сосудистая система: [Электронный ресурс]. 2013. – URL: <https://studfiles.net/preview/462853/page:25/>.

7. Строение нервной ткани. Ее функции и свойства. – URL: <https://animals-world.ru/nervnaya-tkan/>.

**ЕЩЕ РАЗ ОБ ЭФФЕКТЕ МАГНУСА****Калиманов И.М.***МОУ «Ильинская СОШ №25», 11 класс**Руководители: Кулешов П.С., научный сотрудник ЦИАМ;  
Кузнецова Т.И., учитель физики МОУ «Ильинская СОШ №25»*

Об Эффекте Магнуса знают не все, но, скорее всего, каждый хоть раз в жизни с ним сталкивался при просмотре таких видов спорта как футбол, волейбол или теннис. Поводом для открытия и изучения этого эффекта послужило отклонение пушечного ядра от начальной траектории. Эффект был замечен и описан в восемнадцатом веке, и только в середине девятнадцатого века, в 1853 году, немецкий физик Генрих Густав Магнус предложил физическое объяснение искривления траектории полёта пушечного ядра, вследствие его вращения. «К сожалению, никаких количественных измерений, в ходе своих аэродинамических опытов, Магнус не проводил, а лишь зафиксировал возникновение отклоняющей силы и совпадение её направления с тем, которое имело место в артиллерийской практике» [1].

Цель работы: выдать рекомендации по наиболее оптимальному, с точки зрения практики, созданию подъёмной силы на основе Эффекта Магнуса.

Актуальность: можно указать множество примеров проявления Эффекта Магнуса в природе и технике: уклонение вертикальных вихрей в атмосфере от начальных траекторий; подача закрученного мяча в таких спортивных играх, как футбол, волейбол, теннис; создание тяги на судах вращающимися вертикальными цилиндрами за счет силы ветра вместо парусов.

Моя работа разделена на две логические части: аналитическую и экспериментальную. В аналитической будут представлены теоретические выкладки по исследуемому явлению, а в экспериментальной – результаты экспериментов и их систематизация с помощью таблиц и графиков.

**Обзор литературы**

Эффект Магнуса достаточно популярная тема для научных работ. В работе «Эффект Магнуса» от авторов Бородина И.Д., Берестовой Е., Берестовой С.А., Войцук А. сила Магнуса теоретически рассматривается почти также, как и в моей работе, но экспериментальная часть другая: «Эффект Магнуса можно легко продемонстрировать при помощи опыта со скатыванием цилиндра по наклонной плоскости» [2]. Такой метод запуска не позволяет набрать

цилиндру большую поступательную и угловую скорость, к тому же скорости жёстко связаны, а в моей работе их соотношение можно менять в момент запуска. Также полёт цилиндра ограничен высотой наклонной плоскости по отношению к нулевому уровню потенциальной энергии. В итоге, в этом опыте получается не петля, а лишь дуга окружности, которая не позволяет рассмотреть изменение влияния падения скорости на форму траектории. В этой работе эксперимент производился с одинаковыми параметрами цилиндра и не были рассмотрены другие силы, действующие на тело, а нашей работе менялись масса, длина, момент инерции цилиндра; оценивались силы сопротивления и вязкого трения. Идея выполнения проведённого нами эксперимента взята из статьи «Эксперименты с эффектом Магнуса» журнала «Квант» [3].

В статье «Эффект Магнуса» И.Ю. Куликов критикует подход к вычислению подъёмной силы Эффекта Магнуса через уравнение Бернулли: «Невероятно большую аэродинамическую силу, возникающую при обтекании вращающегося цилиндра, Прандтль пытался объяснить на основе теоремы Бернулли, по которой давление в потоке жидкости или газа резко падает при увеличении скорости потока. Однако, такое объяснение мало убедительно, поскольку многочисленные аэродинамические опыты наглядно доказали, что падение давления на обтекаемой поверхности зависит от относительной скорости обтекания, а не от скорости потока» [1]. Мы согласны с Куликовым и добавим, что уравнение Бернулли вообще применимо только для невязкого газа, а рассмотрение пограничного слоя подразумевает учет вязкости. Но школьный уровень не позволяет придерживаться этого подхода. Мы использовали уравнение Бернулли, и оно правильно качественно описало наблюдаемые явления.

**Основная часть***Экспериментальная часть*

В качестве экспериментального цилиндра были использованы скреплённые доньями пластиковые стаканы (см. Рис. 2), позже конструкция была немного изменена

для изучения изменений параметров полёта. Цилиндр сообщалась поступательная и вращательная скорость при стрельбе им, как из рогатки, после наматывания на него растянутого резинового жгута. При таком способе запуска цилиндра можно легко распределять энергию деформации резины между кручением и поступательным движением цилиндра. Полёт цилиндра регистрировался на мобильный телефон со скоростью съёмки 240 кадров в секунду. Видеоматериалы просматривались в режиме покадровой перемотки, что позволило зарегистрировать координаты цилиндра, время, а также период вращения вокруг своей оси с помощью метки на цилиндре.

Экспериментальные данные обрабатывались в программе MS Excel. Численно определялись скорость, ускорение, путь, а их зависимости от времени и от координаты автоматически аппроксимировались различными степенными законами. Всего было записано в видеорежиме пять траекторий:

- 1 и 2 (цилиндры одинаковы по параметрам, но разные поступательные и угловые скорости),
- 3 (масса и момент инерции увеличены в два раза за счёт вставки внутрь дополнительных стаканчиков при сохранении длины цилиндра) (рис. 3),
- 4 (масса и длина увеличены в два раза путём присоединения с торцов дополнительных стаканчиков) (рис. 4),
- 5 (масса увеличена в два раза при неизменном моменте инерции).

#### Аналитическая часть

Эффект Магнуса в моей работе рассмотрен для вращающегося вокруг своей оси цилиндра, который помимо угловой скорости имеет и поступательную. Подъёмная сила Эффекта Магнуса будет всегда перпендикулярна скорости и, благодаря этому, траектория полёта цилиндра будет напоминать петлю. Для оценки радиуса этой петли нужно подробно рассмотреть случай, когда цилиндр увлекает за собой прилегающие слои воздуха: воздух получает поступательное движение, а также вращается вокруг цилиндра. Из-за разности направлений поступательной и вращательной скорости образуются области, где результирующая скорость равна сумме этих скоростей и где результирующая скорость равна их разности (см. рис. 1).

Уравнение Бернулли гласит, что внутреннее давление газа или жидкости уменьшается с увеличением скорости. Применим этот закон к случаю с цилиндром. Оказывается, что в области с большей скоростью воздуха давление меньше, чем в области

с меньшей скоростью. Из-за разности сил, действующих на цилиндр, и возникает подъёмная сила Магнуса. Также, воспользовавшись уравнением Бернулли, можно найти изменение давления при переходе из областей с разным давлением:

$$P_1 + \frac{\rho(v + \omega r)^2}{2} = P_2 + \frac{\rho(v - \omega r)^2}{2};$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}((v + \omega r)^2 - (v - \omega r)^2),$$

где  $\rho$  – плотность среды,  $v$  – скорость потока,  $\omega$  – угловая скорость цилиндра,  $r$  – радиус цилиндра,  $P_1$  – давление в области большей скорости,  $P_2$  – давление в области меньшей скорости.

Подъёмная сила Магнуса рассчитывается по формуле

$$F = \Delta P S,$$

где  $S$  – площадь горизонтальной проекции цилиндра. Подставим уже найденное изменение давления и площадь поверхности цилиндра:

$$F = \frac{\rho}{2}((v + \omega r)^2 - (v - \omega r)^2) 2rL = 4r^2\omega v\rho L,$$

где  $L$  – длина цилиндра,  $\omega$  – угловая скорость цилиндра.

Из наблюдений видно, что цилиндр описывает петлю. В простейшем случае можно представить петлю окружностью. Тогда, если пренебречь силами сопротивления, вязкого трения и силой тяжести, то в системе координат центра масс цилиндра вдоль радиуса кривизны траектории действует центробежная сила против силы Магнуса:

$$F_{\text{цб}} = \frac{mv^2}{R}.$$

$$\text{Т.к. } F = F_{\text{цб}} \Rightarrow 4r^2\omega v\rho L = \frac{mv^2}{R},$$

где  $m$  – масса цилиндра.

Из этого уравнения можно вывести радиус окружности:

$$R = \frac{mv^2}{4r^2L\rho\omega}.$$

Если же учесть реальное уменьшение поступательной и угловой скорости, то, из-за разных темпов их изменений, радиус окружности может изменяться.

Уменьшение поступательной скорости связано с наличием сил аэродинамического сопротивления

$$F_{\text{сопр}} = C_x \rho \frac{v^2}{2} S_{\text{сеч}} = C_x \rho \frac{v^2}{2} 2Lr,$$

где  $C_x$  – аэродинамический коэффициент, характеризующий форму тела с точки зрения её обтекаемости,  $S_{\text{сеч}}$  – площадь сечения цилиндра.

Запишем 2-й закон Ньютона:

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -F_{\text{сопр}}$$

или в безразмерных величинах

$$\frac{\Delta v}{v} = - \frac{\Delta t}{(m/C_x v \rho Lr)}.$$

Понятно, что знаменатель в правой части имеет размерность времени – это характерное время процесса. Однако, вместо неопределенной текущей скорости надо подставить известную величину начальной скорости

$$\tau_1 = \frac{m}{C_x v_0 \rho Lr} \sim 0.1 \text{ с}.$$

Заметим, что существует точное решение исходного уравнения, правда, выходящее за рамки школьной программы:

$$v = \frac{v_0}{1 + kv_0 t} = \frac{v_0}{1 + t/\tau_1},$$

из которого характерное время уменьшения скорости в 2 раза в точности совпадает с предложенной нами оценкой

$$\tau_1 = \frac{1}{kv_0} = \frac{m}{C_x v_0 \rho Lr} \sim 0.1 \text{ с}.$$

Уменьшение угловой скорости связано с наличием вязкого трения (надо учитывать внешнюю боковую поверхность цилиндра и внутреннюю, т.к. цилиндр с торцов открыт):

$$F_{\text{тр}} = \eta \frac{\Delta v_{\text{отн}}}{\Delta h} 2S_{\text{бок}} = \eta \frac{\omega r}{\Delta h} 4\pi rL,$$

где  $\Delta h$  – толщина пограничного слоя,  $\eta$  – коэффициент вязкого трения.

Данная сила направлена по касательной против вращения цилиндра относительно его оси симметрии. Сила трения создает момент силы, который уменьшает момент импульса вращения цилиндра:

$$I \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = mr^2 \varepsilon = -F_{\text{тр}} r$$

( $I$  – момент инерции). Или в относительных единицах

$$\frac{\Delta \omega}{\omega} = - \frac{\Delta t}{(m\Delta h/4\pi\eta Lr)}.$$

В знаменателе правой части стоит величина, имеющая размерность времени. Можно принять ее за характерное время процесса. Действительно, точное решение данного уравнения (выходящее за школьные рамки) имеет вид:

$$\omega = \omega_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}},$$

где характерное время

$$\tau_2 = \frac{m\Delta h}{4\pi\eta Lr} \sim 5 \text{ с}$$

(при  $\Delta h \sim 1 \text{ мм} \ll r$  и  $\eta = 17,1 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$ ) соответствует уменьшению угловой скорости закрутки в  $e \approx 2.71$  раз.

### Объяснение экспериментов

Анализ видеоматериалов эксперимента показал, что траектория движения представляет собой не окружность, а петлю неправильной формы или скручивающуюся плоскую спираль со сдвигом, т.е. со временем радиус окружности уменьшается, а ее центр сдвигается. Но несмотря на это, сравнение результатов полётов разных цилиндров даёт возможность проверить состоятельность выведенных формул.

Из графиков 1 и 2 (см. рис. 5) видно, что запуск одного и того же цилиндра при разном натяжении резинового шнура (с разными линейными  $v_{01} = 14 \text{ м/с}$ ,  $v_{02} = 10,4 \text{ м/с}$  и угловыми  $\omega_{01} = 300 \text{ рад/с}$ ,  $\omega_{02} = 430 \text{ рад/с}$  начальными скоростями (см. табл. 1)) приводит к изменению размеров петель – с 5 см до 4.5 см в горизонтальном направлении или с 14 см до 11 см в вертикальном. Действительно, если сопоставить значения линейных и угловых скоростей цилиндра в верхних точках петель (см. рис. 10, табл. 1(верхние точки выделены чёрным цветом)), то отношение  $v/\omega$  уменьшается с  $1.13 \text{ (м/с) / 301.4 (рад/с)} = 0.00375$  до  $0.94 \text{ (м/с) / 318 (рад/с)} = 0.00296$  или в 1.3 раз. Это теоретически качественно объясняет уменьшение радиуса окружности согласно формуле

$$R = \frac{mv}{4\rho r^2} L\omega \sim \frac{v}{\omega}$$

Из графиков 2 и 5 (см. рис. 6) видно, что, увеличивая массу цилиндра примерно в 2 раза (с 5.6 до 11.2 грамм) (при прочих равных условиях, к которым относится и момент инерции) мы увеличиваем радиус петли с 4.5 см до 7 в горизонтальном направлении или с 11 см до 13 см в вертикальном. Этот эффект предсказывает качественно в упрощенном виде и наша формула  $R = mv/4\pi r^2 L\omega \sim m$ . Отметим, что начальные скорости (см. табл. 1) в этом сравнении были одинаковы: линейные  $v_0 = 10,4$  м/с и угловые  $\omega_0 = 430$  рад/с.

Интересно отметить, что в случаях 4 и 5 (см. рис. 8), вопреки внесенным изменениям, угловые скорости ведут себя одинаково (равны их начальные значения и значения в вершинах петель), что объясняется компенсацией увеличения длины образующей цилиндра закрытием его торцов в случае 4, т.е. внутренняя боковая поверхность не участвует в создании момента трения (см. рис. 4).

Случай 3 не был сравнен с другими, потому что форма траектории сильно отличалась от других петель (см. рис. 7). Возможно, это произошло из-за сильно возросшего момента инерции.

Довольно большие значения начальной поступательной и, особенно, начальной угловой скорости цилиндра вызвали у нас определенное недоверие к измерениям в эксперименте. Была предпринята косвенная проверка полученных данных путем подсчета затрат энергии и их сравнения с энергией деформации резинового жгута. Должно выполняться  $W_{\text{деф}} > W_{\text{кин}}$  ( $W_{\text{деф}}$  – энергия деформации резинового жгута,  $W_{\text{кин}}$  – кинетическая энергия цилиндра). Рассчитаем начальную кинетическую энергию поступательного и вращательного движения цилиндра:

$$W_{\text{кин}} = m \frac{v_0^2}{2} + I \frac{\omega_0^2}{2} \approx 0,5 \text{ Дж} + 0,2 \text{ Дж}$$

(для первой траектории) или 0,27 Дж + 0,42 Дж (для второй траектории). Получились величины сопоставимые между отдельными видами энергий, уже это укрепляет уверенность в правильности определения угловой скорости. Однако, дополнительно была определена жесткость резинового шнура и его растяжение при запуске цилиндра:  $k \approx 17$  Н/м,  $\Delta x \approx 35$  см. Энергия деформации составила

$$W_{\text{деф}} = k \frac{\Delta x^2}{2} = 1 \text{ Дж.}$$

Таким образом, баланс энергий был соблюден и измерения следует признать корректными.

Также экспериментальные данные объясняют отсутствие второй петли у цилиндра. По результатам вычислений, оказывается, что в конце петли сила Магнуса сопоставима с силой тяжести цилиндра (см. табл. 2). Также в таблице (см. табл. 2) есть значения силы сопротивления, которая в начале движения должна быть равна произведению массы цилиндра и его ускорения. Чтобы проверить правильность приведенных значений вычислим ускорение в начале движения:

$$|a| = \frac{F_{\text{сопр}}}{m} = \frac{0,4}{0,0056} \approx 71 \text{ м/с}^2$$

Значение начального ускорения из графика для траектории 2 (см. рис. 13), лежащего на линию тренда, по модулю равно  $85 \text{ м/с}^2$ . Значения отличаются относительно не сильно, следовательно, можно судить о правильности выполнения измерений и вычислений.

Графики зависимостей поступательной скорости, угловой скорости, ускорения от времени были построены в программе «Excel» на основе вычисленных там же значений. Скорость вычислялась, как отношение перемещения (находилось через теорему Пифагора по координатам цилиндра) к времени, за которое оно совершалось. Ускорение находилось, как изменение скорости (разность скоростей) к времени, за которое оно произошло. Угловая скорость вычислялась через период обращения цилиндра вокруг своей оси по формуле. Путь находился, как сумма путей между двумя ближайшими точками, которые вычислялись, как произведение скорости цилиндра и времени. Все величины вычислялись итерационно, т.е. по предыдущему значению вычислялось последующее на каждом временном шаге.

### Техническое применение

Проблема аэродромов малой авиации в России остаётся актуальной уже много лет. Одним из способов её решения является уменьшение затрат на строительство взлётно-посадочной полосы. Я предлагаю сократить длину разбега и пробега самолётов лёгкой авиации при помощи конструкции, разработанной на основе моих исследований Эффекта Магнуса.

Основным элементом конструкции являются трёхсекционные телескопические выдвигаемые цилиндры с каждой стороны ( $L=1,5$  м,  $R=0,25$  м). Для уменьшения силы трения, препятствующей вращению, и силы сопротивления (особенно на взлете), созда-

ющей значительные механические нагрузки на конструкцию, цилиндры необходимо делать закрытыми с торцов. Каждая секция цилиндра должна иметь выступающее ребро для увеличения жесткости и препятствия перетеканию вихрей. Масса цилиндров из углепластика при толщине стенки 2мм примерно 30 кг. При частоте вращения конструкции 40 оборотов в секунду, создается сила Магнуса 3600Н (полезная часть силы 3300Н). Т.е. на ~13% (Eclipse 500) или на 8% (Ан-28 (рис. 15)) от исходной величины можно понизить подъемную силу основного крыла. Начальная скорость пробега/скорость отрыва при взлете связаны с дистанцией следующей формулой  $s \sim v^2$ . Подъемная сила основного крыла также зависит от скоростного напора по формуле  $F \sim v^2$ , а сила Магнуса выдвигаемых цилиндров при закручивании от мотора –  $F_M \sim v\omega$ . Отсюда видно, что при фиксированной частоте закрутки выгодно использовать силу Магнуса именно при низких скоростях, когда ее относительный вклад выше. При уменьшении на 13% подъемной силы дистанция также должна сократиться на 13% даже без учета возросшего аэродинамического сопротивления самолета (выдвигаемые цилиндры дополнительно выполняют функцию тормозных щитков). С учетом последнего фактора дистанция пробега сократится еще сильнее. Подъемной силой и тормозящим эффектом цилиндров можно управлять за счет изменения их длины и частоты вращения.

**Выводы**

В ходе проведенного исследования были получены качественные зависимости изменения радиуса петли от таких характеристик: скорости, угловой скорости, длины цилиндра, радиуса цилиндра, плотности среды. Эти данные могут послужить, как и для изучения Эффекта Магнуса в школьной программе, так и для использования в аэро- и гидродинамических исследованиях.

Полученные данные помогли сформулировать практическую рекомендацию: подъемную силу Эффекта Магнуса энергетически выгоднее развивать за счёт увеличения частоты вращения, нежели за счёт увеличения поступательной скорости, т.к. линейная скорость затухает быстрее угловой, а сила аэродинамического сопротивления больше силы вязкого трения.

Данная рекомендация может быть применима для увеличения подъемной силы летательных аппаратов во время взлёта и посадки с помощью вращающихся цилиндров в качестве переднего горизонтального оперения. Используя такую конструкцию, можно понизить поступательную скорость самолёта, сохранив или увеличив подъемную силу. Также важным преимуществом такой конструкции является уменьшение длины взлёта и пробега.

**Список литературы**

1. Куликов И.Ю. Эффект Магнуса // Чудесности вокруг нас. – М.: Инноватэк, 2017.
2. Бородин И.Д., Берестова Е., Берестова С.А., Войцук А. Эффект Магнуса. – Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина».
3. Андреев А., Панов А., Панов П. Эксперименты с эффектом Магнуса // Квант. – 2017. – №2. – С. 41–44.

**Приложение**

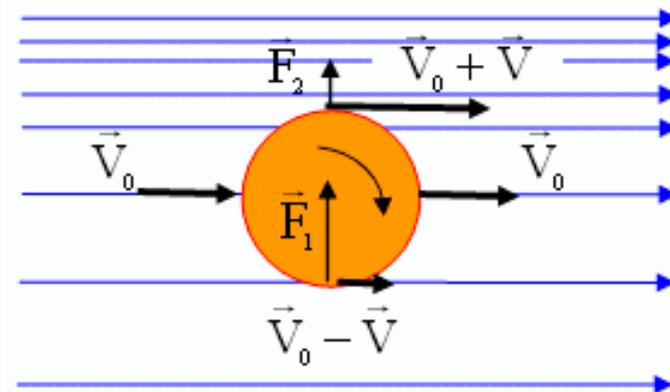


Рис. 1. Возникновение подъемной силы, действующей на тело, помещенное в газовый поток (эффект Магнуса)

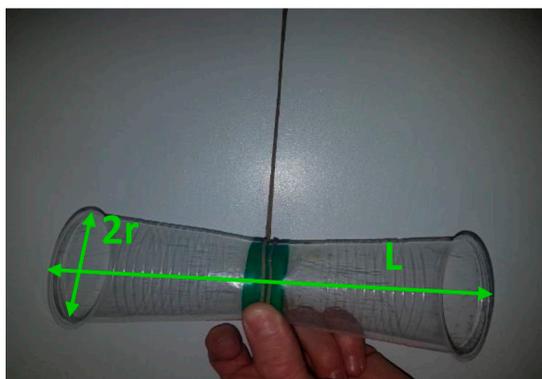


Рис. 2



Рис. 3

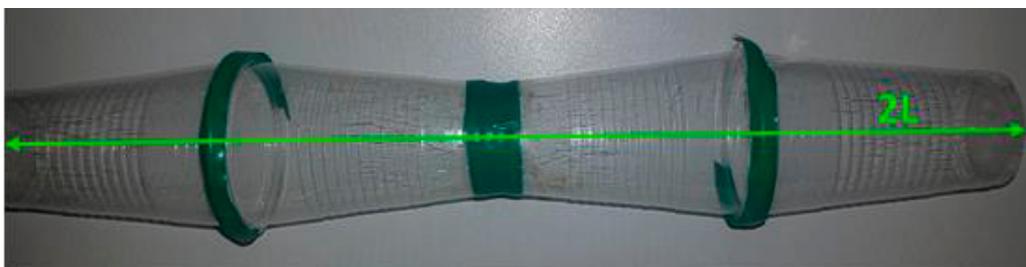


Рис. 4

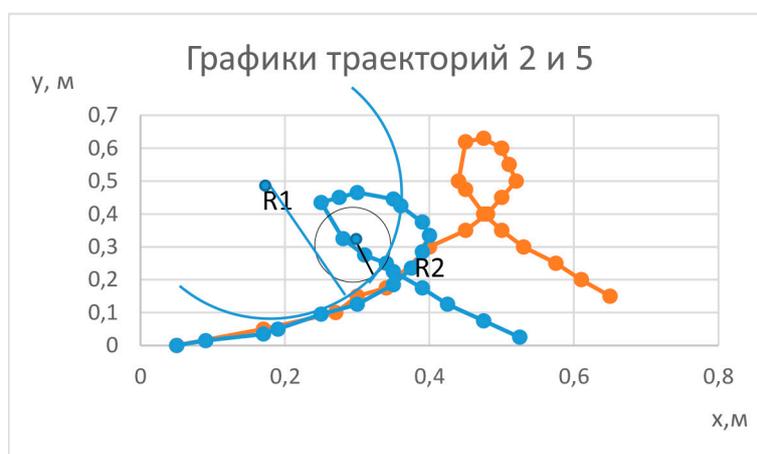


Рис. 5. Точки старта, то есть отделения цилиндра от резинки, совмещены. Синяя линия – траектория 5, оранжевая – траектория 2

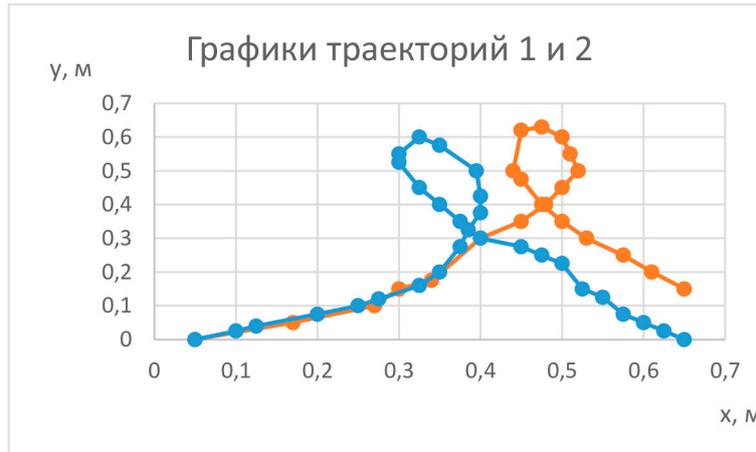


Рис. 6. Точки старта, то есть отделения цилиндра от резинки, совмещены. Синяя линия-траектория 1, оранжевая-траектория 2

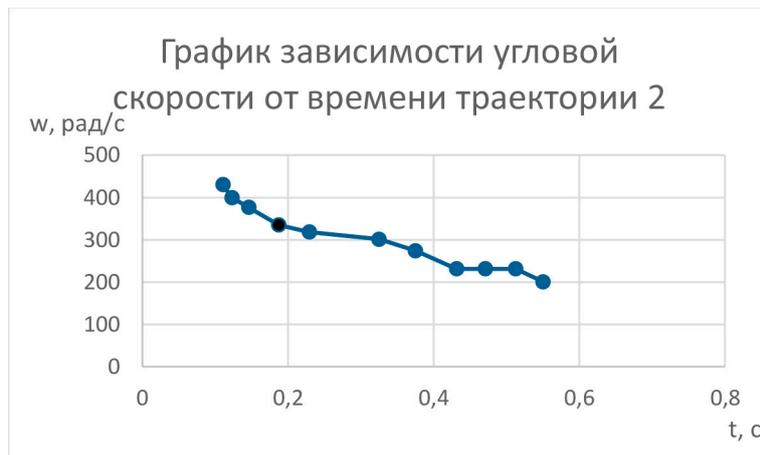


Рис. 7

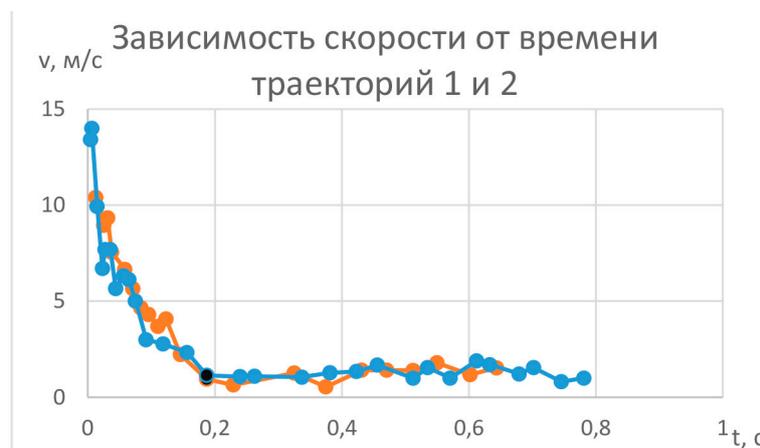


Рис. 8

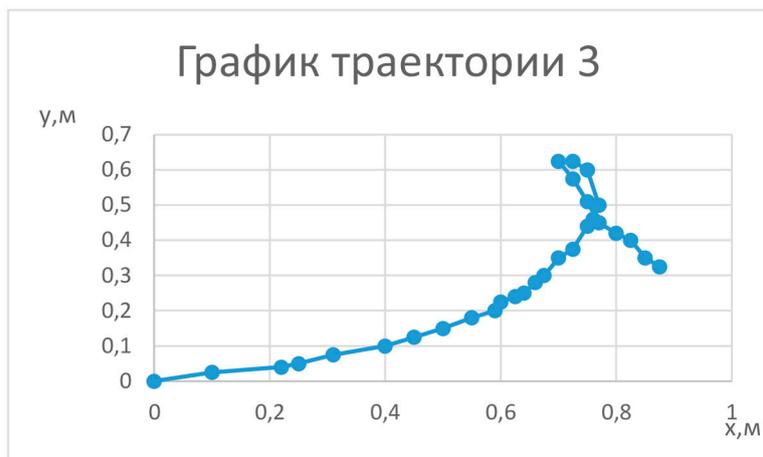


Рис. 9

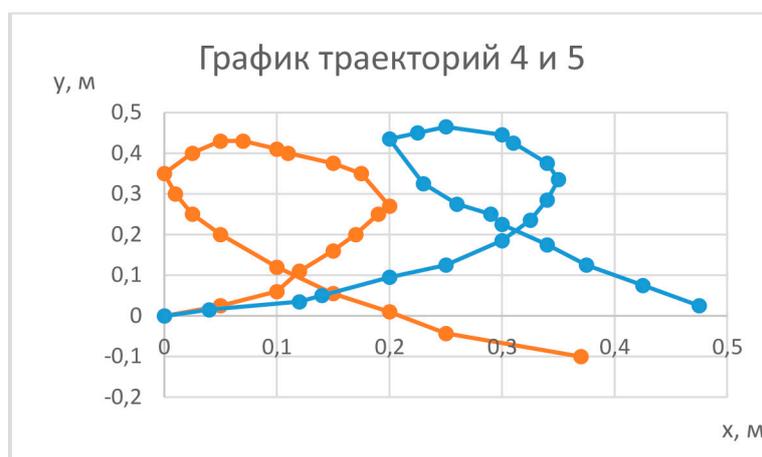


Рис. 10. Точки старта, то есть отделения цилиндра от резинки, совмещены. Оранжевая линия-траектория 4, синяя-траектория 5

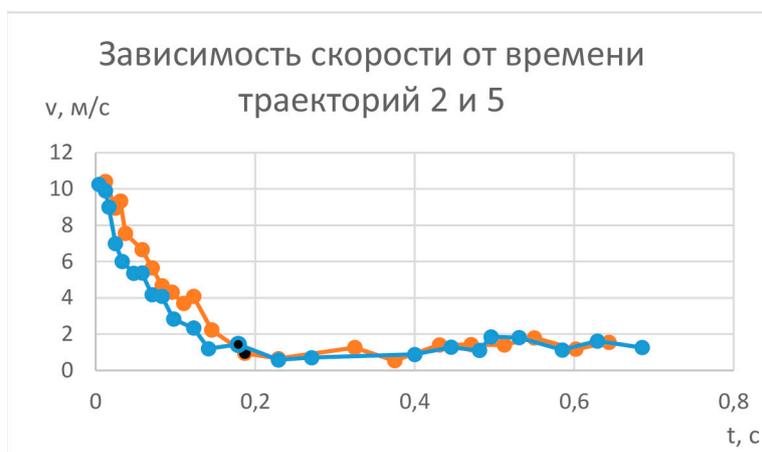


Рис. 11. Точки старта, то есть отделения цилиндра от резинки, совмещены

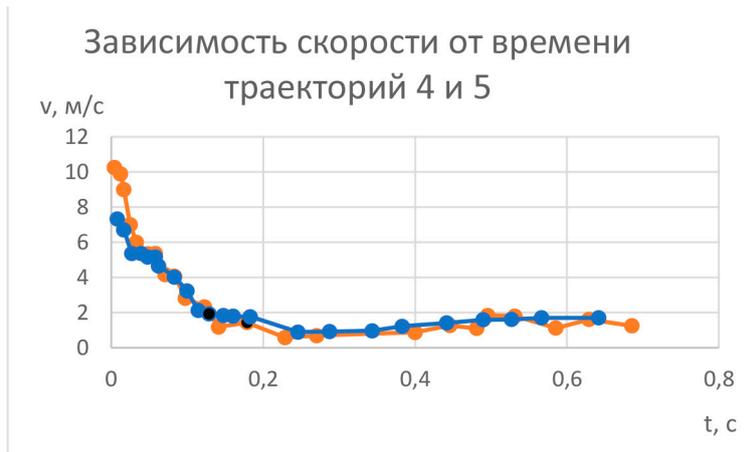


Рис. 12

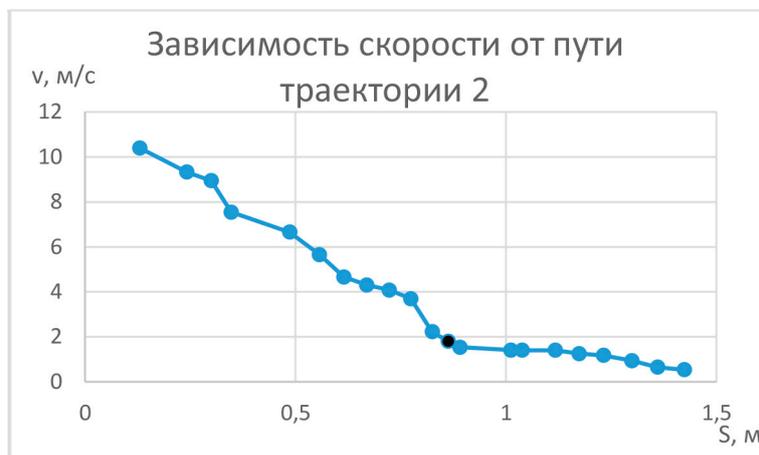


Рис. 13

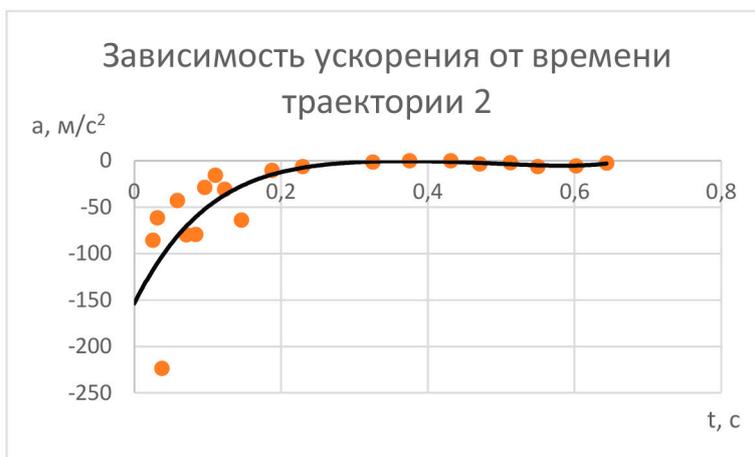


Рис. 14. Чёрная линия – полиномиальная (5 степени) линия тренда



Рис. 15

Таблица 1

	$v_0$ , м/с	$\omega_0$ , рад/с	$v$ , м/с в вершине	$\omega$ , рад/с в вершине	$T$ , с – время достижения вершины петли
1	14	376	1,13	301,4	0,1875
2	10,4	430	0,94	318	0,1875
3	9,9	430	0,89	250	0,2875
4	7,3	430	1,9	400	0,15
5	10,25	430	1,43	376	0,179

Таблица 2

Силы, действующие на цилиндр во втором случае

	$F$ , Н (сила Магнуса)	$F_{\text{сопр}}$ , Н (сила сопротивления)	$F_{\text{тяж}}$ , Н
Начало движения	3,87	0,4	0,056
Вершина петли	0,5	0,0032	0,056
Конец петли	0,08	0,002	0,056

**ПРИБОРНЫЙ КОНТРОЛЬ СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА****Матвеева С.А.***г. Верхний Уфалей, МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №1», 9 класс**Руководители: Красавин Э.М., г. Верхний Уфалей, МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №1», педагог-организатор, заместитель директора по научной работе, руководитель Сетевого**Координационного центра программы «Шаг в будущее»;**Касауров Ю.А., г. Верхний Уфалей, МБУДО ЦДОД, педагог дополнительного образования;**Матвеева Н.А., г. Верхний Уфалей, МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №1», учитель физики, высшей категории***Приборный контроль сердечной деятельности человека**

В настоящее время имеет место широкое развитие разнообразной бытовой медицинской техники. В том числе техники и технологий исследования организма. Мы отслеживаем при помощи приборов всевозможные характеристики организма, например, биотоки, биопотенциалы сердца, мозга, мышц, других органов. Всё это применяется не только для лечения, но и для развития физических, умственных способностей и тому подобное. Есть ещё одна очень важная сфера применения подобных компактных устройств, использование их для диагностики состояния своего здоровья. Многим пожилым людям сложно объективно оценивать состояние своего организма. Недаром аппараты измерения давления имеются, в наше время, практически в любой семье. Приборный контроль может объективно выявить наличие серьёзных нарушений в организме и вовремя определится с медицинской помощью. По данным статистики, первое место среди экстренных нарушений организма человека, являются нарушения сердечной деятельности. Но и они не случаются просто вдруг, им предшествуют определённые симптомы, которые можно выявить простым приборным контролем. Особое место составляют больные с нарушением сердечной деятельности. В наших больницах, аппараты постоянного наблюдения за сердечной деятельностью, можно встретить только в реанимационных отделениях. Современная электроника позволяет создать миниатюрные аппараты контроля сердечной деятельности с передачей данных на мобильные устройства. С помощью таких приборов любой дежурный врач способен отслеживать состояние своих больных в любое время. Исходя из актуальности вопроса контроля сердечной деятельности, возникла рабочая гипотеза о возможности разработки и создания простого прибора – электрокардиографа, с помощью которого можно отслеживать работу сердца в бы-

товых условиях и в условиях стационара. Естественно, для работы с прибором, необходимо минимум знаний по чтению электрокардиограммы. Информация по этому вопросу широкодоступна в интернете и любой желающий может, достаточно быстро, освоить значение основных графических параметров электрокардиограммы.

**Цель и задачи работы**

Целью данной работы является, разработка и создание простого и широкодоступного для повторения кардиомонитора, для визуального контроля сердечной деятельности организма человека. Цель работы предполагала решение следующих задач:

Изучение доступных литературных и интернет – источников по вопросам приборного контроля сердечной деятельности, принципам работы кардиографов, чтения кардиографической информации;

На основе изученной информации разработать концепцию простого электрокардиографа, возможного для самостоятельного изготовления;

Изготовить опытный экземпляр малогабаритного электрокардиографа, с возможностью визуального наблюдения графической информации;

Определить возможности изготовленного прибора с точки зрения практических медиков -специалистов.

**Краткая история электрокардиографии [1–2]**

История метода электрокардиография (ЭКГ) насчитывает более 100 лет. Альберт фон Кёлликер – швейцарский анатом, зоолог и гистолог, в 1856 году с помощью электродов, расположенных непосредственно на поверхности сердца, определил наличие слабых токов, возникающих при сокращении миокарда. Спустя 30 лет, в 1887 г. Август Дезире Валлер – британский физиолог показал, что слабые электрические потенциалы, возникающие в сокращающемся миокарде, можно зарегистрировать в виде

кривой от электродов, расположенных на поверхности тела животного. Для этого он использовал ртутный капиллярный электрод, в котором столбик ртути реагировал на возникающие в миокарде токи. Однако электрограмма А. Валлера, прообраз современной ЭКГ, из-за большой инерционности ртутного столбика была весьма несовершенной. Тем не менее, используя даже такую несовершенную технологию, А. Валлеру удалось сформулировать основные положения электрофизиологии сердца. Революцию в технологии электрокардиографии произвел голландский физиолог Виллем Эйнтховен (1860—1927) (Приложение лист I, рис. 1). Слушая лекцию А. Валлера, он понял, что для практического использования электрокардиографии необходим высокочувствительный гальванометр. Понадобилось много лет, чтобы сконструировать прибор, способный зарегистрировать достаточно качественную ЭКГ. Таким прибором стал струнный гальванометр, созданный в 1903 году. Основу гальванометра В. Эйнтховена составляла очень тонкая кварцевая нить, находящаяся под напряжением в магнитном поле. Она реагировала очень малые токи, отклоняясь в ту или иную сторону в зависимости от силы и направления тока. Колебания нити усиливались и фотографировались на движущейся ленте. Таким образом, получилась кривая, названная В. Эйнтховеном электрокардиограммой, которая довольно точно отражала биотоки сокращающегося сердца. Этот кардиограф был весьма громоздким и весил около 270 кг (Приложение лист I, рис. 2 – 3). Используя свой кардиограф, В. Эйнтховен подробно изучил закономерности электрических явлений сердца. Им по существу было создано новое направление в физиологии кровообращения – электрофизиология сердца. В. Эйнтховеном были обозначены основные зубцы и интервалы электрокардиограммы, рассчитаны временные промежутки зубцов и интервалов, которые используются кардиологами и до настоящего времени. И наконец, им была предложена локализация основных электродов на поверхности тела пациента. Электроды располагались по углам некоего треугольника (треугольник Эйнтховена): на плечевых поверхностях обеих рук и левой ноге. Соответственно расположению электродов обозначались отведения: обе руки – I отведение, на правой руке и левой ноге – II отведение, на правой руке и левой ноге – III отведение. В. Эйнтховен установил, что сумма потенциалов I и III отведений равняется потенциалу II отведения. Эти отведения, получив в дальнейшем название стандартных отведений, используются

и сегодня (Приложение лист I, рис. 4 – 5). В 1932–1948 гг. американский физиолог Вильсон (Wilson) разработал методику однополюсных грудных отведений, публикует их векторный анализ. Векторный анализ вероятных внутригрудных отведений приводит его к мысли, что при инфаркте миокарда желудочковый комплекс ЭКГ должен быть представлен одним отрицательным зубцом QS. В эти же годы, Гольдбергер (Goldberger) разработал усиленные однополюсные отведения, обосновал положения о позиции сердца. В 1952 г. эксперты ВОЗ принимают стандарт (протокол) записи и расшифровки электрокардиограммы.

### Принцип работы электрокардиографа [3]

При работе сердца образуются электрические поля, качество и характеристики которых, можно регистрировать с помощью специального прибора – электрокардиографа. Этот метод исследования позволяет получать ценную информацию о работе сердца, ее нарушениях, сравнительно легко диагностировать распространенные заболевания. Электрокардиография – очень информативный способ инструментальной диагностики, который благодаря широкому распространению и удобству, позволяет качественно и быстро выявлять нарушения в работе сердечнососудистой системы. Электрокардиография является одним из самых надежных методов диагностики и повсеместно используется в кардиологическом обследовании. Работа электрокардиографа основана на принципе регистрации электрических импульсов, возникающих при работе сердца. Прибор регистрирует эти биопотенциалы и позволяет наглядно представить работу главного органа человека. В процессе проведения электрокардиографии, врач получает графическую электрокардиограмму – разность биопотенциалов, отраженную в виде графика на бумаге или экране устройства. Современные электрокардиографы оснащены памятью, в которой они хранят данные о работе сердца, а также могут мгновенно проанализировать полученную кардиограмму и поставить предварительный диагноз. С помощью электрокардиографии можно определить:

- частоту и регулярность сердечного ритма (аритмия),
- повреждение миокарда (инфаркт, ишемия),
- нарушения обмена веществ-электролитов (калия, магния, кальция),
- нарушения внутрисердечной проводимости (блокады),

- физическое состояние сердца (гипертрофии),
- внесердечные заболевания (например, тромбоэмболия легочной артерии),
- острую сердечную патологию.

Для проведения измерений, на разные участки тела накладываются электроды. Современный электрокардиограф обрабатывает 12 отведений и имеет специальные фильтры сигнала, давая возможность получить точные данные о работе сердца. В приложении (лист II, рис. 6), представлена структурная схема электрокардиографа. Кабель стандартных отведений, идущий от пациента, подключается к электрокардиографу. Провода от электродов соединяются с переключателем отведений, в состав которого входят определённые резисторы, необходимые для униполярных отведений. В начале работы переключатель отведений переключается в режим калибровки. С помощью эталонного напряжения величины 1 мВ осуществляется калибровка электрокардиографа. От переключателя отведений сигнал ЭКГ подается на входной усилитель дифференциального типа с высокой степенью подавления синфазного сигнала. Входной усилитель, как правило, имеет масштабный переключатель регулировки чувствительности или усиления. За предусилителем следует усилитель постоянного напряжения, называемый усилителем самописца, обеспечивающий необходимую мощность для работы печатающего устройства. На вход этого усилителя можно подать сигнал от внешнего источника и, таким образом, самописец электрокардиографа используется для записи сигналов других приборов. Современные электрокардиографы обладают возможностью подключения к ЭВМ, что ускоряет процесс обработки результатов обследований. Для этого сигнал с выхода усилителя оцифровывается с помощью АЦП. Далее после аналогово-цифровой обработки информация записывается в буферное запоминающее устройство (БЗУ) и через устройство интерфейса направляется к ЭВМ. Внешний вид, подобного прибора, представлен в приложении (лист II, рис. 7). Основные блоки, представленные в приложении, являются типичными для большинства применяемых электрокардиографов.

#### **Концепция разрабатываемого устройства**

Разрабатываемый прибор, должен отвечать следующим требованиям:

- Быть малогабаритным, лёгким и изготовленным из дешёвых, доступных компонентов;

- Иметь автономное питание, напряжением не более 9В.

- Отвечать требованиям безопасности и иметь защиту от любого повышенного напряжения на отводящих электродах;

- Иметь простое и функциональное управление;

- Обладать способностью визуализации представляемой графической информации на встроенном мониторе;

- В перспективе, предусматривается возможность сохранения данных на съёмном носителе и передача информации по радиоканалу на мобильную технику.

#### **Разработка конструкции самодельного электрокардиографа**

Электрокардиограф состоит из двух частей – аналоговой и цифровой. Аналоговая часть представляет собой усилитель с коэффициентом усиления около 1000 – он усиливает изменяющуюся во времени разность потенциалов на теле человека. Далее усиленный сигнал поступает на цифровую часть, где сигнал оцифровывается. Оцифровка – это описание какого-либо объекта в виде набора чисел. В цифровой технике информация может быть записана только числами, а точнее в виде комбинаций чисел: 0 и 1. Таким образом, прежде чем записать какую-либо информацию в электронную память, её нужно зашифровать, закодировать последовательностью нулей и единиц. Оцифрованный сигнал обрабатывается процессором и отображается в виде графической информации на дисплее (Приложение лист II, рис. 8).

#### *Аналоговая часть электрокардиографа [4]*

Аналоговая часть строится на базе инструментального операционного усилителя AD620. Принципиально, это специализированная микросхема, применяемая во многих моделях промышленных электрокардиографов (Приложение лист III, рис. 9). В нашем случае можно упростить эту схему. Референтный электрод правой ноги подключается через драйвер на основе AD705J для борьбы с наводкой в 50 Гц, которая обычно возникает, если прибор гальванически соединён с сетью в 50 Гц. Наш прибор с сетью не соединён и питается от батарейки 9В, и этот участок схемы необязателен (Приложение лист III, рис. 10). В результате изменений схемы, на ноге, у нас будет просто нулевой провод. Разность потенциалов между телом человека и нулевым потенциалом схемы может быть довольно большой. В результате этого может получиться так, что потенциалы, снимаемые с тела и подаваемые на входы усилителя, относительно

нулевой точки схемы, будут иметь слишком большое отличие. Таким образом, они могут выйти за диапазон допустимых величин потенциалов подаваемых на входы ОУ, несмотря на то, что разность потенциалов между плюсовым и минусовым входом усилителя в пределах милливольт. В результате этого, операционный усилитель, может войти в режим насыщения, в котором он не усиливает сигнал, а просто выдаёт на выход постоянную составляющую равную примерно верхнему или нижнему значению напряжения питания усилителя (в нашем случае это около +3В или -3В). Чтобы этого избежать нужно, привести потенциалы тела к требуемому диапазону – к уровню близкому к потенциалу нулевого провода схемы. Для этого мы и подключаем этот нулевой провод к правой ноге человека (максимально далеко от сердца – так принято в медицине, чтобы минимизировать всякий риск поражения током). В итоге потенциал, снимаемый с тела человека, становится близок к нулевому потенциалу схемы, а значит, попадает в диапазон допустимых величин потенциалов подаваемых на входы ОУ. В практике имеет место понятие – поляризация электродов, при их контакте с кожей. Это приводит к тому, что на входе усилителя помимо изменяющейся разности потенциалов, обусловленной электрической активностью сердца (полезный сигнал, который мы стремимся измерить) появляется ещё и постоянная составляющая, чья величина может достигать 300 мВ как в положительную, так и в отрицательную сторону. Результатом, опять является, режим насыщения усилителя. Чтобы этого избежать, усилитель строят из двух ОУ и фильтра высоких частот (ФВЧ) между ними (конструкторский даташит на подключение микросхемы). Первый усилитель AD620 имеет коэффициент усиления 7, далее у усиленного таким образом сигнала при помощи ФВЧ убирается постоянная составляющая (поляризации электродов) и сигнал поступает на второй AD620 с коэффициентом усиления около 140 (Приложение лист III, рис. 11). Для работы любого компаратора – операционного усилителя необходим, опорный уровень сигнала, с которым идёт сравнение приходящего сигнала. Организовать его, можно посредством прецизионного операционного усилителя OP07. Также необходимо, добавить конденсаторы для борьбы с самовозбуждением по линии питания операционных усилителей (Приложение лист IV, рис. 12).

#### *Схема питания усилителя [5]*

Организовать питание усилителя можно, таким образом, как указано на конеч-

ном варианте схемы (Приложение лист IV, рис. 12), применить батарейное питание. Поскольку, аналоговая часть, в нашем приборе работает совместно с цифровой и питание предусмотрено от батареи 9В, необходим специализированный двухполярный блок питания для аналоговой части схемы. Блок питания построим на основе микросхемы TL431. За основу возьмём типовую схему двухполярного блока питания (Приложение лист IV, рис. 13). За счёт делителей напряжения поднимаем выходное напряжение до 3 вольт. Поскольку в схеме питания отсутствует переменная составляющая, не нужны и фильтры – конденсаторы большой ёмкости. Конечный вариант схемы питания представлен в приложении (лист IV, рис. 14).

#### *Подключение к цифровой части [6]*

Целесообразно подключать аналоговую часть электрокардиографа к цифровому блоку обработки информации, через стабилитроны и диод Шоттки. Диод Шоттки (BAT85) и стабилитроны (BZX55C2V4) служат для защиты от неправильной полярности и превышения напряжения 5В на входе цифровой части электрокардиографа (Приложение лист V, рис.15).

#### *Аналоговый усилитель в составе электрокардиографа [7]*

Выше описано стандартное включение специализированной микросхемы и организация её питания для создания аналоговой части электрокардиографа. Принципиальная схема очень удачная и высокочувствительная. Собрать её достаточно просто, но имеется более простой выход с аналогичным блоком китайских производителей. Компанией «Analog Devices» разработана микросхема AD8232. AD8232 представляет собой интегрированный блок обработки сигнала для ЭКГ и других биопотенциальных задач. Микросхема предназначена для получения, усиления и фильтрации слабых биопотенциальных сигналов в условиях сильных помех. Принцип работы микросхемы аналогичен выше рассмотренному, в работе. Производители выпустили законченный аналоговый блок с организацией питания и цепями подключения к аналого-цифровому преобразователю.

Основные характеристики AD8232:

- Низкое потребление тока: 170 мкА;
- Напряжение питания: однополярное от 2 до 3,5В;
- Rail to Rail выходной сигнал;
- Количество электродов: 2 или 3;
- Количество отведений ЭКГ: 1;
- Встроенный фильтр ВЧ помех;

- 2–полюсный фильтр высоких частот;
- 3–полюсный фильтр низких частот;
- Коэффициент ослабления синфазного сигнала: 80 дБ;
- Детектор контакта электродов;
- Выходной сигнал: аналоговый.

Внешний вид аналогового блока электрокардиографа на основе микросхемы AD8232 и его принципиальная схема, представлены в приложении (лист V, рис.16). Таким образом, на основе AD8232 можно строить портативные устройства для мониторинга здоровья сердечной системы (ЭКГ, кардиомониторы). Кроме того, на плате есть светодиодный индикатор, который будет отображать ритма пульса. Рабочее напряжение модуля составляет 3.3 В. Для подключения электродов можно использовать 3,5-миллиметровый разъем или задействовать 3-контактный разъем.

#### *Цифровая часть электрокардиографа [8]*

Модуль с микросхемой AD8232 обеспечивает доступ к девяти выводам AD8232. Контакты SDN, LO+, LO-, OUTPUT, 3.3V, GND обеспечивают необходимые линии для работы с платформой Arduino или другой аналого – цифровой платой. На этой плате также предусмотрены линии RA (правая рука), LA (левая рука) и RL (правая нога) для крепления и использования датчиков. Таким образом, цифровую часть прибора можно реализовать с использованием платформы Ардуино. Аналого-цифровой преобразователь процессора, преобразует аналоговый сигнал усилителя в цифровой код, информацию о котором можно вывести на экран и передать по беспроводным каналам. Схема подключения очень простая – GND выход усилителя подключаем к GND входу Ардуино, OUTPUT – выход усилителя подключаем к A0 Ардуино. Модель платформы Ардуино можно использовать практически любую, но более распространенным и отработанным вариантом является Arduino UNO R3 (Приложение лист VI, рис. 17). Выбор этой платформы обусловлен ещё и тем, что к ней очень удобно подключить TFT-дисплей 1.8 для записи и отображения информации.

#### *Подключение TFT-дисплея 1.8 к Arduino [9]*

Технические параметры дисплея:  
 Напряжение питания: 3.3В – 5 В;  
 Диагональ: 1.8 дюйма;  
 Разрешение: 128×160 пикселей;  
 Цветность: 65 тысяч цветов в формате RGB;  
 Интерфейс: SPI;  
 Габариты: 35 мм x 57 мм x 7 мм.  
 TFT дисплей цветной с диагональю 1.8 дюйма и расширением 128 на 160 то-

чек, за обработку данных отвечает контроллер ST7735R, который может отобразить до 18–бит цвета (262144 оттенков), работает данный контроллер (дисплей) от 3.3В и для работы от плат Arduino предусмотрен стабилизатор напряжения на 3.3В (Приложение лист VII, рис. 18). Так-же, на модуле установлен держатель карты SD для хранения и загрузки изображения на TFT дисплей. Подключение осуществляется по ISP интерфейсу (4-х проводному), все выводы выведены на боковую группу контактов, на другой стороне платы, выведены выводы SD карты. Так как контроллер дисплея ST7735R работает на 3.3В (включая логику), необходимо добавить пять резистор в цепь SPI на 1 кОм и один на 150 Ом для защиты светодиодов в подсветки, однако все подключают без резисторов и контроллер не сгорает (Приложение лист VII, рис. 19). Дисплей работает по интерфейсу SPI, поэтому необходимо включить в проект библиотеку SPI, а так же библиотеку TFT, все они входят в стандартные библиотеки среды разработки IDE Arduino (Приложение лист VII, рис. 20).

#### *Программное обеспечение цифровой части электрокардиографа*

Программная часть системы мониторинга сердечного ритма состоит из двух частей, это – скетч Arduino для приема данных с датчика (Приложение лист VIII, рис. 21) и код программы работы для отображения полученных данных на экране монитора, который удалось скопировать с процессора фабричного электрокардиографа с встроенным монитором.

#### *Работа с прибором и его возможности [10]*

Для получения кардиограммы электроды прикрепляются на грудь и конечности (в зависимости от выбранного отведения), с которых снимаются сигналы электрической активности сердца. Эйтховен предложил располагать электроды на руках и ногах, что используется и по сегодняшний день (Приложение лист VIII, рис 22). Он ввел понятие отведения, предложив три так называемых стандартных отведения от конечностей, т. е. измерение разницы потенциалов между левой и правой рукой (I отведение), между правой рукой и левой ногой (II отведение) и между левой рукой и левой ногой (III отведение). Все остальные отведения появились постепенно, когда врачам стало понятно, что трех отведений Эйтховена не хватает для точной оценки электрокардиограммы. Что же врач видит на ЭКГ? Каждая клетка миокарда представляет собой ма-

ленький электрический генератор, который разряжается и заряжается при прохождении волны возбуждения. ЭКГ является отражением суммарной работы этих генераторов и показывает процессы распространения электрического импульса в сердце. В норме электрические импульсы автоматически генерируются в небольшой группе клеток, расположенных в предсердиях и называемых синоатриальным узлом (Приложение лист IX, рис 23). Поэтому нормальный ритм сердца называется синусовым. Когда электрический импульс, возникая в синусовом узле, проходит по предсердиям на электрокардиограмме появляется зубец Р (Приложение лист IX, рис 24). Дальше импульс через атриовентрикулярный (АВ) узел распространяется на желудочки по пучку Гиса. Клетки АВ-узла обладают более медленной скоростью проведения и поэтому между зубцом Р и комплексом, отражающим возбуждение желудочков, имеется промежуток. Расстояние от начала зубца Р до начала зубца Q называется интервал PQ. Он отражает проведение между предсердиями и желудочками и в норме составляет 0,12–0,20 с. Потом электрический импульс распространяется по проводящей системе сердца, состоящей из правой и левой ножек пучка Гиса и волокон Пуркинье, на ткани правого и левого желудочка. На ЭКГ это отражается несколькими отрицательными и положительными зубцами, которые называются комплексом QRS. В норме длительность его составляет до 0,09 сек. Далее кривая вновь становится ровной, или как говорят врачи, находится на изолинии. Затем в сердце происходит процесс восстановления исходной электрической активности, называемый реполяризацией, что находит отражение на ЭКГ в виде зубца Т и иногда следующего за ним небольшого зубца U. Расстояние от начала зубца Q до конца зубца Т называется интервалом QT. Он отражает так называемую электрическую систолу желудочков. По нему врач может судить о продолжительности фазы возбуждения, сокращения и реполяризации желудочков (Приложение лист X, рис. 25). ЭКГ является ценным диагностическим инструментом. По ней можно оценить источник (так называемый водитель) ритма, регулярность сердечных сокращений, их частоту. Все это имеет большое значение для диагностики различных аритмий. По продолжительности различных интервалов и зубцов ЭКГ можно судить об изменениях сердечной проводимости. Изменения конечной части желудочкового комплекса (интервал ST и зубец T) позволяют врачу определить наличие или отсутствие ишемических измене-

ний в сердце (нарушение кровоснабжения). При этом стоит помнить о том, что ЭКГ, снятая в покое, не всегда выявляет ишемические изменения в миокарде. Важным показателем ЭКГ является амплитуда зубцов. Увеличение ее говорит о гипертрофии соответствующих отделов сердца, которая наблюдается при некоторых заболеваниях сердца и при гипертонической болезни. Конечно, разработанный электрокардиограф не претендует на статус профессиональных приборов, но по мнению врачей – специалистов в области кардиомониторинга, показания прибора для простых отведений достаточно точные.

### Заключение

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

Изучены доступных литературных и интернет – источников по вопросам приборного контроля сердечной деятельности, принципам работы кардиографов, чтению кардиографической информации;

На основе изученной информации разработана конструкционная схема простого электрокардиографа, возможного для самостоятельного изготовления из доступных электронных компонентов;

Изготовлен опытный экземпляр малогабаритного электрокардиографа, с возможностью визуального наблюдения графической информации, записи информации. В перспективе предполагается снабдить прибор модулем передачи информации на мобильные устройства;

Определены возможности изготовленного прибора с точки зрения практических медиков –специалистов, которые дали положительную оценку конструкции прибора.

### Список литературы

1. Краткая история электрокардиографии. – <http://www.fesmu.ru/www2/PolTtxt/U0007/Vvedenie/istoria/istoria1.htm>.
2. История электрокардиографии // MedUniver. – <https://meduniver.com/Medical/Xirurgia/2177.html/>
3. Принцип работы электрокардиографа. – <http://medbuy.ru/articles/princip-raboty-elektrokardiografa>.
4. Устройство электрокардиографа. – <http://www.vekyar.ru/gmrs-14-1.html>.
5. Двухполярные стабилизаторы напряжения для микроконтроллеров. – <http://radiostorage.net/1510-dvuhpolyarnye-stabilizatory-napryazheniya-dlya-mikrokontrollerov.html>.
6. Обозначение, параметры и применение защитных диодов. – <http://go-radio.ru/suppressor.html>.
7. AD8232. – <https://www.analog.com/ru/products/ad8232.html#product-overview>.
8. Arduino UNO R3. – [http://www.electronic52.in.ua/arduino/arduino\\_board/arduouno328](http://www.electronic52.in.ua/arduino/arduino_board/arduouno328).
9. Подключение TFT-дисплея 1.8 к Arduino. – <http://blog.rchip.ru/podklyuchenie-tft-displeya-1-8-k-arduino/>.
10. Изучение работы электрокардиографа. – <http://u4isna5.ru/laba/91-2012-06-05-05-38-23/737-izuchenie-raboty-elektrokardiografa>.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВИЗОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Редченко В.О.

ГАОУ ТО «ФМШ», 9 класс

Руководитель: Тарасов О.А., ГАОУ ТО «ФМШ», учитель технологии, к.ф.-м.н, доцент

Ознакомившись с современной литературой [1–3], мы поняли, что композиционные материалы имеют широкое применение в авиационной промышленности. Режим эксплуатации самолетов подразумевает их быструю диагностику во время стоянки. Из-за особой структуры композиционных материалов, тепловизионный способ их диагностики наиболее приемлем.

Тепловизионная диагностика композиционных материалов – это сложная техническая задача, требующая разработки специального программного обеспечения, по сложности сопоставимого с УЗИ и томографией [4–5]. С другой стороны физические принципы распространения тепла в материалах и в измерении тепловых полей одинаковы, как в композиционных, так и в простых материалах. Поэтому для экспериментов мы самостоятельно изготовили композиционный материал из кусков металлической сетки в объеме воска, чтобы убедиться, что с помощью тепловизора возможно диагностировать внутренние дефекты материалов, и чтобы определить чувствительность подобного способа.

Цель исследования – оценить возможности диагностического тепловизора для определения дефектов композитных материалов.

### Задачи исследования:

1) Рассмотреть композиционные материалы, используемые в авиационной

Ход работы:

и космической промышленности и их свойства.

2) Рассмотреть технологию производства композиционных материалов.

3) Провести эксперимент по бесконтактной диагностике этих материалов.

Объект исследования – композиционные материалы.

Предмет исследования – тепловизионная диагностика дефектов композиционных материалов.

Гипотеза – приступая к работе, мы предположили, что, зная состав композиционного материала и технологию его производства, можно диагностировать существующий композиционный материал на наличие/отсутствие внутренних (скрытых) дефектов с помощью простого диагностического тепловизора.

### Практическая часть

Тема: Проверка видимости тепловизором дефектов композиционного материала (металлической сетки залитой воском).

ЦЕЛЬ: Увидеть повреждения на заготовке из металлической сетки и воска.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ: (1) тепловизор TESTO-871, (2) нагревающая лампа – галогеновый прожектор мощностью 500 Вт, (3) металлическая сетка из сита, (4) воск из свечей.



Металлическая сетка была залита воском и разрезана. Кроме того, в нескольких местах сетку просверлили



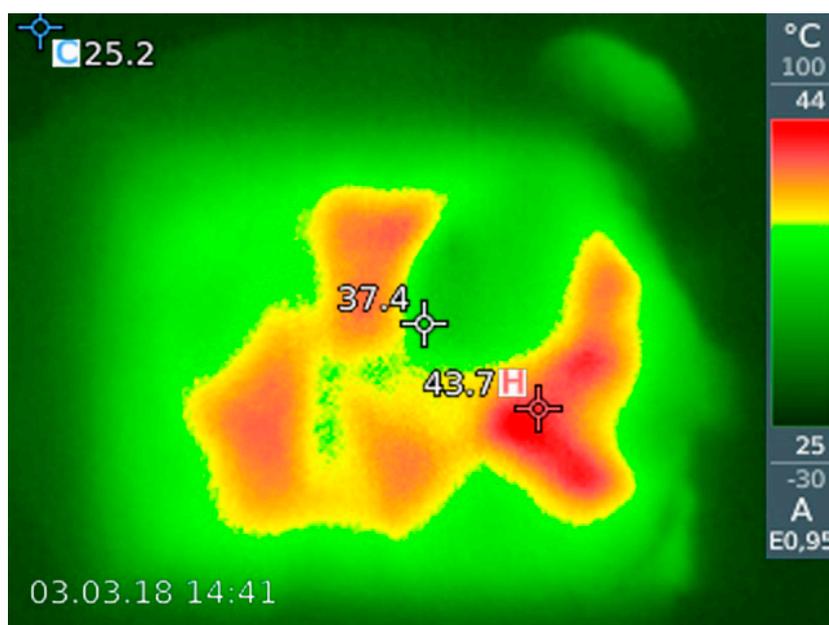
*Поврежденную таким образом сетку залили более толстым слоем воска и получили образец композитного материала для испытаний*



*Прожектор, используемый для бесконтактного и достаточно равномерного нагрева образца композитного материала*



*Металлическо-восковой композит во время нагрева прожектором*



*Внутренняя структура композита, проявившаяся по неоднородности его теплового поля на 7 минуте нагрева прожектором*

На термограмме синий и красный маркеры с перекрестьем указывает на точки с минимальной и максимальной температурами в кадре, соответственно, а белый маркер – на температуру в центре кадра. Внизу слева дано время съемки, а справа впечатывается шкала-палитра с выбранным коэффициентом излучения материала.

Отчетливо видны треугольные куски металлической сетки и параллельные промежутки между ними. Вследствие того, что нагрев образца прожектором был больше в центральной части (вблизи лампы), а на тепловизионной картине различные температуры визуализированы ограниченным набором цветов палитры, в кадре тепловизора оказались видны только центральные части кусков сеток. Продолжение этих частей сеток (их периферия) потерялось в «зеленой» области палитры с более низкими температурами.

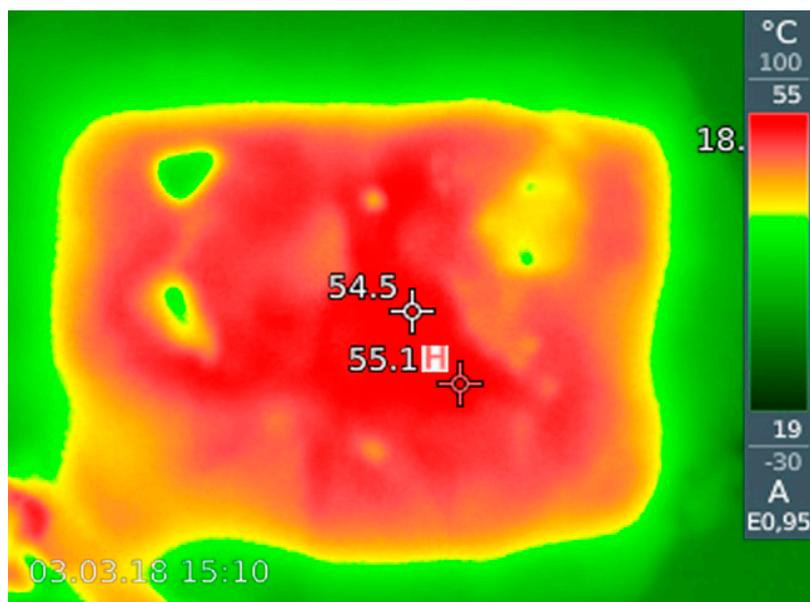
Данный результат говорит о том, что с помощью тепловизора можно достоверно диагностировать внутренние дефекты композитных материалов, но размер диагностируемой области не может превышать размер области равномерного нагрева. С другой стороны, если нужно увидеть дефект в малой заданной области, то достаточно нагре-

вать только ее, при этом она будет видна, а соседние дефекты не будут мешать в процессе визуализации.

Более детально (покадрово) процесс тепловизионного выявления внутренней структуры композитного материала показан в Приложении 5.

Образец композитного материала (после выявления его внутренней структуры) положили остывать на холодную керамическую плитку пола. Несмотря на то, что теплопроводности металлической сетки и объема воска различны, благодаря тому, что сетка была тонкой, чем слой воска, решающий вклад во время остывания области оказывала неравномерность толщины слоя воска. Чем больше была толщина воска в данной области образца, тем медленнее она остывала, т.е. тем выше была ее температура в заданный момент наблюдения, по сравнению с более тонкими областями воска.

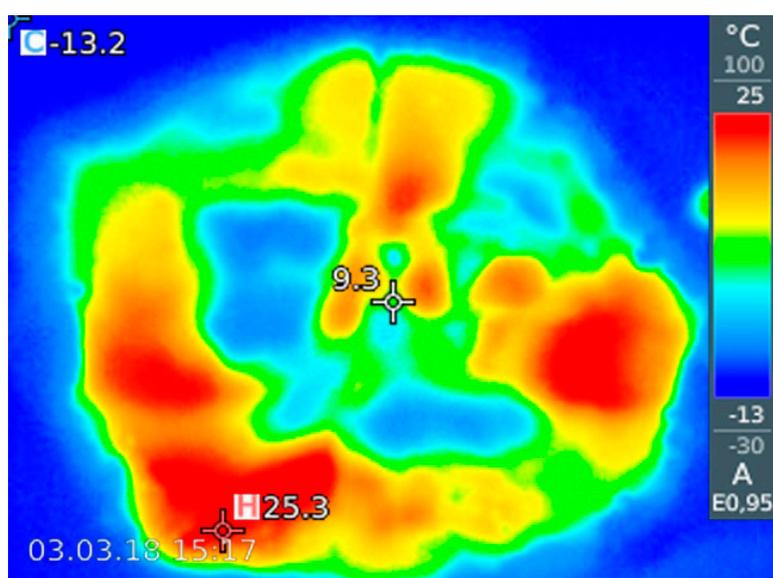
Этот факт позволил по неоднородности теплового поля образца во время остывания судить о профиле его толщины. Причем визуальные и тепловизионные картины хорошо соответствовали друг другу. Покадрово термограммы остывания образца на полу даны в Приложении 6.



Неоднородность теплового поля образца на 1-й минуте остывания, связанная с неоднородностью толщины слоя воска. «Зеленые дыры» в тепловой картине соответствуют местам проплавления воска до сетки при его прогреве прожектором. Красные области – самые толстые слои воска.

После того, как образец остыл до комнатной температуры (точнее температуры пола), его реши испытать воздействию пониженных температур. Для этого вынесли его на улицу (температура около  $-15^{\circ}\text{C}$ ) и положили горизонтально на предварительно выровненный слой свежего снега.

Термограммы остывания композита на снегу оказалась чрезвычайно неоднородной и зависящей главным образом от точек теплового контакта образца и слоя снега. По данной термограмме невозможно сделать вывод о внутреннем строении композитного образца или его толщине, но зато хорошо видны места его теплового контакта с нижележащим слоем, что тоже может быть важно в диагностике дефектов, например в обнаружении отслоения композита от нижележащего слоя (вследствие разрушения клеевой основы или деформации основы). Термограммы остывания образца на снегу даны в Приложении 7.



Термограмма 1-й минуты остывания композита, лежащего на слое снега. Видна сильная неоднородность теплового поля, которая никак не связана с внутренним строением материала и его толщиной, а определяется точками его контакта с более холодным снегом.

Полученный результат говорит о том, что с помощью тепловизора можно определять не только внутреннее строение композита и профиль его толщины, но и качество его контакта с нижележащим основанием.

### Заключение

Современная авиационная промышленность не мыслима без композиционных материалов и требуется постоянная диагностика дефектов частей летательных аппаратов без их разборки

Экспериментальные исследования с образцом из композитного материала (части тонкой металлической сетки, залитые в объеме воска) дали неожиданно много результатов.

Во-первых, при бесконтактном нагреве образца была уверенно выявлена его внутренняя структура (на термограммах были видны части сетки) в области однородного нагрева. Это говорит о том, что тепловидение в сочетании с однородным нагревом позволяет исследовать внутреннюю структуру композитных материалов, в том числе и их дефекты.

Во-вторых, при остывании образца, лежащего на ровной поверхности (образец внизу тоже был ровным, т.к. его получали при плавлении воска на ровной поверхности), хорошо появилась неоднородность его толщины, т.к. участки с большей толщиной слоя медленнее остывали и из-за этого имели большую температуру. Это говорит о том, что техника тепловидения позволяет выявить неоднородность толщины композитного материала, при условии, что тепловой контакт его противоположной стороны с окружающей средой однородный.

В-третьих, при остывании образца, лежащего на неровной поверхности, неоднородный контакт противоположной стороны образца тут же был выявлен тепловизором по неоднородности теплового поля. Это говорит о том, что тепловидение позволяет выявлять дефекты контакта композитного материала с нижележащим слоем.

Таким образом, мы опытным путем установили, что с помощью недорогого диагностического тепловизора (на примере Testo 871, 70 тыс. руб.) можно определять не только внутреннее строение композита и профиль его толщины, но и качество его контакта с нижележащим основанием,

а также оценивать геометрические размеры дефекта (его толщину или ширину).

Данная возможность будет удобна для первичного обнаружения дефектов авиационной техники, поскольку техника тепловидения позволяет сразу получать изображения больших площадей поверхности (порядка 1 м<sup>2</sup>), в отличие от токовых и ультразвуковых методов [6, 7], работающих локально, от точки к точке, и поэтому медленных в режиме поиска, но позволяющих проводить точные измерения. Таким образом, для сокращения времени диагностических работ (ускорения поиска дефектов) и повышения их качества (100 % охват поверхности) целесообразно использовать сначала термографическую систему, а затем на найденных дефектах – точные классические способы.

Исследование проведено в рамках серии совместных проектных работ Физико-математической школы Тюменской области и Открытого акционерного общества «ЮТэйр-Инжиниринг», направленных на повышение скорости и точности неразрушающей дефектоскопии деталей и узлов легкой техники (Приложения 1–4). Научно-техническое сотрудничество с ведущей российской авиационно-технической базой вертолетов запланировано на длительной основе с учетом реальных проблем эксплуатации винтокрылой техники в условиях Западной Сибири. Будут использованы уникальные стенды для испытаний агрегатов и их узлов «ЮТэйр-Инжиниринг» и исследовательское оборудование нашей школы.

Авиаремонтный комплекс АО «ЮТэйр-Инжиниринг» является единственным в России предприятием, предоставляющим полный комплекс услуг по ремонту и техническому обслуживанию вертолетов отечественного и зарубежного производства: от полной разборки вертолета и комплектующих до сборки, покраски, наземных и летных испытаний. Специалисты предприятия ежегодно выполняют техническое обслуживание свыше 300 вертолетов всей линейки семейства Миль, Ка-32Т, самолетов АН-2, их систем и агрегатов, а также вертолетов зарубежного производства: Airbus Helicopters, Robinson R-44, AW139. Мировой лидер по техобслуживанию вертолетов ОКБ Миля.

### Список литературы

1. Виды и применение композитных материалов (24.01.2018). – <https://pcgroup.ru/blog/vidy-i-primenenie-kompozitnyh-materialov/>.
2. «Композитные материалы – это будущее авиации». Глава компании «Аэрокомпозит» Анатолий Гайданский – в интервью «Б FM» (24.06.2017). <https://www.kommersant.ru/doc/3366063>.

3. Зимбацкий А.В., Стасюк Ю.В. Применение композиционных материалов в современном авиастроении, контроль за их состоянием в эксплуатации // Научный Вестник МГТУ ГА № 208. <http://avia.mstuca.ru/jour/article/download/333/259>.

4. Морозов Г.А. Развитие методов неразрушающего контроля в авиации // Контроль. Диагностика. – 2002. – № 7. – С. 3–8.

5. Вавилов В.П., Климов А.Г., Тепловизоры и их применения. – М.: Интел универсал. 2002. – 88 с.

6. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.

7. Методы неразрушающего контроля. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Н.В. Кашубский, А.А. Сельский, А.Ю. Смолин и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.

## Приложение 1

### Письмо директору «ЮТэйр-Инжиниринг»

Генеральному директору Акционерного общества «ЮТэйр-Инжиниринг» Фараджаеву Рашиду Гусейновичу директору государственного автономного общеобразовательного учреждения Тюменской области «Физико-математическая школа» Фомичевой Натальи Александровны

Уважаемый Рашид Гусейнович,

Просим Вас содействовать в проведении проектно-исследовательских работ, направленных на повышение скорости и точности неразрушающей дефектоскопии деталей и узлов летной техники, а также повышения безопасности полетов в условиях Западной Сибири, проводимых учениками нашей школы, а именно разрешить:

1) Сопоставить результаты нашей термографической системы и метрологического оборудования вашей организации путем проведения совместных дефектоскопических исследований на реальных объектах – летательных аппаратах и их частях.

2) Сопоставить результаты классических макро-методов измерения твердости на вашем оборудовании и с помощью нашего метода на нано-масштабе на реальных деталях летательных аппаратов.

3) Сопоставить результаты, даваемые по износу двигателей классическим рентгеновским анализатором вашего метрологического центра и нашим наномикроскопом, для чего провести совместные исследования проб масла из двигателей и узлов трансмиссии вертолетов.

4) Измерить тепловые поля от вертолетов на разном расстоянии и в разных погодных условиях, чтобы понять пределы обнаружения в тепловизор вертолета, летящего на встречном курсе.

5) Измерить тепловые поля от источников инфракрасного излучения в условиях снежной пелены, поднятой вертолетом, чтобы оценить возможность ориентировки пилота вертолета в тепловизор по тепловым наземным источникам при посадке на заснеженных площадках.

6) При выполнении проектов по пп.1,3–5 на территории предприятия присутствие руководителя проектов со стороны ФМШ – к.ф.-м.н. Тарасова Олега Александровича и учеников ФМШ.

Полученные нами результаты, как на территории предприятия, так и в стенах областной школы будут оформлены в виде отчетов и переданы Вам.

При защите школьных проектов будут применяться принципы конфиденциальности информации и научной этики. В частности, не будет раскрываться информация о конкретных объектах исследования. При подготовке материалов к защите будет согласовываться их содержание на предмет разрешенной к раскрытию информации с назначенным Вами лицом.

## Приложение 2

## Ответное письмо директора «ЮТэйр-Инжиниринг»



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ЮТэйр-Инжиниринг»

22.10.2018 № 33(33П)-562/18-1  
на № 367 от 11.10.2018

Директору ГАОУ ТО "ФМШ"  
Н.А.Фомичевой

О сотрудничестве

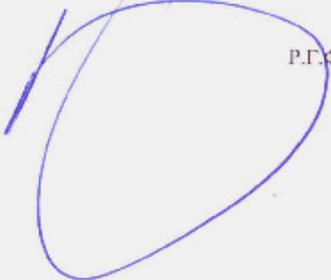
Уважаемая Наталья Александровна!

Наше предприятие заинтересовано в подготовке квалифицированных инженеров для нужд ремонтного производства и, в надежде на перспективность предложенной Вами инициативы, выражаем свою готовность к сотрудничеству с Вашим учреждением.

Из предложенных 5 пунктов проектно-исследовательских работ мы можем оказать Вам содействие лишь в четырех. На нашем предприятии, в Тюмени, отсутствует аппаратура "БАРС-3" для анализа содержания металлов в масле в связи с отсутствием потребности в данных работах при ремонте АТ, поэтому мы не сможем выполнить работы по сопоставлению результатов исследования продуктов износа деталей двигателей выполненного классическим методом с предложенным Вами методом.

Для детального согласования условий выполнения предстоящих исследовательских работ и их организации от нашего предприятия назначен заместитель директора АРК - главный инженер Голубев Михаил Васильевич, тел: 29-89-21, e-mail: Mikhail.Golubev@utair.ru.

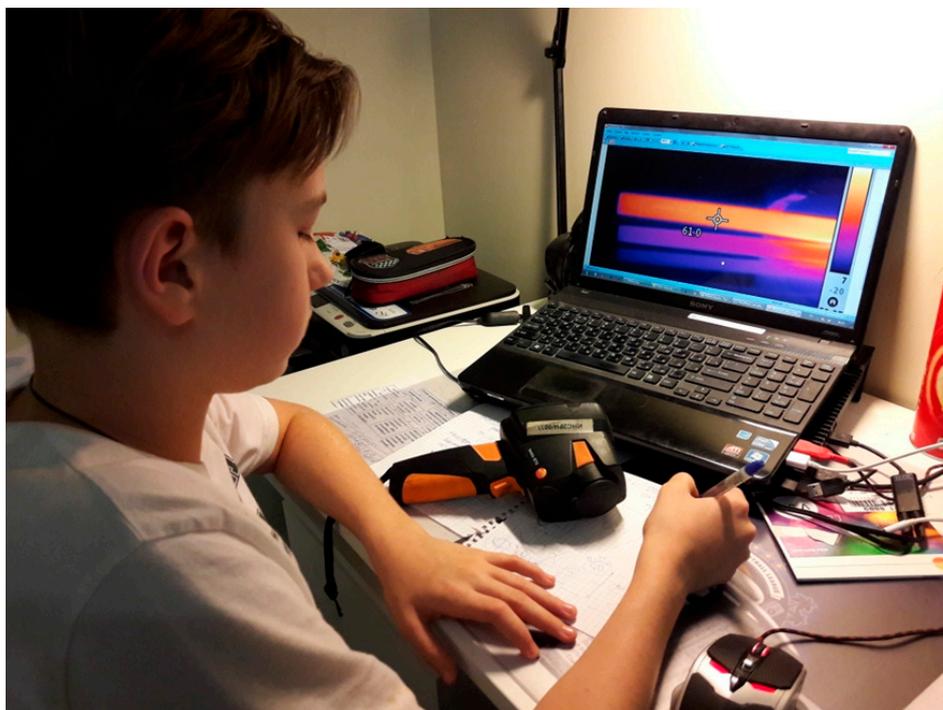
Для выписки пропусков на территорию предприятия прошу сообщить паспортные данные Ваших сотрудников и учащихся.

Генеральный директор  Р.Г.Фараджаев

М.В. Голубев  
+7(3452)-29-89-21

Адрес для направления корреспонденции: 625025 г. Тюмень, аэропорт «Плеханово»,  
тел.: (3452) 29-85-80, факс: (3452) 29-85-40, e-mail: UT-E@utair.ru

## Пропуск автора проекта на территорию предприятия

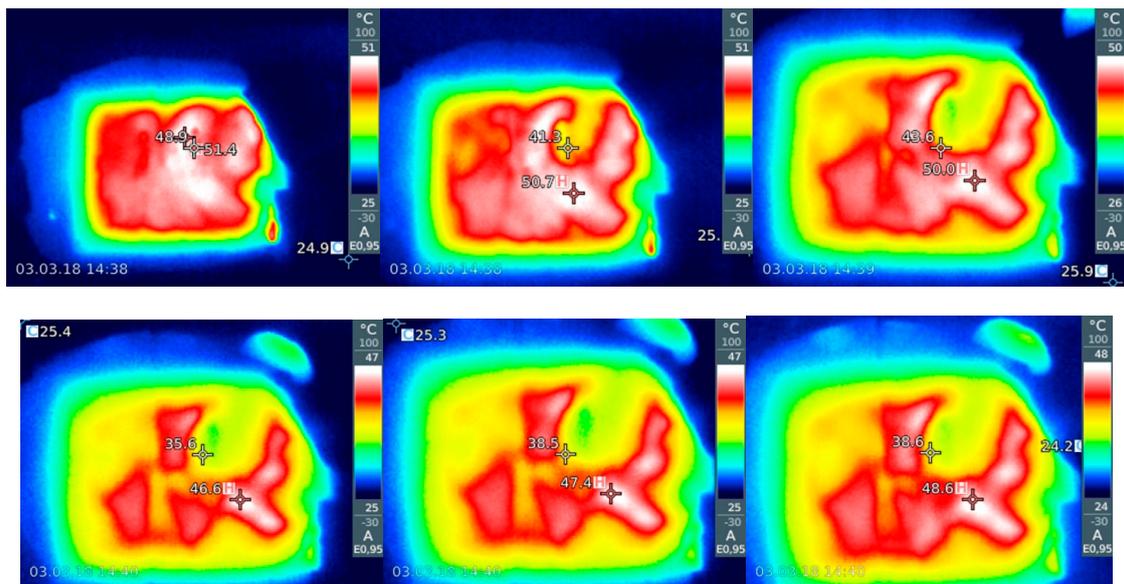
Автор проекта во время анализа термограмм и посещения  
АО «ЮТэйр-Инжиниринг»



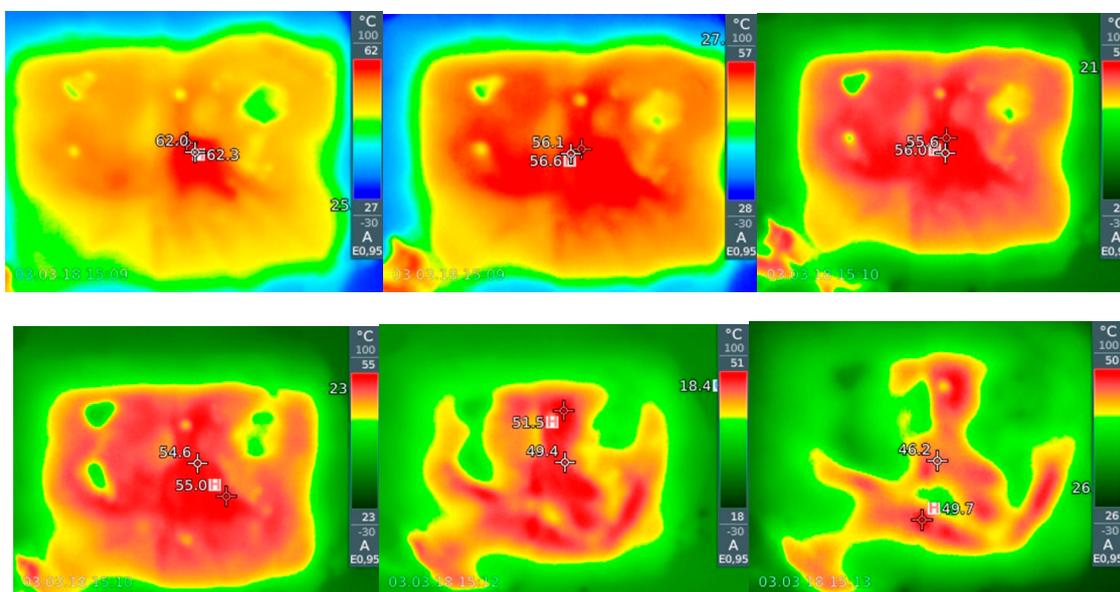
Делегация ГАОУ ТО ФМШ перед входом на предприятие в составе: Владимир Редченко, Олег Тарасов и Дарья Учанова

Приложение 5

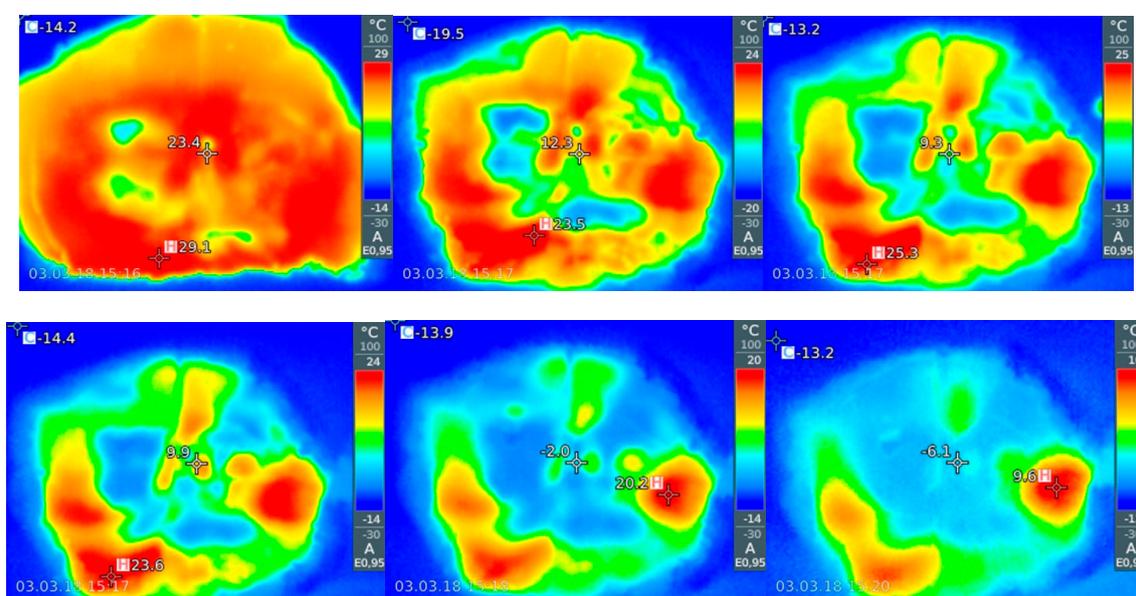
Процесс тепловизионного «проявления» внутренней структуры композитного материала (треугольных кусков металлической сетки в объеме воска) в ходе бесконтактного нагрева композита прожектором



Процесс тепловизионного «проявления» неоднородности толщины композитного материала (разной толщины слоя воска) в ходе остывания композита, положенного на холодную керамическую плитку пола



Термограммы в процессе остывания композита, вынесенного из теплого помещения на улицу (температура около  $-15^{\circ}$ ) и положенного на горизонтальный выровненный слой снега



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ СОЗДАНИИ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Спиридонова М.Н.

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №1», 9 класс

Руководитель: Красавин Э.М., МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №1», заместитель директора по научной работе, руководитель Сетевого КЦ программы «Шаг в будущее»

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте VI Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://school-science.ru/6/11/37105>.

Без энергии жизнь человечества немыслима. Все мы привыкли использовать в качестве источников энергии органическое топливо – уголь, газ, нефть. Однако их запасы в природе, как известно, ограничены. И рано или поздно наступит день, когда они иссякнут. На вопрос «что делать в преддверии энергетического кризиса?» уже давно найден ответ: надо искать другие источники энергии – альтернативные, нетрадиционные, возобновляемые. Альтернативный источник энергии, является возобновляемым ресурсом, он заменяет собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле, которые при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению. Перспективы использования возобновляемых источников энергии связаны с их экологической чистотой, низкой стоимостью эксплуатации и ожидаемым топливным дефицитом в традиционной энергетике. В определённых случаях нет возможности воспользоваться традиционной энергией. Например, находясь в походе, отдыхая на природе, в длительных путешествиях возникает необходимость пополнить энергетический запас мобильной электроники. В этом случае, единственным источником энергии, может стать только альтернативная энергетика.

Цель и задачи работы. Целью данной работы является, исследование возможностей альтернативной энергетике при создании зарядных устройств для мобильной электроники, которые способны обеспечить энергией небольшие мобильные устройства в автономных условиях. Цель работы, предполагала решение следующих задач:

Определение возможных альтернативных источников энергии для разработки и создания зарядных устройств;

Изучение литературных данных по выбранным альтернативным источникам

энергии, возможностям их использования для разработки зарядных устройств;

Разработка схемотехники зарядных модулей;

Изготовление опытных образцов зарядных модулей;

Исследование параметров и функциональных возможностей изготовленных образцов.

### 1. Возможные альтернативные источники энергии для изготовления зарядной станции [1–3] (приложение, табл. 1)

#### 1.1. Солнечная энергия

К преимуществам солнечной энергии можно отнести возобновляемость данного источника энергии, бесшумность, отсутствие вредных выбросов в атмосферу. Недостатками солнечной энергии являются зависимость интенсивности солнечного излучения от суточного и сезонного ритма.

#### 1.2. Энергия ветра

Одним их перспективнейших источников энергии является ветер. Сила ветра, используется для того, чтобы привести в движение ветряное колесо. Это вращение в свою очередь передаётся ротору электрического генератора. Ветер можно считать неисчерпаемым источником энергии. Кроме того, ветрогенераторы, производя энергию, не загрязняют атмосферу вредными выбросами. К недостаткам можно отнести непостоянство силы ветра и малую мощность единичного ветрогенератора, а также значительные габариты, и вес устройства.

#### 1.3. Термоэлектричество

Метод получения электроэнергии при воздействии тепла основан на эффекте Зеебека, открытом в 1821 году. Эффект состоит в том, что в замкнутой цепи из двух разнородных проводников появляется ЭДС,

если места спаев проводников находятся при разных температурах. Недостатком данного метода является необходимость нагрева спаев металлов, что не всегда возможно в автономных условиях.

## 2. Исторические аспекты использования выбранных альтернативных источников энергии [1–3]

### 2.1. Использование ветра

Ветряные мельницы, производящие электричество, были изобретены в XIX веке в Дании. В России считается, что применение ветрогенераторов в быту для обеспечения электричеством малоцелесообразно из-за; высокой стоимости преобразователей тока и напряжения, стоимости резервных батарей и значительного количества иных энергоносителей.

### 2.2. Использование солнечной энергии

В 1839 году Александр Эдмон Беккерель открыл фотогальванический эффект. Спустя 44 года Чарльзу Фриттсу удалось сконструировать первый модуль с использованием солнечной энергии, а основой для него послужил селен, покрытый тончайшим слоем золота. Ученый установил, что такое сочетание элементов позволяет, хоть и в минимальной степени (около 1%), преобразовывать энергию солнца в электричество. Именно 1883 год принято считать годом рождения эры солнечной энергетики. Чтобы более эффективно реализовывать солнечную энергию применяют фотоэлементы. На своей поверхности они имеют полупроводниковый слой, в котором, при воздействии на них лучей солнца, начинаются определённые физические процессы, и тем самым вырабатывается электрический ток. Такой принцип выработки тока не содержит никаких химических реакций, что позволяет фотоэлементам работать достаточно долго. На сегодняшний день солнечные батареи, как источник энергии, используют для производства электричества в теплых странах, таких как Турция, Египет и страны Азии. В нашем регионе солнце, как источник энергии, применяют для снабжения электричеством автономных систем электропитания, маломощной электроники.

### 2.3 Использование тепловой энергии, преобразование элемента Пельтье

В 1834 г. французский физик и метеоролог Жан Шарль Пельтье (1785–1845) обнаружил, что при протекании электрического тока на границах двух разных проводников (например, висмута и сурьмы) происходит на одном конце поглощение тепла, а на дру-

гом – его выделение («эффект Пельтье»). Изменение температуры при этом пропорционально силе тока. Эффекты Пельтье и Зеебека на данном этапе становления альтернативной энергетики заинтересовали ученых как возможный перспективный метод получения электричества. Единственной сложностью, тормозящей промышленное использование подобных элементов, является их низкий КПД. Элементы Пельтье широко используют с целью охлаждения приборов малых габаритов. К основной сфере применения данного эффекта можно отнести мелкую электронику, портативные авто-холодильники и кондиционеры. При всей простоте, термоэлектрический преобразователь является одним из лучших источников электричества. Он будет работать в любом случае, при наличии разницы температур. Примером такого теплогенератора является широко распространённый в 30–50 годы ТГК-3 (Приложение с20, рис. 1)

3. Определение технических и потребительских характеристик зарядных модулей

1. Модули должны быть компактными, легкими и просты в использовании.

2. Модули должны обеспечить использование нескольких альтернативных источников энергии.

3. Электрические параметры модулей должны обеспечивать возможность зарядки и питания небольших мобильных устройств (мобильный телефон, планшетный компьютер, аккумуляторный фонарь и т.д.).

Исходя из данных технических и потребительских возможностей, я выбрала два альтернативных источника энергии: солнечную, и термоэнергию. Использование энергии ветра предполагает создание ветрогенератора, обладающего значительными размерами и массой, что не отвечает техническим и потребительским параметрам.

## 4. Теоретические основы использования, выбранных альтернативных источников энергии

### 4.1. Принцип работы солнечных батарей [4–11]

Термин «солнечная батарея» можно понимать по-разному. Обычно так называют панели фотоэлектрических преобразователей, которые способны преобразовывать солнечное излучение в электроэнергию. Принцип их работы во многом сходен с организацией транзистора. Как правило, материалом для этого изделия является полупроводниковый кремний (Приложение лист II, рис. 2–4, табл. 2). Батарея солнечных элементов является полупроводниковым фотоэлектрическим генератором, непосредственно

преобразующим энергию солнечной радиации в электрическую энергию. Действие солнечных элементов основано на использовании явления внутреннего фотоэффекта (Приложение лист стр22, рис.5–6). Первые солнечные элементы с практически приемлемым КПД преобразования (~6%) были разработаны Г. Пирсоном, К. Фуллером и Д. Чапиным (США) в 1953–54 годах. Распространённые материалы для солнечных элементов (СЭ) – Si, GaAs; реже используются CdS, CdTe. Наиболее высокий КПД получен в СЭ из Si со структурой, имеющей электронно-дырочный переход, и в СЭ на основе GaAs с полупроводниковым гетеропереходом (18%) (Приложение лист III, таблица 3). Конструктивно солнечные батареи, обычно выполняют в виде плоской панели из СЭ, сверху защищенных прозрачными покрытиями. Число СЭ в батарее может достигать нескольких сотен тысяч, площадь панели – десятков м<sup>2</sup>, ток достигает сотен ампер, напряжение – десятков вольт, генерируемая мощность – нескольких десятков кВт. (в космических условиях). Основу фотоэлементов составляет полупроводниковая структура с р–n переходом (Приложение стр22, рис.7), возникающим на границе двух полупроводников с различными механизмами проводимости. Получают различные типы проводимости путем изменения типа введенных в полупроводник примесей. Так, например, атомы III группы Периодической системы Д.И. Менделеева, введенные в кристаллическую решетку кремния, придают дырочную (положительную) проводимость, а примеси V группы – электронную (отрицательную). Контакт р- или n-полупроводников приводит к образованию между ними контактного электрического поля. При соединении в одном монокристалле полупроводников р- и n-типа возникает диффузионный поток электронов из полупроводника n-типа в полупроводник р-типа и, наоборот, поток дырок из р- в n-полупроводник. В результате такого процесса прилегающая к р–n переходу часть полупроводника р-типа будет заряжаться отрицательно, а прилегающая к р–n переходу часть полупроводника n-типа, наоборот, приобретет положительный заряд. Таким образом, вблизи р–n перехода образуется двойной заряженный слой, который противодействует процессу диффузии электронов и дырок. Действительно, диффузия стремится создать поток электронов из n-области в р-область, а поле заряженного слоя, наоборот, – вернуть электроны в n-область. Аналогичным образом поле в р–n переходе противодействует диффузии дырок из р- в n-область.

В результате двух процессов, действующих в противоположные стороны (диффузии и движения носителей тока в электрическом поле), устанавливается стационарное, равновесное состояние: на границе возникает заряженный слой, препятствующий проникновению электронов из n – полупроводника, а дырок из р-полупроводника. Другими словами, в области р–n перехода возникает энергетический (потенциальный) барьер, для преодоления которого электроны из n-полупроводника и дырки из р-полупроводника должны затратить определенную энергию. При поглощении света в полупроводнике возбуждаются электронно-дырочные пары. В однородном полупроводнике фотовозбуждение увеличивает только энергию электронов и дырок, не разделяя их в пространстве, то есть электроны и дырки разделяются в «пространстве энергий», но остаются рядом в геометрическом пространстве. Для разделения носителей тока и появления фотоэлектродвижущей силы (фото – ЭДС) должна существовать дополнительная сила. Наиболее эффективное разделение неравновесных носителей имеет место именно в области р–n перехода. Генерированные вблизи р–n перехода «неосновные» носители (дырки в n-полупроводнике и электроны в р-полупроводнике) диффундируют к р–n переходу, подхватываются полем р–n перехода и выбрасываются в полупроводник, в котором они становятся основными носителями: электроны будут локализоваться в полупроводнике n-типа, а дырки – в полупроводнике р-типа. В результате полупроводник р-типа получает избыточный положительный заряд, а полупроводник n-типа – отрицательный. Между n- и р-областями фотоэлемента возникает разность потенциалов – фото – ЭДС. При этом величина фото – ЭДС в широком диапазоне освещенностей растет пропорционально логарифму интенсивности света. При коротком замыкании освещенного р–n перехода в электрической цепи потечет ток, пропорциональный по величине интенсивности освещения и количеству генерированных светом электронно-дырочных пар. При включении в электрическую цепь полезной нагрузки, величина тока в цепи несколько уменьшится. Обычно электрическое сопротивление полезной нагрузки в цепи солнечного элемента выбирают таким, чтобы получить максимальную отдаваемую этой нагрузке электрическую мощность. Коэффициент фотоэлектрического преобразования для различных типов фотоэлементов представлен в приложении (с. 22, таблица 3).

#### 4.2. Принцип работы термогенератора (элемента Пельтье) [12–19]

Эффект Зеебека состоит в том, что в замкнутой цепи из двух разнородных проводников появляется ЭДС, если места спаев проводников находятся при разных температурах. Например, горячий спай находится в сосуде с кипящей водой, а другой в чашке с тающим льдом. Эффект возникает от того, что энергия свободных электронов зависит от температуры. При этом электроны начинают перемещаться от проводника, где они имеют более высокую энергию в проводник, где энергия зарядов меньше. Если один из спаев нагрет больше другого, то разность энергий зарядов на нем, больше, чем на холодном. Поэтому, если цепь замкнута, в ней возникает ток, именно та самая термо – ЭДС (Приложение стр23, рис. 8). Приблизительно величину термо – ЭДС можно определить по простой формуле:  $E = \alpha \times (T_1 - T_2)$ , где  $\alpha$  – коэффициент термо – ЭДС, который зависит только от металлов, из которых составлена термопара или термоэлемент. Его значение обычно выражается в микровольтах на градус. В основе работы элементов Пельтье лежит контакт двух токопроводящих материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости (Приложение стр23, рис. 9). При протекании тока через контакт таких материалов, электрон должен приобрести энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников, дополнительно к обычному тепловому эффекту. При контакте металлов эффект Пельтье настолько мал, что незаметен на фоне омического нагрева и явлений теплопроводности. Поэтому при практическом применении используются контакт двух полупроводников. Элемент Пельтье, состоит из одной или более пар небольших полупроводниковых параллелепипедов – n-типа и p-типа (обычно теллурида висмута,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и германида кремния), которые попарно соединены при помощи металлических перемычек. Металлические перемычки одновременно служат термическими контактами и изолированы непроводящей плёнкой или керамической пластинкой. Пары параллелепипедов соединяются таким образом, что образуется последовательное соединение многих пар полупроводников с разным типом проводимости, так чтобы вверху были одни последовательности соединений (n->p), а снизу противоположные (p->n). Электрический ток протекает по-

следовательно через все параллелепипеды. В зависимости от направления тока верхние контакты охлаждаются, а нижние нагреваются – или наоборот.

#### 5. Изготовление модульных зарядных устройств

Изготовление модулей зарядных устройств проходило последовательно, с последующей проверкой их характеристик. Надо отметить, что в большинстве случаев напряжение и токи, выдаваемые солнечными модулями Пельтье нестабильны, и не соответствуют необходимым параметрам для использования в зарядных устройствах. Поэтому объективным является применение схем преобразования и стабилизации выходных параметров.

##### 5.1. Методы улучшения выходных характеристик солнечных и термогенераторных преобразователей

###### 5.1.1. DC-DC преобразователи

Наиболее практичным решением повышения выходного напряжения является использование DC-DC преобразователя на основе релаксационного генератора. Способ крайне простой, но весьма эффективный. Релаксационный генератор способен работать от крайне низкого напряжения (от 0,3 В) и, следовательно, полностью использовать низковольтные выходные характеристики солнечных и теплогенераторных модулей. Схемотехническое решение этой схемы не позволяет стабилизировать выходные параметры (ни напряжение, ни ток), ограничивая потребление только забираемым током посредством резистора. Схема состоит всего из трёх элементов: катушка индуктивности с обмоткой обратной связи, транзистор и токоограничивающий резистор (приложение с. 23, рис. 10). Преобразователь построен по принципу вольтодобавочного преобразователя с релаксационным генератором на одном транзисторе с индуктивной обратной связью. Цикл работы состоит из двух фаз – фазы накопления энергии в индуктивности и фазы отдачи энергии в нагрузку. В первой фазе ток, протекающий от источника питания через первичную обмотку, попадает на базу транзистора, открывая его. Это вызывает протекание возрастающего тока через индуктивность. При этом на вторичной обмотке создаётся дополнительная разность потенциалов, удерживающая транзистор в открытом состоянии. Когда рост тока через основную обмотку индуктивности прекратится из-за ограничения транзистором ( $I_{\text{к max}} = I_{\text{г } 21\text{э}}$ ), транзистор закроется за счёт падения напряжения

на вторичной обмотке индуктивности. Пока транзистор закрыт, во второй фазе, энергия отдаётся в нагрузку. При этом уменьшающийся в основной обмотке ток наводит на вторичной обмотке ЭДС обратного знака, удерживающую транзистор в закрытом состоянии. Когда ток во вторичной обмотке упадёт до нуля, наведённая ЭДС на вторичной обмотке исчезнет, транзистор откроется, и цикл начнётся сначала. Варианты схемотехнических решений преобразователя, размещены в приложении (с. 23, рис. 11) Единственная изготавливаемая деталь преобразователя, катушка индуктивности. Намотка ведётся двумя проводами на ферритовое кольцо, до его заполнения (приложение с. 24, рис. 12–14). Проверка преобразователей показала их высокую эффективность.

### *5.1.2. Стабилизация выходных параметров*

Стабилизаторы в виде одной микросхемы очень широко применяются во всех типах радиолюбительских, промышленных и прочих электронных конструкций для получения стабильных выходных параметров напряжения. Интегральные стабилизаторы очень эффективны в работе и малогабаритны, что делает их широко применяемыми (приложение стр. 24, рис. 5). Типовая схема включения стабилизатора серии 78L, приведена в приложении (стр. 24, рис. 16). Емкость С1 на входе требуется для срезания высокочастотных помех при подаче входного напряжения. Емкость С2 но уже на выходе стабилизатора задает стабильность напряжения при резком изменении тока нагрузки, а так же существенно снижает степень пульсаций. При проектировании требуется помнить, что для нормальной работы стабилизатора 78L напряжение на входе должно быть не ниже 5В, что достигается схемой DC-DC преобразователя.

### *5.2. Солнечные модульные зарядные устройства*

В работе использовались несколько типов солнечных модулей. Первый тип – солнечные модули фирмы Velleman изготовленные на основе фотодиодов. Второй тип модулей – модули из монокристаллического кремния (производство США) Третий тип – модули из поликристаллического кремния, и четвёртый из аморфного кремния (гибкие тонкоплёночные) (Приложение с. 25, рис. 17).

### *5.3. Экспериментальная проверка выходных параметров солнечных модулей*

Проверка эффективности работы различных типов солнечных модулей осуществлялась на стенде оснащённом регулиру-

емым источником света (макс. мощность 1000Вт), амперметром и вольтметром. Для объективности показателей, при исследовании, применялись сборки модулей (по 4 элемента) примерно одинаковой выходной мощности. Типы проверяемых модулей, схема соединения модулей и схема проверочного стенда представлены в приложении (с. 25–26, рис. 17–19). В результате проверки выяснилось, что наиболее стабильные показатели при средней и высокой степени освещённости у монокристаллических и поликристаллических кремниевых модулей. Уже при средней освещённости выдаваемое ими напряжение составило 3 и более вольт при токе 0,2 ампера. При высокой степени освещённости, напряжение составило 5 и более вольт при токе 0,4 ампера. Таким образом, средняя мощность сборок из моно и поликристаллического кремния составляет 2 ватта. Наиболее худшие показатели у фотодиодных модулей. При высокой степени освещённости (1000 Вт) максимальное напряжение составило 4,4 В. при токе 0,4 А. Модули из аморфного кремния (гибкие тонкоплёночные) занимают по показателям промежуточное положение, уступая по характеристикам моно и поликристаллическим модулям (Приложение, рис. 20–21). Вторым этапом проверки эффективности работы модулей, была проверка их работы со схемой преобразования и стабилизации выходного напряжения (Приложение с. 27, рис. 22). В этом случае усреднённые показатели работоспособности примерно одинаковые. Различия состоят в пороге срабатывания преобразователя. У кремниевых модулей точка начала работы преобразователя (1,5 В) находится в пределах освещённости 200–250 Вт. У фотодиодных модулей этот порог выше 300–350 Вт. При средней и высокой степени освещённости показатели выравниваются за счёт работы схемы преобразователя и системы стабилизации напряжения. Максимальная мощность всех исследованных модулей, при стабилизированном напряжении 5В составляет 2 Вт (Приложение, рис. 23–24).

### *5.4. Разработка зарядных устройств с использованием солнечных модулей*

Исходя из данных проверки эффективности работы солнечных модулей и их технологического исполнения, для изготовления зарядных устройств был выбран вариант использования тонкоплёночных гибких модулей выполненных на основе аморфного кремния. Второй вариант-использование фотодиодных модулей благодаря их прочности и высокой защищённости от факторов внешней среды. Наиболее

подходящим вариантом, являются тонкоплёночные модули из аморфного кремния. Несмотря на более худшие показатели выходных характеристик по сравнению с моно и поликристаллическими модулями их технологическое исполнение наиболее полно отвечает поставленным задачам при изготовлении зарядной станции и её эксплуатации. Основу зарядной станции составляют четыре тонкоплёночных модуля соединённых последовательно. Выход модулей подключен к повышающему DC-DC преобразователю, который определяет порог работы устройства уже при средней освещённости солнечной батареи. Система стабилизации напряжения позволяет получить стабильное напряжение 5В при средней и высокой степени освещения солнечных преобразователей. Схема зарядного устройства, его внешний вид, и график выходных параметров приведены в приложении (лист IX, рис. 25–27). У фотодиодных модулей напряжение одного модуля при полной освещённости составляет 2В при токе 200 мА. Для изготовления батареи, мы использовали 6 модулей соединённых последовательно. При этом максимальное напряжение при полной освещённости батареи получилось 11.2–11.5 В., при токе около 200 мА. Для большей компактности устройства, мы разместили модули по 3 в виде закрывающейся книги. В нижней части устройства, где соединяются проводники модулей, размещены два стабилизатора напряжения для получения фиксированных напряжений 9В и 5В с целью возможности зарядки мобильного телефона и частичной подзарядки планшетного компьютера. Стабилизаторы напряжения применены микросхемного типа, для уменьшения габаритов устройства. В качестве фиксированного стабилизатора применена микросхема 78L05, на выходе которой получается напряжение 5 В. В качестве стабилизатора напряжения 9 В, применена микросхема 78L09. Микросхемы подключены к солнечной батарее по типовой схеме. Все монтажные соединения с целью влагозащиты и предохранения от повреждений залиты герметиком. Фотографии и характеристики зарядного устройства приведены в приложении (стр. 28–29, рис. 28–31).

#### 5.5. Термоэлектрический преобразователь [21]

Элемент Пельтье лучше всего брать с максимальным количеством ветвей (термоэлементов). Мы приобрели TEC1–127120–50 (у него 127 элементов), на 12А в режиме охлаждения. Можно брать и на меньший ток (для наших целей данный

элемент оказался гораздо мощнее необходимого). Напряжение на выходе элемента (при охлаждении внешней пластины) составляет около 3В. Ток – до 1.5А. Характеристики некоторых элементов приводятся в приложении (стр. 29, рис. 32). Конструкция самого термогенератора представляет собой следующее, два алюминиевых цилиндра (использованы подходящие кружки) вставленные друг в друга, между которыми помещён элемент TEC1–127120–50. Обе стороны элемента, при сборке обработаны термопастой, а пространство не занятое элементом заполнено термостойким герметиком. Конструкция термогенератора и фотографии устройства представлены в приложении (с. 30, рис. 33). Испытание модуля термогенератора показали следующие результаты: При охлаждении внутренней полости холодной водой или снегом напряжение 3,5 В, ток 1,5А. При кипящей воде в кружке на электрической плите мощность падает примерно в 3 раза (при этом напряжение падает до 1.2В). Графическая зависимость от нагревания представлена в приложении (с. 30, рис. 34). При проверке модуля выяснилось, что внешний стабилизатор на микросхеме 78L05 не может обеспечить выходное напряжение 5 вольт, поэтому в электронном блоке зарядного устройства пришлось применить схемы преобразования напряжения и тока (Приложение с. 30, рис. 35).

#### Заключение

В результате проделанной работы, разработаны конструкции мобильных зарядных устройств преобразующих солнечную и тепловую энергию в электрическую. На основе разработок, изготовлены рабочие экземпляры устройств. В ходе испытаний рабочих экземпляров, определены выходные характеристики по напряжению и току. Испытания показали, возможность использования изготовленных устройств, для зарядки маломощной мобильной техники. Зарядные устройства можно использовать в походных условиях, длительных поездках и в других случаях, когда отсутствует обычный источник электрической энергии. Зарядные устройства прошли испытание в походных условиях и показали хорошие, и стабильные результаты при зарядке мобильной техники.

#### Список литературы

1. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии // Соросовский образовательный журнал, 1996.
2. Алферов Ж.И. Фотоэлектрическая солнечная энергетика // Будущее науки. – М.: Знание, 1978.

3. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. – Л.: Наука, 1989.
4. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами / пер. с англ. С.В. Сидорова; под. ред. М.М. Колтуна. – М., Мир, 1988.
5. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. – М.: Сов. радио, 1971.
6. Грилихес В.А., Орлов П.П., Попов Л.Б. Солнечная энергия и космические полеты. – М., Наука, 1984.
7. Горшков Б.И. Элементы радио-электронных устройств. – М.: Радио и связь, 1988.
8. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. – М., Наука, 1985.
9. Кораблев В.А., Тахистов Ф.Ю., Шарков А.В. Прикладная физика. Термоэлектрические модули и устройства на их основе: Учебное пособие / Под ред. проф. А.В. Шаркова. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2003.
10. Колтун М.М. Солнечные элементы. – М., Наука, 1987.
11. Наркевич И.И. Физика: Учеб. / И.И. Наркевич, Э.И. Вомянский, С.И. Лобко. – Мн.: Новое знание, 2004.
12. Термоэлектрические генераторы / А.С. Охотин, А.А. Ефремов, В.С. Охотин, А.С. Пушкарский. – М.: Атомиздат, 1971.
13. Энергосберегающие технологии / А.М. Петрова, А.М. Афонин, Ю.Н. Царегородцев, С.А. Петрова; Форум, 2011.
- Гибилиско С. Alternative Energy: A Self-Teaching Guide. – М.: Эксмо-Пресс, 2010.
14. Физика: Энциклопедия / под. ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003.
15. Шаповал Н.В. Курсовая работа. Эффект Пельтье и его применение / Брянский государственный технический университет.
16. Шостаковский П. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. – 2009. – № 12.
17. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике: для инженеров и студентов вузов. – Изд. 4-е, перераб. / Наука – Главная редакция Физико-математической литературы, 1968.
18. Mukund R. Patel. Ветровые и солнечные энергетические установки. Проектирование, Анализ и Эксплуатация / CRC Press. 2005.
19. Полупроводниковые холодильники Пельтье. – <http://www.ixbt.com/cpu/peltje.html>.
20. Термогенератор Пельтье своими руками. – <http://tutankanara.livejournal.com/420783.html>.

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ

Фролов М.С.

*г. Воронеж, МБОУ «СОШ № 16», 11 класс*

*Руководитель: Рябцева П.В., г. Воронеж, МБОУ «СОШ № 16», учитель физики ВКК*

**Актуальность** темы. Физика твердого тела – это раздел физики, изучающий структуру и свойства твердых тел. Научные данные о микроструктуре твердых веществ и о физических и химических свойствах составляющих их атомов необходимы для разработки новых материалов и технических устройств.

Исследователя, работающего в области физики твердого тела, интересуют такие материалы, как металлы и сплавы, полупроводники, диэлектрики и магнитные материалы. Многие из них относятся к кристаллическим веществам: их атомы расположены так, что образуют правильную трехмерную решетку – периодическую структуру. Нарушения идеальной периодичности могут быть обусловлены химическими примесями [4]. Во многих случаях подобными нарушениями структуры определяются физические свойства кристаллических твердых тел [13]. Управляя концентрацией подобных дефектов или целенаправленно создавая их, можно получать заданные свойства твердых тел.

К физическим свойствам твердых тел относятся механические, тепловые, электрические, магнитные и оптические свойства. Их изучают, наблюдая, как ведет себя образец при изменении температуры, давления или объема, в условиях механических напряжений, электрических и магнитных полей, введения примесей, а также под воздействием различных излучений [10].

Эта исследовательская работа связана с изучением наиболее распространенного в земной коре металла – алюминия, изучением его физических свойств и измерением теплоемкости, плотности, коэффициента термического расширения и твердости алюминия при введении различных типов примесей.

**Цель** исследования. Выяснение зависимости некоторых свойств алюминия от вида и количества легирующих элементов и примесей

**Гипотеза.** Введение легирующих элементов и примесей приводит к изменению физических свойств металла.

**Задачи** исследования:

1. Изучение литературы о нахождении алюминия в природе, способах его получения, физических свойствах и применении.

2. Изучение литературы о дефектах кристаллической решетки и их влиянии на физические свойства материалов.

3. Подготовка образцов с различным количеством легирующих элементов.

4. Разработка методик измерения и расчета удельной теплоемкости, плотности, коэффициента термического расширения.

5. Изучение методов измерения твердости металлов и расчета твердости материала.

6. Проведение экспериментов.

7. Проведение расчетов исследуемых величин и анализ результатов.

8. Интерпретация полученных результатов.

### Алюминий и его свойства

В земной коре алюминия очень много: 8,6% по массе. Он занимает первое место среди всех металлов и третье среди других элементов (после кислорода и кремния) [12]. Крупнейшие месторождения алюминия находятся в Австралии, Бразилии, Гвинее и на Ямайке; промышленная добыча ведется и в других странах. Название алюминия происходит от латинского *alumen* (род. падеж *aluminis*). Алюминий можно восстановить из руд с помощью электричества и щелочных металлов.

В литературе описаны физические свойства алюминия [1]: плотность ( $2700 \text{ кг/м}^3$ ), температура плавления ( $660^\circ\text{C}$ ), теплопроводность (при  $20^\circ\text{C}$  составляет примерно  $0,50 \text{ кал/см}\cdot\text{с}\cdot^\circ\text{C}$  и возрастает с увеличением чистоты металла),

Алюминий имеет очень высокую удельную теплоемкость ( $\approx 890 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ ). Удельная теплота плавления также очень высока ( $\approx 380 \text{ кДж/кг}$ ). Отражательная способность алюминия сильно зависит от его чистоты.

По электропроводности алюминий находится на 4-м месте, уступая лишь серебру, меди и золоту, что при дешевизне алюминия имеет огромное практическое значение. Чистый алюминий – довольно мягкий металл [15], но когда алюминий образует сплавы, его твердость (свойство материала сопротивляться внедрению в него другого, более твердого тела) может возрасти в десятки раз.

На воздухе алюминий покрывается тонкой (около микрона), пленкой окиси

алюминия. Обладая высокой прочностью и химической инертностью, она защищает алюминий от дальнейшего окисления и определяет его высокие антикоррозионные свойства во многих средах [14]. Основное влияние на коррозионные свойства технического алюминия оказывает содержание железа.

Физико-химические, механические и технологические свойства алюминия очень сильно зависят от вида и количества примесей. Основными естественными примесями в алюминии являются железо и кремний. Железо, например, снижает электропроводность и коррозионную стойкость, ухудшает пластичность, но несколько повышает прочность алюминия [17].

В зависимости от степени очистки первичный алюминий разделяют на алюминий высокой и технической чистоты. Алюминий высокой чистоты получают дополнительной очисткой технического алюминия. <sup>[1]</sup> В специальных целях используется алюминий высокой чистоты. Для производства алюминиевых сплавов, кабельно-проводниковой продукции и проката используется технический алюминий.

Современный способ получения алюминия был открыт в 1886 году молодым американским исследователем Ч.М. Холлом [3]. Метод Холла позволил получать с помощью электричества сравнительно недорогой алюминий в больших масштабах. Сейчас же ежегодно получают более 15 млн. тонн алюминия. Производство требует больших затрат электроэнергии и экологически опасно, так как атмосферный воздух загрязняется летучими соединениями фтора.

Алюминий хорошо поддается обработке: ковке, штамповке, прокату, волочению, прессованию [10]. Из него делают электрические провода, детали конструкций, фольгу для пищевых продуктов, кухонную утварь и «серебряную» краску, широко используют в строительстве и авиационной технике. Алюминий очень хорошо отражает свет. Поэтому его используют для изготовления зеркал – методом напыления металла в вакууме.

В авиа- и машиностроении, при изготовлении строительных конструкций, используют значительно более твердые сплавы алюминия [16]. Один из самых известных – сплав алюминия с медью и магнием (дуралюмин) после закалки приобретает особую твердость и становится примерно в 7 раз прочнее чистого алюминия и почти втрое легче железа [4]. Широко распространены силумины – литейные сплавы алюминия с кремнием. Произво-

дятся также высокопрочные, криогенные и жаропрочные сплавы. [1] На изделия из алюминиевых сплавов легко наносятся защитные и декоративные покрытия. Легкость и прочность алюминиевых сплавов особенно пригодились в авиационной технике. В настоящее время четвертая часть всего алюминия идет на нужды строительства, столько же потребляет транспортное машиностроение, примерно 17% часть расходуется на упаковочные материалы и консервные банки, 10% используется в электротехнике.

Алюминий содержат также многие горючие и взрывчатые смеси: алюмотол (литая смесь тринитротолуола с порошком алюминия), аммонал (смесь аммиачной селитры, тринитротолуола и порошка алюминия). Пиротехнические составы также содержат порошкообразный алюминий. Алюминий нашел практическое применение в качестве ракетного топлива.

Широкое применение находят и соединения алюминия [3]. Оксид алюминия – огнеупорный и абразивный (наждак) материал, сырье для получения керамики. Из него также делают лазерные материалы, подшипники для часов, ювелирные камни (искусственные рубины).

### **Дефекты кристаллической решётки и их влияние на физические свойства материалов**

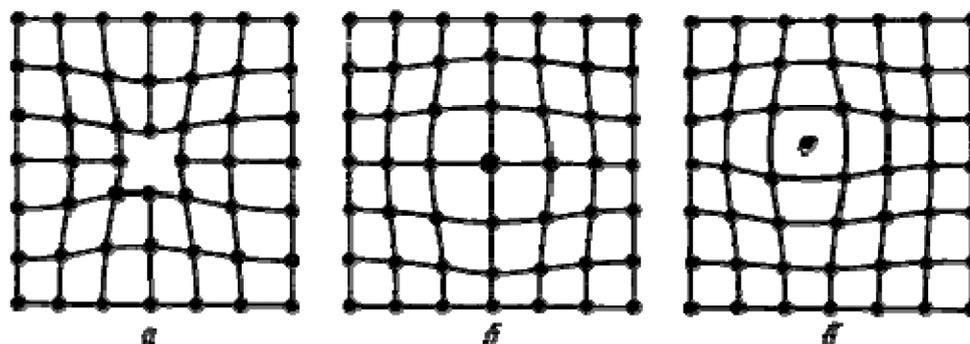
Идеальная кристаллическая решетка представляет собой многократное повторение элементарных кристаллических ячеек. Для реального металла характерно наличие большого количества дефектов строения, нарушающих периодичность расположения атомов в кристаллической решетке и оказывающих существенное влияние на свойства материала.

Различают три типа дефектов кристаллического строения: точечные, линейные и поверхностные [13]. Точечные дефекты характеризуются малыми размерами во всех трех измерениях. К точечным дефектам относятся:

а) свободные места в узлах кристаллической решетки – вакансии (дефекты Шоттки);

б) атомы, сместившиеся из узлов кристаллической решетки в межузельные промежутки – дислоцированные атомы (дефекты Френкеля);

в) атомы других элементов, находящиеся как в узлах, так и в межузельных промежутках кристаллической решетки – примесные атомы.



*a – вакансия; б – примесный атом; в – дислоцированный атом*

Точечные дефекты образуются в процессе кристаллизации под воздействием тепловых, механических, электрических воздействий, а также при облучении нейтронами, электронами, рентгеновскими лучами. Точечные дефекты повышают энергию кристалла, так как на образование каждого дефекта была затрачена определенная энергия. Важной особенностью точечных дефектов является их подвижность. Перескоки вакансий приводят к перемещению атомов, т. е. к самодиффузии примесных атомов замещения [13].

Наиболее важный вид линейных дефектов – дислокации (лат. dislocation – смещение). Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей. Теория дислокаций (30–е годы XX века) позволила объяснить природу прочности и пластичности металлов. Дислокации служат местом концентрации примесных ядер, в особенности примесей внедрения, так как это уменьшает искажения решетки. Примесные ядра образуют вокруг дислокации зону повышенной концентрации, которая мешает движению дислокаций и упрочняет металл. Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает напряжение, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла [9].

Автором работы были подготовлены образцы с различным количеством примесей для проведения исследований, разработана методика проведения экспериментов

по определению зависимости физических свойств алюминия от состава и количества примесей. Автор лично провёл все необходимые измерения, выполнил расчёты, проанализировал результаты, которые были опубликованы в Материалах VII, VIII, IX Воронежского областного конкурса юных исследователей в области химии, физике и информатики «Дерзай быть мудрым!» 2015–2017 г. (<http://vsuet.ru/konkurs-y-chemphys/index.asp>), а также высоко оценены (диплом I степени) на XXXIII конференции научного общества учащихся ВГУ ([http://www.abitur.vsu.ru/sites/default/files/programm\\_nou2018.pdf](http://www.abitur.vsu.ru/sites/default/files/programm_nou2018.pdf)).

## 2. Исследование зависимости физических свойств алюминия от примесей

### 2.1. Получение образцов алюминия с различными примесями

На предприятии ООО «Воронежторцветмет» автор познакомился с одним из способов получения алюминия – литьём из металлелома. Он наблюдал следующие этапы этого процесса: поставку металлелома из приёмных пунктов; загрузку в плавильную печь; переплавку лома; разлив расплавленного металла в специальные формы. Автор принял участие в процессе разлива жидкого алюминия в формы для получения образцов, предназначенных для дальнейших исследований (приложение 1).

### 2.2. Состав полученных образцов

Описанным выше способом получено 8 образцов с различным составом примесей. Состав полученных образцов представлен в таблице:

№	Марка	Состав
1	ПА-0	99,8% алюминия
2	АВ95	95% алюминия, 5% различные примеси
3	АВ-87	87% алюминия, 13% различные примеси
4	АК12	83% алюминия, 12% кремния, 5% различные примеси
5	АК5М2	82% алюминия, 15% кремния, 3% различные примеси
6	Д16	1,2% Mg, 5% Cu
7	АК9	9%Si, 3% прочие
8	АК7	7%Si, 3% прочие

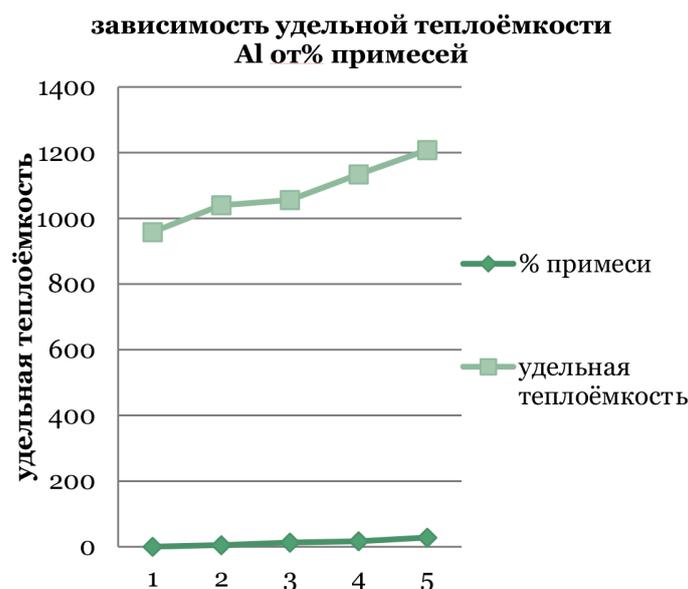
2.3. Измерение удельной теплоёмкости алюминия

Методика эксперимента включала измерение массы образцов при помощи рычажных весов, измерение начальной температуры образцов, измерение начальной температуры горячей воды, измерение температуры теплового равновесия после погружения образца в горячую воду (при-

ложение 2). Для проведения эксперимента использовались калориметр, термометры лабораторные, рычажные весы, набор гирь.

Расчёт удельной теплоёмкости алюминия (предположили, что всё количество теплоты, отданное горячей водой, идёт на нагревание образца) был выполнен по формуле  $c = Q / m(t_2 - t_1)$ . Результаты эксперимента представлены в таблице и диаграмме:

№	Марка	% примеси	Удельная теплоёмкость, Дж/кг °С
1	ПА-0	0,2	958
2	АВ95	5	1040
3	АВ-87	13	1056
4	АК12	17	1134
5	АК5М2	28	1208



Вывод: при увеличении процентного содержания примесей в алюминии возрастает его удельная теплоёмкость.

#### 2.4. Измерение плотности алюминия

Методика эксперимента включала измерение массы образцов при помощи рычажных весов, измерение объёма образцов с помощью мерного стакана и мензурки (приложение 2). Расчёт плотности вещества проводился по формуле  $\rho = m/V$ . Для проведения эксперимента использовались рычажные весы, набор гирь, мензурка, мерный стакан.

Результаты эксперимента представлены в таблице:

№	Марка	% примеси	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	ПА-0	0,2 %	2452,4
2	АВ95	5 %	2464,2
3	АВ-87	13 %	2500,1
4	АК12	17 %	2435,9
5	АК5М2	18 %	2345,1

примеси кремния Si плотность алюминия начинает уменьшаться с ростом % примеси.

#### 2.5. Измерение коэффициента термического расширения алюминия

Методика эксперимента включала измерение длины образца при комнатной температуре с помощью микрометра, нагревание образца до температуры 100°C и 200°C в духовке кухонной плиты, контроль температуры электронным термометром, измерение длины горячих образцов (приложение 3). Формула для расчёта коэффициента термического расширения  $k = D/D_0$ , где  $D_0$  – длина холодного образца,  $D$  – длина нагретого образца.

Вывод: при увеличении процентного содержания примесей в алюминии возрастает его плотность. Но при введении в качестве

Результаты эксперимента представлены в таблицах:

При  $t = 100^\circ\text{C}$

Марка	% примеси	$D_0$ , мм	$D$ , мм	$k$
АВ95	5	120,365	120,531	1,0013708
АК7	12	12,415	120,652	1,0019515
АК5М5	18	119,390	120,090	1,0058631

При  $t = 200^\circ\text{C}$

Марка	% примеси	$D_0$ , мм	$D$ , мм	$k$
АВ95	5	120,365	120,650	1,0023677
АК7	12	12,415	120,780	1,0030311
АК5М5	18	119,390	120,340	1,0079571

Вывод: при увеличении процентного содержания примесей в алюминии возрастает его коэффициент термического расширения.

### 2.6. Определение твердости алюминия

Твердостью называется свойство материала оказывать сопротивление проникновению в него другого более твердого тела (индентора), не испытующего остаточной деформации [7]. Измерение твердости широко используется в исследовательских целях и как средство контроля качества свойств материалов в производстве. Учитывая неизбежный разброс значений твердости, обусловленный как ошибками измерения, так и неоднородностью механических свойств материала, испытаниям подвергается обычно несколько образцов, а на каждом образце делают несколько вдавливающих индентора [8].

Испытания на твердость позволяют определять механические свойства и в небольших объемах, допускают текущий контроль изделий в процессе производства и эксплуатации, не влияют на их работоспособность и, что особенно ценно, относятся к неразрушающим методам механических испытаний. В настоящее время существует около 30 разновидностей испытаний на твердость, но наибольшее распространение получили три из них – это методы измерения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу, а также метод измерения микротвердости. Оценивается твердость так называемыми числами твердости, размерность которых определяется принципом измерения [8].

#### 2.6.1. Измерение твёрдости методом Бринелля

Алюминий имеет сравнительно низкую твердость, поэтому следует применять метод определения твердости по Бринеллю.

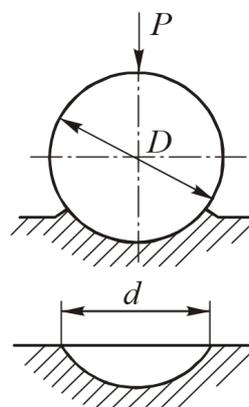
Твердость по Бринеллю (НВ) выражается отношением взятой нагрузки  $P$  к площади поверхности отпечатка  $F$ :

$$HB = \frac{P}{F}$$

Если вычислить поверхность отпечатка, имеющего форму шарового сегмента, то НВ определится формулой

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

где  $P$  – приложенная нагрузка, кгс;  $D$  – диаметр шарика, мм;  $d$  – диаметр отпечатка, мм [8].



Для определения твёрдости методом Бринелля были подготовлены образцы резанием, зачисткой или обработкой наждачной бумагой так, чтобы их поверхности (испытуемая и опорная) были параллельны и не имели окалины, ржавчины и других неровностей, влияющих на результат испытания. Минимальная толщина образца должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка. Эксперимент проводился в лабораториях Воронежского государственного технического университета (приложение 4). Расчёты твёрдости по Бринеллю представлены в таблице.

№	Марка образца	Состав примеси	Диаметр шарика, мм	Сила надавливания	Диаметр воронки	НВ
1	АВ95	5% Различные	5	1,9	1,9	66
2	АК7	7%Si, 3% прочие	5	1,9	1,85	70
3	АК9	9%Si, 3% прочие	5	1,9	1,8	74
4	АК5М2	82% алюминия, 13% кремния, 5% разл. примеси	5	1,9	1,6	95
5	Д16	1,2%Mg, 5%Cu	5	1,9	15	107

Выводы: 1) На твёрдость алюминия влияют содержащиеся в нем легирующие элементы и примеси, а также их количество 2) Добавки кремния незначительно повышают твёрдость алюминия 3) Использование в качестве добавки меди значительно повышает твёрдость материала

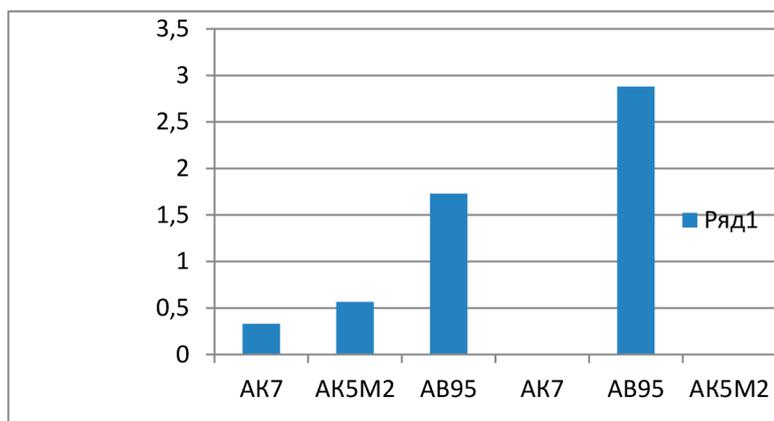
### 2.6.2. Измерение микротвёрдости

Определение микротвёрдости (твёрдости в микроскопически малых объемах) необходимо для тонких покрытий, отдельных структурных составляющих сплавов. [6] Прибор для определения микротвёрдости состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды с небольшой нагрузкой и металлографического микроскопа. [17]

Для измерения микротвёрдости были подготовлены образцы методом ручной шлифовки. С помощью микротвердомера получены отпечатки индентора и их фотографии (приложение 4). Расчёт микротвёрдости проводился с помощью программы imagej.nih по формуле

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}.$$

Результаты представлены на диаграмме.



Вывод: микротвёрдость менялась, но результаты трудно однозначно интерпретировать. Вероятно, требуется более качественная обработка поверхности с помощью химической полировки.

### Заключение

Человечество всегда использовало и будет использовать твёрдые тела. Но если раньше физика твёрдого тела отставала от развития технологии, основанной на непосредственном опыте, то теперь положение

переменялось. Теоретические исследования приводят к созданию твёрдых тел, свойства которых совершенно необычны.

Получить же заданные свойства тел возможно только проведением многократных экспериментов, то есть методом проб и ошибок. Получение материалов с заданными механическими, магнитными, тепловыми, электрическими и другими свойствами – одно из основных направлений современной физики твёрдого тела и физики металлов. В данной исследовательской работе в результате ряда экспериментов была подтверждена гипотеза о зависимости физических свойств алюминия от количества легирующих элементов и примесей. Изменяя состав материала путём введения легирующих элементов и примесей, можно изменить кристаллическую решётку металла и получить материалы с заданными свойствами.

Результаты, полученные в работе, соответствуют зависимостям свойств алюминия от введённых примесей, описанным в литературе, [11] и могут применяться при объяснении ряда процессов, протекающих в строительных материалах, а также для выбора соответствующей марки алюминия для производства той или иной конструкции [2]

Приблизительно половина физиков мира работают сейчас в этой области – в области физики твёрдого тела.

### Список литературы

1. Алюминий и его сплавы: Учебное пособие / Сост. А.Р. Луц, А.А. Суслина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с. ил.
2. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: Справочник / Дж. Е. Хэтч. – М.: Металлургия, 1989.
3. Алюминиевые сплавы. Применение алюминиевых сплавов: Справочное руководство / И.В. Горынин и др. – М.: Металлургия, 1986.

4. Белов В.Д. Влияние магния и температуры заливки на структуру, механические и литейные свойства сплава системы Al-Mg / В.Д. Белов, В.А. Семенов // Цвет. металлургия: науч.-техн. и произв. журн. – 2004. – №2. – С. 41.

5. Бобылев А.В. Механические и технологические свойства металлов». – М.: Металлургия, 1980.

6. Государственный стандарт СССР и определение микротвёрдости методом вдавливанием алмазных наконечников ГОСТ 9450–76. – М.: Издательство стандартов, 1993.

7. Егоров Ю.П. Сборник методических указаний к выполнению лабораторных работ по курсу «Материаловедение». – Томск: изд-во Томского политехнического института, 2010.

8. Козловский А.Э., Бойцова В.В. Механические свойства материалов. Методы испытаний: Лабораторный практикум. – Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2006.

9. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

10. Металловедение алюминия и его сплавов / под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Наука, 1971.

11. Металлургия алюминия. Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В. и др. – Новосибирск, «Наука». Сибирская издательская фирма РАН, 1999.

12. Популярная библиотека химических элементов. – М.: Наука, 1983.

13. Семёнова Г.В., Сушкова Т.П. Дефекты структуры и физические свойства кристаллов учебно-методическое пособие / Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2007.

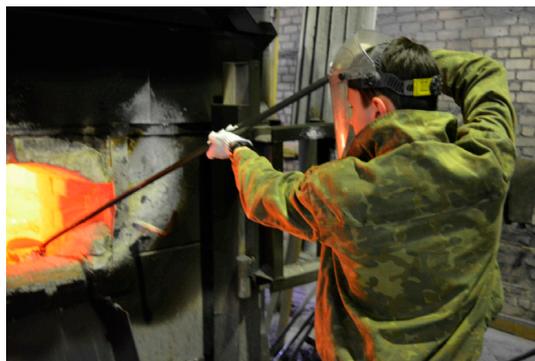
14. Тихонов В.Н. Аналитическая химия алюминия. – М.: Наука, 1971.

15. Телешов В.В. Влияние химического состава на прочность сплавов системы Al-Cu-Mg-Ag после нагрева при 180–210°C / В.В. Телешов, Д.А. Андреев, А.П. Головлева. Металловедение и терм. обр-ка: науч.-техн. и произв. журн. – 2006. – №3. – С. 9–17.

16. Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы в авиаракетной и ядерной технике // Вестник РАН. – 2004. – Т.74. – №12. – С. 1076–1081.

17. Чернышова Т.Г., Грибков С.П. Методические указания по лабораторному практикуму по физике металлов «Исследования микротвёрдости металлов». – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000.

18. Химическая энциклопедия в 5 томах. Редакция / гл. ред. Кнуненд И.Л. – М., Советская энциклопедия, 1988.



*Процесс плавления алюминия*



*Подготовка образцов*



**Приложение 2**

**Проведение измерений для определения удельной теплоёмкости и плотности алюминия**



*Измерение массы образцов*

**Приложение 1**

**Получение образцов для проведения экспериментов**



*Плавильная печь*



*Измерение температуры системы*



*Измерение объёма образцов*

### Приложение 3



*Проведение измерений для расчёта КТР*



*Измерение температуры образцов  
Измерение длины образцов*

### Приложение 4

#### Проведение измерений твёрдости и микротвёрдости в лабораториях ВГТУ

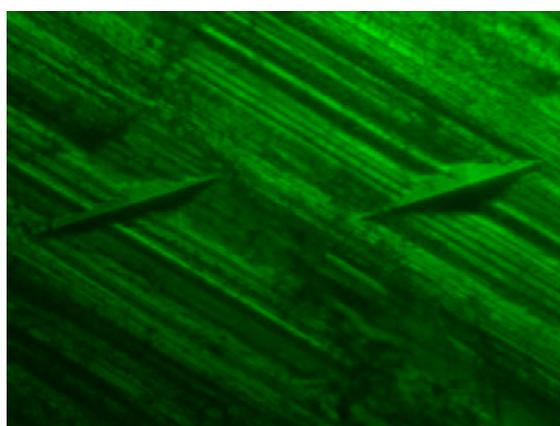


*Измерение твёрдости по Бринеллю*





*Измерение микротвёрдости*



*Фотографии отпечатков индентора*



*Набор инденторов для измерения микротвёрдости*

## МЫЛЬНЫЕ ПУЗЫРИ КАК ЛАЗЕРНЫЕ МИКРОРЕЗОНАТОРЫ С МОДАМИ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ

Шишацкий М.Н.

МАОУ «Гимназия №13 «Академ», 11 класс

Руководители: Герасимова Н.Д., МАОУ «Гимназия №13 «Академ», учитель физики;

Герасимов В.П., КНЦ СО РАН, отдел молекулярной электроники научный

Актуальность, новизна и практическая значимость. В век больших скоростей, большого потока информации возрастает потребность в большей мобильности данных, повышении скорости их обработки. Существующие системы, основанные на передаче информации, преобразованной в электрический сигнал, достигают предела своего развития. Использование фотонов, как носителей информации, позволит передавать данные с большей скоростью, меньшими потерями и потреблением энергии при меньшей стоимости. В связи с этим стала актуальной разработка малогабаритных оптических устройств, удовлетворяющих данным критериям.

Разработка объектов, имеющих микро- и наноразмеры, является наиболее привлекательной: группировка молекул определенным образом позволяет создать материалы и устройства с заданными свойствами. Использование такого потенциала как микрофотонная платформа, которая характеризуется компактностью, расходом малой мощности, функциональной интегрируемостью с другими оптоэлектронными устройствами, делает микроисточники света подходящим кандидатом для нано- и микроустройств [1].

Взаимодействие излучения лазера с веществом на такой микроплатформе позволяет запустить множество механизмов, одним из которых является флюоресценция молекул и генерация излучения микрорезонаторов.

В работах [2, 3, 13] содержится описание результатов, полученных первыми экспериментаторами, по исследованию оптического резонатора нового типа – диэлектрического микрорезонатора с модами типа «шепчущей галереи» (МШГ), являющегося потенциально важным для развития интегральной оптики.

В своей исследовательской работе авторы впервые предложили экспериментальное моделирование взаимодействия излучения лазера со смесью микропузырей, созданной на основе мощного средства и лазерного красителя Родамин 6Г. Микропузыри, ввиду своей высокой симметрии, обусловленной поверхностным натяжением, могут быть использованы в качестве резонаторов

в лазере типа «шепчущей галереи» в микроэлектронике.

Все это обуславливает актуальность, новизну и практическую значимость выбранной темы исследования.

Постановка и формулировка проблемы: Оптоэлектроника становится все более и более важной для информационно-коммуникационных технологий, поэтому существует потребность в разработке оптоэлектронных устройств, которые могут быть интегрированы со стандартной кремниевой микроэлектроникой.

В дополнение к этим устройствам, источники света, такие как лазеры и светодиоды, являются также важными изделиями интегрированных оптоэлектронных схем. Несмотря на высокие эффективные выходные параметры светоизлучающего лазера и усиления в оптическом диапазоне в нанокристаллах (на основе кремния) [2–3], разработка оптоэлектронных устройств на основе пластичных микровключений в микроинтегральные оптические устройства недостаточно развита.

Разработанность исследуемой проблемы: Оптические микрорезонаторы и микролазеры в настоящее время имеют большое применение в приложениях оптических средств связи, интегрированной оптике [4–6]. Так, на основе микрорезонаторов «галереи шепчущих мод» с использованием различных геометрических конфигураций – диски, цилиндры, кольца, тороиды, спирали, сферы, были созданы различные устройства [7]. Одним из последних достижений является создание особого излучателя [8]. Британские и китайские физики смогли разместить внутри кремниевого микрочипа особый излучатель – так называемую оптическую воронку, испускающую «закрученный» свет, который можно использовать для создания оптических «щипцов», захватывающих и перемещающих живые клетки или капли жидкости. Эти оптические воронки настолько малы и компактны, что кремниевые чипы с тысячами таких устройств можно изготавливать за очень небольшое время. Подобные интегральные схемы и устройства могут открыть но-

вые сферы для применения. Сы-юань и его коллеги пытались создать миниатюрную версию оптической воронки – экзотического устройства, способного «закручивать» свет и заставлять его двигаться по спирали, а не по прямой линии (рис.1). Как правило, подобные воронки представляют собой сложные опто-механические устройства, которые невозможно уменьшить до размеров, сопоставимых с микрочипами. Авторы статьи решили эту проблему при помощи колец-резонаторов, основанные на эффекте шепчущих галерей.

Как объясняют Сы-юань и его коллеги, шепчущие галереи способны генерировать «закрученное» электромагнитное излучение, однако его нужно извлечь и заставить двигаться по спирали. В ходе своих экспериментов физики перебрали несколько вариантов конструкции излучателя, пока не обнаружили, что с этой задачей справляется набор из зубцов со строго отмеренной толщиной и длиной, приклеенных к кольцу резонатора. По словам исследователей, подобная структура генератора оптической воронки легко поддается миниатюризации и может быть уменьшена до нескольких микрометров. Такие размеры колец-резонаторов сопоставимы с габаритами транзисторов в современной микроэлектронике, что позволяет интегрировать их в кремниевые

микрочипы в процессе их производства. Для проверки работы воронок ученые изготовили микрочип с тремя резонаторами и подключили его к источнику питания. Как и ожидали физики, устройство генерировало три концентрических столба света, закрученных в спирали.

Сы-юань и его коллеги полагают, что их изобретение может быть использовано для производства микроскопических «оптических щипцов», способных захватывать отдельные клетки, частицы вирусов, капли жидкостей или крупные молекулы белков. Кремниевые чипы с сотнями или тысячами подобных резонаторов будут многократно ускорять скорость анализа образцов в биологических лабораториях. Как отмечают физики, сфера применения оптических воронок не ограничивается наукой – их можно использовать для кодирования и передачи информации через оптические системы связи, или в качестве одного из компонентов квантовых компьютеров.

В работе [9] авторы исследовали процесс преобразования поляризации излучения. Было продемонстрировано эффективное преобразование линейно поляризованного света в ортогональную поляризацию, используя резонатор микросферы кремния, соединенной с оптическим волокном (рис. 2).

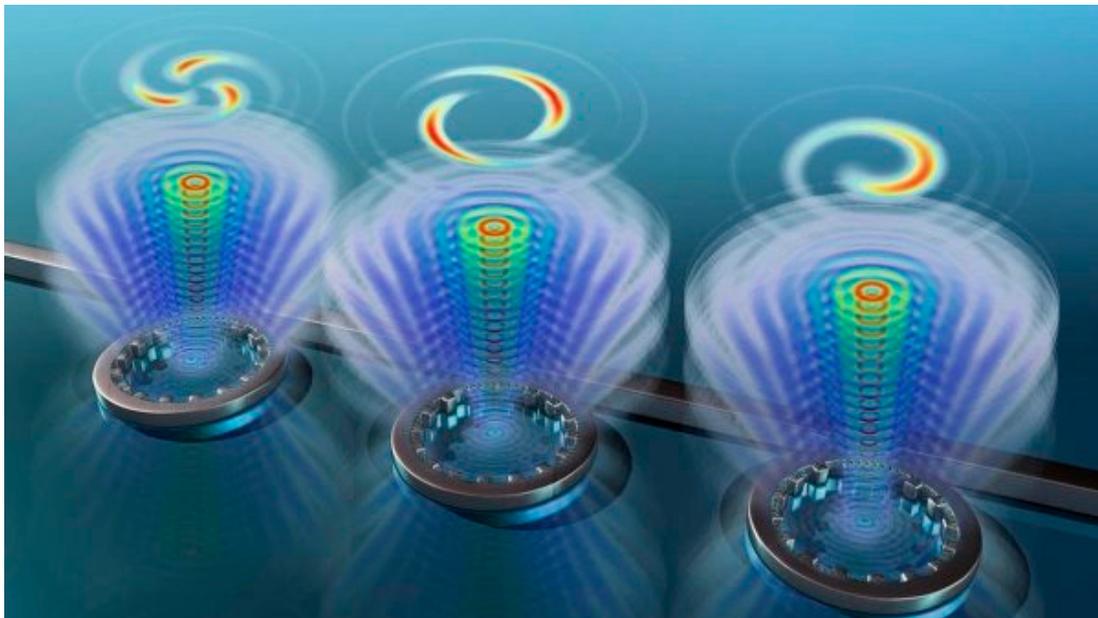


Рис. 1. Иллюстрация «закрученного» света микрорезонаторами на основе «галереи шепчущих мод». В качестве микрорезонаторов использовались кольца

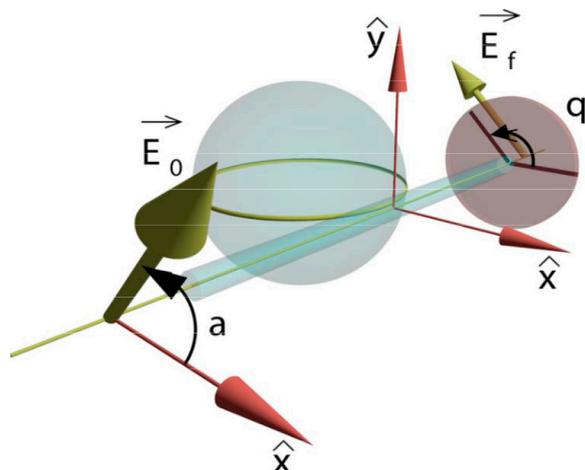


Рис. 2. Графическое представление преобразования поляризации

**Примечание.** Шар служит в качестве микрорезонатора типа «галереи шепчущих мод».  $E_0$  – вектор линейной поляризации входного излучения,  $E_f$  – вектор линейной поляризации выходного излучения. Между векторами  $E_0$  и  $E_f$  – угол преобразования.

Важной проблемой в нанофотонике является дизайн новых микродатчиков, разрешающих проанализировать динамику ДНК и белков в клетках тела. Кроме того, такие микродатчики (микросенсоры) могут осуществлять гормональный контроль, исследовать наноматериалы для целенаправленной доставки лекарственных средств, имплантанты (искусственные сосуды, органы, электронные устройства, внедренные в человеческие органы), и обнаружить антигена, бактерии, вирусы, в сыворотке крови в режиме реального времени. К таким микросенсорам авторы [10] в своих исследованиях по медицинской физике относят микрорезонаторы типа «галереи шепчущих мод». Анализ экспериментальных данных зависимости оптических резонансных спектров от концентрации состава биологических растворов позволяет моделировать плазму крови, а также «индикаторы» болезни и следы вирусов. Авторы наблюдали существенные изменения в оптических резонансных спектрах мод «шепчущей галереи», связанных как с изменением макроскопических параметров, так и с возможным взаимодействием между поверхностью микросферы и компонентами биологического раствора. Данное направление относится к исследованию параметров активного формирования генетического материала живой клетки. Эффект взаимодействия микрорезонатора с биораствором лежит в основе сверхчувствительного рецептора и служит для идентификации биологических объектов.

В данной работе предпринята попытка смоделировать и создать оптический ми-

крорезонатор на основе пленкообразующих веществ. В совокупности с лазерными красителями предложенный вид оптических микрорезонаторов может быть использован в лазере типа «шепчущей галереи» в микроэлектронике.

Цель работы заключалась в создании и изучении лазерных резонаторов с модами типа шепчущей галереи на основе пенящегося средства и лазерного красителя Родамин 6G.

Основные задачи:

- создание экспериментальной установки применительно к нашим образцам;
- получение оптимального состава взбитой смеси на основе моющего средства и лазерного красителя Родамин 6G;
- регистрация генерации лазерного излучения на молекулах лазерного красителя Родамин 6G во взбитых смесях.

Объектом исследования являлась взбитая смесь, состоящая из микропузырей, содержащих молекулы лазерного красителя Родамин 6G, в роли микрорезонаторов.

Методы решения основных задач: оптические методы (методы оптоэлектронной регистрации, методы работы с оптическими приборами), физико-химические методы анализа по работе с химическими веществами.

Исследование проводилось на базе лаборатории молекулярной спектроскопии Института физики СО РАН.

### Основная часть

#### Теоретическая часть

Волны «шепчущей галереи». В мире известно множество строений, облада-

ющих следующей особенностью: шёпот в них хорошо распространяется вдоль стен, но не слышен в остальной части помещения. Поэтому их называют «шепчущими галереями». Обычно такие помещения имеют круглую или эллиптическую форму. В помещениях круглой формы шёпот стоящего у стены человека будет слышен вдоль стен, но не в центре помещения. В помещениях эллиптической формы слова, произнесенные шёпотом в одном из фокусов эллипса, будут услышаны только в другом фокусе, но не в остальном помещении, причем шёпот будет услышан, даже если расстояние между фокусами весьма существенно [11].

Современное физическое объяснение эффекта дал Рэлей более ста лет тому назад. Он основывался на собственных наблюдениях, сделанных в старинной шепчущей галерее, находящейся под куполом собора святого Павла в Лондоне. При этом концентрация лучей, прошедших по разным большим дугам купола, имеющего форму полусферы, и вследствие этого усиление звука должны происходить только в точке, диаметрально противоположной источнику звука.

Рэлей заметил, что помимо этого эффекта существует еще один: звук цепляется за поверхность стены и ползет вдоль нее, причем необязательно вдоль кратчайшей дуги, соединяющей источник и приемник, а скорее вдоль дуги, к которой шепчущий обращен лицом. Роль вогнутой поверхности купола сводится к тому, что она не дает сечению пучка расширяться так же быстро,

как при распространении в свободном пространстве.

Если в последнем случае сечение пучка растет пропорционально ( $\rho$  – расстояние от источника), а интенсивность излучения падает пропорционально  $1/\rho^2$ , то в шепчущей галерее излучение заключено в узком слое, примыкающем к поверхности. В результате интенсивность звука внутри этого слоя падает лишь пропорционально  $\rho$ , то есть значительно медленнее, чем в свободном пространстве. Это и есть объяснение Рэля. Он подтвердил его прямыми экспериментами, используя свисток как источник звука, а горящую свечу как приемник.

Соответствующий физический эффект, состоящий в распространении волн вблизи изогнутых границ раздела двух сред, известен и в других волновых процессах, включая распространение света (рис. 3). Распространение «шепчущей волны» похоже на явление полного внутреннего отражения, однако в виду того, что поверхность боковых стенок резонатора не ровная, а имеет некий радиус кривизны, распространения с полным отражением не бывает. Часть волны просачивается наружу. Однако, чем больше радиус кривизны, тем больше излучения остается внутри. Длина волны видимого диапазона, как известно, менее 1 мкм. Это означает, что в «шепчущем резонаторе», радиус кривизны основания которого около 10 мкм, может существовать «шепчущая волна».

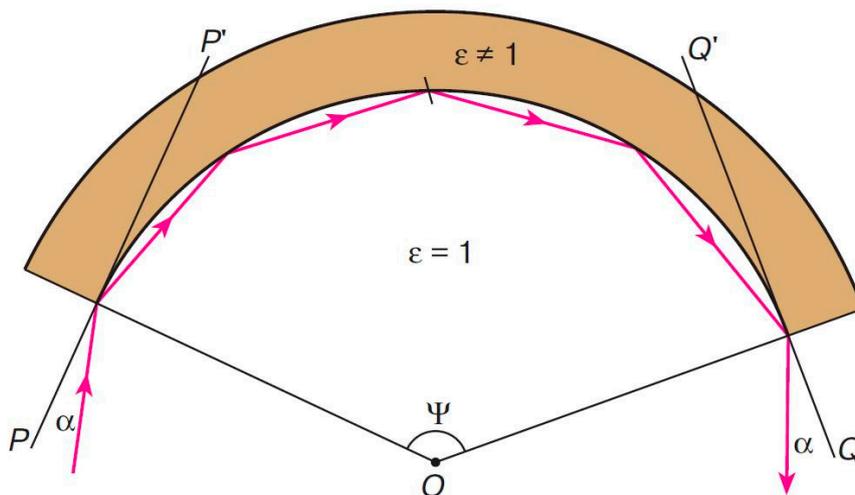


Рис. 3. Волна шепчущей галереи у поверхности вогнутого зеркала

Примечание: стрелками указаны направления входа и выхода волны.  $O$  – центр кривизны зеркала,  $\alpha$  – угол скольжения,  $PP'$  и  $QQ'$  – касательные к поверхности зеркала.

Моды «шепчущего резонатора» обладают большой добротностью, так что даже небольшое отклонение частоты резонансного возбуждающего поля от собственной частоты моды, ведет к уменьшению ее амплитуды и затуханию. Одной из проблем, которая возникает при использовании резонаторов такого типа, является ненаправленность выходного излучения. Ввиду того, что резонатор симметричен, излучение с равной степенью вероятности может выходить из него под разными углами. Это существенный недостаток. Этот недостаток исправим в эллиптических микрорезонаторах. В таком случае излучение выходит в одном направлении.

Лазеры на органических красителях. В качестве активной среды лазера используются лазерные красители, одним из которых является Родамин 6G [12]. Когда краситель возбуждается внешним источником коротковолнового излучения, он излучает на более длинных волнах или флуоресцирует, поглощая фотон на длине волны возбуждения, а затем излучая фотон на длине волны флуоресценции.

На рис. 4 приведены спектры поглощения (1) и флуоресценции (2) типичного лазерного красителя.

Кривая флуоресценции (2), захватывающая желтую и большую часть красной области спектра, сдвинута в более длинноволновую область по отношению к кривой поглощения, занимающей голубой и зеленый участки спектра. Существенное различие заключается в том, что краситель флуоресцирует в исключительно широком диапазоне частот видимой области спектра в противоположность очень узкой полосе флуоресценции типичного твердотельного лазера.

### Экспериментальная часть

Экспериментальная установка. Для исследования излучения микрорезонаторов типа «галереи шепчущих мод» была создана следующая установка (рис. 5).

Импульсный лазер (1) с длиной волны  $\lambda=532$  нм использовался в качестве источника света. Энергия в импульсе составляла  $E=0,01$  Дж. Лазер генерировал излучение в режиме модулированной добротности в импульсном режиме. Длительность импульсного излучения составляла 10 нс. Частота повторения импульсов лазерного излучения – 25 Гц. Режим генерации – одномодовый.

Основное излучение фокусировалось линзой (2) ( $f=7$  см) и далее взаимодействовало объектом (3) – взбитой смесью.

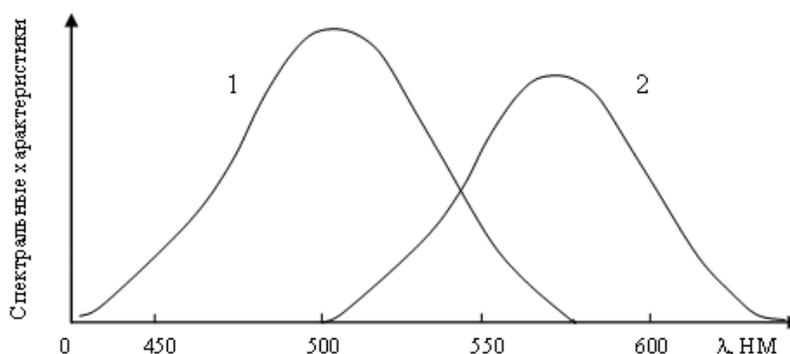


Рис. 4. Спектр поглощения и флуоресценции лазерного красителя

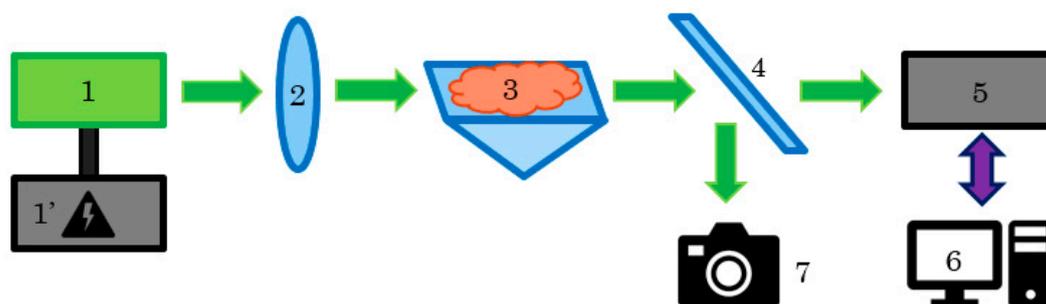


Рис. 5. Схема экспериментальной установки:

1 – импульсный лазер  $\lambda=532$  нм, 1' – источник питания импульсного лазера, 2 – собирающая линза ( $f=7$  см), 3 – объект исследования (взбитая смесь), 4 – зеркало (50%), 5 – спектрофотометр C-115-M1, 6 – компьютер, 7 – фотокамера

Взбитая смесь (микрорезонаторы размером от 0,5 до 30 мкм) состояла из поверхностно-активных веществ (мыльный раствор) и лазерного красителя родамин 6G.

Визуальное наблюдение динамики происходящих процессов во взбитой смеси позволяло при необходимости варьировать параметрами излучения лазера и оперативно изменять конфигурацию оптических элементов установки.

Для регистрации спектров пропускания и излучения лазера использовали монохроматор в составе спектрофотометра C-115-M1 (5). Разрешение спектрофотометра составляло 0,1 нм. Сигнал с ФЭУ поступал на компьютер (6).

Получение взбитой смеси. Для создания микрорезонаторов типа «галереи шепчущих мод» использовалась смесь на основе глицерина, моющих средств и лазерного красителя Родамин 6G. Использование глицерина позволяет сохранять толщину тонкой плёнки в течение долгого времени (от нескольких минут до суток). В качестве плёнообразующего вещества использовали жидкое мыло (ГОСТ Р. 52345–2005). Раствор размешивался вручную.

Для разных вариантов исследования поведения мыльных микропузырей использовали различные составы. Состав исследуемых плёнок: химреактивы – глицерин (от 5% до 30%), плёнообразующее химическое соединение (раствор жидкого мыла – до 60%), вода (3%), красящие вещества – родамин 6G (этанольный раствор) – менее 1% с молярной концентрацией  $3 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Исходная концентрация красителя в 50 мл этанола составила  $7,2 \cdot 10^{-3}$  г. В качестве поверхностно-активных веществ использовалась следующая смесь:

1. лауретсульфат–детергент, поверхностно-активное вещество  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OSO}_3\text{Na}$ ,  $\text{C}_{12+2n}\text{H}_{25+4n}\text{NaO}_{4+n}\text{S}$  – химическая формула, 420 г/моль – молярная масса,

2. кокамидопропилбетаин, химическая природа – мягкий амфотерный ПАВ, полученный из кокосового масла,

3. cocamide DEA, химическая природа – мягкий амфотерный ПАВ, полученный из кокосового масла.

Для эксперимента использовали микрорезонаторы, приготовленные с различным процентным соотношением приведенных реактивов. Далее смесь взбивалась пластиковым цилиндром до получения однородной смеси, в ходе чего образовывались пузырьки диаметром менее 50 мкм, являющиеся микрорезонаторами «шепчущей галереи».

В ходе эксперимента полученная (взбитая) нами смесь наносилась на одну из боковых сторон кварцевой призмы. При воздействии импульсного излучения (вторая гармоника неодимового лазера с  $\lambda=532$  нм) в смеси наблюдалось яркое свечение в желто-оранжевом диапазоне красителя Родамин 6G.

### Заключение

Нами были прописаны спектры возбуждающего излучения, спектр люминесценции лазерного красителя Родамин 6G, а также спектры излучения генерации «галереи шепчущих мод».

На спектре (рис.6а) наблюдаем линию возбуждения красителя (родамин 6G) излучения второй гармонике неодимового лазера с длиной волны  $\lambda=532$  нм. На спектре (рис.6б) показана регистрация флуоресценции раствора красителя родамин 6G в этаноле. Мы наблюдаем полосу флуорес-

ценции в полосе возбуждения молекул красителя. Зависимости на рис.6(c,d) дают нам распределение излучения взбитой смеси. Полуширина излучения лазера составляет порядка 0.1 нм. Максимальная полуширина – до 0.2 нм.

Создана экспериментальная установка по исследованию микрорезонаторов «шепчущей галереи»;

Исследован процесс создания взбитой смеси на основе моющих средств и лазерного красителя Родамин 6Ж;

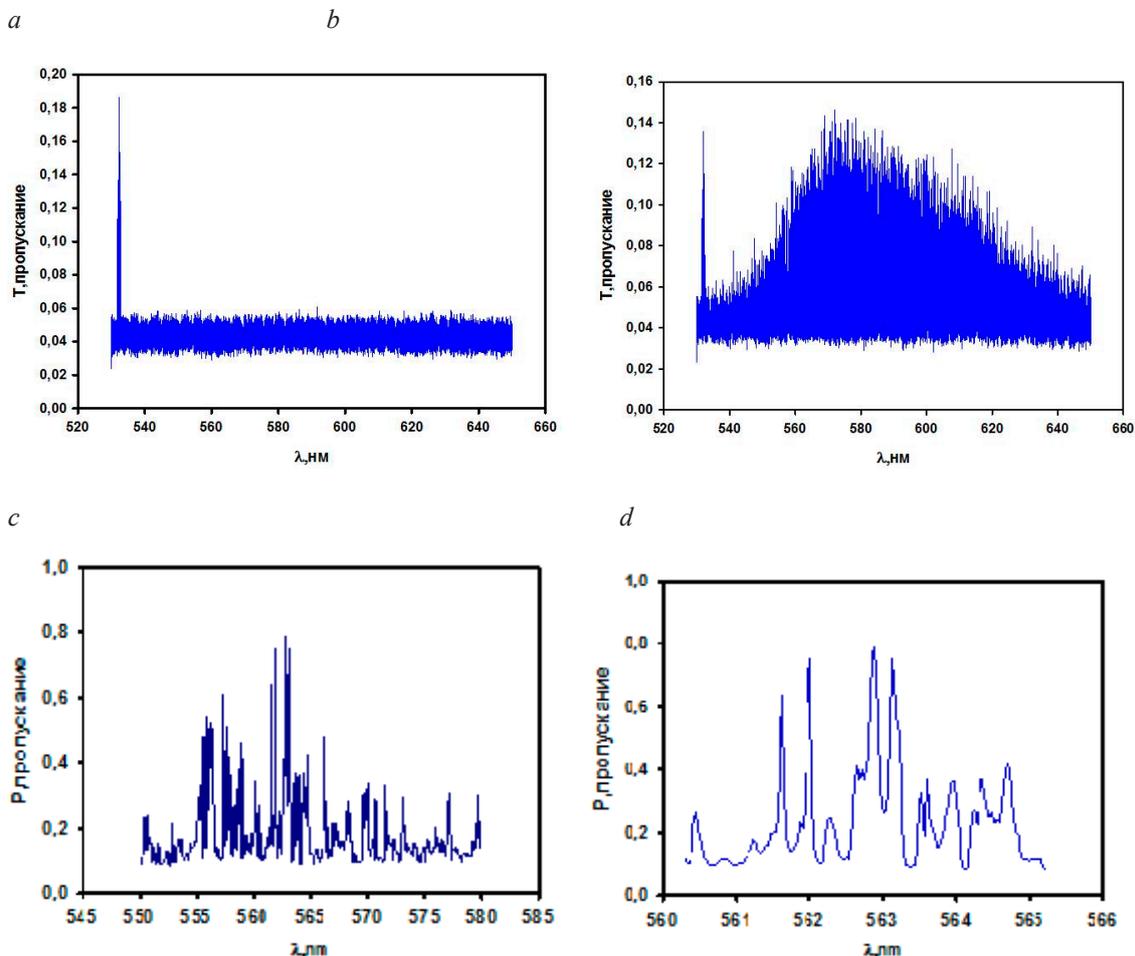


Рис. 6. Зарегистрированные спектры:

*a* – спектр возбуждающего излучения; *b* – спектр генерации красителя Родамин 6Ж;  
*c, d* – спектры излучения на микрорезонаторах. Пропускание *d* показано в интервале длин волн 566–565 нм

Следует отметить, что взбитая смесь состояла из мыльных пузырьков разного диаметра. Поэтому, в спектрах мы наблюдаем различные расстояния между центральными ли-

ниями и хаотичный разброс по амплитудам. Данное излучение распространяется во все стороны взбитой смеси рабочего раствора. Наличие тонких линий (всплесков) подтверждает существование излучения лазера типа «галереи шепчущих мод».

#### Выводы

В ходе экспериментальной работы были выполнены следующие задачи:

Зарегистрировано излучение лазера на микрорезонаторах типа «галереи шепчущих мод».

Предложенный способ создания микрорезонаторов представляет интерес в связи с практической значимостью данных устройств в микрооптоэлектронике.

Данная модель представляет интерес как объект для дальнейшего исследования. В перспективе мыльная пленка может

быть заменена пластичной пленкой. Такой микрорезонатор может быть интегрирован во многие микро- и нанооптоэлектронные системы, такие как оптический или оптоэлектронный компьютер, гибкие информационные экраны, медицинские микродатчики и т.д.

#### Список литературы

1. Himeno A., Kato K., Miya T. *IEEE // J. Sel. Top. Quantum Electron.* 4, 913 (1998).
2. Green A., Zhao J., Wang A., Reece P.J., Gal M. Efficient silicon light-emitting diodes // *Nature (London)* 412, 805 (2001).
3. Pavesi L., Dal Negro L., Mazzoleni C., Franz G., Priolo F. Optical gain in silicon nanocrystals // *Nature (London)* 408, 440, (2000).
4. Garrett C.G.B., Kasier W., Wond W.L. Stimulated Emission into Optical Whispering. Modes of Spheres // *Physics Letters*, 124, 1807 (1961).
5. Wang Q., Yana C., Yua N. // *J. Unterhinninghofenb, J. Wiersigb, C. Pflugla, Whispering-gallery mode resonators for highly unidirectional laser action, PNAS.* – December 28, 2010 / vol. 107 / no. 52 / 22407–22412.
6. Городецкий М.Л., Вятчанин С.П., Ильченко В.С., Перестраиваемые узкополосные оптические фильтры с модами типа шепчущей галереи // *Журнал прикладной спектроскопии.* – 1992. – 56. – 274–280.
7. Das A.J., Lafargue C., Lebental M., Zyss J., Narayan K.S. Three-dimensional microlasers based on polymer fibers fabricated by electrospinning // *Applied physics letters.* – 2011. – 99, 263303.
8. Cai X., Wang J., Strain M.J., Johnson-Morris B., Zhu J., Sorel M., O'Brien J.L., Thompson M.G., Yu S. Integrated Compact Optical Vortex Beam Emitters // *Science.* – 2012. – V.338; 19.
9. Bianucci P. Fietz C.R., Robertson J.W., Shvets G., Shih C.-K. Whispering gallery mode microresonators as polarization converters // *Optics letters.* – 2007. – Vol. 32, № 15.
10. Tcherniavskaia E.A., Saetchnikov V.A. Detection and identification of microparticles/nanoparticles and blood components using optical resonance of whispering-gallery modes in microspheres // *Journal of Applied Spectroscopy.* – 2010. – Vol. 77, № 5.
11. Виноградов А.В., Ораевский А.Н. Волны шепчущей галереи // *Соровский образ. жур.* – 2001. – Т.7, № 2.
12. Земский В.И., Колесников Ю.Л., Мешковский И.К. Физика и техника импульсных лазеров на красителях. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. – 176 с.
13. Moon H.-J., An K. Interferential coupling effect on the whispering-gallery mode lasing in a double-layered microcylinder // *Applied physics letters.* – 2002. – V. 80, № 18. – P. 3250–3252.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОГО ТЕТРАЭДРА LiF-LiNO<sub>3</sub>-NaCl-NaNO<sub>3</sub> ЧЕТВЕРНОЙ ВЗАИМНОЙ СИСТЕМЫ Li, Na // F, Cl, NO<sub>3</sub>

Аксенова С.А.

*г.о. Самара, МБОУ «Школа № 129», 11 «А» класс*

*Руководитель: Моргунова О.Е., г.о. Самара, СНИЦ СамГТУ, к.х.н., старший научный сотрудник;  
Нуштайкина Е.А., г.о. Самара, МБОУ «Школа № 129», учитель химии*

Физико-химический анализ – это геометрический метод исследования химический превращений. Современные учёные считают эту дисциплину основой современного материаловедения [11].

В данный момент одним из перспективных направлений ФХА является изучение многокомпонентных солевых систем (МКС) [12]. Многокомпонентные физико-химические системы – основа современного материаловедения. Солевые ионные расплавы широко применяются в современных технологических процессах. Они используются в качестве электролитов для химических источников тока или теплоаккумулирующих веществ, сред для проведения химических реакций, растворителей в различных технологических процессах [3].

Исследование МКС – очень трудоёмкий процесс, поэтому сейчас идёт работа по оптимизации исследований. В данный момент развивается инновационный метод исследования, который основан на моделировании характеристик эвтектик и дальнейшей проверке состава на установке дифференциального термического анализа [10].

Это направление сегодня активно развивает Студенческий научно-исследовательский центр при СамГТУ. Эвтектические составы моделируются инновационным авторским методом МЕТА по данным об элементах ограничения систем низшей мерности [1]. Экспериментальная часть исследования проводится на установках дифференциального термического анализа (ДТА) с программным обеспечением.

**Цель.** Расчёт эвтектического состава системы LiF-LiNO<sub>3</sub>-NaCl-NaNO<sub>3</sub> и экспериментальное его подтверждение методом ДТА.

### **Задачи:**

1. Изучить литературу по физико-химическому анализу, ознакомится с методом МЕТА.

2. Выполнить обзор литературы о элементах ограничения данной системы и сделать экспериментальную проверку тройных систем с самой низкой температурой плавления.

3. Провести моделирование эвтектики методом МЕТА.

4. Выполнить экспериментальную проверку расчётного состава.

5. Построить геометрический образ фазовой диаграммы четверной взаимной системы Li, Na // F, Cl, NO<sub>3</sub>.

Исследования проводились в СНИЦ СамГТУ на установке дифференциального термического анализа. Использовались реактивы класса «х.ч.» – LiF, NaCl, NaNO<sub>3</sub>, LiNO<sub>3</sub>. Все соли предварительно были обезвожены в муфельной печи при температуре 130°C, а установка откалибрована.

Основные термины и понятия:

**Физическая химия** изучает связь между физической и химической формами движения. Она объясняет химические явления и их закономерности на основе законов физики.

**Физико-химический анализ** – геометрический метод исследования химических превращений.

**Эвтектика** – состав смеси двух и более компонентов, плавящихся при минимальной температуре.

**Температура эвтектики** – минимальная температура, при которой происходит расплав веществ.

**Элементы ограничения** – системы, входящие в состав многокомпонентной системы высшей мерности.

### **Основная часть**

#### *1. Теоретическая и расчётная часть*

Система LiF-LiNO<sub>3</sub>-NaCl-NaNO<sub>3</sub> является стабильным тетраэдром четверной взаимной системы Li, Na // F, Cl, NO<sub>3</sub>.

Расчёт был выполнен методом МЕТА. Он заключается в прогнозировании состава и температуры четверной эвтектики по данным об элементах ограничения системы. Алгоритм расчёта приведён ниже:

1. Для n-компонентной системы из её n-1-мерных элементов ограничения выбирается система с самой низкоплавкой эвтектикой.

2. Образующие её вещества сортируются в порядке возрастания температур плавления, обозначения от T<sub>1</sub> до T<sub>n-1</sub> присва-

иваются в порядке уменьшения доли компонента в n-1-мерной эвтектике.

3. Вычисления состава и температуры эвтектики n-компонентной системы производятся по формулам:

$$h_{i-1} = h_{i-1} \cdot x_{(i-1)i}; \quad i = 5, 6 \dots n; \quad (1)$$

$$h_j = (1 - h_{i-1}) \cdot h_j; \quad j = 1, i - 2; \quad (2)$$

$$h_i = 1 - \sum_{j=1}^{i-1} h_j; \quad (3)$$

$$T_{эв}^{i'} = T_{эв}^{i-1} \cdot (1 - h_i); \quad (4)$$

$$T_{эв}^i = T_{эв}^{i-1} - (T_{эв}^{i-1})^{h_i} - (T_{эв}^{i'})^{h_i}. \quad (5)$$

Температуры плавления исходных солей: LiF – 848,9°C; LiNO<sub>3</sub> – 253°C; NaCl – 801°C; NaNO<sub>3</sub> – 306,5°C [2].

Данные по характеристикам двойных систем представлены в табл. 1.

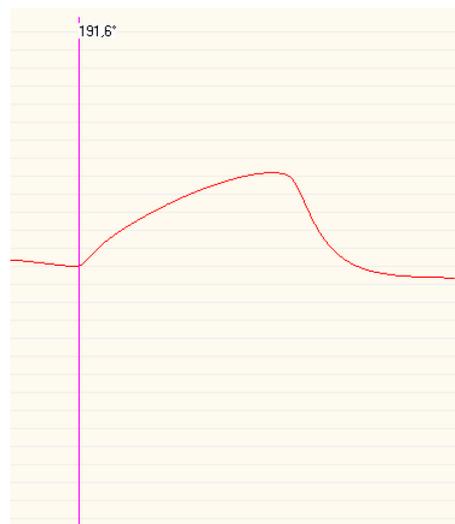


Рис. 1. Термограмма кристаллизации литературного состава 1LiF-54,5LiNO<sub>3</sub>-44,5NaNO<sub>3</sub> (мол.%)

Таблица 1

Двухкомпонентные системы

Система	Тип нонвариантной точки	Содержание 1-го вещ-ва в эвтектике, мол.% / состав соединения	Тэвт., °C	Лит-ра
LiF-LiNO <sub>3</sub>	e	1	246	[7]
LiF-NaCl	e	40,5	684	[8]
LiF-NaNO <sub>3</sub>	e	4	299	[9]
LiNO <sub>3</sub> -NaNO <sub>3</sub>	e	56,2	196	[7]
NaCl-LiNO <sub>3</sub>	e	15	220	[10]
NaCl-NaNO <sub>3</sub>	e	6,5	298	[7]

Для выбора тройной системы с самой низкоплавкой эвтектикой проанализируем и проверим имеющиеся данные:

В системе LiF-LiNO<sub>3</sub>-NaNO<sub>3</sub> в соответствии с данными [4] наблюдается эвтектика при 1LiF-54,5LiNO<sub>3</sub>-44,5NaNO<sub>3</sub> (мол.%) при температуре 177°C. Но по расчёту характеристики эвтектики составляют 0,6LiF-55,9LiNO<sub>3</sub>-43,5NaNO<sub>3</sub> (мол.%) при температуре 194°C.

Была проведена экспериментальная проверка представленных составов на установке ДТА. В результате оба состава закристаллизовались при 191,6°C (рис. 1, 2).

В системе LiNO<sub>3</sub>-NaCl-NaNO<sub>3</sub> в соответствии с данными [9] наблюдается эвтектика при 52,5LiNO<sub>3</sub>-2,5NaCl-45NaNO<sub>3</sub> (мол.%) при температуре 180°C. Но по расчёту характеристики эвтектики составляют 51,5LiNO<sub>3</sub>-8,4NaCl-40,1NaNO<sub>3</sub> (мол.%) при 190°C.



Рис. 2. Термограмма кристаллизации расчётного состава 0,6LiF-55,9LiNO<sub>3</sub>-43,5NaNO<sub>3</sub> (мол.%)

В результате экспериментальной проверки состав  $52,5\text{LiNO}_3-2,5\text{NaCl}-45\text{NaNO}_3$  (мол.%) закристаллизовался при  $188,5^\circ\text{C}$  (рис. 3), а состав  $51,5\text{LiNO}_3-8,4\text{NaCl}-40,1\text{NaNO}_3$  (мол.%) при  $190^\circ\text{C}$  (рис. 4).

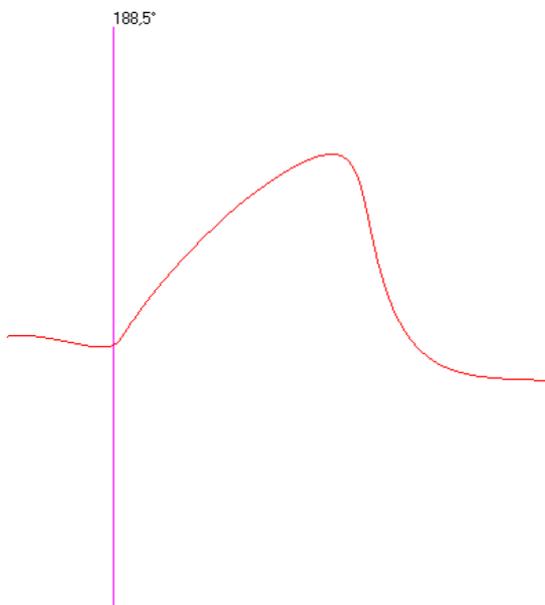


Рис. 3. Термограмма кристаллизации литературного состава  $52,5\text{LiNO}_3-2,5\text{NaCl}-45\text{NaNO}_3$  (мол.%)

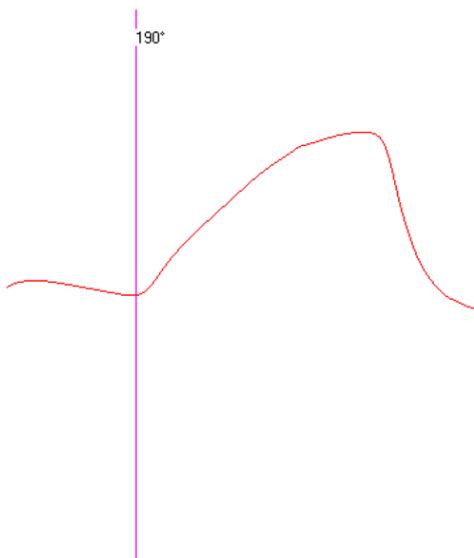


Рис. 4. Термограмма кристаллизации расчётного состава  $51,5\text{LiNO}_3-8,4\text{NaCl}-40,1\text{NaNO}_3$  (мол.%)

В результате тройной системой с самой низкотемпературной эвтектикой является состав  $52,5\text{LiNO}_3-2,5\text{NaCl}-45\text{NaNO}_3$  при температуре  $188,5^\circ\text{C}$ .

Проведём расчёт состава и температуры четверной эвтектики  $\text{LiF}-\text{LiNO}_3-\text{NaCl}-\text{NaNO}_3$  методом МЭТА:

Тройной системой с минимальной температурой эвтектики  $188,5^\circ\text{C}$  является  $\text{LiNO}_3-\text{NaCl}-\text{NaNO}_3$ .

Проводим ранжировку солей:  $\text{LiNO}_3(\text{T}_1)-\text{NaNO}_3(\text{T}_2)-\text{NaCl}(\text{T}_3)-\text{LiF}(\text{T}_4)$ .

Выполним расчёт по формулам 1–5.

По расчёту эвтектика системы  $\text{LiF}-\text{LiNO}_3-\text{NaCl}-\text{NaNO}_3$  наблюдается при  $8,2\text{LiF}-49,7\text{LiNO}_3-3,4\text{NaCl}-38,7\text{NaNO}_3$  (мол.%) и  $185^\circ\text{C}$ .

2. Основной эксперимент

После взвешивания состав был помещён в тигель. Он был исследован на установке ДТА (Рис.5). На графике имеется единственный пик, что говорит об эвтектическом характере данной системы, температура эвтектики –  $181,4^\circ\text{C}$ .

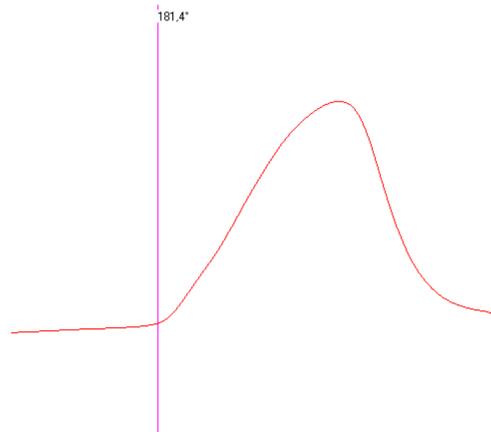


Рис. 5. Термическая кривая охлаждения расчётного состава  $8,2\text{LiF}-49,7\text{LiNO}_3-3,4\text{NaCl}-38,7\text{NaNO}_3$  (мол.%)

### Вывод

Эвтектические характеристики стабильного тетраэдра  $\text{LiF}-\text{LiNO}_3-\text{NaCl}-\text{NaNO}_3$  четверной взаимной системы  $\text{Li}, \text{Na} // \text{F}, \text{Cl}, \text{NO}_3$  составляют 8,2%  $\text{LiF}$ , 49,7%  $\text{LiNO}_3$ , 3,4%  $\text{NaCl}$ , 38,7%  $\text{NaNO}_3$  при  $181,4^\circ\text{C}$ . Исходя из литературных и полученных данных, был построен геометрический образ фазовой диаграммы четверной взаимной системы  $\text{Li}, \text{Na} // \text{F}, \text{Cl}, \text{NO}_3$  (рис.6).

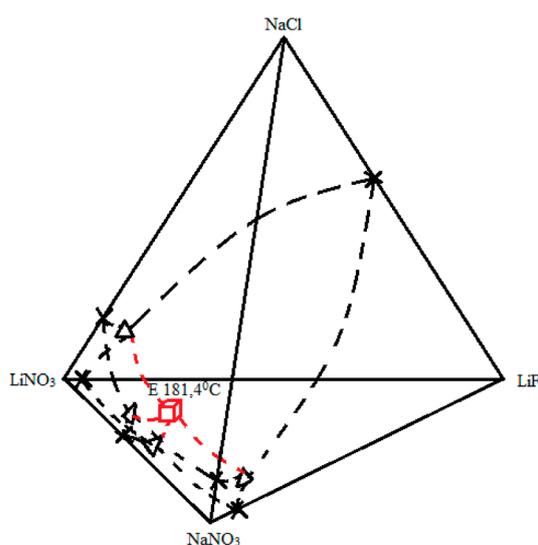


Рис. 6. Геометрический образ фазовой диаграммы четверной взаимной системы  $Li, Na // F, Cl, NO_3$

### Заключение

При выполнении своего исследования я освоила прогнозирование эвтектики методом МЕТА и усовершенствовала свои навыки взвешивания и работы на установке ДТА. Также была изучена литература по основам физико-химического анализа.

В итоге было проведено моделирование эвтектики стабильного тетраэдра  $LiF-LiNO_3-NaCl-NaNO_3$  четверной взаимной системы  $Li, Na // F, Cl, NO_3$ . Расчётный состав –  $8,2LiF-49,7LiNO_3-3,4NaCl-38,7NaNO_3$  – был экспериментально исследован методом дифференциального термического анализа. Была обнаружена эвтектика при температуре  $181,4^{\circ}C$ .

Полученные данные имеют научную и практическую ценность. Четверной эвтектический состав может быть использован в качестве электролита, теплоносителя, теплоаккумулятора, фазопереходного материала во многих отраслях промышленности, например в энергетике, металлургии и др. А также выявленные данные о фазовом взаимодействии в четверной системе  $LiF-LiNO_3-NaCl-NaNO_3$  представляют ценность в качестве справочной информации, т.к. были получены впервые.

Результаты работы внесены в «Электронную базу данных многокомпонентных солевых систем» СНИЦ СамГТУ. Результаты исследования опубликованы в сборнике Трудов 15-й Международной конференции «Актуальные проблемы современной науки». Самара, Самарский технический университет, 2018. С.92 – 96.

### Список литературы

1. Афанасьева О.С., Егорова Г.Ф., Моргунова О.Е., Трунин А.С. Методика расчёта тройных эвтектик по данным об элементах ограничения систем низшей мерности. // Вестник Самарского гос. Техн. Ун-та. Сер. Физико-математические науки. – 2007. – Вып. 1 (14). – С. 182–183.
2. Термические константы веществ. Справочник под ред. Глушко В.П. – М.: ВИНТИ, 1981. – Вып. X.Ч. 1–С. 16–19, 42–43, 122–125, 170.
3. Делимарский Ю.К., Барчук Л.П. Прикладная химия ионных расплавов – Киев: Наук. Думка, 1988. – 192 с.
4. Мальцева А.В., Губанова Т.В., Гаркушин И.К. Трёхкомпонентная взаимная система из фторидов и нитратов лития и натрия // Сб. трудов XIV Междун. конф. по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC-2013). – СПб.: СПб гос. техн. ун-т, 2013. – С. 223–225.
5. Моргунова О.Е., Катасонова Е.А., Трунин А.С., Лосева М.А. Дифференциация четырёхкомпонентной взаимной системы  $Li, Na // F, Cl, NO_3$  с использованием инновационной методологии // Вестник СамГУ. – 2015. – № 3 (125). – С. 174–180.
6. Моргунова О.Е., Трунин А.С., Алпанова Р.Р. Исследование системы  $LiNO_3-NaCl$  // Актуальные проблемы современной науки. – Самара: Самарский технический университет, 2015 – С. 208–213.
7. Моргунова О.Е., Трунин А.С., Катасонова Е.А., Лосева М.А. Двухкомпонентные системы комплекса  $Li, Na, K // F, Cl, Br, NO_3$  // Актуальные проблемы современной науки. Самара, Самарский технический университет. – 2015 – С. 91, 94, 99.
8. Моргунова О.Е., Уханов А.С. Исследование четверной взаимной системы  $Li, Na, K // F, Cl$  с применением инновационной методологии // Расплавы. – 2015. – №3 (15). – С. 42–52.
9. Диаграммы плавкости солевых систем. Тройные взаимные системы / под ред. В.И. Посыпайко, Е.А. Алексеевой. – М.: Химия, 1977. – С. 302–303.
10. Трунин А.С., Моргунова О.Е., Мешалкин А.В. Современный дифференциальный термический анализ: Учебное пособие. – Самара: ФГБОУ ВО «СамГТУ», РосМАН, 2015. – 52 с.
11. Трунин А.С., Моргунова О.Е. Введение в физико-химический анализ: учебное пособие. – Самара: ФГБОУ ВО «СамГТУ», РосМАН, 2015. – 76 с.
12. Трунин А.С., Моргунова О.Е. Многокомпонентные солевые системы: методология исследования, достижения, перспективы (по материалам доклада на 68-х Курнаковских чтениях) // Журн. неорган. химии. – 2012. – Т. 57; № 8. – С. 1243–1250.

## ПО СЛЕДАМ ШЕРЛОКА ХОЛМСА И ДОКТОРА ВАТСОНА...

Ахмина П.В.

МОУ «Подосинковская СОШ», 11 класс

Руководитель: Кузьминых Л.Б., МОУ «Подосинковская СОШ», учитель химии

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте VI Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://school-science.ru/6/13/37559>.

Первая повесть о Шерлоке Холмсе и докторе Ватсоне, автором которой является Артур Конан Дойл, появилась на свет в 1887 г. С «Этюда в багровых тонах» началась эра бесконечных приключений великого сыщика и его друга, вдохновивших и других авторов написание новых историй [6].

Из рассказов о Холмсе мы знаем, что тот обладал обширными знаниями по химии. Еще обучаясь в колледже, он около двух месяцев занимался в Лондоне опытами по органической химии, и даже некоторое время работал лаборантом в одной из лондонских больниц. Будущий сыщик постоянно проводит рискованные химические эксперименты в своей квартире, нередко наполняя её удушливыми парами [5].

И все же Шерлок Холмс был не просто любителем химии. Он на самом деле испытывал страсть к точным и достоверным знаниям. По этой причине в произведениях о нем особое внимание уделяется химической науке – органической, неорганической, аналитической [6].

Два сотрудника университета штата Теннесси (США) Т.Г. Уоддел и Т.Р. Райболт сочинили серию новых рассказов о расследованиях великого детектива, которые были опубликованы в журнале «Journal of Chemical Education». При прочтении этих криминальных историй и погружении в детали преступлений, возникает вопрос: верны ли описанные события, с научной точки зрения, или это художественный вымысел [4]?

**Цель работы:** изучить некоторые рассказы Т.Г. Уоддела и Т.Р. Райболта о химических приключениях Шерлока Холмса и выяснить, какие признаки, и свойства веществ они отразили в своих произведениях.

**Объекты исследования:** рассказы «Дело о стехиометрическом решении», «Проблема Вултонской тюрьмы», «Побег из тюрьмы Блэкуотер».

**Гипотеза:** описанные в рассказах свойства веществ и их превращения правильны с научной точки зрения.

**Задачи исследования:**

1. Опираясь на детали рассказа «Дело о стехиометрическом решении», выяснить, возможно ли совершить преступление описанным способом, и рассчитать необходимые для этого количества углекислого газа и уксусной кислоты.

2. Изучив произведение «Загадка Вултонской тюрьмы», проверить, возможно ли передать сообщение, используя крахмал в качестве симпатических чернил.

3. Установить, можно ли используя процесс электролиза, о котором идет речь в рассказе «Побег из тюрьмы Блэкуотер», отогнуть стальную решетку на окне.

**1. Литературный обзор***1.1. Влияние оксида углерода (IV) на здоровье человека*

Углекислый газ (угольный ангидрид, двуокись углерода) – бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом. Он почти в 1,5 раза тяжелее воздуха. В атмосферном воздухе углекислый газ содержится в виде примеси и пополняется в основном за счет активности вулканов, жизнедеятельности микроорганизмов почвы и сжигания топлива. Относительное постоянство содержания  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе поддерживается благодаря поглощению его Мировым океаном и усвоению растительным миром. Однако концентрация углекислого газа в атмосфере Земли повышается в связи с деятельностью человека [2].

*Влияние  $\text{CO}_2$  на организм*

Различные исследования по влиянию  $\text{CO}_2$  на организм человека были проведены ещё в прошлом веке. В 60-ых годах учёная О. В. Елисеева приводит детальное исследование, как влияет углекислый газ в концентрациях от 0,1% (1000 ppm) до 0,5% (5000 ppm) на организм человека, и пришла к выводу, что кратковременное вдыхание здоровыми людьми двуокиси углерода в этих концентрациях вызывает изменения в функции внешнего дыхания,

кровообращении и ухудшения электрической активности головного мозга. Согласно ее рекомендациям, содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе жилых и общественных зданий не должно превышать 0,1% (1000 ppm), а среднее содержание  $\text{CO}_2$  должно быть около 0,05% (500 ppm) (приложение 1) [1].

Существует непосредственная взаимосвязь между концентрацией  $\text{CO}_2$  и самочувствием человека. На уровне 0,08% (800 ppm) уже возникает ощущение духоты, а больной человек еще более восприимчив. А в современных офисах концентрация углекислого газа может превышать рекомендации в 4 раза (Приложение 2).

Когда у человека высокий уровень углекислого газа в крови, наступает состояние, известное как гиперкапния. Оно может вызывать покраснение кожи, повышение артериального давления, судороги, снижение мозговой и нервной активности, головные боли, спутанность сознания и сонливость. В крайнем случае, человеку для восстановления нормального дыхания будет необходима кислородная маска. Длительная гиперкапния может привести к повреждению внутренних органов, и даже мозга.

Низкий уровень углекислого газа в крови также может быть очень вредным для организма. Показатели  $\text{CO}_2$  снижаются из-за учащенного дыхания, в результате которого в организм поступает больше кислорода, чем нужно.

Диоксид углерода повышает кислотность крови, потому что образует слабую угольную кислоту ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ ), распадающуюся на  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ . А когда его уровень низок, кровь ощелачивается, что приводит к сужению кровеносных сосудов и ухудшению кровотока. Это может быть очень опасным, поскольку приводит к снижению кровоснабжения мозга, а следовательно, к помутнению сознания, головокружению, ухудшению зрения, мышечным судорогам и беспричинной тревожности. [13] (Приложение 2)

#### *Чертовы места*

Каждый из живущих вблизи Неаполя хоть раз слышал о Собачьей пещере (GrottadelCane). Слава пещеры построена на костях собак, принадлежащих слишком любопытным владельцам. Человек мог беспрепятственно войти в неё и выйти, а его четвероногий спутник – нет. И чем больше животное находилось в пещере, тем больше был шанс, что оно погибнет. В XX веке люди поговаривали о злых духах, скрывающихся от солнечного света во мраке подземелья, что душили собак. Собаки и правда были задушены, но не нечистой силой, а природной

аномалией. На сегодняшний день известно, что Собачья пещера вырабатывает углекислый газ, который скапливается в 80см над землёй. Голова человека находится в воздушном слое, а голова собаки в атмосфере смертоносного газа. Но животное погибает не сразу. Сначала замедляются реакции, потом происходит потеря сознания, и если собаку оперативно не поднять, а лучше вынести на свежий воздух, то она погибнет. Из-за череды дурных событий злополучная пещера является популярным объектом среди туристов. Но многие забывают, что она опасна не только для собак, но и для человека, который, к примеру, присел, чтобы завязать себе шнурки или сделать несколько удачных кадров... В зависимости от состояния здоровья, некоторые могут расстаться с жизнью быстрее, чем планировали. Именно поэтому не рекомендуется посещение этого места в одиночку [7].

В районах с высокой сейсмической активностью, сопровождающейся разломами земной коры, активизацией вулканов и гейзеров, могут образовываться, как их называет местное население, «чертовы места», «мертвые долины», «чертовы кладбища» и так далее. Обычно – это естественные замкнутые впадины рельефа, которые отличаются от окружающего ландшафта разными признаками, зависимо от того, какие вещества концентрируются в этом месте. Сероводород, например, убивает растительность и окрашивает все в желто-коричнево-бурые тона.

Но есть места, наоборот, отличающиеся обильной растительностью. Размеры растений в таких местах значительно превышают размеры представителей флоры в других местах. Это связано с тем, что на дне этих непродуваемых ветром впадин накапливается углекислый газ, который в 1,5 раза тяжелее воздуха, стимулирующий усиленный рост растительности. Здесь можно наблюдать большое количество скелетов и трупов представителей местной фауны – буйная растительность привлекает мелких животных, но не чувствуя угрозы жизни, выйти обратно уже не успевают. Известны редкие случаи гибели в таких местах людей. Чаще всего – это пришлые люди. Местное население обычно очень хорошо знает такие места и старается обходить их стороной. [7]

#### *Смертельные случаи отравления углекислым газом*

В практике судебно-медицинских экспертов редко, но наблюдаются случаи отравления углекислым газом.

Первый случай. Двое рабочих обследовали канализационные колодцы. Один

из рабочих, спускаясь в колодец, потерял сознание в 1,5 м от земли и упал на дно колодца. Второй рабочий стал спускаться с целью его извлечения, почувствовал себя плохо и с трудом поднялся. Через 40 минут прибыли спасатели, спустились в колодец в противогазах, извлекли пострадавшего, но он уже был мертв. Исследования проб воздуха показали, что содержание углекислого газа в воздухе на дне колодца составляло 9%, кислорода 8,6%.

Второй случай. Слесарь при производстве работ без мер предосторожности, без веревки стал спускаться в люк канализационного колодца и упал на дно его. Затем три человека, пытаясь его спасти также потеряли сознание и упали. Слесарь умер, остальные были отправлены в больницу и выписались через день в удовлетворительном состоянии. Исследования показали, что на глубине 4,5 м содержание CO<sub>2</sub> было 8,7%, кислорода – 5,4%.

При исследовании погибших было установлено, что кожа лица посинела, полости сердца и крупные сосуды заполнены жидкой темной кровью, наблюдались многочисленные точечные кровоизлияния.

Анализ сведений и дополнительных исследований показал, что смерть обоих пострадавших наступила в результате отравления углекислым газом.

Поэтому при спуске людей в колодцы, силосные башни, погреба и овощехранилища необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. Медицинские работники в профилактических целях должны информировать население о потенциальной опасности, периодически контролировать концентрации углекислого газа в различных помещениях такого типа, рекомендовать установку в них вентиляции [11].

**Невидимые (симпатические) чернила** – это чернила, записи которыми являются изначально невидимыми и становятся видимыми только при определенных условиях (нагрев, химический проявитель, ультрафиолетовые или инфракрасные лучи и др.).

В зависимости от характера взаимодействия веществ, все невидимые (симпатические) чернила можно условно разделить на такие виды:

- химические;
- фоточувствительные;
- люминесцентные;
- термочувствительные;
- влажочувствительные [9].

#### *Химические чернила*

В состав химических чернил входят бесцветные или слабо окрашенные вещества, которые при реакции образуют

ярко окрашенные продукты. Раствор «чернил» наносится на бумагу и высушивается при комнатной температуре. Изображение обнаруживается раствором проявителя или его называют электролит, при помощи пульверизатора или ватного тампона. Иногда проявитель представляет собой газообразное вещество.

Химическими чернилами пользовались немецкие шпионы. В 1915 году из Англии в Норвегию шпионом было отправлено письмо с важным документом. На первый взгляд, это была нотная тетрадь. Между строчек нотной тетради немецкий агент сделал надписи с помощью симпатических чернил. Британская контрразведка смогла проявить эту тайнопись, что привело к разоблачению германского шпиона. В состав чернил входил гексацианоферрат калия, текст стал видимым после обработки бумаги солями железа.

#### *Фоточувствительные чернила*

Фоточувствительными называются чернила, способные проявляться или исчезать под действием света.

Первая группа таких чернил содержит бесцветные или слабоокрашенные вещества, которые разлагаются при освещении видимым светом. Продукты разложения таких веществ окрашены или образуют окрашенные соединения в результате взаимодействия с другими компонентами чернил. Ко второй группе относятся чернила, «исчезающие» при освещении и снова проявляющиеся в темноте. Фоточувствительные чернила наносят на бумагу и высушивают на воздухе. Надпись проявляют или удаляют, освещая ее ярким солнечным светом.

#### *Люминесцентные чернила*

Эта группа чернил содержит бесцветные либо слабо окрашенные вещества, способные к люминесценции под действием ультрафиолетового излучения. Для проявления таких чернил надпись освещают ультрафиолетовой лампой. После прекращения действия ультрафиолета надпись исчезает. Люминесцентные чернила активно используются полицией и спецслужбами, а также студентами – во время контрольных или экзаменов.

#### *Термочувствительные чернила*

В состав термочувствительных симпатических чернил входят бесцветные или слабо окрашенные вещества, которые переходят в окрашенные соединения при нагревании. Во многих случаях окраска появляется в результате взаимодействия компонентов чернил с бумагой. Чернила наносятся на бу-

магу и высушиваются при комнатной температуре. Тайнопись или рисунок проявляется при нагревании до 120–180°C (можно прогладить горячим утюгом, поддержать ее над пламенем или сильно нагретой электроплиткой).

В зависимости от характера химического воздействия на бумагу при проявлении скрытого изображения, термочувствительные чернила делятся на 3 группы:

*Дегидратирующие чернила.* Это – разбавленные (2–10%) водные растворы серной или фосфорной кислот, гидросульфата натрия. При нагревании эти вещества обезвоживаются и оказывают на бумагу сильное дегидратирующее (обезвоживающее) действие. В результате бумага в местах нанесения чернил частично обугливается и появляется надпись, окрашивается в цвета от светло-коричневого до черного.

*Окисляющие чернила.* В их состав входят вещества, способные при нагревании до 150–180°C окислять материал бумаги, восстанавливаясь при этом с образованием окрашенных соединений. К таким чернилам относятся разбавленные (1–5%) водные растворы метаванадата аммония и парамолибдата аммония, реактив Толленса. При нагревании метаванадат аммония восстанавливается бумагой с образованием смеси оксидов ванадия, окрашенной в цвета от коричневого до черного. Парамолибдат аммония образует «молибденовую синь», а реактив Толленса – мелкодисперсное серебро чёрного цвета.

*Нейтральные чернила.* При проявлении скрытого изображения они не оказывают химического воздействия на бумагу, а лишь окрашивают ее продуктами своего разложения. К таким чернилам относятся, например, соки лимона, репчатого лука, яблок, а также молоко и сыворотка крови. Органические вещества, входящие в их состав (кислоты, белки, углеводы и другие) при нагревании до 150–180°C разлагаются с образованием продуктов, окрашенных в цвета от желтого до светло-коричневого.

#### *Влагочувствительные чернила*

Невидимые надписи или изображения, сделанные влагочувствительными чернилами, проявляются водой или водяным паром. В зависимости от характера процессов проявления такие чернила делятся на две группы:

*Просвечивающие чернила.* Надписи, сделанные ими, после высыхания на бумаге совершенно незаметны, но проявляются при выдерживании ее в воде в течение 2 – 3 минут. Участки бумаги, пропитанные этими чернилами, становятся под действием воды полупрозрачными. При высыхании бу-

маги надпись исчезает. К таким чернилам относится «раствор Видемана». Он готовится путем интенсивного смешивания льняного масла, 25%-ного раствора аммиака и воды в объемном соотношении 1:20:100. В состав таких чернил вместо льняного масла могут входить и некоторые другие масла растительного происхождения.

*Клеящие чернила.* Изображения или надписи, сделанные ими, проявляются водяным паром с последующей обработкой порошком пигмента. Для проявления бумагу с невидимой надписью держат над водяным паром (100°C) в течение 5 секунд, не допуская ее переувлажнения и образования на ней капелек воды. Затем, держа бумагу вертикально, посыпают ее очень мелким порошком какого-нибудь окрашенного вещества. Избыток порошка удаляют стряхиванием. Участки бумаги, пропитанные указанными чернилами, после обработки паром становятся липкими и за счет этого удерживают частицы пигмента – надпись «проявляется». В качестве таких чернил можно использовать водные растворы сахарозы, глюкозы и других углеводов (5-15%), нагретые растворы желатина (1-3%), растворов столярного клея (1–3%) и других клеящих веществ. [9]

История секретных чернил. Ещё в I веке н. э. Филон Александрийский описал рецепт симпатических чернил из сока чернильных орешков, для проявления которых требовался раствор железомедной соли. Овидий предлагал использовать молоко в качестве невидимых чернил (проявляется после нагрева).

Тайные агенты Ивана Грозного писали свои донесения луковым соком. Буквы становились видимыми при нагревании бумаги. Ленин использовал для тайнописи сок лимона или молоко. Для проявления письма в этих случаях достаточно прогладить бумагу горячим утюгом или поддержать ее несколько минут над огнем.

Знаменитая шпионка Мата Хари тоже использовала секретные чернила. Когда она была арестована в Париже, в ее гостиничном номере нашли пузырек с водным раствором **хлорида кобальта**, что и стало одной из улики при разоблачении ее шпионской деятельности. Хлорид кобальта можно успешно использовать для тайнописи: буквы, написанные его раствором, содержащим в 25 мл воды 1 г соли, совершенно невидимы и проявляются, делаясь синими, при легком нагревании бумаги.

Секретные чернила широко применялись и в России революционерами-подпольщиками. В 1878 году Вера Засулич смогла сбежать из-под ареста, сообщив заранее своим друзьям о плане побега

с запиской с просьбой принести кое-что из одежды, которая содержала на обратной стороне листка информацию, написанную водным раствором **хлорида железа**  $\text{FeCl}_3$  (Засулич принимала это вещество как лекарство). Такую записку можно прочесть, обработав ее ватным тампоном, смоченным разбавленным водным раствором **тиоцианата калия**: все невидимые буквы станут кроваво-красными из-за образования тиоцианатного комплекса железа.

Члены тайной организации «Черный передел» тоже использовали в переписке невидимые чернила – разбавленный водный раствор **медного купороса**. Проявлялся написанный такими чернилами текст, если бумагу подержать над склянкой с **нашатырным спиртом**. Буквы окрашиваются в ярко-синий цвет из-за образования аммиачного комплекса меди.

А вот китайский император Цин Шихуанди (249-206 гг. до н. э.), во время правления которого появилась Великая Китайская стена, использовал для своих тайных писем густой рисовый отвар, который после высыхания не оставляет никаких видимых следов. Если такое письмо слегка смочить слабым спиртовым раствором **йода**, то появляются синие буквы. А император для проявления письма пользовался бурым отваром морских водорослей.

Еще один рецепт секретных чернил включает применение 10%-го водного раствора **желтой кровяной соли**. Написанные этим раствором буквы исчезают при высыхании бумаги. Чтобы увидеть надпись, надо смочить бумагу 40%-м раствором **хлорида железа**. Ярко-синие буквы, которые появляются при такой обработке, уже не исчезают при высыхании. Появление букв связано с образованием комплексного соединения, известного под названием «турнбулева синь» [9].

Поэтому в качестве симпатических чернил могут быть использованы самые различные вещества (*приложение 3*).

**Электролиз** – это окислительно-восстановительный процесс, который происходит на электродах во время прохождения электрического тока через расплав или раствор.

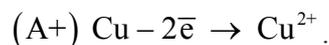
Для проведения электролиза нужен источник тока, два электрода и, конечно, электролит. Электролит – это раствор, который проводит электрический ток.

Различают электролиз растворов и электролиз расплавов. Оба эти процесса существенно отличаются друг от друга. Отличие – в наличии растворителя. При электролизе растворов кроме ионов самого вещества в процессе участвуют ионы растворителя. При электролизе расплавов – только ионы самого вещества.

Для того чтобы получить нужный продукт (газ, металл или неметалл), нужно правильно выбрать электрод и раствор электролита.

Электродами могут служить любые материалы, проводящие электрический ток. В основном применяют металлы и сплавы, из неметаллов электродами могут служить, например, графитовые стержни (или углерод). Реже в качестве электрода используют жидкости [8].

Электрод, заряженный положительно – анод. Электрод, заряженный отрицательно – катод. При электролизе происходит окисление анода (он растворяется) и восстановление катода. Именно поэтому анод следует брать таким, чтобы его растворение не повлияло на химический процесс, протекающий в растворе или расплаве. Такой анод называют инертным электродом. В качестве инертного анода можно взять графит (углерод) или платину. В качестве катода можно взять металлическую пластину (она не будет растворяться): медь, латунь, углерод (или графит), цинк, железо, алюминий. Электролиз с растворимым (активным) анодом: если анод выполнен из металла с потенциалом более низким, чем потенциалы окисления других частиц, присутствующих в данной системе, то происходит анодное растворение и катодное осаждение одного и того же металла. Например, на медных электродах – на аноде окисляется медь:



По мере образования ионов меди на аноде и их накопления в прикатодном пространстве на катоде начнут восстанавливаться ионы меди:  $(K^-) \text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}^0$  (*приложение 4*)

Электролиз широко применяется в различных отраслях промышленности. В химической промышленности электролизом получают такие важные продукты как хлор и щелочи, хлораты и перхлораты, надсерную кислоту и персульфаты, перманганат калия, органические соединения, химически чистые водород, кислород, фтор и ряд других ценных продуктов. В цветной металлургии электролиз используется для рафинирования металлов, для извлечения металлов из руд. Металлы, которые не могут быть выделены из водных растворов вследствие высокого отрицательного потенциала, получают в цветной металлургии электролизом расплавленных сред, в качестве которых служат соли этих металлов, содержащие добавки различных соединений, вводимые с целью понижения температуры плавления расплава, повышения электропроводности

и т.д. К числу металлов, получаемых электролизом расплавленных сред относятся алюминий, магний, цирконий, титан, уран, бериллий и ряд других металлов.

Электролиз применяют во многих отраслях машиностроения, радиотехники, электронной, полиграфической промышленности для нанесения тонких покрытий металлов на поверхность изделий для защиты их от коррозии, придания декоративного вида, повышения износостойкости, жаростойкости, получения металлических копий.

**Законы Фарадея.** Работам М. Фарадея суждено было стать важнейшим звеном в цепи событий, сделавших нашим достоянием технические достижения в области электрохимии и электричества. В них отражалась количественная связь между массой вещества, выделяемого при электролизе, и необходимым для этого количеством электричества, стало возможным количественно предсказать ход определенных электрохимических процессов и экспериментально определить эквивалентные массы химических элементов. Исходя из эквивалентных масс веществ, можно рассчитать их молекулярные массы. Связав свои исследования электрических явлений с атомистическими представлениями в химии, Фарадей стал предвестником современного учения о строении атома.

В учебниках и научной литературе можно найти несколько версий формулировки законов М. Фарадея. В наиболее общем виде законы формулируются следующим образом:

**Первый закон электролиза Фарадея:** масса вещества, осаждённого на электроде при электролизе, прямо пропорциональна количеству электричества, переданного на этот электрод. Под количеством электричества имеется в виду электрический заряд, измеряемый, как правило, в кулонах.

**Второй закон электролиза Фарадея:** для данного количества электричества (электрического заряда) масса химического элемента, осаждённого на электроде, прямо пропорциональна эквивалентной массе элемента. Эквивалентной массой вещества является его молярная масса, делённая на целое число, зависящее от химической реакции, в которой участвует вещество.

Законы Фарадея можно записать в виде следующей формулы:

$$m = \frac{Q}{F} \frac{M}{z},$$

где  $m$  – масса осаждённого на электроде вещества в граммах;  $Q$  – полный электри-

ческий заряд, прошедший через вещество;  $F = 96\,485,33(83)$  Кл·моль<sup>-1</sup> – постоянная Фарадея;  $M$  – молярная масса вещества;  $z$  – валентное число ионов вещества (число электронов на один ион).

Заметим, что  $M/z$  – это эквивалентная масса осаждённого вещества.

Для первого закона Фарадея  $M$ ,  $F$  и  $z$  являются константами, так что чем больше величина  $Q$ , тем больше будет величина  $m$ .

Для второго закона Фарадея  $Q$ ,  $F$  и  $z$  являются константами, так что чем больше величина  $M/z$  (эквивалентная масса), тем больше будет величина  $m$ .

В простейшем случае постоянного тока электролиза  $Q=It$  приводит к:

$$m = \frac{It}{F} \frac{M}{z}$$

и тогда

$$n = \frac{It}{F} \frac{1}{z},$$

где  $n$  – выделенное количество вещества («количество молей»):  $n = m/M$ ;  $t$  – время действия постоянного тока в секундах [10].

## 2. Исследовательская часть

**История 1.** В рассказе «Дело о стехиометрическом решении» говорится о расследовании смерти человека в запертой комнате размером 7×7×8 футов в известковой каменоломне. Шерлок Холмс выясняет, что жертва задохнулась вследствие заполнения помещения углекислым газом, выделившимся при взаимодействии уксусной кислоты и известняка. [4] Углекислый газ попал в комнату через вентиляционное отверстие. Возможность использовать уксусную кислоту как реагент в реакции была у двух героев рассказа. Один из них производил уксус и растительное масло, у второго же несколько бутылок ледяной уксусной кислоты обнаружили в квартире при обыске. Кто же из них преступник? Я провела несколько опытов.

**Опыт 1.** Получение и обнаружение оксида углерода (IV).

Материалы и реактивы: CaCO<sub>3</sub>, раствор CH<sub>3</sub>COOH, Ca(OH)<sub>2</sub>

Ход работы: добавили уксусную кислоту в известняк, в результате чего выделился газ. При пропускании газа через известковую воду выпал белый осадок. Это подтверждает, что выделившимся газом был диоксид углерода [2] (фото 1).

Углекислый газ – без цвета, без вкуса и запаха,  $D_{\text{возд}} = 44/29 = 1,5$ . Легко сжигается и затвердевает, образуя «сухой лед». Не поддерживает дыхание.

Расчеты по данным:

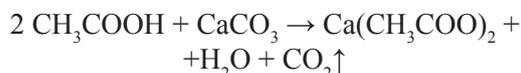
Размеры комнаты

$$7 \times 7 \times 8 \text{ футов} = 392 \text{ фута}^3 [4]$$

$$1 \text{ фут}^3 = 0,0283 \text{ м}^3$$

$$\text{Объем комнаты} = 392 \cdot 0,0283 = 11,1 \text{ м}^3 = 11100 \text{ л}$$

По уравнению реакции



$$n(\text{CO}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{11100}{22,4} \text{ моль}$$

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2n(\text{CO}_2) = 2 \cdot 495,54 = 991,08 \text{ моль}$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = n \cdot M = 991,08 \cdot 60 = 59465,35 \text{ г} = 59,465 \text{ кг.}$$

Если использовать разбавленную 9% уксусную кислоту, то количество необходимого раствора  $m \cdot p = 59/0,09 = 656 \text{ кг.}$

Так как плотность уксусной кислоты примерно равна 1050 г/л, то

$$V = \frac{656000 \text{ г}}{1050 \text{ г/л}} = 624,8 \text{ л.}$$

Глубокий след, оставленный вблизи вентиляционного отверстия, говорит о нагруженной повозке. Следовательно, производитель уксуса и масла, имеющий бочки и баки для ферментации, мог осуществить данную реакцию.

Вывод: углекислый газ действительно можно получить описанным способом. Высокая концентрация углекислого газа вызывает ухудшение состояния человека. Из дополнительной литературы выяснили, что даже в низких концентрациях углекислый газ в помещении становится токсичным, поскольку воздействует на клеточную мембрану и в крови человека происходят биохимические изменения, такие, как ацидоз (изменение кислотно-щелочного равновесия в организме) [13].

История 2. Рассказ «Загадка Вултонской тюрьмы» повествует о том, как криминальная группировка возобновила свою работу, в то время как ее глава находится в тюремном заключении. Выяснилось, что он передавал тайные послания на газетах своим подчиненным, используя при этом крахмал. Чтобы проявить надпись, по словам мистера Холмса, им нужно было лишь смочить газету раствором йода.

Опыт 2. Симпатические чернила.

Материалы и реактивы: крахмал, молоко, лимонный сок, раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , фенолфталеин, раствор йода, электрический утюг, листы бумаги.

Ход работы: для исследования описанного в рассказе способа тайнописи мы использовали несколько видов симпатических чернил:

1. Крахмал (проявляется при обработке йодом)
2. Молоко (нагрев)
3. Лимонный сок (нагрев)
4. Раствор щелочи (фенолфталеин).

Нанесли ватной палочкой на листы бумаги надписи различными симпатическими чернилами. При обработке высохших чернил проявителями произошли следующие изменения:

1. Надпись, сделанная крахмалом, при взаимодействии с йодом посинела. Четкого изображения букв было добиться сложно, так как изменял окраску весь лист, на который попадал йод. А именно этот способ тайной передачи информации использовал преступник в рассказе!

2. Надписи молоком и лимонным соком от нагревания потемнели до светло-коричневого цвета.

3. Надпись щелочью, прореагировав с фенолфталеином, приобрела ярко-малиновую окраску. (фотографии 2)

Вывод: наиболее эффективными симпатическими чернилами из рассмотренных в опыте являются раствор щелочи и лимонный сок. В качестве приемлемых чернил для тайнописи можно использовать очень многие из используемых в быту веществ: лекарства, бытовую химию и даже отдельные продукты.

История 3. В «Победе из тюрьмы Блэкуотер» рассказывается, как заключенный сбежал из камеры, выломав стальной прут оконной решетки. Сломанный прут был значительно тоньше в основании, чем тот, что остался в проеме. Камера освещалась тусклой лампой, работающей от постоянного тока, со скрученными проводами. Лампа располагалась в нескольких футах от окна.

Шерлок Холмс пришел к умозаключению, что сбежавший осуществил электролиз на стальных электродах, используя пищевой уксус, который ему давали для приправы, в качестве электролита. А затем он просто сломал истончившийся прут [4].

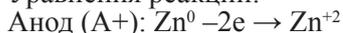
Опыт 3. Электролиз раствора уксусной кислоты на растворимых электродах.

Чтобы проверить версию Шерлока Холмса, мы провели собственный эксперимент. Материалы и реактивы: Zn – источник тока, амперметр, реостат, провода, прибор для электролиза.

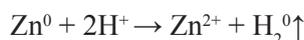
Ход работы: В качестве электролита мы взяли разбавленную уксусную кислоту. Перед началом эксперимента мы взвеси-

ли анод и катод. Их масса соответственно равна 27,31 г и 27,16 г. В процессе электролиза на аноде окислялся Zn, на катоде восстанавливались ионы  $H^+$  из уксусной кислоты. Уксусная кислота – слабая, только часть ее молекул в растворе распадается на  $CH_3COO^-$  и  $H^+$ . Ионы  $H^+$  превращаются на катоде в газ  $H_2$ . Водород выделяется, растворенный цинк в виде ионов соединяется с ацетат-анионами, образуя соль, часть его, как мы заметили, осаждается на катоде. После повторного взвешивания выяснилось, что масса анода уменьшилась (18,91г), а катода увеличилась (стала 28,9 г) (фото 3).

Уравнения реакций:



Суммарное уравнение:



Расчеты по данным нашего эксперимента:

Дано:  $I \approx 1,18 \text{ А}$ ;  $t = 2 \text{ ч} = 7200 \text{ с}$ ;  
 $F = 96485 \text{ Кл/моль}$ .

**Второй закон электролиза Фарадея:**

для данного количества электричества (электрического заряда) масса химического элемента, осаждённого на электроде, прямо пропорциональна эквивалентной массе элемента. [10] Законы Фарадея можно записать в виде следующей формулы

$$m = \frac{Q}{F} \frac{M}{z},$$

где  $m$  – масса осаждённого на электроде вещества в граммах;  $Q$  – полный электрический заряд, прошедший через вещество;  $F = 96485,33(83) \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$  – постоянная Фарадея;  $M$  – молярная масса вещества;  $z$  – число валентных электронов (число электронов на один ион).

Заметим, что  $M/z$  – это эквивалентная масса осаждённого вещества.

$$m = \frac{11,8 \cdot 7200 \cdot 65}{96485 \cdot 2} = 2,87 \text{ г цинка растворяется за 2 часа.}$$

Мы процесс проводили 3 дня в течение 2 часов, следовательно, масса растворившегося цинка будет  $3 \cdot 2,87 = 8,6 \text{ г}$ . Разница при взвешивании равна  $27,31 - 18,91 = 8,41 \text{ г}$ . С учетом потерь, массы примерно одинаковы.

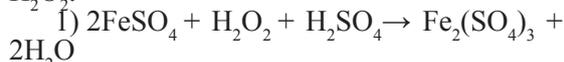
Результат опыта: экспериментально и при помощи расчетов мы подтвердили верность рассуждений Шерлока Холмса о возможности растворения вещества анода при электролизе на растворимых электродах.

Опыт 4. Качественные реакции на соединения железа (II) и (III).

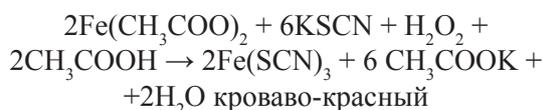
В рассказе Шерлок Холмс доказывал наличие соли двухвалентного железа в составе жидкости, добытой с подоконника камеры, следующим образом. К жидкости он добавлял роданид калия, а затем перекись водорода. Образовывалось вещество кровавого цвета –  $Fe(SCN)_3$  – роданид железа (III).

Эта реакция известна как качественная реакция на соединения трехвалентного железа. Нам известно также, что соединения двухвалентного железа окисляются, например, перекисью водорода, и переходят в соединения  $Fe^{3+}$ . Еще одна качественная реакция на  $Fe^{3+}$  – это реакция с желтой кровяной солью  $K_4[Fe(CN)_6]$ . [13] В результате образуется темно-синий осадок берлинской лазури (прусская синь)  $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ . Эти реакции мы и провели (фото 4).

Материалы и реактивы: штатив с пробирками,  $FeSO_4$ ,  $FeCl_3$ ,  $KSCN$ ,  $K_4[Fe(CN)_6]$ ,  $H_2O_2$ .



Реакция, описанная в рассказе:



Результат опыта: используя качественные реактивы, можно распознать растворы двух- и трехвалентного железа. Доказали, что описанные в рассказе качественные реакции действительно протекают.

### Заключение

Шерлок Холмс является одним из самых популярных литературных героев. К решению любой задачи он относится как философ, как художник, как поэт. Чем труднее проблема, тем более она ему интересна. В большинстве случаев Холмс сталкивается с тщательно спланированными и сложно исполненными преступлениями. Но знания химии и других наук позволяют ему найти разгадки даже самых запутанных дел.

Я убедилась, что все описанные в рассказах свойства и превращения веществ, верны с научной точки зрения и не являются художественным вымыслом авторов.

### Список литературы

1. Егоров А.С. Химия. Новое учебное пособие для поступающих в вузы. – Ростов н/Д: Феникс, 2006.

2. Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. Общая и неорганическая химия: Учебное пособие для вузов. – М.: Химия, 1981.
3. Свойства органических соединений. Справочник / Под ред. А.А. Потехина. – Л.: Химия, 1984.
4. <http://www.rulit.me/books/himicheskie-priklyucheniya-sherloka-holmsa-get-192237.html>.
5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Шерлок\\_Холмс](https://ru.wikipedia.org/wiki/Шерлок_Холмс).
6. <http://www.alto-lab.ru/chemists/sherlok-xolms-i-ximiya/>.
7. [http://darkbook.ru/publ/italija/sobachja\\_peshhera/5-1-0-205](http://darkbook.ru/publ/italija/sobachja_peshhera/5-1-0-205).
8. <http://himege.ru/elektroliz-rasplavov-i-rastvorov/>.
9. <http://www.alhimik.ru/show/show13.html>.
10. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Законы\\_электролиза\\_Фарадея](https://ru.wikipedia.org/wiki/Законы_электролиза_Фарадея).
11. <http://www.sudmed.ru/index.php?autocom=articles&code=print&id=67>.
12. <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/9d3df838-d4d4-c17b-be58-7558b90c827d/index.htm>.
13. <http://doctor-test.ru/vysokiy-uroven-uglekislogo-gazav-krovi>.

## ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ХИТОЗАНА В ШКОЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Галиева Э.И.

*МОБУ «Башкирская гимназия им. Яныбая Хамматова», МБУ ДО ЦВР, 10 класс*

*Руководитель: Тагирова А.Ф., МОБУ «Башкирская гимназия им. Яныбая Хамматова»,  
учитель биологии*

В настоящее время природный полисахарид хитозан благодаря широкому спектру своих полезных свойств находит всё более широкое применение в самых различных областях, таких как: текстильная, атомная, пищевая, медицина, сельское хозяйство, парфюмерия и косметика. К неоспоримым достоинствам хитозана относится его совершенная безопасность для человека и окружающей среды: экологически чист и полностью распадается в природных условиях. В настоящее время синтетические полимеры постепенно теряют свою привлекательность, а в это время природные полимеры получают все большее внимание.<sup>3</sup>

Актуальность исследования: хитозан является производным хитина, очень распространенного в природе полисахарида, добываемого преимущественно из ракообразных. Хитозан является нетоксичным и биосовместимым с тканями живых организмов, обладает антимикробной активностью. Кроме того, хитозан широко доступен и является недорогим веществом.<sup>6</sup>

Гипотеза: в лабораторных условиях можно получить вещество хитозан, полностью заменяющее синтетические полимеры, которые породили массу проблем, связанных с охраной здоровья человека и защитой окружающей среды.

Целью исследования: изучение способа получения природного полимера хитозан из панцирей речного рака, колорадского жука и оценка его свойств для применения в быту.

Для выполнения данной цели, поставлены задачи:

- сбор природного материала колорадского жука;
- переработка панцирей речного рака и колорадского жука в хитин;
- изучение способа получения хитозана из хитина;
- проведение сравнительного и качественного анализа хитозана из различного сырья;
- исследование эффективности применения полученного хитозана в качестве пищевого загустителя.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

- изучен способ получения хитозана из панциря речного рака и колорадского жука в школьных условиях;

- проведена информационная работа о пользе биополимера-хитозана.

Объект: природные материалы панцирей речного рака и колорадского жука.

Предмет: биополимер хитозан.

Практическая значимость: исследование доступный и дешевый способ получения хитозана; также хитозан может быть использован в быту, например, в качестве пищевого загустителя; для улучшения обменных процессов в организме и в косметологии [3]. Изученный материал может быть использован на уроках химии, физики, биологии и экологии.

### 1. Литературный обзор

#### 1.1. История хитина и хитозана

Примерно 200 лет назад природный полимер хитин и его производное хитозан сконцентрировали на себе интерес учёных. Исследования развивались весьма медленно, и эти полимеры привлекали внимание все большего количества биологов, химиков-органиков и были сконцентрированы в Германии и Франции. С открытием хитозана становится понятно, что он имеет практическую значимость, и его начали активно изучать в различных странах, в том числе и в России [8]. В течение следующих ста лет ученые проводили большое количество фундаментальных исследований природных полимеров, в частности хитина и его производных. Высокий интерес к этим соединениям родился еще в 30–е годы двадцатого века, о чем свидетельствуют около 50 патентов, тем не менее, имеется недостаток определенных промышленных мощностей, а также соперничество с синтетическими полимерами, что мешает коммерческому формированию употребления хитина и хитозана [6]. В двадцатом веке к азотсодержащим природным полимерам проявлялся должный интерес, а именно с ними имели прямую связь три Нобелевских лауреата: Фишер (1903) синтезировал глюкозамин, Картер (1929) – проводил разложение хитина при помощи хитиназа, а также Хаворт

(1939), который определил полную форму глюкозамина. Весной 2000 года было основано Российское Хитиновое Общество, которое объединило в себе около 50 региональных филиалов. Все это говорит о растущем интересе к хитину и его производным не только у ученых-химиков, но и у специалистов различных специальностей – медики, биологи, микробиологи и биотехнологи [5]. Впервые промышленное изготовление хитозана освоено Японией в 1970-х годах. Потребность в хитозане растет и, по мнению американских специалистов вскоре превзойдет десять тысяч тонн в год. Сейчас в мире изготавливается всего 2 – 3 тысячи тонн в год. Главные иностранные поставщики готового хитозана на наш рынок – Китай и Индия. Другие страны-изготовители, реализовывают переработку хитозана и его производных для своих нужд.6

### 1.2. Структура хитина и хитозана

Хитин ( $C_8H_{13}O_5N$ ) (фр. chitine, от др.-греч. χιτών: хитон – одежда, кожа, оболочка) – природное вещество из категории полисахаридов, содержащих в своем составе азот. Данный полимер составлен из N ацетилглюкозамина, остатки которого соединены друг с другом b-(1,4) – гликозидными связями. Хитин – основной элемент кутикулы членистоногих и других беспозвоночных, он также входит в структуру клеточного покрова грибов и микроорганизмов (например, бактерий) [3]. Хитин – один из особо популярных в природе высокомолекулярных углеводов – ежегодно на Земле в живых организмах образовывается и распадается, по меньшей мере, 10 гига тонн хитина [8]. Поли-N-ацетил-D-глюкозо-2-амин представляет собой основу скелетной системы, которая поддерживает клеточное строение тканей в покровах ракообразных (панцирь), клеточной стенке грибов и бактерий, экзоскелете насекомых. Хитозан содержит первичные аминогруппы, первичные и вторичные гидроксильные группы, с участием которых возможно проведение различных превращений. Хитозан является деацетилированным производным хитина. Первостепенные характеристики хитозана, которые играют основополагающие роли для его эффективного использования в разнообразных областях – это нерастворимость в воде, высокая вязкость растворов хитозана в различных неконцентрированных кислотах, пленкообразующие свойства, а также возможность образования гранулированных продуктов, биологическая сочетаемость с тканями человека и других организмов, невысокая токсичность и биоразлагаемость в почве. Эти свойства обусловлены химиче-

ской структурой молекул данного аминоксахарида, то есть распределением его молекулярных масс, степенью деацетилирования, а также равномерностью распределения деацетилированных групп по всем полимерным молекулам [4].

### 1.3. Свойства хитина и хитозана

Хитин – природный, нетоксичный, жесткий, волокнистый полупрозрачный полимер. Большая длина и ограниченная гибкость макромолекул считаются положениями для создания биополимеров со сложной надмолекулярной структурой в живых организмах. Для хитина главным элементом такой структуры являются макрофибриллы – высокоориентированные комплексы молекул, размер которых равен 20–55 нм, они состоят из микрофибрилл, диаметр которых 2 – 3 нм. Такое строение гарантирует исполнение значимой биофункции увеличения механической прочности тканей, содержащих хитин. Высокая прочность хитиновых текстур в ракообразных и насекомых обоснована образованием хитин карбонатного комплекса вследствие отложения хитина на карбонат кальция. При всем этом жесткий роговой материал этих организмов выступает в качестве не чистого хитин карбоната кальция, а намного более сложной структуры, в которой только верхний слой – хитин карбонат кальция, в это время внутренние покровы включают протеин. Именно поэтому для получения хитина последовательно деминерализуют и депротеинизируют, что включает обработку мелкозернистого панциря растворами хлористоводородной кислотой и гидроксидом натрия с дальнейшей промывкой водой, избавлением от красящих пигментов, отбеливая веществами и липофильными реагентами, а также отмывкой этиловым спиртом [1].

Хитозан обладает ограниченной растворимостью и растворяется лишь в разбавленных растворах органических и минеральных кислот. Тем временем, одно из важнейших свойств высокомолекулярных соединений, которое определяет вероятность их переработки и использования, это растворимость. На использовании растворов целлюлозы, ближайшего аналога хитина, базируется методика получения пленочных материалов, композиций, которые обладают загущающими и клеящими свойствами. В большинстве случаев целью модификации хитозана является повышение его растворимости в нейтральных средах. Способ повышения растворимости полимера связан с его химической модификацией, в большей степени аминогрупп [5].

#### 1.4. Применение и перспективы развития химии хитина и хитозана

Большая часть исследователей всего мира называют хитозан веществом двадцать первого века. Хитозан является повсеместно известным продуктом. Хитин и его производное – хитозан, обладают большим количеством полезных характеристик и это делает их используемыми, незаменимыми в медицинской промышленности, а также сельском хозяйстве. Глубоким изучением хитозана занимаются в пятнадцати странах и в наше время известно около семидесяти направлений практического использования хитина и хитозана, а также модифицированных продуктов, наиболее важными из которых являются биотехнология и экология, пищевая, медицинская, косметическая промышленность и ветеринария, сельское хозяйство [6].

Хитин перерабатывается во многие производные, наиболее доступным из которых является хитозан, он образуется при обработке хитина раствором щелочи при нагревании. Основное преимущество хитозана перед хитином это его растворимость в водных растворах кислот. Ученые концентрируют свое внимание на получении пищевых плёночных материалов, сохраняющих качество и структуру еды. Большинство стран применяют хитин и хитозан. Сегодня хитин и хитозан применяют повсеместно: в получении антибиотиков и хирургических швов, а также в диабетических добавках, пищевых продуктах и косметике. В США эти полимеры применяются при обработке семян, обогащении кормов для животных, а также для очистки воды, его добавляют в средства по уходу за волосами и диабетические добавки. Синтетические полимеры постепенно теряют свою привлекательность, а в это время природные полимеры получают все большее внимание [7].

Хитозан, получил большое внимание в последние годы в Европе и Америке, он охарактеризовал себя как неповторимое соединение, которое связывает и выводит из организмов жиры, он не имеет аналогов в природной среде, также он снижает уровень холестерина. Хитозан используют при курсовом лечении ожирения, атеросклероза, очищении организма. Его также принимают перед употреблением жирной пищи на фоне длительной диеты [7].

### 2. Объекты и методы исследования

#### 2.1. Объекты исследования

Объектами исследования являлись биологические объекты животного происхождения, а именно: речной рак, колорадский жук.

#### 2.2. Методика получения хитозана

При получении хитозана из речного рака и колорадского жука пользовались методикой Абдуллина В.Ф. – им была разработана технология получения хитозана из панциря речного рака. Технология получения хитозана включает четыре стадии: измельчение панцирей раков, деминерализация, депротенирование, деацетилирование. При измельчении панциря оптимальный средний размер частиц составляет 3–4 мм, что позволяет увеличить активную поверхность материала при химических превращениях. Стадия деминерализации проводится для удаления минеральных веществ, которые закрывают доступ реагентов к хитину. Процесс осуществляется обработкой измельченного панциря слабым раствором соляной кислоты, которая растворяет минеральные примеси – главным образом карбонат кальция. Стадия депротенирования проводится с целью удаления из панциря белков и липидов. Это достигается путем обработки измельченного панциря слабым раствором гидроксида натрия. Выделяется хитин, который превращается в хитозан путем реакции деацетилирования. Реакция деацетилирования заключается в обработке хитина концентрированной горячей щелочью [1].

#### 2.3. Методы получения хитозана

Для получения хитозана приготовили специальное оборудование: ступка с пестиком (лабораторная посуда для измельчения панцирей речного рака и колорадского жука вручную); растворы HCl и NaOH (для деминерализации, депротенизации и деацетилирования хитина); мерные стаканы (для измерения растворов); водный термометр, плита, ареометр (для определения плотности молока).

Методы: деминерализация, депротенизация, деацетилирование и сгущение молока.

Способы получения хитозана из панцирей речного рака и колорадского жука заключались в том, что сухой измельченный панцирь речных раков заливали 4% раствором HCl в соотношении 1: 6, перемешивали в течение 1,5 часов при температуре окружающей среды, полученную массу фильтровали и промывали; отфильтрованный осадок заливали 4% раствором NaOH в соотношении 1:6 и перемешивали в течение 1 часа при температуре 70–80°C; полученный хитозан фильтровали, промывали и сушили [1]. Способ сгущения молока заключается в том, что в раствор добавляем загуститель природного происхождения – хитозан. При котором, плотность является

одним из важнейших показателей качества молока. Плотность измеряется с помощью специального прибора – ареометра [2].

### 3. Результаты и их обсуждения

#### 3.1. Место проведения исследования

Исследования проводили в конце мая 2018 года. Колорадских жуков собирали на огородах по улице Степная г.Белорецк с начала их появления до полного их исчезновения. Было собрано более 300 экземпляров. В школьной лаборатории мы нашли некоторые части тела речного рака (панцири, клешни), которые не использовались для демонстрации. Получение хитозана из панцирей речного рака и колорадского жука осуществляли в школьной лаборатории, заранее подготовили необходимые оборудования (Приложение 1). Изучили литературу и выяснили, что при измельчении панциря оптимальный средний размер частиц составляет 3–4 мм, что позволяет увеличить активную поверхность материала при химических превращениях и облегчить его переработку на различных стадиях технологического процесса. Измельчали панцири речных раков и колорадского жука с помощью ступы с пестиком, получили необходимые порошки. Масса которых составляла: 12 г хитина речного рака и 7 г хитина колорадского жука. Провели необходимые расчеты для экспериментов. Для приготовления 10% раствора щелочи (NaOH) возьмем 100 мл воды и произведем необходимые расчеты

Дано:

$$\omega(\text{NaOH})=10\%=0,1$$

$$V(\text{H}_2\text{O})=100 \text{ мл}$$

$$m(\text{NaOH}) - ?$$

Решение:

$$m(\text{H}_2\text{O})=\rho V=100 \text{ мл} \times 1 \text{ г/мл}=100 \text{ г}$$

$$\text{Пусть } m(\text{NaOH})=x, \text{ тогда } 0,1=x/100+x$$

$$0,1(100+x)=x$$

$$10+0,1=x$$

$$10=0,9x$$

$$x=11,11$$

Таким образом, для приготовления необходимого раствора мы отмерили 100 мл воды и путем взвешивания взяли 11,11 г NaOH.

Для приготовления 10% раствора соляной кислоты возьмем 100 мл воды и произведем расчеты:

Дано:

$$\omega(\text{HCl})=10\%=0,1$$

$$V(\text{H}_2\text{O})=100 \text{ мл}$$

$$m(\text{HCl}) - ?$$

Решение:

$$m(\text{H}_2\text{O})=\rho V=100 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл}=100 \text{ г}$$

$$\text{Пусть } m(\text{HCl})=x, \text{ тогда } 0,1=x/100+x$$

$$0,1(100+x)=x$$

$$10+0,1=x$$

$$10=0,9x$$

$$x=11,11$$

Для приготовления раствора использовалась 38%-я соляная кислота ( $\rho=1,1885 \text{ г/мл}$ )/  
 $m \text{ раствора}(\text{HCl})=11,11/0,38=29,24 \text{ г}$

$$V \text{ раствора}(\text{HCl})=m/\rho=$$

$$=29,24/1,1885=24,6 \text{ мл.}$$

Раствор приготовили отмерив 24,6 мл раствора соляной кислоты и 100 мл воды.

Чтобы провести депротеинизацию необходима постоянная температура ( $70-80 \text{ }^\circ\text{C}$ ), поэтому мы обратились в центральную химическую лабораторию г. Белорецк, где посоветовали использовать водяную баню. (Приложение 1) Для этого на плиту поставили кастрюлю с водой, установили на него чашки с исследуемыми растворами. В течение 1 часа перемешивали продукты до полной готовности [1]

3.2. Результаты получения хитозана из панцирей речного рака и колорадского жука

На первом этапе исследования мы приготовили 4% раствор HCl и 4% раствор NaOH. По нашим расчетам к 100 мл воды нужно было добавить 24,6 мл концентрированной HCl и 4г кристаллов гидроксида натрия. Следующим этапом мы провели деминерализацию речного рака и колорадского жука, которую осуществляли следующим способом: сухой измельченный панцирь заливали приготовленным 4% раствором HCl в соотношении 1:6. При комнатной температуре ( $23^\circ\text{C}$ ) полученный раствор перемешивали деревянными палочками в течение 1 часа. Затем по технологии полученную массу нужно было фильтровать и промывать, что мы и сделали. На третьем этапе провели депротеинизацию и деацетилирование при температуре  $70-80^\circ\text{C}$ , с использованием водяной бани. Отфильтрованный осадок заливали 4% раствором NaOH в соотношении 1:6 и перемешивали в течение 1 часа. Полученное вещество хитозан хорошо отфильтровывали и промыли водой, высушили при температуре  $60-70^\circ\text{C}$  и измерили массу полученных веществ. В результате проделанных опытов мы получили из 6 г хитина речного рака 3,6 г хитозана, а из 3,5 г хитина колорадского жука 1,8 г хитозана (Приложение 2).

#### 3.3. Результаты проверки хитозана в качестве загустителя

В пищевой промышленности хитозан большую роль играет в качестве загустителя. В молочной отрасли хитозан широко

используется для производства молочных продуктов: кисломолочных продуктов, сметаны, творога, отдельных видов сыра, напитков. Природное вещество, не имеющее негативного воздействия, продлевает сроки хранения и улучшает качество молочных продуктов. При добавлении пищевого загустителя вязкость раствора увеличивается, тем самым ускоряется процессы кисломолочного брожения, образование творожной массы [2]. Исследуемое молоко размешиваем и осторожно по стенке наливаем в три стеклянные емкости. В первый сосуд ничего не добавляем, оставляем, как контрольный образец. Во вторую емкость к 50 мл молока добавляем 1,8 г хитозана речного рака, а в третью – к 25 мл молока 0,9 г хитозана колорадского жука. Полученный раствор хорошо размешивали, оставили на 2 часа и измерили плотности растворов с ареометром при комнатной температуре. Чистый и сухой прибор опускаем в молоко, оставляем в покое на две минуты. Снимаем показания прибора по верхнему краю мениска. По результатам исследования хитозана, как загуститель молока, получили, что в контрольной пробе плотность составляет 1017 г/см<sup>3</sup>, во второй емкости с хитозаном речного рака – 1050 г/см<sup>3</sup>, в третьем цилиндре с хитозаном колорадского жука – 1032 г/см<sup>3</sup>. Тем самым, наглядно видно, что хитозан речного рака обладает отличными свойствами пищевого загустителя. Известно, что хитин обладает теми же свойствами, что и хитозан. Для сравнения свойств хитина и хитозана, как загустителей, мы решили определить действие хитина на молоко. По той же методике, по тому же алгоритму действий (1,8 г хитина речного рака на 50 мл молока, 0,9 г хитина колорадского жука) провели исследование влияния хитина. Наши предположения подтвердились, вязкость раствора изменилась: плотность с хитином речного рака составила 1020 г/см<sup>3</sup>, а плотность с хитином колорадского жука- 1018 г/см<sup>3</sup>. Таким образом, действие хитозана в качестве загустителя намного выше, чем действие хитина (Приложение 3).

### Выводы

Подводя итоги проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

Колорадских жуков собирали на огородах по улице Степная г. Белорецк с начала их появления до полного их исчезновения. Было собрано более 300 экземпляров.

Измельчали панцири речных раков и колорадского жука с помощью ступы с пестиком, получили необходимые порошки, масса которых составляла: 12 г хитина речного рака и 7 г хитина колорадского жука.

Изучен способ получения хитозана из дешевого и доступного сырья – панциря речного рака и колорадского жука.

При получении хитозана из речного рака и колорадского жука пользовались методикой Абдуллина В.Ф. – им была разработана технология получения хитозана из панциря речного рака. Технология получения хитозана включает четыре стадии: измельчение панцирей раков, деминерализация, депротонирование, деацетилирование.

В результате проделанных опытов мы получили из 6 г хитина речного рака 3,6 г хитозана, а из 3,5 г хитина колорадского жука 1,8 г хитозана.

По результатам исследования хитозана, как загуститель молока, получили, что в контрольной пробе плотность составляет 1017 г/см<sup>3</sup>, во второй емкости с хитозаном речного рака – 1050 г/см<sup>3</sup>, в третьем цилиндре с хитозаном колорадского жука – 1032 г/см<sup>3</sup>.

Плотность с хитином речного рака составила 1020 г/см<sup>3</sup>, а плотность с хитином колорадского жука- 1018 г/см<sup>3</sup>. Таким образом, действие хитозана в качестве загустителя намного выше, чем действие хитина.

### Заключение

Таким образом, хитин и хитозан являются широко используемым и аминокислотосодержащими полисахаридами. Кроме того, хитозан является универсальным адсорбентом, ведь он способен связывать очень большой диапазон соединений органической и неорганической природы. Это говорит о широчайших возможностях его использования в жизни и деятельности человека.

Несмотря на большое число исследований в области химии хитина и его производных, они находятся далеко от завершения. Различные ученые постоянно открывают все новые свойства этих соединений, в частности, их биологическая активность не получает пока должного внимания, не найдено объяснение наличия этого свойства с точки зрения химического строения. Имеются данные, что биологическая активность хитозана зависит, прежде всего, от его молекулярной массы, а также от степени деацетилирования, что нуждается в последующей проверке и исследовании.

Также приведена перспективность применения биологически совместимых и биологически разрушаемых пленочных материалов на их базе в медицинской, косметической, текстильной, биотехнической промышленности.

Таким образом, показана вероятность применения хитина и хитозана с терапевтической целью к аллергическим реакциям как матрицы для поставки лекарств. Веро-

ятность варьирования характеристик этих биологических полимеров может в перспективе дать действенные медсистемы для лечения всевозможных болезней у людей.

#### Список литературы

1. Абдуллин В.Ф., Технология и свойства биополимера хитозана из панциря речного рака: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2006. – С. 25–35.
2. Бобылин В.В., Физико-химические и биотехнологические основы производства мягких кислотно-сычужных сыров. – Кемерово, 1998. – С.208.
3. Гальбрайт Л.С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение, Сорский образовательный журнал. – 2001. – С.51–56.
4. Дубинская А.М. Добротворская А.Е. Применение хитина и его производных в медицине // Химико-фармацевтический журнал. -1989. – С. 623–628.
5. Скрыбин К.Г., Вихорева Г.А., Варламов В.П. Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение. – М., 2002. – С. 51–52.
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/Chitosan>.
7. <http://www.medicinform.net/product/xenical/chitosan.htm>.
8. <https://www.neboleem.net/hitozan.php>.

#### Приложение 1

##### Материалы для исследования



Фото 1. Сбор природного материала



Фото 2. Измельчение панцирей речного рака и колорадского жука



Фото 3. Посещение химической лаборатории

#### Приложение 2

##### Этапы исследования

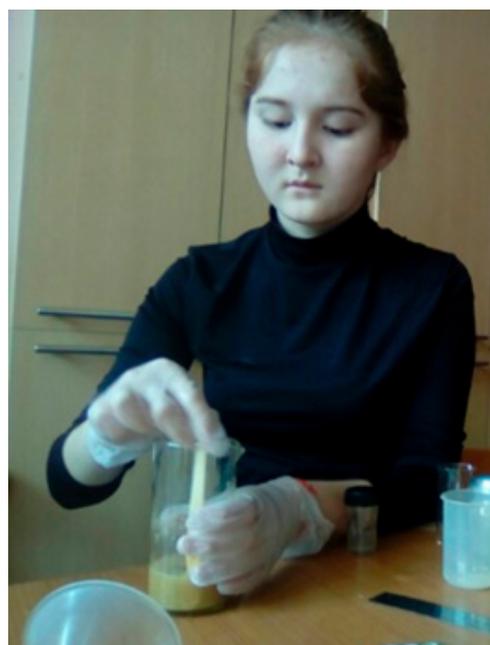


Фото 4. Процесс деминерализации

Приложение 3

Хитин и хитозан в качестве пищевых загустителей



Фото 5. Процесс деминерализации

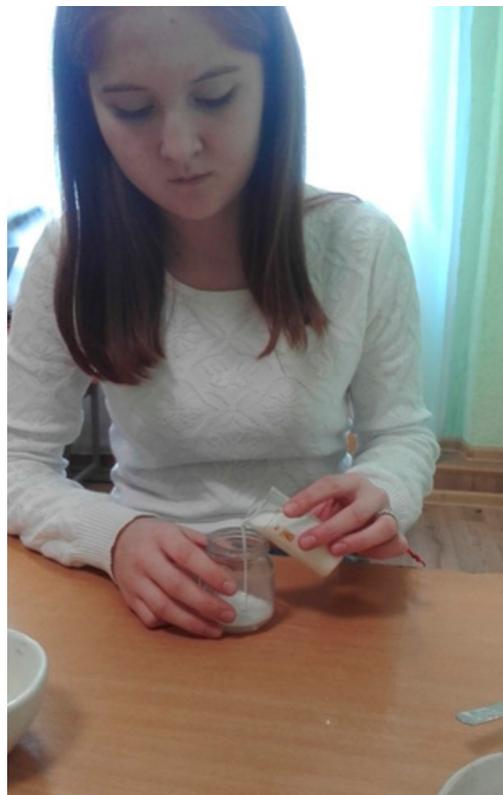


Фото 8. Исследование хитозана в качестве пищевого загустителя



Фото 6. Процесс депротоинизации и деацетилирования



Фото 9. Измерение плотности растворов



Фото 7. Процесс депротоинизации и деацетилирования



Фото 10. Измерение плотности растворов

#### Приложение 4

#### Результаты исследований в таблицах

Таблица 1

Органолептические и химические свойства хитина и хитозана

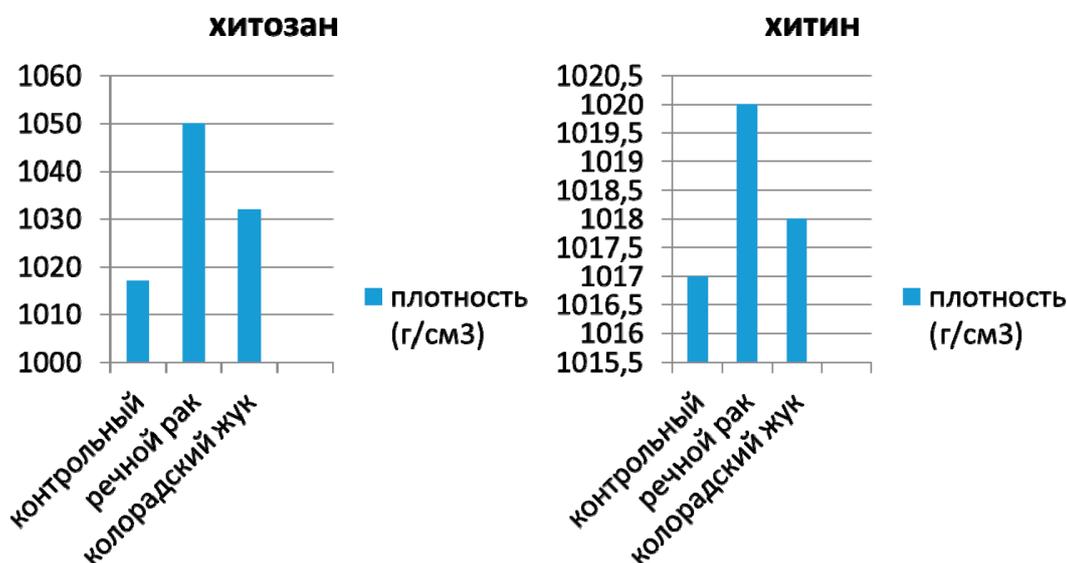
Наименование показателей	Хитин		Хитозан	
	Речной рак	Колорадский жук	Речной рак	Колорадский жук
Внешний вид	порошки более крупной фракции	порошки более крупной фракции	порошки более мелкой фракции	порошки более мелкой фракции
Цвет	оранжево-желтый	темно-коричневый	светло-желтый	светло-коричневый
Запах	без запаха	без запаха	без запаха	без запаха
Растворимость	нет	нет	вода, кислоты, спирты, органические растворители	вода, кислоты, спирты, органические растворители

Таблица 2

Хитин и хитозан в качестве пищевых загустителей на молоке

Опытные образцы	Контрольный образец	Раствор с хитозаном		Раствор с хитином	
		Речной рак	Колорадский жук	Речной рак	Колорадский жук
Плотность	1017 г/см <sup>3</sup>	1050 г/см <sup>3</sup>	1032 г/см <sup>3</sup>	1020 г/см <sup>3</sup>	1018 г/см <sup>3</sup>

Результаты исследования в диаграмме



Хитин и хитозан в качестве пищевых загустителей

Информационный лист о пользе хитина и хитозана

**Применение хитозана**

Разрешен для использования в пищевой промышленности РФ в качестве пищевого загустителя, сорбента, фильтрующего материала, осветлителя.

**Хитозан и здоровье**

- Производное хитина в организме человека всасывается и расщепляется, связывая при этом определенные пищевые компоненты.
- Вещество обладает антибактериальными и противогрибковыми свойствами.
- Вещество применяется для изготовления шовного материала и оболочек лекарств для защиты от воздействия желудочного сока.

**Особенности хитозана**

- Расщепляется ферментами организма и усваивается.
- Это единственное усваиваемое соединение животного происхождения с положительно заряженными катионами: в его структуре содержится аминогруппа (NH<sub>2</sub>), и в результате кислотно-щелочной реакции образуется соль (R-NH<sub>2</sub>+HCl→R-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>).
- Обладает структурным родством с клетками организма человека:
  - является основным компонентом гиадурановой кислоты, поэтому не отторгается организмом человека.
  - Легко всасывается через кожу и пищеварительную систему.
  - Обладает способностью активизировать клетки, повышает иммунитет
  - восстанавливает поврежденные клетки.
  - натуральный «киллер» убивает раковую клетку

**Информационный лист «Хитозан - экологический защитник организма человека»**

Автор:  
Гадиева Элина, ученица 10 класса  
МОБУ БГ им. Я.Хамматова,  
научный руководитель:  
Тагирова А.Ф.,  
учитель биологии МОБУ БГ  
им. Я.Хамматова

**Что же такое хитозан?**

**Хитозан** (растворимый хитин) – загуститель, сорбент, пленкообразователь; полисахарид животного происхождения; биополимер.

**Природный источник хитозана**

– хитин, являющийся строительным материалом панцирей ракообразных и насекомых, а также составляющей грибов и дрожжей.

**Сырьем для получения хитозана**

служат панцири крабов, а также низшие грибы. Вещество является дорогостоящим из-за высокой стоимости производства.

**Свойства хитозана**

растворим в воде, кислотах, спиртах, органических растворителях; связывает тяжелые металлы и радиоактивные вещества, жиры; полностью разлагается, не загрязняя окружающую среду, экологически безопасен.



*Весной 2000 года было основано Российское Хитиновое Общество, которое объединило в себе около 50 региональных филиалов.*



## БИОДИЗЕЛЬ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМЕРЗАНИЯ

Громов М.С.

МБОУ «СОШ №7 с углублённым изучением отдельных предметов», 11 класс

Руководитель: Куимова О.К., МБОУ «СОШ №7 с углублённым изучением отдельных предметов»,  
учитель химии

Консультант: Рогожин А.Е., ДПУ НГТУ

По прогнозам к концу XXI века средняя температура воздуха нижних слоев атмосферы повысится на 2,9–6,4°C. Согласно докладу МГЭИК изменения температуры в первую очередь вызваны повышением концентрации парниковых газов вследствие человеческой деятельности.

Наибольший вклад в создание парникового эффекта вносит диоксид углерода, содержание которого в 2016 г. в атмосфере Земли достигло рекордной концентрации (исследования ГСА – Глобальной службы атмосферы – показали, что уровень углекислого газа в атмосфере превысил 0,041 %, что в 1,5 раза больше по сравнению с доиндустриальным показателем). Повышение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, в первую очередь, связано с резким увеличением выбросов при переработке и сжигании ископаемых видов топлива и ростом мирового автопарка.

Решением данной проблемы является использование альтернативных источников химического сырья и энергии, в том числе использование возобновляемого растительного сырья. Одним из таких видов сырья являются непищевые растительные масла и получаемые на их основе метиловые эфиры жирных кислот (биодизель).

Цель работы: исследовать методы устранения основного недостатка биодизельного топлива – высокой температуры замерзания.

Задачи:

- 1) Рассмотреть особенности биодизеля как топлива;
- 2) Ознакомиться со способами производства биодизельного топлива.
- 3) Изучить использование биодизеля в современном мире.
- 4) Изучить способы снижения температуры застывания биодизельного топлива в литературных источниках.
- 5) Экспериментально исследовать технологию снижения температуры застывания.

Методы исследования:

- 1) анализ литературных источников информации;
- 2) проведение эксперимента;
- 3) формулирование выводов.

### Основная часть

Биодизель, или биодизельное топливо – жидкое моторное биотопливо, представляющее из себя смесь моноалкильных эфиров жирных кислот. Биодизель получают из триглицеридов (реже свободных жирных кислот) реакцией переэтерификации (этерификации) одноатомными спиртами (метанол, этанол и др.) [4, 25].

#### 1. Преимущества и недостатки биодизеля

1) Биодизельное топливо не содержит соединений серы, нетоксично и полностью разлагается при попадании в окружающую среду, что позволяет говорить о минимизации загрязнения рек и озёр [13].

2) Биодизель обладает высокими смазывающими свойствами и уже несколько десятилетий используется в качестве протизносных присадок к дизельному топливу [13].

3) При использовании 100 % биодизельного топлива выбросы парниковых газов по сравнению с нефтяным дизельным топливом снижаются на 74%. Это обусловлено тем, что диоксид углерода, выделяемый при сжигании биодизеля, поглощается и перерабатывается растениями, из масла которых производится биодизель. При сгорании биодизеля выделяется ровно такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением за весь период его жизни.

4) Более высокое Цетановое число – для минерального дизтоплива 42–45; – для биодизеля (метиловый эфир) не менее 51;

5) Высокая температура воспламенения. Точка воспламенения для биодизеля превышает 150°C, что делает биогорючее сравнительно безопасным веществом.

6) Жмых, получаемый в процессе производства, используется в качестве корма для скота, что позволяет более полно утилизировать биомассу растения.

Между тем, очевидны недостатки биодизеля [4]:

1) Под производство сырья для биодизеля отчуждаются большие земельные площа-

ди, на которых нередко используют повышенные дозы средств защиты растений. Это приводит к биодеградации грунтов и снижению качества почв.

2) Срок хранения готового биодизеля невысок – около 3 месяцев.

3) Биодизель обладает высокой температурой застывания, поэтому в холодное время года необходимо подогревать топливо или применять смеси 20% биодизеля и 80% минерального дизеля.

## 2. Производство биодизеля

Для получения биодизеля используются различные методы, а именно: прямое смешивание, термический крекинг (пиролиз), этерификация, переэтерификация и микроэмульсирование.

### 2.1. Переэтерификация [10]

По причине высоко кислотного числа, присущего большинству растительных масел (более 4 мг гидроксида калия на 1 г масла), прямой процесс переэтерификации, как правило, неприменим. Перед ним требуется провести несколько шагов: предварительная обработка, этерификация, затем переэтерификация и процесс заключительной обработки.

Переэтерификация может применяться напрямую, если кислотное число масла составляет менее 4 мг КОН на г масла.

#### А) Предварительная обработка

В этом процессе необработанное масло подвергается роторному испарению при нагревании до 95°C в течение 1 часа. Цель: устранение влаги.

#### Б) Этерификация

Метод этерификации используется для снижения кислотного числа биодизельного сырья перед переэтерификацией. Масло смешивается с 50% объемной доли спирта (метанол или этанол) и 1% серной кислоты в колбе, в ней происходит кислотнокатализируемая этерификация. Реакционную смесь поддерживают при температуре 60 °С или выше в течение 3 часов, при этом происходит перемешивание со скоростью 400 об/мин.

Когда первичная фаза этерификации кислоты завершена, продукт переносится в разделительную воронку, где отделяется избыток метанола/этанола. Нижний слой продукта нагревают до 90°C в течение 60 минут для отделения остатков спирта и воды от образовавшихся эфирных масел. После этого масла используются для переэтерификации.

#### В) Переэтерификация

Переэтерификация – это реакция животных или растительных жиров со спиртом (метанолом/этанолом), при которой образуются сложные эфиры и глицерин. Скорость реакции повышается использованием катализаторов, которые могут быть как гомогенными (NaOH, KOH и  $\text{CH}_3\text{ONa}$ ), так и гетерогенными (MgO, CaO, Na, K). По завершению реакции смесь содержит в основном сложные эфиры и глицерин, а также моно- ди- и триглицеролы, катализаторы, мыла. Биодизель отделяется от глицерина в процессе последующей обработки.

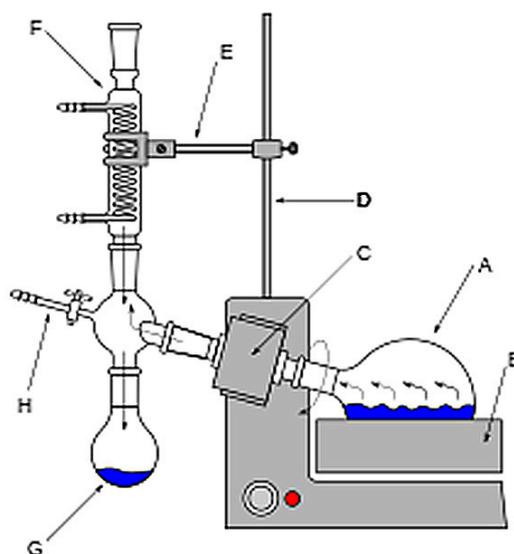


Рис. 1. Установка для проведения роторного испарения

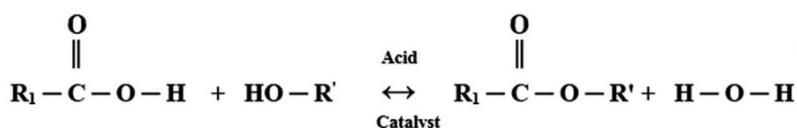


Рис. 2. Схема реакции этерификации

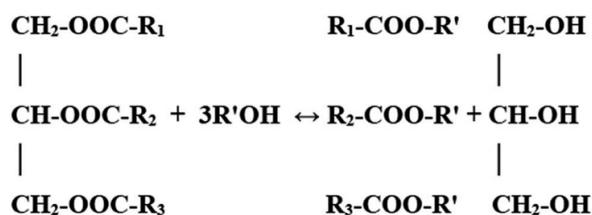


Рис. 3. Схема реакции переэтерификации

#### Г) Окончательная обработка

Продукт переэтерификации промывают дистиллированной водой при температуре выше 65 °С для удаления глицерина и других загрязняющих компонентов. После этого биодизель подвергается повторному роторному испарению для удаления воды и спирта. Окончательно влага поглощается использованием  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Конечный продукт фильтруется и собирается.

#### 2.2. Прямое смешивание

Неочищенные растительные масла смешиваются с минеральным дизельным топливом до достижения необходимой вязкости. Прямое использование растительных масел в качестве топлива для дизельных двигателей сопровождается многочисленными трудностями:

1) Энергия сжатия, необходимая для растительных масел, такая же, как и у дизеля, однако способность жирных кислот к полимеризации и окислению способна вызвать загустевание топлива во время хранения [3].

2) Цетановое число (32–40) и удельная теплота сгорания (39–40 мДж/кг) растительных масел ниже, чем у дизельного топлива – 42–45 и 42 мДж/кг соответственно, но кинематическая вязкость (0,003–0,004 м<sup>2</sup>/с) и температура вспышки (около 200 °С) намного выше.

В результате этого длительное использование растительных масел в качестве топлива требует модификации двигателя. Смешивание различных растительных масел способно улучшить значения вязкости и летучести, но так как молекулярная структура остается неизменной, химические свойства масел не изменяются [9].

Преимущества: 1) простота способа; 2) дешевизна масел;

Недостатки: 1) высокая вязкость топлива затрудняет его впрыскивание в рабочую область двигателя; 2) проблема хранения; 3) образование высокомолекулярных отложений в двигателе; 4) дороговизна необходимой модификации двигателя.

#### 2.3. Гидрирование

##### (гидроочистка) триглицеридов

Топливо может быть получено из растительных масел, например, рапсового, соевого, и животного жира и т. д., путем гидроочистки масел.

Технология состоит из трёх этапов: во-первых, предварительная обработка масел; затем очистка масел от примесей, и, наконец, гидрирование: масла (триглицериды) и водород подвергают взаимодействию под высоким давлением, чтобы удалить

кислород, а полученная углеводородная цепь, по сути, является биодизельным топливом [19].

Побочный продукт – смесь углеводородов, не содержащая серу, и ароматические углеводороды, которая тоже может быть превращена в топливо путем изомеризации линейных углеводородов. Температура застывания полученной смеси около  $-40^{\circ}\text{C}$ , Цетановое число – от 75 до 95, при этом плотность и теплота сгорания почти такая же, как и у дизельного топлива [20].

Наиболее активно используется сырье первого поколения, например, рапс, соя, канола, пальмовое масло, ятрофа и касторовое масло.

Мировыми лидерами по объемам производства биодизеля являются США, Германия, Франция, Италия и Испания. Например, в 2008 году на территории США было получено 2611 млн. литров биодизеля. Показатели европейских стран в этом плане скромнее. За тот же период в Германии получено 5302 тыс. тонн данного продукта.

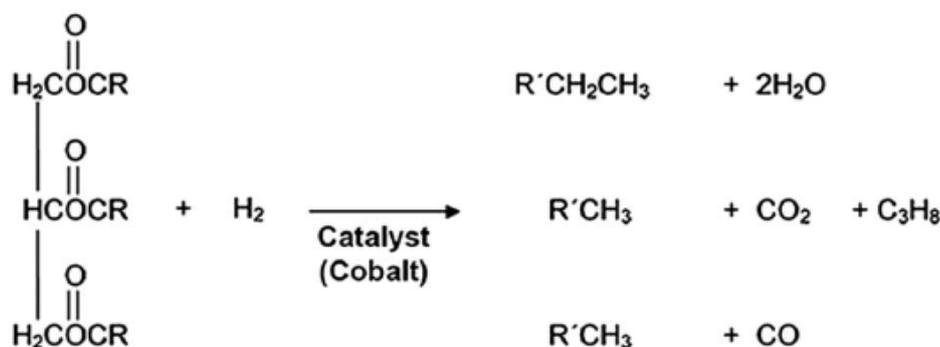


Рис. 4. Схема гидрирования триглицеридов

Преимущества: 1) свойства топлива почти совпадают со свойствами дизельного топлива; 2) топливо, производимое из побочных продуктов, во многом превосходит биодизель эфирного типа.

Недостатки: 1) стоимость гидроочистки выше, чем процесса переэтерификации; 2) эффективность топлива из побочных продуктов ниже на высоких скоростях, чем у топлива эфирного типа; 3) любые примеси, оставшиеся к третьему этапу, способны вызвать дезактивацию катализатора [19].

### 3. Используемое сырье

Выделяют 3 «поколения» сырья для биодизеля: первое – сельскохозяйственные культуры, второе – жиросодержащие отходы, третье – липиды, получаемые из микроводорослей.

В странах Евросоюза биодизель начал производиться в только 1992 году, но уже в июле 2010 года в странах Евросоюза работали 245 заводов, суммарной мощностью 22 млн тонн. В 2004 году около 80% европейского биодизеля было произведено из рапсового масла, при этом примерно треть урожая рапса в 2004 года было использовано именно для его производства.

В США на октябрь 2004 года установленные мощности составляли примерно 567 млн литров в год, а к середине 2008 года в США работали уже 149 заводов суммарной мощностью примерно 7,669 млрд литров в год.

В 2010 году мировое производство биодизеля выросло на 12% в сравнении с 2009 годом и достигло 19 миллиардов литров.

**Таблица 1**

«Общее производство биодизеля [30]

Страна	2004 г., тыс. т	2005 г., тыс. т	2006 г., тыс. т	2007 г., тыс. т	2008 г., тыс. т	2009 г., тыс. т
Австрия	57	85	123	267	213	310
Бельгия	-	1	25	166	277	416
Кипр	-	1	1	9	9	9
Чехия	60	133	107	61	104	164
Дания	70	71	80	85	231 (Совместно)	233 (Совместно)
Швеция	1,4	1	13	63		
Франция	348	492	743	872	1815	1959
Германия	1035	1669	2662	2890	2819	2539
Греция	-	3	42	100	107	77
Венгрия	-	-	-	7	105	133
Италия	320	396	447	363	595	737
Британия	9	51	192	150	192	137
Латвия	-	5	7	9	30	44
Литва	5	7	10	26	66	98
Мальта	-	2	2	1	1	1
Польша	-	100	116	80	275	332
Португалия	-	1	91	175	268	250
Словакия	15	78	82	46	146	101
Словения	-	8	11	11	9	9
Испания	13	73	99	168	207	859
Эстония	-	1	7	-	-	24
Болгария	-	-	-	-	11	25
Финляндия	-	-	-	-	85	220
США	94 500	283 500	2200000	2200000	2611980	2611980
Аргентина	-	25000	50000	173000	562000	2100000
Бразилия	-	-	-	450 000	-	2300000

## Законодательное стимулирование производства

Страна/страны	Требование
США	5% содержание биодизеля в дизельном топливе с мая 2009 года
Франция	7% биотоплив к 2010 году (этанол + биодизель)
Европейский Союз	5,75% биотоплив к 2010 году (этанол + биодизель)
Австралия	350 млн литров биотоплив к 2010 году
Бразилия	2% с 1 января 2008, 4% с 1 июля 2009 года, 5% с 2010 года
Зимбабве	10% биодизеля от общего потребления дизельного топлива;
Малайзия	20% биодизеля от общего потребления дизельного топлива;
Таиланд	5% биодизеля в дизельном топливе к 2011 году, 10% к 2012 году;
Новая Зеландия	5% биотоплив к 2008 году (этанол + биодизель);
Индия	20% биотоплив к 2017 году (этанол + биодизель)
Китай	Производство ежегодно 8 млн тонн к 2020 году;
Индонезия	10% биотоплив к 2010 году (этанол + биодизель);
Южная Корея	0,5% биодизеля от общего потребления дизельного топлива с 2006 года, 5% с 2008 года;
Канада	2% биодизеля в автомобильном и печном топливе к 2012 году;
Япония	С марта 2007 года 5% содержание биодизеля в дизельном автомобильном топливе;
Филиппины	1% биодизеля в автомобильном и топливе с 2007 года, 2% с 2008 года;
Германия	5% в автомобильном топливе с 1 января 2007 года;
Ирландия	5,75% биотоплив к 2009 году (этанол + биодизель). 10% биотоплив к 2020 году;
Дания	10% биотоплив к 2020 году;
Тайвань	1% в автомобильном топливе с 2008 года 2% с 2010 года;
Португалия	10% в автомобильном топливе с 2010 года.
Колумбия	5% в автомобильном топливе. 10% с 2010 года, 20% с 2012 года.
Аргентина	5% в автомобильном топливе к 2010 году.
Чили	5% содержание в автомобильном топливе.
Мексика	3,2% биотоплив в автомобильном топливе к 2012 году.

#### 4. Экспериментальная часть

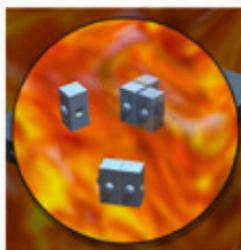
##### 4.1. Изучение способов снижения температуры застывания биодизельного топлива

Выделяют 3 основных способа снижения температуры застывания биодизельного топлива: 1) использование присадок к топливу; 2) озонирование; 3) винтеризация.

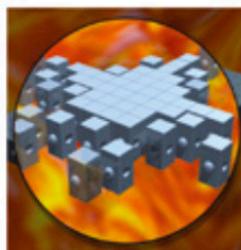
##### 4.1.1. Депрессорные присадки [4, 6]

Присадки понижают температуру помутнения, температуру застывания и улучшают качество фильтрации топлива на холоду путем изменения формы, размера, скорости роста и объединения кристаллов, не позволяя образоваться крупным кристаллам при низких температурах.

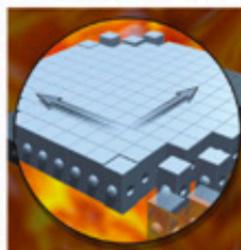
**Без депрессора**



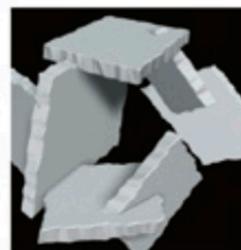
Кристаллизация молекул парафина при температурах ниже температуры помутнения



При слоистом росте в основном образуются иглы и пластины

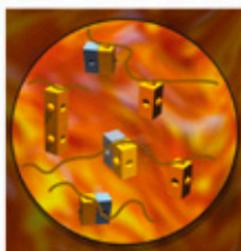


Кристаллы парафина продолжают расти

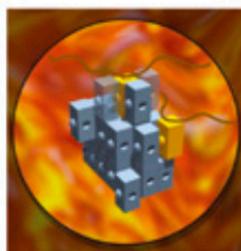


Формирование большой, структурированной трехмерной сети кристаллов с размерами > 100 мкм, течение масла прекращается

**С депрессором**



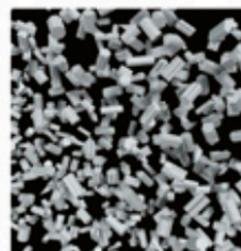
Происходит совместная кристаллизация молекул парафина и кристаллических элементов депрессоров



Депрессор меняет морфологию кристаллов парафина



Сближение кристаллов парафина предотвращается, структуры получаются мельше и хаотичнее



Не происходит агрегирования гелеподобной парафиновой структуры, и масло продолжает течь без предела текучести



Кристаллический элемент, сформированный n-парафинами



Кристаллический элемент, сформированный депрессором



Основная цепь полимера

Рис. 5. Различие скорости роста и объединения кристаллов с присадками и без них

**4.1.2. Озонирование [24]**

Микроскопические исследования при низкой температуре показали, что озонирование масла препятствует агломерации частиц биодизеля, не давая образовываться кристаллам.

**4.1.3. Винтеризация [3]**

Винтеризация – процесс, представляющий собой медленное охлаждение биодизеля до температуры замерзания, по завершению которого все продукты кристаллизации отделяются путем фильтрации. Улучшение «холодных свойств» биодизеля происходит за счет удаления наиболее длинноцепочечных органических соединений (от 20 и более) за счет фильтрации после винтеризации. Температура винтеризации – около  $-8^{\circ}\text{C}$ .

Для терморегуляции во время фильтрации длинноцепочечных метиловых эфиров может использоваться солевой аппликатор.

**4.2. Экспериментальное исследование эффективности добавления депрессорных присадок к топливу как метода решения проблемы высокой температуры застывания [23]**

**4.2.1. Исследование изменения температуры помутнения биодизельного топлива**

Методика исследования:

Для определения температуры помутнения МЭЖК образец (биодизель, полученный из рапсового масла) наливали в стеклянную пробирку до метки и вставляли термометр при помощи корковой пробки.

Пробирку с продуктом и термометром укрепляли при помощи пробки в муфте так, чтобы ее стенки находились приблизительно на одинаковом расстоянии от стенок муфты.

Пробирку с муфтой закрепляли в держателе штатива в вертикальном положении

и помещали в криостат, температуру которого предварительно устанавливали на 12°C ниже намеченной для определения температуры застывания. МЭЖК во время охлаждения непрерывно перемешивали со скоростью 60 движений в минуту.

За 5°C до ожидаемой температуры помутнения начинали проводить сравнение анализируемого образца с прозрачным при комнатной температуре эталоном. Если биодизель по сравнению с эталоном не изменялся (легкая опалесценция, слегка матовый оттенок, не увеличивающийся при дальнейшем понижении температуры, во внимание не принимались), то повторное наблюдение проводили через каждый градус. Сравнительные наблюдения с прозрачным эталоном проводили до тех пор, пока МЭЖК не становился мутным.

дильсь приблизительно на одинаковом расстоянии от стенок муфты.

Пробирку с муфтой закрепляли в держателе штатива в вертикальном положении и помещали в криостат, температуру которого предварительно устанавливали на 5°C ниже предполагаемой для определения температуры застывания.

Когда продукт в пробирке принимал температуру, намеченную для опыта, пробирку наклоняли под углом 45°C и, не вынимая из охлаждающей смеси, держали в таком положении в течение 1 мин. После этого пробирку с муфтой осторожно вынимали из охлаждающей смеси, быстро вытирали муфту и наблюдали, не сместился ли мениск испытуемого продукта.

Для нахождения границы застывания (переход от подвижности к неподвижности

Таблица 3

Зависимость температуры помутнения биодизеля от присадки

Название присадки	Кол-во, % мас	Температура помутнения, °C
Без присадки	-	-1
Д-110 – присадка на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18	0,01	-1
	0,05	-3
	0,20	-3
	0,50	-3
Viscoplex-7–610 – присадка на основе эфиров полиметакрилатов	0,01	-1
	0,05	-2
	0,20	-2
	0,50	-2
Dodiflow – присадка на основе сополимеров этилена и винилацетата	0,05	-2
	0,10	-2
	0,20	-2
	0,50	-2
«Присадка № 116» на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18 с 15% винилацетата	0,05	-2
	0,20	-3
	0,50	-4
	1,00	-4
	5,00	-6

#### 4.2.2. Исследование изменения температуры застывания биодизельного топлива

Методика исследования:

Образец наливали в стеклянную пробирку до метки и вставляли термометр при помощи корковой пробки. Пробирку с продуктом и термометром укрепляли при помощи пробки в муфте так, чтобы ее стенки нахо-

или наоборот) определение повторяли, понижая или повышая температуру испытания на 2°C до тех пор, пока не была установлена такая температура, при которой мениск продукта оставался неподвижным, а при повторном испытании при температуре на 2°C выше он сдвигался. Эту температуру фиксировали как установленную для данного опыта (табл. 4).

Таблица 4

«Зависимость температуры застывания биодизеля от состава»

Название присадки	Кол-во, % мас	Температура застывания, °С
Без присадки	-	-5
Д-110 – присадка на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18	0,01	-5
	0,05	-31
	0,20	-11
	0,50	-11
Viscoplex-7–610 – присадка на основе эфиров полиметакрилатов	0,01	-5
	0,05	-35
	0,20	-13
	0,50	-13
Dodiflow – присадка на основе сополимеров этилена и винилацетата	0,05	-12
	0,10	-18
	0,20	-25
	0,50	-20
«Присадка № 116» на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18 с 15% винилацетата	0,05	-7
	0,20	-9
	0,50	-13
	1,00	-16
	5,00	-15

Вывод: наиболее эффективной присадкой оказался образец марки Viscoplex, произведенный немецкой компанией Evonik Industries, при концентрации 0,05% от массовой доли, несмотря на то, что при измерении температуры помутнения этот же образец не показал значительных изменений. Учтя все полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее высокий эффект оказывают эфиры полиметакрилата в составе присадки.

### Заключение

В работе автор рассмотрел особенности биодизеля как топлива и доказал, что он может стать эффективной заменой минерального дизеля;

- изучил способы изготовления биодизеля и выяснил, что применение большинства из них не требует дорогостоящего оборудования и сырья;

- исследовал применение биодизеля в современном мире: с каждым годом его производство и потребление возрастает;

- изучил способы понижения температуры застывания в литературных источниках и выяснил, что существует три основных способа решения этой проблемы: винтеризация, озонирование и добавление депрессорных присадок;

- проанализировал наиболее популярные типы присадок и определил, что наиболее эффективной является присадка на ос-

нове эфиров полиметакрилатов (на примере присадки Viscoplex).

### Список литературы

1. Agarwal A.K., Gupta T., Shuklaand P.C., Dhar A. *EnergyConvers. Manage*, 2015.
2. Imdadul H., Masjuki H., Kalam M., Zulkifli N., Rashed M., Rashedul H., Monirul I., Mosarof M. *RSC Adv.*, 2015.
3. Berchmans H.J., Hirata S. *Bioresour. Technol.*, 2008.
4. Veljković V.B., Lakićević S.H., Stamenković O.S., Todorović Z.B., Lazić M.L. *Fuel*, 2006.
5. Bouaid A., El Boulifi N., Hahati K., Martinez M., Aracil J. *Chem. Eng. J.*, 2014.
6. Sarin A., Arora R., Singh N., Sharma M., Malhotra R. *Energy*, 2009.
7. Zuleta E.C., Rios L.A., Benjumea P.N. *Fuel Process. Technol.*, 2012.
8. Moser B.R. in *Biofuels*, 2011.
9. Palash S.M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Atabani A.E., Rizwanul Fattah I.M., Sanjid A. *Energy Convers. Manage*, 2015
10. Atabani A., da Silva Cesar A. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2014.
11. Teixeira L.S., Couto M.B., Souza G.S., Andrade Filho M., Assis J.C., Guimarães P.R., Pontes L.A., Almeida S.Q., Teixeira J.S. *Biomass Bioenergy*, 2010.
12. Mittelbach M., Remschmidt C. *Biodiesel: The comprehensive handbook*, 2004.
13. National biodiesel board // *Lubricity Benefits*, 2017.
14. Knothe G. *Energy Environ. Sci.*, 2009.
15. Chen X., Yuan Y., Lai Y. *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering RSETE.*, 2011.
16. van Gerpen J.H., He B. // *Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals*, the Royal Society of Chemistry, 2010.
17. Knothe G. *Green Chemistry*, 2011.

18. Najafi M.H., Zeinoaldini S., Ganjkanlou M., Mohammadi H., Hopkins D.L., Ponnampalam E.N., Meat Science, 2012.
19. Hartikka T., Kuronen M., Technical performance of HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) in diesel engines, 2012.
20. Kuronen M., Mikkonen S., Aakko P., Murtonen T. Hydrotreated vegetable oil as fuel for heavy duty diesel engines, 2007.
21. Liu C., Yang M., Wang J., Wang M., Huang F. The 12th International Rapeseed Congress, 2007.
22. Udomsap P., Sahapatsombat U., Puttasawat B., Krasae P., Chollacoop N., Topaiboul S., Met. J. Mater. Miner, 2008.
23. ГОСТ 20287–91.
24. El Rafie S., Attia N. Desalination, 2008.
25. Leung D.Y.C., Wu X., Leung M.K.H. Appl. Energy, 2010.
26. Santos R.C.R., Vieira R.B., Valentini A. Microchemistry, 2013.
27. Danielski L., Zetzel C., Hense H., Brunner G. // J. Supercrit. Fluids, 2005.
28. Dunn R.O. Improving the cold flow properties of biodiesel by fractionation, 2011.
29. Hasenhuettl G.L., Hartel R.W. Food emulsifiers and their applications, 2008.
30. European Biodiesel Board, EU biodiesel industry restrained growth in challenging times, 2010/

### Приложение

#### Словарь терминов

- 1) Цетановое число – характеристика воспламеняемости дизельного топлива, определяющая период задержки горения рабочей смеси (то есть свежего заряда) (промежутки времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения). Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем более спокойно и плавно горит топливная смесь.
- 2) Кислотное число – масса в миллиграммах гидроксида калия (KOH), необходимая для нейтрализации всех кислых компонентов, содержащихся в 1 г исследуемого вещества.
- 3) Температура вспышки – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.
- 4) Солевой аппликатор – многофазная химическая грелка, в основу работы, которой положен эффект выделения тепла при изменении фазового состояния некоторых материалов, часто – кристаллизации солей из перенасыщенного раствора. Могут использоваться не только для нагрева, но и для охлаждения.
- 5) Криостат – устройство теплоизолированное от окружающей среды для получения низкой температуры. В нём низкая температура поддерживается за счёт обмена теплом с посторонним источником низких температур.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕДИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ

Коробкин А.Д.

г. Волгоград, МОУ «Средняя школа № 65 Красноармейского района Волгограда», 11 «А» класс

Руководитель: Недождогина Е.С., г. Волгоград, МОУ «Средняя школа № 65 Красноармейского района Волгограда», учитель химии высшей квалификационной категории

*Ни одна наука не нуждается  
в эксперименте в такой степени,  
как химия.*

Майкл Фарадей

Давайте на секунду задумаемся, посмотрим вокруг себя, в каком мире мы живем? В мире химических реакций. Если даже рассмотреть процесс дыхания, вдох и выдох, это химические реакции. Для нашего учебного проектного исследования мы выбрали химические реакции, характеризующие свойства меди и ее соединений. Взаимодействия концентрированной серной кислоты с медью и опыты, характеризующие уникальные химические свойства соединений меди (оксидов), доказали их амфотерные свойства.

Данная проблема актуальна и имеет интерес, так как на основе химического эксперимента, можно всесторонне осмыслить данную информацию о химическом процессе. Исследуемые реакции мы изучаем в 9 классе средней школы, они иллюстрирует ярко выраженные окислительные свойства серной кислоты. Но, когда мы проводим эти реакции в лаборатории школы, то наблюдаем за изменениями, которые не согласуются с уравнениями химических реакций, представленными во многих учебниках и учебных пособиях, например,



Так, при нагревании меди с концентрированной серной кислотой мы наблюдаем образование черного осадка, хотя ни один из продуктов, представленных в уравнении, не имеет черную окраску. После того как оседают частички твердой фазы, раствор становится бесцветным, при этом не происходит окрашивание в голубой цвет ионов меди  $\text{Cu}^{2+}$ .

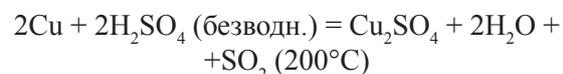
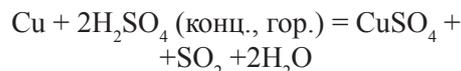
Гипотеза исследования: почему возникает такое противоречие между уравнениями химических реакций и экспериментальными наблюдениями в ходе протекания этих реакций.

Мы решили организовать учебное исследование, цель которого – изучение всех признаков взаимодействия меди и ее соединений с различными веществами и доказательство амфотерности меди.

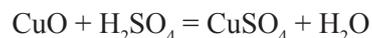
Задачи:

1. Изучение литературы, посвященной меди и ее соединениям;
2. Выявление новых свойств меди и ее соединений;
3. Как можно шире развить экспериментальные умения;
4. Экспериментальная проверка этих свойств и их объяснение;
5. Создание учебного демонстрационного материала на основе полученных знаний.
6. Сформировать представления о научных принципах данного исследования.

Сначала мы изучили данную проблему. Мы знаем три различных варианта взаимодействия меди с серной кислотой [2]. Это разработка Р.А. Лидина:



Г. Реми проводил реакцию взаимодействия меди с горячей концентрированной серной кислотой и образование оксида меди (II) на первом этапе, используя постадийность реакции.



Используя курс лекций химического факультета МГУ по неорганической химии (лекции доступны на сервере химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова – chemnet.ru) А.И.Жиров, проводя исследование этой реакции, обратил внимание на образование в качестве продукта реакции анилита  $\text{Cu}_7\text{S}_4$ .

Мы применяли следующие методы решения основных задач:

- исследовательский метод, с помощью него мы сумели сложить алгоритм научного познания и эксперимента, в результате проведенных опытов.

- метод химического эксперимента, в ходе которого мы улучшили технику про-

ведения лабораторных опытов, учились правильно вести наблюдения за веществами реакций, которые использовали в результата эксперимента, при этом соблюдая чистоту и порядок на рабочем месте, экономно расходовали время.

Метод проблемного обучения научил нас выполнять опыты различными способами, искать необходимую информацию.

## 2. Литературный обзор

### 2.1. Металлическая медь

Что представляет собой чистая медь? Это мягкий, ковкий металл красноватого цвета, тяжелый, в некоторых местах буроватого цвета.

Хорошо проводит электрический ток и тепло, уступающий в этом отношении только серебру (температура плавления 1083°C). Этот металл легко вытягивается в проволоку, а также легко прокатывается в тонкие листы, но в то же время медь обладает малой активностью. На поверхности меди образуется тонкая пленка оксидов темного цвета, которая является защитной, поэтому медь в сухом воздухе не окисляется. Но в присутствии влаги и диоксида углерода поверхность меди покрывается патиной – зеленоватой пленкой основного карбоната  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , ядовитого вещества.

Если нагреть медь на воздухе в интервале температур 200–375°C, то она окисляется до черного оксида меди(II)  $\text{CuO}$ . При высоких температурах на её поверхности происходит образование двухслойной окалины, которая представляет собой поверхностный слой оксида меди(II), а внутренний слой – это красный оксид меди(I) –  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Очень интересно медь ведет себя при взаимодействии с некоторыми веществами. Она очень легко вступает в реакцию с галогенами (при комнатной температуре), например с влажным хлором, образует хлорид  $\text{CuCl}_2$ , если ее нагреть, то при взаимодействии с серой, будет образовываться сульфид  $\text{Cu}_2\text{S}$ , так же медь реагирует с селеном. Но с водородом, углеродом и азотом медь не взаимодействует даже при высоких температурах [3].

Используя учебную литературу, нам стало известно, что медь в электрохимическом

ряду напряжений металлов находится после водорода, поэтому не вытесняет его из кислот.

Это значит, что галогеноводородные и разбавленная серная кислоты не будут реагировать с медью. Мы так же знаем, что реакция получения алюминия из раствора его хлорида не должна происходить.

Однако мы проанализировали учебную литературу [1–3] по общей и неорганической химии для высшей школы и нам это дало более расширенные представления о свойствах меди, и они показали следующее. Если провести экспериментальные опыты с медью, то в контакте с воздухом медь растворяется в соляной и серной кислотах с образованием соответствующих солей: хлорида меди и сульфата меди(II). А вот в присутствии аммиака происходит взаимодействие меди с водой. Медь взаимодействует с раствором соли хлорида железа(III). Эта реакция широко химическая используется в радиотехнике для травления плат.

### 2.2. Соединения меди

Медь – это уникальный металл, который образует много соединений, а так же входит в состав 170 минералов. В технических целях промышленную ценность имеют 20 минералов, в том числе: борнит (пестрая медная руда –  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), халькопирит (медный колчедан –  $\text{CuFeS}_2$ ), халькозин (медный блеск –  $\text{Cu}_2\text{S}$ ), ковеллин ( $\text{CuS}$ ), малахит ( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ).

#### Оксид меди(I) $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Соединения меди(I) отличаются от соединений меди(II) тем, что они менее устойчивые. Оксид меди(I) или закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  – неустойчивое соединение.

Оксид меди(I) встречается широко в природе в качестве минерала куприта. Он образуется из оксида меди(II) при нагревании при высоких температурах:



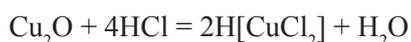
Еще один способ получения  $\text{Cu}_2\text{O}$  – это реакция взаимодействия соли меди(II) и щелочи в присутствии сильного восстановителя (альдегида), в результате получается красный осадок:



По отношению к воде  $\text{Cu}_2\text{O}$  ведет себя пассивно, не растворяется и не реагирует с ней. Если говорить о его амфотерных свойствах, то он имеет ярко выраженные основные свойства по сравнению с кислотным, которые проявляются при взаимодействии со щелочами. При этом образуются гидросокомплексы – куприты:



С соляной кислотой  $\text{Cu}_2\text{O}$  взаимодействует с образованием дихлорокупрата(I) водорода:



В разбавленной серной кислоте диспропорционирует, образуя сульфат меди(II) и металлическую медь:



Восстанавливается водородом, угарным газом и активными металлами до металлической меди.

#### *Гидроксид меди (I) $\text{CuOH}$*

Это соединение меди имеет желтое окрашивание, неустойчивое, быстро окисляемое, плохо растворимо в воде, но растворим в аммиаке.

При взаимодействии солей  $\text{Cu(I)}$  со щелочами о при комнатной температуре в растворе образуется гидратированный оксид  $\text{Cu}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , а из раствора выделяется только красный оксид меди(I)  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

#### *Соли меди (I)*

Хлорид меди(I)  $\text{CuCl}$ . Это твердое вещество, без цвета, мало растворимо в воде, ацетоне. Может растворяться в аммиаке, кислотах, пиридине, окисляется на свету. Применяется в газовом анализе.

Бромид меди(I)  $\text{CuBr}$ . Эта соль представляет собой светло-желтые кристаллы. Синее на свету, также может растворяться в воде; растворяется в  $\text{HCl}$ , аммиаке, солях аммония, пиридине, концентрированных растворах хлоридов, бромидов, тиосульфатов щелочных металлов. Находит широкое применение в качестве катализатора в органическом синтезе.

Иодид меди(I)  $\text{CuI}$ . Встречается в природе в виде минерала маршита. Представляет собой белое кристаллическое вещество. Сульфид меди(I)  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Встречается в природе в виде минерала халькозина. Это синеватые кристаллы, плохо растворим в воде, но зато хорошо растворяется в концентрированной азотной кислоте.

Фторид меди(I)  $\text{CuF}$ . Рубиново-красные кристаллы. Устойчив в сухом воздухе. Суль-

фат меди(I)  $\text{Cu}_2\text{SO}_4$  Малорастворим в воде и фтористом водороде Сульфат меди(II)  $\text{Cu}_2\text{SO}_4$  представляет собой сероватый порошок, который очень устойчив в сухом воздухе [4].

#### *Соединения меди $\text{Cu(II)}$*

Оксид меди(II)  $\text{CuO}$  и гидроксид меди(II)

$\text{CuO}$ - это черное вещество, встречающееся в природе (например, в виде минерала тенорита). В воде растворяется плохо, но в концентрированных кислотах при нагревании. Данный оксид широко применяется при производстве стекла, различных эмалей. Оксид меди(II) получают прокаливанием гидросокарбоната меди(II)  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  или нитрата меди(II)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .  $\text{CuO}$  получают накаливанием  $\text{Cu}$  на воздухе. Оксид меди (II) является хорошим окислителем.

Гидроксид меди(II) – амфотерный гидроксид. У него ярко выражены основные свойства, чем кислотные. В избытке концентрированного раствора сильной щелочи гидроксид меди(II) растворяется, при этом образуются кристаллы синего цвета, синие куприты ( $\text{NaHCuO}_2$ ,  $\text{NaCuO}_2$  и т.п.). Применяется в качестве пигмента, который называется очень интересно «бромовая синь» [4].

#### *Соли меди (II)*

Хлорид меди (II)  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Это темно-зеленые кристаллы, которые растворяются в воде. Известны кристаллогидраты  $\text{CuCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n=1, 2, 3, 4$ ). Получают их в результате взаимодействия оксидов меди с соляной кислотой. При этом хлор действует на медь.

Бромид меди (II)  $\text{CuBr}_2$  представляет собой черные кристаллические соединения, которые растворяются в спирте, воде, ацетоне. Известен кристаллогидрат  $\text{CuBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Получают действием жидкого брома на медь, реакцией оксида или гидроксида меди (II) с бромоводородной кислотой.

Фторид меди (II)  $\text{CuF}_2$ . Белые мелкие кристаллы. Растворяется хорошо в аммиаке, фтороводородной, хлороводородной и азотной кислотах, пиридине, этилацетате. Происходит реакция восстановления при помощи водорода.

Практически каждый человек имеет представление о таком соединении меди как сульфат меди. Сульфат меди(II)  $\text{CuSO}_4$  безводном состоянии представляет собой белый порошок, который при поглощении воды синее. Это его свойство используется для обнаружения влаги в органических веществах. Водный раствор сульфата меди имеет характерный сине-голубой цвет. Эта окраска свойственна гидратированным ионам

$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$  или  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ , поэтому такую же окраску имеют все разбавленные растворы солей меди(II), если только они не содержат каких-либо окрашенных анионов. Из водных растворов сульфат меди кристаллизуется с пятью. Медный купорос очень широко используется, например в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур. Используется в технических целях в качестве электролитического покрытия металлов медью, для приготовления минеральных красок, а также в качестве исходного вещества при получении других соединений меди. В природе встречается в виде минерала халькантита ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).

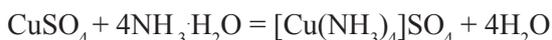
Гидрокарбонат меди(II) ( $\text{CuOH}_2\text{CO}_3$ ). Встречается в природе в виде минерала малахита, имеющего красивый изумрудно-зеленый цвет.

Применяется для получения хлорида меди(II), для приготовления синих и зеленых минеральных красок, а также в пиротехнике. [5]

Практически все растворы солей двухвалентной меди имеют кислую среду, они растворимы в воде. Со слабыми кислотами медь образует основные соли.

Летучие соединения меди окрашивают пламя газовой горелки в сине-зеленый цвет [6].

Для двухвалентной меди характерно образование комплексных соединений. Это видно уже из того, что почти все соли  $\text{Cu}^{2+}$  выделяются из растворов в виде кристаллогидратов. Значительно устойчивее очень характерный для двухвалентной меди темно-синий комплексный катион  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , образующийся при прибавлении избытка аммиака к растворам  $\text{Cu}^{2+}$  по реакции, например:



Этот комплекс можно использовать как реактив на медь, так как окраска его достаточно интенсивная.

Соли меди используют в качестве красок: зеленых, синих, коричневых, черных. Практически все соли меди – это ядовитые вещества.

В быту, чтобы избежать образования ядовитых медных солей, медную посуду покрывают изнутри слоем олова (лудят).

Проведя анализ изученной информации о свойствах меди и ее соединений, мы обнаружили, что наши представления о свойствах меди и ее соединений очень отличаются от тех, которые мы видим в реальных экспериментах. Все эти различия мы представили и собрали в табл. 1, прил. 1.

Проанализировав всю информацию, мы приступаем к экспериментальной части на-

шей исследовательской работы. Для этого проведем следующие эксперименты:

1. Взаимодействие меди с концентрированной серной кислотой.

2. Растворение меди в растворе хлорида железа(III).

3. Растворение меди в растворе аммиака

4. Изучение амфотерных свойств оксида меди(I). Растворение в соляной

5. кислоте, растворах аммиака и гидроксида аммония.

6. Изучение амфотерных свойств оксида меди(II). Растворение в соляной кислоте, растворах аммиака и гидроксида аммония.

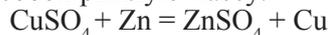
7. Изучение амфотерных свойств гидроксида меди(II). Растворение в соляной кислоте, растворах аммиака и гидроксида аммония.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Получение необходимых реактивов

Для выполнения опытов нам необходимо приготовить следующие реактивы: свежесажденную медь, оксид меди(I), оксид меди(II), гидроксид меди(II) и бромоводородную кислоту. Все эти реактивы мы готовили непосредственно перед началом работы.

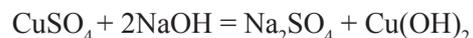
Чтобы получить свежесажденную медь мы в стеклянную чашку поместили раствор сульфата меди(II) и опустили гранулы цинка. Медь осаждалась на цинке и представляла собой рыхлую массу:



Весь осадок скопился на дне чашки, затем мы его промыли, удалили лишний цинк, который остался, а полученную медь оставили для эксперимента (прил. 1, рис. 1).

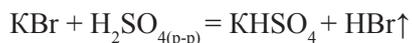
#### Получение оксида меди (I)

Для того чтобы приготовить этот оксид меди, необходимо прилить в пробирку десятипроцентный раствор сульфата меди(II) и добавляем в него избыток раствора гидроксида калия. Образуется голубой осадок гидроксида меди(II). Добавляем к нему глюкозу, берем ее в избытке, тщательно перемешиваем, смесь нагрели. При этом образовался желтый осадок, после завершения реакции в пробирке мы видим образование красного осадка оксида меди(I). Получение гидроксида меди(II) Для этого в пробирку наливаем десятипроцентный раствор сульфата меди и добавляем туда раствор гидроксида калия, в результате образуется голубой студенистый осадок гидроксида меди(II).

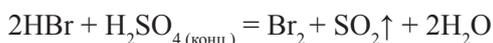


Теперь получим бромоводородную кислоту. Реакцию проводим, действуя на бро-

мид калия раствором, который получаем взаимодействием серной кислоты(3 объема) с водой(1 объем):



Мы видим, что одновременно с выделением бромоводорода происходит его окисление и образование брома по реакции:



Если понизить концентрацию серной кислоты до 65% бромоводород получается без видимой примеси брома, а если пропускать бромоводород через воду, то получили достаточно концентрированный раствор бромоводородной кислоты (Приложение 2, рис. 2).

Раствор этот получался желтоватого цвета, видимо из за небольшого количества брома в растворе.[8]

### 3.1.1. Опыт 1 Взаимодействие меди с концентрированной серной кислотой

Поместим пустую пробирку медную проволоку, предварительно удалим с нее изоляцию. Далее приливаем медленно концентрированную серную кислоту.

Наблюдаем, что вначале процесса никаких признаков протекания реакции мы не наблюдаем. Нагреваем, при этом начинается реакция с характерными признаками. Выделяется газ и образуется осадок черного цвета. Что это за газ? Он имеет резкий запах. Попробуем его поджечь у отверстия газоотводной трубки, ничего не получается. Какой газ выделяется? Гипотеза: сернистый газ. Докажем эту гипотезу. Опускаем газоотводную трубку в сосуд с перманганатом калия, раствор обесцветится(это был подкисленный раствор). Продолжаем пропускать выделяющийся газ через перманганат, но растворы берем нейтральный и щелочной. Наблюдаем, что в стакане с щелочным раствором образовался зеленый раствор, этот цвет придают ионы манганата. В стакане с нейтральным раствором образовалось вещество бурого цвета, осадок. К отверстию газоотводной трубки поднесем влажную лакмусовую бумажку, она окрасится в розовый цвет. Таким образом, мы доказали образование сернистого газа.

### 3.1.2. Растворение меди в растворе аммиака

Реактивы. Свежеосажденная медь, 10%-й раствор аммиака.

Приливаем в пробирку раствор аммиака и присыпаем туда немного свежеосажденной меди.

Пробирку закрыли пробкой и сильно встряхивали в течение нескольких секунд. В результате реакции получился раствор синего цвета, характерный для катиона тетраамминмеди(II) (рис. 2) [4]. Такую же окраску имел раствор, полученный добавлением раствора аммиака к сульфату меди(II)

В этой реакции металлическая медь растворялась и окислилась. При помощи литературы мы использовали сведения о той роли кислорода, который является окислителем этой реакции.

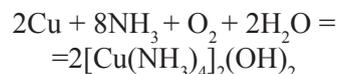
Чтобы проверить эту гипотезу, мы провели дополнительные опыты:

1. Заполнили пробирку раствором аммиака, чтобы исключить присутствие кислорода, встряхнули пробирку.

2. Пропускали кислород, полученный разложением пероксида водорода, через раствор аммиака с медью, без встряхивания пробирки.

3. Затем быстро добавляем немного перекиси водорода, раствор окрашивается в синий цвет. В отсутствие кислорода растворение меди не происходило; раствор не приобретал синий цвет (Приложение 3, рисунок 1).

В результате окисления меди кислородом в присутствии аммиака образуется комплексное соединение. Этим можно доказать растворение меди в аммиаке:



Гидроксид тетраамминмеди(II)

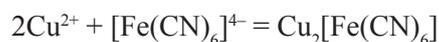
### 3.1.3 Растворение меди в растворе хлорида железа(III)

В пробирку поместили немного свежеосажденной меди и прилили раствор хлорида железа(III). Чтобы реакция проходила быстрее пробирку нагревали горячей водой. Сразу изменился цвет раствора.

При добавлении аммиака раствор окрашивался в темно – синий цвет, характерный для комплекса  $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ . Чтобы доказать присутствие в растворе двухвалентного железа, используют красную кровяную соль

Мы видим, что присутствие катионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  не мешает качественной реакции на катионы  $Cu^{2+}$ .

Однако катионы  $Cu^{2+}$  мешают определению  $Fe^{3+}$  с помощью желтой кровяной соли, так как протекает качественная реакция с образованием красного осадка (рис. 12)



### 3.1.4. Изучение амфотерных свойств соединений меди.

#### Изучение амфотерных свойств оксида меди(I)

Добавим соляную кислоту к свежесожденному красному оксиду меди(I), добавляли раствор аммиака и раствор гидроксида натрия, затем хорошо перемешали. Наблюдали растворение осадков.

Мы наблюдали за раствором гидроксидадиамминмеди(I). При этом не выделялась медь. Со временем окраска растворов становится синего цвета. Это происходит из-за окисления катионов меди(I) кислородом.

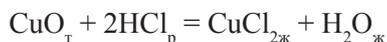
#### Изучение амфотерных свойств оксида меди(II)

К свежесожденному черному оксиду меди(II) добавляли соляную кислоту? Затем добавили раствор аммиака и крепкий раствор гидроксида натрия, все перемешали. Мы наблюдали полное растворение осадка в соляной кислоте. Появилась окраска осадков, это тоже не случайно, это признак протекания реакции. (Приложение 4, рисунок 2)

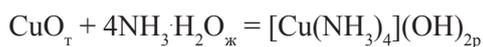
Опыты не удавалось повторить с «составшимися» осадками оксида меди(II). [9]

Уравнения реакций:

Образование голубого раствора с соляной кислотой



Образование темно – синего раствора с раствором аммиака:



Образование синего раствора с гидроксидом натрия:



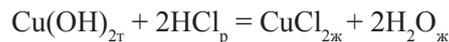
#### Изучение амфотерных свойств гидроксида меди(II)

К свежесожденному голубому гидроксиду меди(II) добавляли соляную кислоту, раствор аммиака и очень крепкий раствор гидроксида натрия и перемешивали (Приложение 4, рис. 1).

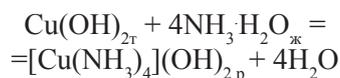
Что происходило? Так же как и в оксиде мы наблюдаем растворение осадка в соляной кислоте и в различных вариантах частичное растворение в аммиаке и гидроксиде натрия. О протекании реакции с двумя последними веществами судили по растворению значительной части осадка и изменению цвета раствора.

Уравнения реакций:

1. Образование голубого раствора с соляной кислотой



2. Образование темно – синего раствора с раствором аммиака:



3. Образование синего раствора с гидроксидом натрия:



### Заключение и выводы

Проведено сравнение химических свойств меди и ее соединений, используя различную научную литературу, школьные учебники и литературу высших учебных заведений.

Мы установили свойства меди, представления о которых нам пришлось пересмотреть: особенности взаимодействия меди с концентрированной серной кислотой, растворение меди в водных растворах аммиака и хлорида железа (III); взаимодействие с бромоводородной кислотой. В условиях школьной лаборатории нами были проведены опыты, применены соответствующие методики и получены экспериментальные данные, которые подтверждают наши новые знания о свойствах меди. Нами изучены литературные данные об амфотерных свойствах оксидов меди(I) и меди(II), гидроксида меди(II), а также о возможности растворения этих соединений в водном растворе аммиака. Проведены опыты, подтверждающие эти свойства.

3. Показана возможность расширения нашего кругозора и наших представлений об окружающих предметах и явлениях.

4. Изучены и проведены некоторые качественные реакции, применение которых возможно в условиях школьной лаборатории.

5. Наглядные материалы, полученные при выполнении работы, переданы в кабинет химии для использования в учебном процессе.

### Список литературы

1. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. – М.: Высшая школа, 1998.
2. Глинка Н.Л. Общая химия. – М.: «Химия», 1988.
3. Некрасов Б.В. Основы общей химии. В 2 т. – М.: Химия, 1973.
4. Крешков А.П. Основы аналитической химии. В 2 т. – М.: Химия, 1970.
5. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1989.
6. Чернобельская Г.М., Беспалов П.И. Актуальные проблемы методики обучения химии в школе. – М.: Изд-во «Первое сентября», 2016.
7. Беспалов П.И. Парадоксальный результат или закономерность? // «Химия в школе». – 2002. – № 4. – С.68–72.
8. Рудзитис Г.Е., Фельдман Ф.Г. Химия 8, 9. – М.: Просвещение, 2016.
9. Ковалевская Н.Б. Химия 8, 9 (в таблицах). – М.: Издат – школа, 1997.

Приложение 1

Таблица 1

Медь или ее соединения	Свойства	
	Наши представления	Новые знания
Cu	С соляной, бромоводородной кислотами и раствором серной кислоты не взаимодействует	Взаимодействие возможно
Cu	С водой и растворами щелочей не взаимодействует	Взаимодействует с водой в присутствии аммиака
Cu	С растворами солей более активных металлов не взаимодействует	Взаимодействует с растворами некоторых солей
Cu <sub>2</sub> O	С водой не взаимодействует	Растворяется в воде в присутствии аммиака
Cu <sub>2</sub> O	Основной оксид	Амфотерный оксид
CuO	С водой не взаимодействует	Растворяется в воде в присутствии аммиака
CuO	Основной оксид	Амфотерный оксид
Cu(OH) <sub>2</sub>	Нерастворимое основание	Амфотерный гидроксид Растворяется в воде в присутствии аммиака

Приложение 2



Рис. 1



Рис. 2

А

Б

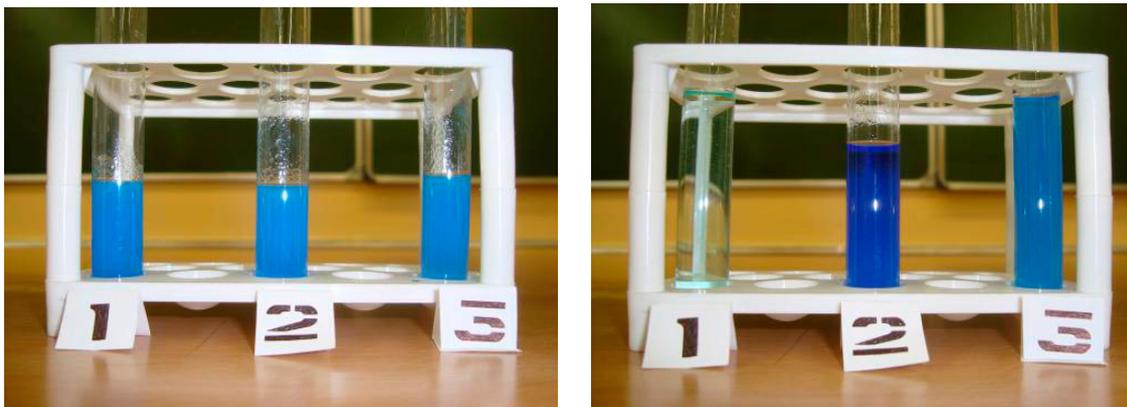


Рис. 3. Взаимодействие гидроксида меди(II) с соляной кислотой (1), гидроксидом аммония (2) и гидроксидом натрия:  
А – исходные образцы; Б – после добавления реактивов

### Приложение 3



Рис. 1. Влияние кислорода на взаимодействие меди с раствором аммиака и полученные растворы:  
1 – получение кислорода разложением пероксида водорода; 2 – пропускание кислорода через раствор аммиака с медью; 3 – добавление капли пероксида водорода в раствор аммиака с медью

### Приложение 4

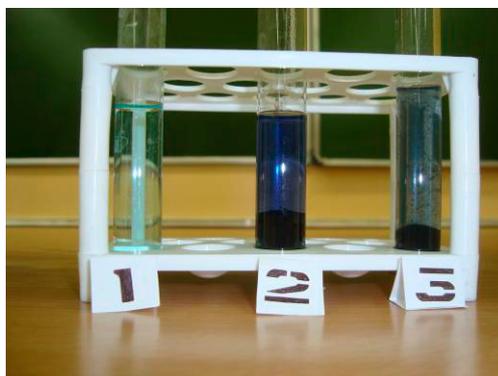
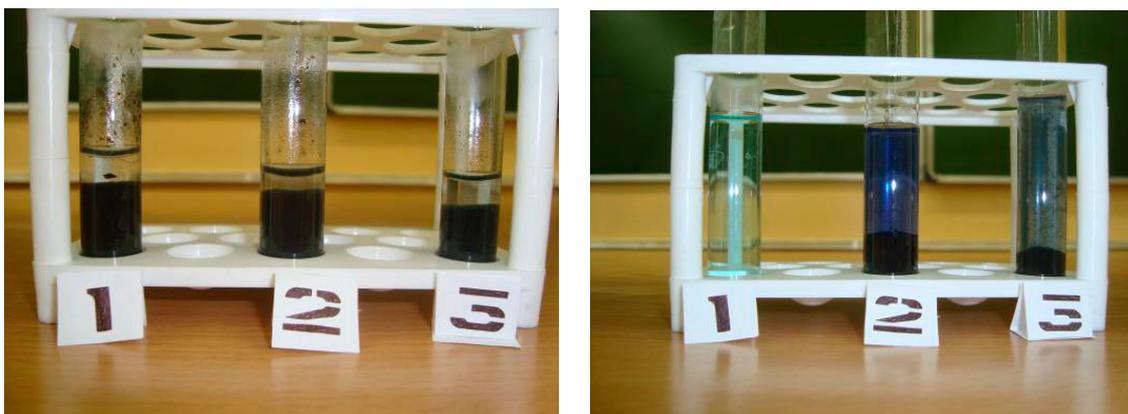


Рис. 1

А

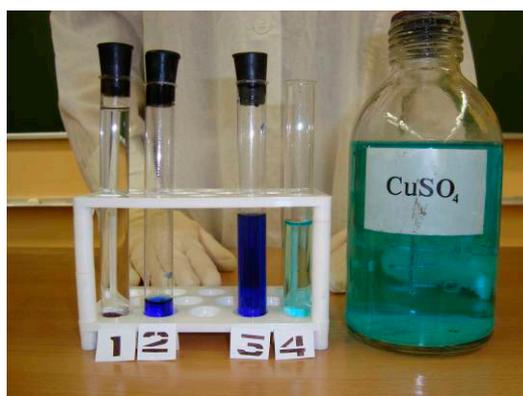
Б



*Рис. 2. Взаимодействие оксида меди(II) с соляной кислотой (1), гидроксидом аммония (2) и гидроксидом натрия:*

*А – исходные образцы; Б – после добавления реактивов*

### Приложение 5



*Рис. 6. Растворение меди в растворе аммиака:  
1 – пробирка с медью до пробки заполнена раствором аммиака;  
2 – раствор после взаимодействия меди с раствором аммиака;  
3 – раствор сравнения;  
4 – раствор сульфата меди(II)*

## ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО БЕМИТА И КОРУНДА

<sup>1</sup>Пасечник Д., <sup>2</sup>Морева М.

<sup>1</sup>г. Челябинск, МАОУ «СОШ № 25», 11 «А» класс;

<sup>2</sup>г. Челябинск, МАОУ «СОШ № 25», 10 «Б» класс

*Руководитель: Куликов М.А., г. Челябинск, МАОУ «СОШ № 25» учитель химии и биологии 1-й категории*

*Научный консультант: Толчев А.В., г. Челябинск, ФГБОУ ВПО «ЧелГУ», д.х.н., профессор кафедры химической технологии и вычислительной химии*

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте VI Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://school-science.ru/6/13/38219>.

**Актуальностью** темы является изучение физико-химических процессов, реализующихся при фазообразовании и термических превращениях мелкодисперсных систем (МДС) с размером кристаллов от нескольких единиц до сотен нанометров является одной из актуальных проблем современной химии. Научный и практический интерес к таким системам обусловлен тем, что они по сравнению с аналогичными крупнокристаллическими объектами обладают специфическими, а порой и уникальными свойствами: магнитными; электрическими; повышенной реакционной способностью; пониженной температурой плавления и полиморфных превращений и др. Теоретические и экспериментальные исследования МДС свидетельствуют, что размер частиц определяет, наряду с другими термодинамическими параметрами, состояние мелкодисперсной системы. Алюминий образует аномально большое число оксидов и гидроксидов. Известны пять модификаций тригидроксида алюминия  $Al(OH)_3$  (байерит, нордстрандит, гиббсит, дойелит и ромбическая модификация, образующаяся при высоком давлении), три модификации оксигидроксида алюминия  $AlOOH$  (бемит, диаспор и ромбическая модификация, образующаяся при высоком давлении), оксигидроксид алюминия  $5Al_2O_3 \cdot H_2O$  (тодит), и около десяти модификаций оксида алюминия. Термодинамически стабильной модификацией оксида алюминия до температуры плавления является  $\alpha - Al_2O_3$  (корунд).

Перспективным методом получения различных неорганических материалов и модификаций их свойств является автоклавная обработка в различных жидкостях и флюидах. Протекающие во время автоклавной об-

работки химические реакции и физико-химические процессы весьма сложны, и могут включать как процессы, в которых жидкость или сверхкритический флюид участвует в качестве растворителя, так и твердофазные и поверхностные процессы, протекающие в присутствии жидкости или сверхкритического флюида под высоким давлением.

В настоящий момент автоклавная обработка оксидов и гидроксидов алюминия изучена недостаточно и находит лишь ограниченное применение. В зависимости от условий проведения процесса, автоклавная обработка оксидов и гидроксидов алюминия в воде или в сверхкритическом водном флюиде может привести к образованию корунда ( $\alpha - Al_2O_3$ ), бемита ( $\gamma - AlOOH$ ), тодита ( $\kappa - 5Al_2O_3 \cdot H_2O$ ) и других фаз. Корунд, получаемый в сверхкритическом водном флюиде, по своей способности превосходит электрокорунд, а проведение синтеза в автоклаве позволяет избежать; применения температуры  $>2000^\circ C$ , необходимой для плавки оксида алюминия. Бемит и тодит, полученные в автоклаве, могут быть в дальнейшем использованы для получения переходных модификаций получения керамического порошка ( $\alpha - Al_2O_3$ ). Использование полученного в автоклаве бемита позволяет получать керамический порошок  $\alpha - Al_2O_3$  при более низких температурах и без применения помола. Для промышленного получения материалов на основе оксидов алюминия с использованием автоклавной обработки необходимо изучение процессов, происходящих при автоклавной и последующей термической обработке оксидов и гидроксидов алюминия.

Получение и модификация нанокристаллического бемита в гидротермальных усло-

виях описаны достаточно хорошо, однако, автоклавное получение бемита с микронным и субмикронным размером кристаллов в растворах различных кислот и оснований исследовано недостаточно. Для получения керамического порошка из полученного в гидротермальных условиях бемита необходимы исследования его структурных превращений при термической обработке. Однако, данные о термической обработке бемита полученного в гидротермальных условиях в различных средах, в литературе отсутствуют.

В литературе есть данные об автоклавном получении фазы тодита, однако, область существования этой фазы на фазовой диаграмме  $Al_2O_3 - H_2O$  и описание характеристик получаемого тодита в зависимости от условий получения в литературе отсутствуют. Вместе с тем, получение тодита в различных условиях и исследование его свойств представляет интерес, ввиду возможности применения тодита в качестве промежуточной фазы для получения керамического сырья.

**Объектом** исследования: работы являются нанобемит.

**Предмет** исследования: синтез нанобемита, через промежуточную фазу тодита, а затем с образованием корунда.

**Цель и задачи** исследований. Целью данной работы являлось синтезировать в гидротермальных условиях нанобемит на металлоорганической основе.

Для достижения намеченной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Синтезировать изопропилат алюминия в гидротермальных условиях.
2. Синтезировать нанобемит с дальнейшим изучением его свойств.
3. Синтезировать тодит и корунд в гидротермальных условиях из полученного бемита.
4. Изучить фазовый состав полученных образцов.
5. Исследовать полученные образцы нанобемита, корунда и тодита на дифрактометре (ДРОН-3М), фильтрованное  $CoK\alpha$  – излучение, а также с помощью электронной сканирующей микроскопии (электронный микроскоп JEOL-7100F).

**Методы и приемы:**

1. Изучение литературного материала, обобщение, систематизация.
2. Гидротермальный метод синтеза.
3. Рентгенофазовый анализ (РФА) – дифрактометр (ДРОН-3М), фильтрованное  $CoK\alpha$  – излучение.
4. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) – электронный микроскоп JEOL-7100F (длина волны 0,025 Å).

## 1. Литературный обзор

### *Общие сведения об оксидах и гидроксидах алюминия*

Алюминий является элементом третьего периода III группы периодической системы и имеет электронную конфигурацию  $3s^23p^1$ . В соединениях с кислородом алюминий, за редким исключением, находится в степени окисления +3, и имеет координационные числа 4, 5 (редко) и 6 [1, 2].

Алюминий образует аномально большое число оксидов и гидроксидов. Известны пять модификаций тригидроксида алюминия (байерит, нордстрандит, гиббсит, дойелит и ромбическая модификация, образующаяся при высоком давлении), оксогидроксид алюминия  $(Al_2O_3)_5 \cdot H_2O$  (тодит) и около десяти модификаций оксида алюминия. Большинство из них получены в индивидуальном виде, и для них определены кристаллические структуры и физико-химические свойства. Гидроксиды и оксиды алюминия являются важными технологическими материалами. Благодаря уникальным свойствам, оксиды алюминия используют для получения керамики, в качестве адсорбентов для обезвоживания жидкостей и газов, компонентов и носителей при синтезе многих металлических и оксидных катализаторов, в том числе для процессов переработки нефти и газов. Такое широкое использование обусловлено структурными особенностями многочисленных полиморфных модификаций оксида алюминия, которые определяют свойства этих модификаций. Единственной стабильной фазой оксида алюминия является  $\alpha - Al_2O_3$ . Кроме того, понятие оксида алюминия включает в себя большое число промежуточных метастабильных форм. Они получают термическим разложением гидроксидов при температуре 300–1200°C. На процесс формирования структуры оксидов оказывает влияние большое число факторов. В частности, структура и свойства оксидов алюминия зависят от структуры и свойств исходных гидроксидов.

В настоящее время вопрос о точном количестве и индивидуальности отдельных фаз в системе  $Al_2O_3 - H_2O$  остается до конца не решенным. Так же встречается некоторая терминологическая путаница в названиях фаз [6, 7, 10]. Схема превращений оксидов и гидроксидов алюминия при нагревании в различных условиях приведена на рис. 1. (см. приложение). Схема составлена на основе данных [1]. Отметим, что превращения, указанные на схеме, зависят от предыстории образца, в частности, от примесного состава и дисперсности.

## Известные оксиды и гидроксиды алюминия [4–8]

№	Наименование и формула	Кристаллическая система (сингония)
1	$\alpha - \text{Al}(\text{OH})_3$ , байерит	Моноклинная
2	$\beta - \text{Al}(\text{OH})_3$ , нордстрандит	Триклинная
3	$\gamma - \text{Al}(\text{OH})_3$ , гиббсит	Моноклинная
4	$\gamma - \text{Al}(\text{OH})_3$ , дойелит	Триклинная
5	$\text{Al}(\text{OH})_3$	Орторомбическая
6	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , гель	Аморфный
7	$\alpha - \text{AlOOH}$ , диаспор	Орторомбическая
8	$\gamma - \text{AlOOH}$ , бемит	Орторомбическая
9	$\delta - \text{AlOOH}$	Орторомбическая
10	$(\text{Al}_2\text{O}_3)_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , тодит	Гексагональная
11	$\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ , корунд	Ромбоэдрическая, гексагональная

*Гидротермальный синтез неорганических веществ и материалов*

Гидротермальным синтезом – это метод получения различных соединений за счет химических реакций в закрытых системах, протекающих в водных растворах при температурах выше 100°C и давлениях выше 1 атм.

Данный метод базируется на способности воды при повышенных температурах и давлениях (гидротермальные растворы) растворять практически нерастворимые при обычных условиях неорганические соединения, такие как оксиды, силикаты, фосфаты, сульфиды и другие. Помимо воды в качестве растворителей, могут применяться и водные растворы некоторых кислот, оснований и солей (так называемых «минерализаторов», повышающих растворимость исходных соединений).

Основными параметрами гидротермального синтеза, определяющими как кинетику взаимодействия исходных компонентов в гидротермальных условиях, так и свойства образующихся в результате синтеза твердофазных продуктов, являются: тип растворителя, начальное значение pH среды, продолжительность и температура синтеза, величина давления в гидротермальной системе. Изначально метод гидротермального синтеза применялся (в том числе в промышленности) лишь для выращивания монокристаллов и очистки различных неорганических соединений.

В последние десятилетия было установлено, что с помощью гидротермального метода возможно получение твердых неорганических веществ и высокодисперсного состояния, в том числе в нанокристаллическом. Это определило одно из направлений развития гидротермальных методов синтеза на последующие годы. В настоя-

щее время, гидротермальный метод применяется для получения очень многих неорганических веществ и материалов (как монокристаллов, так и нанокристаллических порошков): простых и сложных оксидов, халькогенов, гидроксидов, фосфатов, цеолитов, супрамолекулярных соединений и многих других [1, 10].

*Применение оксидов и гидроксидов алюминия*

Материалы на основе оксидов алюминия широко применяются в различных областях современной техники. Порошок, состоящий из неограниченных частиц  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\alpha$  – глинозем), применяется для получения алюмооксидной керамики. Алюмооксидная керамика характеризуется высокой механической прочностью, твердостью, износостойкостью, огнеупорностью и химической инертностью. Чистая или смешанная керамика на основе  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  применяется в электронной промышленности (подложки для микросхем), электротехнике (термостойкие корпуса и изоляторы), машиностроении и химической промышленности (режущие и мелющие инструменты, огнеупоры, конструкционные элементы, свечи зажигания и др.), в качестве имплантатов в медицине. Качество керамики определяется характеристиками исходных керамических порошков, потому актуальной является задача эффективных методов их получения. В настоящее время порошок  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  для производства керамики, в основном, получают термическим разложением гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  с последующим помолом образовавшегося спека  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ .

Хорошо ограненные кристаллы  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  естественного или искусственного происхождения называют корундом. Мелкокристаллический порошок корунда при-

меняются в качестве абразивного материала, индивидуальным методом получения искусственного корунда для применения в качестве абразива является дуговая плавка.

$\alpha$  –  $Al_2O_3$  применяются как адсорбент для осушки газов и жидкостей, в хроматографии, катализатор для крекинга нефти, дегидратации спиртов, разложения  $H_2S$ , в качестве носителя для катализаторов. Прочие модификации оксидов и гидроксидов алюминия, в основном, играют роль промежуточных продуктов при получении алюмооксидных материалов на основе  $\alpha$ – и  $\gamma$  –  $Al_2O_3$  [2, 5, 8].

## 2. Экспериментальная часть

### *Гидротермальный синтез нанокристаллического бемита*

В данной работе предлагается гидротермальный алкоголятный способ синтеза нанокристаллического оксигидроксида алюминия  $\gamma$  – модификации (бемита), который включает в себя две стадии. На первой стадии в автоклав, футерованный фторопластом загружают металлический алюминий массой 3 г и заливают изопропиловым спиртом объемом 75 мл. Затем автоклав плотно закручивают и выдерживают при температуре 220°C в течение 5ч. По окончании термообработки полученный осадок изопропилата алюминия отделяют от маточного раствора, отмывают и сушат на воздухе, в результате чего получается объемный и рыхлый порошок белого цвета.

На второй стадии полученный образец массой 1 г помещали в стальной автоклав с медной прокладкой и добавляли 1 мл воды. Затем автоклав помещали в предварительно нагретую муфельную печь. Температура термообработки составляла 450°C, точность ее поддержания составляла  $\pm 5^\circ C$ . Время термообработки – 4 ч.

Исходные, промежуточные и конечные образцы исследовали методами рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-3М фильтрованное  $CuK\alpha$  – излучение, с автоматической записью кривых распределения интенсивности и скоростью съемки 1°/мин и 2°/мин (г. Челябинск, ЧелГУ) и электронной сканирующей микроскопии (электронный микроскоп JEOL-7100F (длина волны 0,025 Å).

На третьей стадии полученный образец бемита массой 1 г так же, как и на второй стадии помещали в стальной автоклав с медной прокладкой и добавляли 1 мл воды. Автоклав помещался в предварительно нагретую муфельную печь. Температура термообработки составляла 450°C, точность ее поддержания составляла  $\pm 5^\circ C$ . Время термообработки – 4 ч. Исходные и конечные

образцы исследовались аналогичными методами, что и на второй стадии.

## Результаты и их обсуждение

Согласно данным рентгенографии высушенный осадок изопропилата алюминия, является рентгеноаморфным рис. 2. (см. приложение), что подтверждается электронно-микроскопическими исследованиями, рис. 5 (см. приложение).

Анализ рентгенограммы образца, рис. 3. (см. приложение) полученного на второй стадии показал, что он представляет собой оксигидроксид алюминия  $\gamma$  – модификации ( $\gamma$  –  $AlO(OH)$ ). По данным электронной микроскопии, рис. 6. (см. приложение) образец  $\gamma$  –  $AlO(OH)$  представляют собой систему из призматических кристалликов однородного контраста, в основном с характерным размером  $\sim 50 - 100$  нм, изредка встречаются более крупные частицы, размеры которых не превышают  $\sim 300$  нм.

Анализ рентгенограммы образца, рис. 4. (см. приложение), полученного на третьей стадии показал, что он представляет собой фазы оксидов и оксигидроксида алюминия:  $\gamma$  – модификации ( $\gamma$  –  $AlO(OH)$ , бемит),  $\kappa$  – модификации ( $5Al_2O_3 \cdot H_2O$ , тодит) и  $\alpha$  – модификации ( $\alpha$  –  $Al_2O_3$ , корунд).

Сканирующая электронная микроскопия показала, образование тодита и корунда происходило без разрушения частиц исходного материала. Отдельные частицы тодита состоят из мелких пластинок, более крупных кристаллов корунда, рис. 7. (см. приложение). Так же присутствуют призматические кристаллы однородного контраста характерные для бемита, рис. 7 – 8. (см. приложение).

## Выводы

1. Таким образом, осуществлен синтез нанокристаллического  $\gamma$  –  $AlO(OH)$  (бемит) путем взаимодействия в гидротермальных условиях (220°C) изопропилового спирта с металлическим алюминием, в результате чего образуется промежуточная рентгеноаморфная фаза изопропилата алюминия, которая при повторной гидротермальной обработке при 450°C превращается в нанокристаллический бемит.

2. Проведена нанокристаллизация при испарении изопропилового спирта в результате которой образовался белый порошок на органической основе.

3. Показано, что обработка бемита в автоклаве при температуре 450°C, приводит к образованию фазы тодита и корунда. В следствие топотактичности происходящих фазовых переходов тодит имеет слои-

стую структуру, что делает его ценным материалом для приготовления керамического сырья.

#### Список литературы

1. Альмяшева О.В. Синтез нанокристаллов оксида алюминия в гидротермальных условиях / О.В. Альмяшева, Э.Н. Корыткова, А.В. Маслов, В.В. Гусаров // Неорган. матер. – 2005. – Т. 41. №5. С. 12–13, 80–91.
2. Алюминия оксид // Химическая энциклопедия [Электронный ресурс] гл. ред. И.Л. Кнулянец. – М.: Советская Энциклопедия, 1988. Режим доступа: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia> – Электрон, версия печ. публикации.
3. Бучаченко А.И. Химия на рубеже веков: свершения и прогнозы / А.И. Бучаченко // Успехи химии. – 1999. – Т. 68. №2. – С. 99–117.
4. Вихарев А.А. Получение и модифицирование состава и свойств нано-размерного анодного оксида алюминия / А.А. Вихарев канд. хим. наук. – Барнаул, 2007.
5. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства / А.И. Гусев – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. – 200 с.
6. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. / Ю.В. Карякин, И.И. Ангелов. – 4-е изд. пер. и доп. – М.: Химия, 1974. – С. 26–27.
7. Коттон, Ф. Современная неорганическая химия / Ф. Коттон, Дж. Уилкинсон. – М.: Мир, 1969.
8. Лукин Е.С. Новые керамические материалы на основе оксида алюминия / Е.С. Лукин, Н.А. Макаров, И.В. Дододнова, С.В. Тарасова // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001. – №7. – С.2–10.
9. Мамчик А.И. Об особенностях поведения гидроксида алюминия, полученного методом ионного обмена, при термической обработке / А.И. Мамчик, А.А. Веретегел, К.В. Томашевич, Н.Н. Олейников.
10. Мелихов И.В. Физикохимия наносистем: успехи и проблемы / И.В. Мелихов // Вестник российской академии наук. – 2002. – Т. 72; № 10. – С. 900–907.
11. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом. – М., 2009. – 236 с. // Рыбалки-на-Nanotechnology News Network. – [www.nanonewsnet.ru](http://www.nanonewsnet.ru).
12. Шкрабина Р.А. Полиморфные превращения оксидов и гидроокисей алюминия / Р.А. Шкрабина, Э.М. Мороз, Э.А. Левицкий // Кинетика и катализ. – 1981. – Т. 22; № 5. – С. 1293 – 1299.
13. Кецко В.А., Третьяков Ю.Д. // Синтез и свойства неорганических соединений. – 1998. – Т. 43; №1. – С. 22–26.
14. Downs A.J. Chemistry of Aluminum, Gallium, Indium and Thallium / A.J. Downs. – Springer, 1993. – С. 248–257.

## МЁД – УНИКАЛЬНЫЙ ПРОДУКТ ПЧЕЛОВОДСТВА

Рудковский Е.А.

г. Краснопереконск, МБОУ «СОШ №2 им.М.В.Фрунзе», 9 класс; МБОУ ДО «Центр детского и юношеского творчества»

Руководитель: Тхир О.С., г. Краснопереконск, МБОУ ДО «Центр детского и юношеского творчества» педагог дополнительного образования

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте VI Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://school-science.ru/6/13/38337>.

Актуальность темы: натуральный мед – это уникальный продукт, с явными выраженными лечебными и диетическими свойствами. В природе нет другого продукта похожего на мед по составу и свойствам. Качественный мед требует больших материальных затрат. Высокие цены на натуральный мед, привлекают недобросовестных людей заниматься его фальсификацией. В качестве различных добавок они используют загустители, сахар, синтетические вещества. Употребляя такой мед, мы можем нанести вред здоровью.

**Цель работы:** ознакомиться со свойствами и качеством натурального меда, провести исследования приобретенного вида меда, сделать его сравнительный анализ, на основе полученных знаний, научиться отличать натуральный мед от фальсифицированного.

**Объект** исследования: объектом исследования данной работы является пробы меда: горный, разнотравье, акациевый, гречишный, малиновый.

**Методы** исследования: при написании работы использовались литературные источники, интернет, собственные наблюдения.

### 1. Разновидность меда

Мед пчелиный – это сладкое, сиропообразное вещество, вырабатываемое рабочими пчелами из нектара медоносных цветов и используемое ими в качестве корма, ценный продукт питания человека. Натуральный мед по происхождению может быть цветочным, смешанным и падевым.

Цветочный мед – продукт переработки пчелами нектара растений. Если мёд получен с одного определённого вида растения, то обычно ему придают название этого растения: липовый, гречишный, подсолнечный и т. д. Если нектар собран с разных растений, то такой мёд обычно называют смешанным [1].

Смешанный мед обычно называют по месту сбора: луговой, лесной, степной.

Цвет его может быть от светло-желтого до темного, аромат – от нежного и слабого до резкого. Все зависит от того, нектар каких растений преобладает в нем.

Падевый мед пчелы производят из собираемых ими сладких выделений листьев, стеблей некоторых растений, выделений тли и других насекомых. Цвет бывает от светло-янтарного (с хвойных растений) до темного (с лиственных растений). В ячейках сотов чаще всего имеет зеленоватый цвет. Вязкость у него значительно больше, чем у цветочного. Вкус специфический, иногда неприятный.

Наиболее известными являются следующие виды мёда: горный, разнотравье, акациевый, гречишный, малиновый и др.

#### 1.1. Особенности степного крымского меда

Не смотря на теплый крымский климат и раннюю весну, весенние пасечные работы реально начинаются только в апреле, а главный взятки бывает в июне-июле. Степной Крым место довольно жаркое летом и открытое всем ветрам зимой. Летом наступает сильная жара, которая препятствует хорошему сбору меда. Основные медоносные растения – это подсолнух, люцерна с эспарцетом, рапс. Мед, собранный пчелами с полевых цветов, относится к полифлерным сортам меда. Такой мед имеет наиболее широкий спектр разнообразных биологически активных компонентов, т.к. вобрал в себя полезные вещества многих растений и обладает выраженным общеукрепляющим воздействием на организм человека.

Многие люди считают, что крымский мед самый экологически чистый и лечебный. Качество меда зависит не от местонахождения пасеки, а с каких растений-медоносов он собирался. Значительное влияние на качество цветочного натурального меда оказывает географическое местоположение медоносов, время медосбора, погодные условия, химический состав почвы, на кото-

рой произрастают медоносы, порода пчел и др. [3]. Мед, собранный с одного и того же растения, весной может обладать светлой окраской и более высоким качеством, чем собранный осенью. Концентрация сахара в нектаре зависит от погодных факторов. Так, в сухую жаркую погоду мед содержит меньше воды и быстрее кристаллизуется.

В Крыму можно назвать только два полноценно пчеловодческих места – это Бахчисарайский район и Белогорский район. Степные растения считаются одними из самых полезных для медосбора [9].

## 2. Характеристика меда

### 2.1. Основные составляющие меда

Пчелиный мед – один из сложнейших естественных продуктов, в составе которого обнаружено более четырехсот различных компонентов. Основные составляющие меда: глюкоза, фруктоза, сахароза, зольные элементы, вода, ферменты, органические кислоты, азотистые соединения, витамины, ароматические, биологически активные и другие вещества. Химический состав непостоянен, однако основные группы веществ остаются неизменными [10] «диаграмма 1».

#### 2.1.1. Углеводы

Углеводы это основные вещества, входящие в состав меда (95–99% сухого вещества). Содержание отдельных углеводов в меде зависит от ботанического происхождения меда, условий сбора и переработки нектара (пади) пчелами.

Углеводы меда представлены в основном моносахаридами – глюкозой и фруктозой. На их долю приходится около 90% всех сахаров меда. Отношение фруктозы к глюкозе (Ф/Г) в большинстве случаев близко к 1. Чем выше этот показатель, тем меньше мед склонен к кристаллизации.

Из дисахаридов в меде встречаются чаще всего сахароза и мальтоза. В цветочном меде содержится до 5% сахарозы, в павдевом – до 10%.

Мальтоза образуется в процессе созревания меда. Ее количество зависит от ботанического происхождения меда.

#### 2.1.2. Азотистые вещества

Азотистые вещества представлены в основном белковыми и небелковыми соединениями. Они поступают в мед с цветочной пыльцой и секретом желез пчел. Белковых соединений в цветочных медах найдено от 0,08 до 0,4%, основную часть их составляют ферменты – амилаза, инвертаза, каталаза и др. Ферменты выступают в качестве

биологических катализаторов, ускоряющих многочисленные реакции распада и синтеза.

Наиболее изученный фермент меда – диастаза. Диастазное число колеблется в широких пределах – от 0 до 50 ед.

Небелковые азотистые соединения меда представлены в основном аминокислотами в небольшом количестве – от 0,6 до 500 мг на 100 г меда. Во всех медах находят аланин, аргинин, аспарагиновую и глутаминовую кислоты.

Аминокислоты обладают способностью вступать в соединения с сахарами меда, образуя темноокрашенные соединения – меланоидины.

### 2.1.3. Кислоты

Во всех разновидностях меда содержится около 0,3% органических и 0,03% неорганических кислот. Считают, что большая часть кислот представлена глюконовой, яблочной, лимонной и молочной. Из других органических кислот в меде находят винную, щавелевую, янтарную и др. Среди неорганических обнаружены фосфорная и соляная кислоты.

#### 2.1.4. Минеральные вещества

Мед как естественный продукт по количеству зольных элементов не имеет себе равных. В нем обнаружено около 40 макро- и микроэлементов, однако набор их в разных медах различен. В меде содержатся калий, фосфор, кальций, хлор, сера, магний, медь, марганец, йод, цинк, алюминий, кобальт, никель и др. Количество и состав минеральных веществ в меде зависят от содержания их в нектаре, т. е. от ботанического происхождения меда.

#### 2.1.5. Красящие и ароматические вещества

В меде содержится небольшое количество красящего вещества: каротин, хлорофилл, ксантофилл. В настоящее время в меде определено около 200 ароматических веществ. Эти вещества представлены главным образом спиртами, альдегидами, кетонами, кислотами и эфирами спиртов с органическими кислотами.

#### 2.1.6. Витамины

Мед содержит витамины, их источники – нектар и цветочная пыльца. В 100 г меда обнаружены следующие витамины, мкг: тиамин (витамин В1) – 4–6; рибофлавин (витамин В2) – 20–60; пантотеновая кислота (витамин В3) – 20–110; пиридоксин (витамин В6) – 8–320; никотиновая кислота – 110–360; биотин (витамин Н) – в среднем 380; ниацин (витамин РР) – 310; токоферол (витамин Е) – 1000; аскорбиновая кислота (витамин С) – в среднем 30 000.

### 2.1.7. Вода

Зрелый мед содержит от 15 до 23 % воды. В меде с повышенной влажностью создаются благоприятные условия для брожения, что влечет порчу меда. Содержание воды в меде является одним из наиболее важных показателей, а так же связано с некоторыми физическими свойствами – кристаллизацией, вязкостью, удельной плотностью.

### 2.2. Основные свойства меда

Свойства меда обусловлены биологической природой меда и его сложным химическим составом. К ним относят: кристаллизацию, брожение, гигроскопичность, теплоемкость, теплопроводность, электропроводность, вязкость, плотность, оптическую активность (приложение, табл. 1). Кроме того, он обладает бактерицидными, лечебными и диетическими свойствами [4].

#### 2.2.1. Кристаллизация меда

Кристаллизация меда в значительной степени зависит от соотношения основных компонентов пчелиного меда – глюкозы, фруктозы и воды. Чем больше в меде фруктозы и воды, тем он медленнее кристаллизуется. Различают меды быстро- и медленно кристаллизующиеся. К первым относят мед с одуванчика, рапса, горчицы, эспарцета, ряд падевых; ко вторым – с белой акации, шалфея, каштана и малины.

#### 2.2.2. Брожение меда

При повышенной влажности меда и температуре около 30°C в нем развиваются бродильные процессы. Брожение заключается в том, что моносахара меда (глюкоза, фруктоза) под действием ферментов осмофильных дрожжей, содержащихся в меде, разлагаются на спирт и диоксид углерода. [12] Образование и выделение диоксида углерода увеличивают объем меда, а образовавшийся спирт под действием уксуснокислых бактерий окисляется до уксусной кислоты. Выделившаяся в результате этой реакции вода приводит к дальнейшему увеличению свободной воды продукта, мед разжижается, и процесс брожения ускоряется.

#### 2.2.3. Гигроскопичность меда

Это способность меда вбирать из влажного воздуха и материала тары водяные пары и удерживать их. Гигроскопичность меда зависит от его химического состава, агрегатного состояния, вязкости. Увеличению гигроскопичности меда способствует большее содержание в нем фруктозы и минеральных веществ, а также относительная влажность воздуха. В жидком состоянии мед более гигроскопичен, чем в твердом.

### 2.2.4. Плотность и вязкость меда

Определяется отношением массы меда к его объему. Этот показатель изменяется в зависимости от влажности и температуры меда. Плотность меда снижается с увеличением содержания в нем воды и повышением температуры. Среднее значение плотности при 20°C равно 1422,5 кг/м<sup>3</sup>. Различным видам медов свойственна определенная степень вязкости, по которой их делят на пять групп: очень жидкий (акациевый, клеверный), жидкий (рапсовый, гречишный, липовый), густой (одуванчиковый, эспарцетовый), клейкий (падевый), студнеобразный (вересковый). Вязкость меда зависит также от его химического состава, влажности и температуры. Мед влажностью 18% в 6 раз более вязок, чем мед влажностью 25%. Поэтому вязкость – один из главных показателей зрелости меда.

#### 2.2.5. Бактерицидность меда

Это способность меда, его растворов и вытяжек останавливать или прекращать рост болезнетворных микроорганизмов [13]. Такая особенность обусловлена содержанием в меде фитонцидов, обладающих бактерицидными свойствами, и ферментов, участвующих в окислительных реакциях с высвобождением активного кислорода, действующего антибактериально. Биологически активные вещества меда, обуславливающие его консервирующие свойства, переходят в мед как из растений (нектара и цветочной пыльцы), так и из организма пчел (выделений специальных желез).

#### 2.2.6. Лечебные свойства меда

Использование меда как эффективного лекарственного средства основывается на многих его свойствах: антибактериальном, бактерицидном, противовоспалительном и противоаллергическом действии. [6] Лечебному эффекту меда способствуют состав сахаров, минеральные вещества, микроэлементы, витамины, ферменты, биологически активные вещества. Мед используют как общеукрепляющее, тонизирующее, восстанавливающее силы средство; применяют для лечения ран и ожогов, сердечно-сосудистой системы, почек, печени желчных путей, желудочно-кишечного тракта. Мед хорошо смягчает кожу, повышает ее тонус, устраняет сухость и шелушение, благодаря чему он широко используется в косметике. Целебные свойства меда определяются содержащимися в нем микроэлементами, входящими в структуру гемоглобина, инсулина, цитохромов, активирующие ферментативные системы человека. Микроэлементы выполняют двойную роль: с одной стороны,

транспортируют молекулы аминокислот, с другой – входят в структуру белков. Такие микроэлементы, как марганец, медь, цинк, кобальт, стимулируют выработку антител и тем самым повышают сопротивляемость организма.

### 2.2.7. Питательность меда

Мед – концентрированный высокопитательный продукт. Основные питательные вещества меда – углеводы, белки, минеральные вещества, витамины, ферменты и др. [7] При расщеплении глюкозы и фруктозы выделяется большое количество энергии, необходимой для жизненных процессов организма. 100 г меда обеспечивают 1/10 суточной потребности взрослого человека в энергии; 1/25 – в меди и цинке, 1/15 – в калии, железе, марганце, 1/4 – в кобальте; 1/25 – в витамине В и С, 1/5 – в витамине В6. Питательность меда очень высока и составляет около 1379 Дж на 100 г продукта.

## 3. Качество натурального меда

### 3.1. Критерии качества меда

Качество натурального меда нормируется национальными стандартами, а так же по следующим показателям: по содержанию восстанавливающих сахаров, сахарозы, оксиметилфурфурола, воды, диастазному числу, аромату, цвету, вкусу, консистенции, содержанием тяжелых металлов, механических загрязнений, признакам закисания, общей кислотности, кристаллизации, наличие пыльцевых зерен, наличие крахмала. Специально уточняется отсутствие ядовитых примесей любого происхождения [9].

Влажность мёда при реализации не должна быть более 21%, содержание сахарозы – не более 6%, массовая доля редуцирующих веществ должна быть не менее 82,0. Качество меда зависит не только от процентного содержания в нем влаги, но и от других компонентов. Например, соотношение фруктозы и сахарозы в меде приблизительно одинаковое, но может преобладать количество глюкозы, и тогда мед кристаллизуется быстрее. А вот если фруктоза преобладает над глюкозой, то мед может оставаться жидким даже более года. Кристаллизация мёда не является дефектом. Более точно качество мёда, его состав и свойства определяются физико-химическими показателями.

Диастазное число характеризует активность ферментов и должно составлять менее 7 а для меда с белой акации не менее 5 единиц.[8] Это число резко снижается или даже полностью утрачивается при нагревании

меда свыше 60–80°C, а также при длительном хранении свыше 1 года в теплом помещении – а этого не должно быть, если мед подразумевает качество. Но диастазное число не характеризует лечебные свойства меда, оно лишь подтверждает ботаническое происхождение меда, что служит одним из главных условий, что мед натурален. Хотя хорошим показателем является если диастазное число находится в пределах 12–16 ед. Это и есть ориентировочный показатель качества меда, и как следствие полезности меда. В мёде не должно быть оксиметилфурфурола, кислотность должна быть не более 4. Присутствие этого вещества свидетельствует о длительном нагревании мёда, при котором погибают ферменты и он теряет свое лечебное значение, или же мёд фальсифицирован патокой.

В продажу не допускается мёд закисший, забродивший, с посторонними примесями и запахами. Если мёд расслаивается: верхний слой – закристаллизовавшийся, а нижний – сиропоподобный, – это свидетельствует о повышенной влажности мёда, который хранить долго нельзя. Недопустимые дефекты – горький привкус и наличие пены [11].

Основными критериями, определяющими натуральность меда, являются вкус, цвет, аромат и прозрачность продукта.

Мною были исследованы 5 видов меда: горный, разнотравье, акациевый, гречишный, малиновый (фото 1).

### 3.2. Органолептическая оценка качества меда

#### 3.2.1. Аромат

Хорошим считается мёд, имеющий приятный, естественный аромат от слабого до сильного, без постороннего запаха. Аромат меда по качеству можно разделить на две категории. Первая категория – специфический аромат (мед гречихи, кориандра, табака, тимьяна, чабреца, некоторых видов молочая, сборный мед с бобовых, крестоцветных). Иногда он описывается как резкий или даже неприятный. Вторая категория – приятный, нежный аромат (мед с липы, клеверов, донника, белой акации, малины, ряд разновидностей меда с лугового, полевого и лесного разнотравья). Каждый вид мёда имеет свой специфический аромат. Аромат мёда исчезает при брожении, длительном и интенсивном нагревании, при добавлении тростникового и искусственно инвертированного сахара, патоки и т. д., а также после скармливания пчёлам сахарного сиропа в большом количестве.

### 3.2.2. Вкус меда

Мёда обычно обладает сладким, приятным вкусом. Лучшими по вкусу и аромату считаются сорта мёда: липовый, белоакациевый, эспарцетовый, донниковый, клеверный и др. По интенсивности восприятия сладости большинство его разновидностей относят к умеренно сладким. Встречаются приторные разновидности меда (лесного разнотравья, клеверов, гречихи, полевого разнотравья, фруктовых садов и белой акации) и малосладкие (донник, хлопчатник, большинство образцов падевого меда).

Некоторые разновидности меда дают ощущения горечи (мед с каштана, табака). Другие, определяться как приятный (разновидности меда с бобовых, в том числе с клевера, сложноцветных, розоцветных, например с малины) или как неприятный, резкий, «царапающий» (мед с кориандра, дягиля, гречихи, иногда с липы и подсолнечника). Мёд, полученный в результате скормливания пчёлам сахарного сиропа, фальсифицированным инвертированным сахаром или искусственной глюкозой, желатином и крахмалом, менее сладок, чем цветочный мёд.

#### 3.2.3. Цвет и консистенция меда

Цвет мёда в зависимости от вида медоноса может быть бесцветным или желтым (от серо- и лимонно-желтого до темно-желтого и охристого), зеленых (от зеленоватого до оливкового), красно-желтых и коричневых (до темно-бурого) тонов. После кристаллизации окраска меда принимает более светлый оттенок. Бесцветные меда становятся белыми, зеленовато- или желтовато-белыми, кремовыми. По консистенции мёд может быть жидким или твердым. Сорта меда, сроки и условия его сбора пчелами разные, и, естественно, содержание влаги в нем тоже различное. Например, мед кориандр, малина и разнотравье отличаются друг от друга процентным содержанием влаги, но это не значит, что какой-то из них фальсифицированный. Влага всегда присутствует в меде, излишнее количество влаги содержит и молодой мед, который еще не отстоялся. Фальсифицированный мёд, как правило, не имеет запаха. Настоящий мёд отличается душистым ароматом. Этот запах ни с чем несравним. Мёд с примесью сахара не имеет аромата, а его вкус близок к вкусу подслащённой водички. Характерным признаком качества натурального меда является его зрелость. На рынке зрелость меда можно определить, накручивая его на ложку – зрелый мед не стекает с ложки. У настоящего меда консистенция тонкая,

нежная. Мед легко растирается между пальцами и впитывается в кожу, чего не скажешь о подделке. У фальсифицированного меда структура грубая, при растирании на пальцах остаются комочки. Если он полосатый или пятнистый, такой мед лучше не покупать.

### 3.3. Физико-химические методы определения качества меда

Определение механических примесей. 50 г меда растворяют полностью в 100 мл теплой дистиллированной воды. Раствор переливают в цилиндр из прозрачного стекла и определяют степень его загрязненности. Раствор чистого натурального меда – слегка мутный, не имеет осадка. Видимые механические примеси оседают на дно цилиндра или всплывают на поверхность. Невидимые механические примеси (цветочная пыльца, дрожжевые клетки, пыль, зола и др.) определяют путем микроскопии меда.

Обнаружение примеси в меде муки и крахмала. Муку или крахмал добавляют в мед для создания видимости кристаллизации, которая указывает на его натуральность. Чтобы обнаружить в меде муку или крахмал, в пробирку наливают 3–5 мл водного раствора меда (1:2), добавляют 3–5 капель раствора йода. Появление синей окраски указывает на наличие в меде муки или крахмала. А если в такой же раствор добавить несколько капель уксусной эссенции и он зашипит, значит, это тоже подделка, содержащая мел или муку.

Обнаружение в меде примеси сахарной патоки. Добавление сахарной патоки в мед ухудшает его органолептические показатели (появляются запах патоки, высокая вязкость и др.), снижает содержание инвертированного сахара и диастазную активность. Реакция с азотнокислым серебром. В пробирку наливают 5 мл водного раствора меда и добавляют 5–10 капель 5%-ного (1:2) раствора азотнокислого серебра. При положительной реакции образуются помутнение и белый осадок (хлористое серебро). Натуральный мед не дает осадка.

Определение содержания воды в меде. Небольшое количество меда ложится на промокательную бумагу. Если через несколько минут на обратной стороне бумаги появится водянистое пятно, то это считается признаком фальсификации.

Определение диастазного числа в меде. Как известно, мед – это продукт переработки нектара пчелами. В процессе этой переработки мёд обогащается следующими ферментами: диастаза, каталаза и инвертаза. Наиболее значимым для нас является первый – диастаза. Чем больше этого фермента,

тем большей биологической активностью обладает мёд. Активность диастазы определяют по диастазному числу, которое изменяется в единицах Готе и выражается количеством кубических сантиметров 1%-ного раствора крахмала, которое разлагается при температуре 40° С. за 1 час амилолитическими ферментами, содержащимися в 1 грамме безводного вещества меда. Для постановки реакции в мерную колбу на 50 мл отвешивают 5 г меда и доливают до метки дистиллированной водой. В 1 мл такого раствора будет содержаться 0,1 г меда (10%-ный раствор). В приготовленный раствор добавляют 0,5 мл 0,5% раствора поваренной соли и 5 мл 1% раствора крахмала. Наливают в пробирки и нумеруют. После взбалтывания содержимого пробирки помещают на один час в водяную баню при 40°С. Затем вынимают их из водяной бани и охлаждают под струей воды до комнатной температуры, после чего в каждую пробирку добавляют по одной капле раствора йода (0,5 г йода, 1 г йодистого калия в 100 мл дистиллированной воды). В тех пробирках, где крахмал остался нерасщепленным, содержимое окрашивается в синий цвет – диастазы нет, при содержании небольшого количества диастазы – в фиолетовый цвет, при содержании большого количества – более светло фиолетовый.

### 3.4. Практическая часть

Для оценки качества исследуемого меда, были отобраны пять видов меда. Все пробы были приобретены в сентябре 2018г. «фото1»

№1 – мед горный.

№2 – мед разнотравье.

№3 – мед акации.

№4 – мед гречишный.

№5 – мед малиновый.

В пробах взятых для анализа были определены следующие показатели: цвет, аромат, вязкость, наличие в меде воды, крахмала и муки, мела, примеси сахарной патоки, наличие механических примесей.

Была произведена органолептическая оценка качества меда.

Определение цвета. Мед наливаем в прозрачные стаканы. Цвет меда определяем визуально при дневном освещении «фото1»

Во всех образцах меда цвет незначительно отличается: №1 он золотисто-желтый, в пробе №2 – желтый и №3 – желтый, №4 – темно-песочный, №5 – золотисто-желтый.

Определение аромата. В стеклянный стакан помещаем 30 – 40 г меда, закрываем крышкой и нагреваем на водяной бане при температуре 40–45°С. Стакан извлека-

ем из бани, снимаем крышку и делаем короткий вдох через нос.

Мед, отобранный для анализа, имеет приятный душистый аромат, но в пробе №3 он был менее выражен. №1 – душистый, специфический, запах воска, №2 – душистый, приятный, №4 – душистый, приятный, №5 – душистый, приятный.

Определение вкуса и консистенции. Пробы перед исследованием подогреваем на водяной бане 20–30°С. №1 – сладко-приторный, №2 – сладко-приторный, №3 – сладко-приторный, жесткий, №4 – резкий, «царапающий», №5 – мягкий, приятный.

Консистенция у всех образцов меда тонкая и нежная, лишь в пробе №1 было много воска.

Проведя органолептическую оценку, можем отметить, что пробы меда №3, №2 и №4, №5 отвечают нормам качества натурального меда, а проба №1 – фальсифицирована.

Для более точного анализа проверки качества меда, после органолептической оценки, был произведен физико-химический анализ на содержание воды в меде, наличие механических примесей, примеси муки и крахмала, примеси сахарной патоки, наличия глюкозы, определение диастазы меда.

Определение содержания воды в меде. Небольшое количество меда взятого из каждой пробы нанесли на промокательную бумагу (фото 2). Через несколько минут на обратной стороне бумаги появилось одно водянистое пятно – у пробы №2, считаем, что качество этого меда – не удовлетворительное.

Определение механических примесей. Растворяем мед в дистиллированной воде. Раствор переливаем в цилиндр из прозрачного стекла и определяем степень его загрязненности. Во всех четырех пробах меда – раствор слегка мутный, не имеет осадка. Механических примесей не обнаружено (фото 3).

Обнаружение примеси в меде муки и крахмала. В пробы с водным раствором меда добавляю несколько капель раствора йода.

Появление синей окраски в пробах №1, №3 указывает на наличие муки или крахмала в меде (фото 4).

Обнаружение в меде примеси сахарной патоки. В пробирку наливаю 5 мл водного раствора испытуемого меда и добавляем 10 капель 5%-го раствора азотнокислого серебра. Помутнение и белый осадок был обнаружен в пробах №1, №2, №3. Это свидетельствует, что эти пробы содержат примеси сахарной патоки. Натуральный мед не дает осадка (фото 5).

Обнаружение примеси мела в меде. В пробы с водным раствором меда добавляю несколько капель раствора уксусной кислоты.

Появление вспенивания (выделение газа) не было обнаружено ни в одной из проб (фото 6).

Обнаружение наличия глюкозы в меде. В пробирку наливаем по 0,5 мл свежеприготовленного раствора сульфат меди(II)  $\text{CuSO}_4$  и гидроксид натрия  $\text{NaOH}$ . Затем добавляем осадок  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  в пробирку с раствором глюкозы. Нагревали на огне смесь, которая образовалась в пробирке. На стенках пробирки образовался сначала желтый ( $\text{CuOH}$ ), а потом красный  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Во всех пробах обнаружено наличие глюкозы, но в пробе №1 – окрас более бледный (фото 7).

Определение диастазы в меде. В пяти образцах приобретенных мною для исследования, определяем диастазу в меде.

В результате проведенных анализов на наличие диастазы в меде можно отметить, что самый высший показатель диастазы у меда пробы №4 – мед гречишный и №5 – малиновый, а низкий показатель у проб №1, 2, 3, соответственно они не являются медом хорошего качества (фото 8).

Наиболее важными факторами, влияющими на величину диастазного числа, считаются погодные условия, при которых происходили сбор и переработка нектара пчелами, порода пчел (сильная или слабая семья), интенсивность взятка, степень зрелости откачиваемого меда, условия и длительность его хранения, способы переработки.

### Заключение

В течение тысячелетий люди потребляли мед, не задумываясь о его качестве. Это было связано с тем, что он был единственным источником сладости и подделка или заменить его было нечем. В последние годы возникла проблема с определением качества меда, с его экологическим загрязнением. Много случаев продажи недоброкачественного, закисшего, испорченного нагреванием меда. В качестве вкусовых и ароматизированных средств используются синтетические красители и ароматизаторы.

В данной работе рассмотрены: основной состав, свойства, разновидности, отмечены основные особенности степного крымского меда, приведены критерии качества натурального меда, указаны методы распознавания фальсифицированного меда. В процессе выполнения работы были исследованы образцы меда: горный, разнотравье, акациевый, гречишный, малиновый. По та-

ким показателям: цвет, аромат, вязкость, наличие в меде воды, крахмала и муки, примеси сахарной патоки, наличие механических примесей, глюкозы. Пробы меда №4, №5 – являются качественными и натуральными, никаких примесей не обнаружено. Пробы №1, №2, №3 содержат примеси крахмала, сахара, превышена норма содержания воды.

Исследуемый мед не соответствовал требованиям по ряду показателей, исключением были только пробы №4, №5:

- по цвету: только мед акации не прозрачный, а мутно желтоватый;
- содержание примеси сахарной патоки, свидетельствует о том, что пчел подкармливали сахаром;
- наличие примеси муки и крахмала, свидетельствует о том, что в мед их добавляют для придания вязкости и видимости кристаллизации;
- диастазное число менее 5, это указывает на низкое содержание ферментов;
- смешанная консистенция так же говорит о плохом качестве меда;

Покупая мед необходимо руководствоваться следующими критериями:

- выбирайте самый густой мёд – этот мёд и будет самый зрелый, он не стекает каплями, а тянется непрерывной лентой почти до конца;;
- запах меда должен быть насыщенный и «густой»;
- «сахарный мед» имеет жидкую консистенцию, светлую окраску, слабовыраженный аромат;
- натуральный мед терпкий, слегка или значительно «щиплет» горло;
- вероятность покупки фальсификата снижается, если приобретать мед в сотах;
- мёд не должен пениться – это признак его незрелости и закисания;
- если в банке с мёдом явно видно расслоение – перед вами подделка.

Проведя оценку качества проб меда по органолептическим и физико-химическим показателям мы научились распознавать настоящий мед от фальсификата и убедились, что купить настоящий мед не так уж просто. Самый лучший и верный метод – покупать мед у известного многим покупателям пчеловода, хороший пчеловод держит марку и никогда не обманет.

### Список литературы

1. Аганин В.П. Мед и его использование // Саратовский университет, 1985.
2. Большая Советская Энциклопедия. (В 30 томах). Изд. 3-е. – М.: Советская Энциклопедия, 1974.
3. Евстигнеев Е.М. и др. Тайны продуктов питания, 1995.
4. Зарецкий Н.Н. Пособие для начинающего пчеловода. – М.: Московский рабочий, 1980.- 280 с.

- Книга о меде. – Смоленск: Русич, 1997г.– «Азбука быта».
5. Иойриш Н.П. Продукты пчеловодства и их использование. М., Россельхозиздат, 1976. 175 с. С ил.
6. Книга о меде. – Смоленск: Русич, 1997.
7. Шеметков М.Ф. и др. Советы пчеловоду. – Минск: Урожай, 1983.
8. Солодова Н.И., Волкова Л.А., Волков В.Н. Как определить качество меда //имия в школе. – 2002. – №2. – С. 64–68.
9. Краткая энциклопедия пчеловода – Ростов-на-Дону: Проф-пресс, 2000.
10. Практические советы пчеловоду и пчелопродукты для здоровья человека. 3–е изд., доп. – Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2006. – 218 с.
11. Пчеловодство в вопросах и ответах. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2003. – 384 с.
12. Современная энциклопедия пчеловода. Практические советы пчеловодам / Сост. А.С. Забоенко. – Донецк: ПФК «БАО», 2001. – 352 с.
13. Чепурной И.П. Заготовка и переработка меда. – М.: Агропромиздат, 1987.
14. Чернигов В.Д. Мёд. – Минск: Ураджай, 1992.

## ИЗУЧЕНИЕ ПОДЛИННОСТИ ОСНОВНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

Соколова Д.А.

г. Арзамас, МБОУ «СШ №16 с углублённым изучением отдельных предметов», II «А» класс

Руководитель: Опарина С.А., г. Арзамас, Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского,  
кандидат педагогических наук, доцент

В настоящее время с каждым днём у человеческого общества возрастает потребность в лекарственных препаратах, оказывающих при минимуме побочных эффектов положительное влияние на весь организм в целом. Сегодня в аптеках находится огромное количество лекарственных средств, выбор которых необходимо делать, учитывая индивидуальные особенности организма и характер боли [8]. Однако, большая часть населения продолжает употребление препаратов, совсем не обращая внимания на их защищённость от подделки, фармакологическую принадлежность, исследованность и не думая об опасности и вреде некоторых из них.

Изучение фармакокинетических свойств, качественного состава, механизмов действия лекарственных препаратов позволяет определить оптимальные пути их введения, что способствует подбору оптимальной дозировки для использования их в лечебных целях, а также позволяет определить противопоказания и показания к их применению [5].

Учитывая все вышесказанное, можно резюмировать, что современному человеку, следует располагать знаниями о лекарственных препаратах, их влиянии на организм и процессах взаимодействия организма с этими лекарствами.

**Цель исследования:** изучить биохимические основы и подлинность основных групп лекарственных средств.

### **Задачи:**

1. Провести анализ научно-популярной и учебной литературы по выбранной теме;
2. Рассмотреть общие свойства, фармакологию и классификацию лекарственных средств;
3. Экспериментально определить качественное и количественное содержание основных веществ в лекарственных препаратах;
4. Провести анализ и обработку результатов.

Объект исследования: лекарственные средства органической и неорганической природы.

Предмет исследования: подлинность основных групп лекарственных средств

### **Методы исследования:**

- Теоретические – анализ учебной и научно-популярной литературы по теме исследования, методический анализ, сравнение, теоретическое обобщение.
- Экспериментальные – химический эксперимент, лабораторный опыт.

**Научная новизна работы.** Разработаны доступные методики количественного и качественного определения состава и действующего вещества в основных лекарственных средствах.

**Практическая значимость работы.** Экспериментально проведён качественный анализ лекарственных препаратов, фармакопейные реакции определения их подлинности. Проведён количественный анализ некоторых распространенных нестероидных препаратов. Разработана методика определения качества лекарственных средств органической и неорганической природы. На примере модельных опытов изучено влияние ферментативных препаратов на пищеварительную систему.

### **1. Классификация и характеристика лекарственных средств**

#### *1.1. Общее понятие о лекарственных средствах*

Медицинская практика не обходится без применения широчайшего диапазона лекарственных препаратов. Они применяются для профилактики и диагностики заболеваний, для лечения людей и животных.

*Лекарственное сырьё* – это источник для получения лекарственного вещества. Многие растения (дикорастущие, культивируемые специализированными предприятиями и хозяйствами), продукты жизнедеятельности бактерий и грибов (из них получают ферменты, гормоны, антибиотики и другие биологически значимые вещества), ткани и органы различных животных, а также некоторые природные и синтетические производные являются главными источниками лекарственного сырья. Активно действующее лекарственное вещество получают после соответствующей обработки лекарственного сырья [1].

Лекарственное вещество (ЛВ, «субстанция») – химическое вещество для фармако-терапии, диагностики, фармакопрофилактики, предупреждения болезней.

**Лекарственное средство** (ЛС, «фармакологический агент») – ЛВ или комбинация ЛВ и других веществ любого производителя.

**Лекарственный препарат** – это лекарственное средство в определенной (адекватной), необходимой для индивидуального употребления и применения лекарственной форме и качественном оформлении с аннотациями (с приложениями) о его использовании, свойствах, дозировке, методе и способе употребления, а также о мерах предосторожности.

Все лекарственные препараты объединяются в различные группы по назначению, химической природе и источникам получения. А также необходимо учитывать их возможное токсическое воздействие на организм человека при неправильной дозировке при употреблении. Списки всех лекарственных препаратов публикуются в Государственные фармакопеи, которая доступна для каждого гражданина Российской Федерации [6].

Каждый лекарственный препарат обладает своими физико-химическими свойствами, которые и обеспечивают лечебное и оптимальное действие. Препараты производят в различных формах в зависимости от назначения и их действия. Основными формами являются: жидкие (настои, микстуры, отвары, растворы, эмульсии, сиропы, капли,

экстракты), которые дозируются ложками для приёма внутрь; твердые (драже, порошки, гранулы, таблетки, пилюли, лекарственные плёнки) дозируются в граммах; мягкие (пасты, мази, свечи, пилюли) и газообразные (газы и аэрозоли). В зависимости от способа применения различают лекарственные формы для внутреннего и наружного применения, а также для инъекций [7].

### 1.2. Классификация лекарственных средств

Существует огромное многообразие лекарственных средств, для которых просто необходима классификация [11]. В основном все лекарственные современные средства группируются по четырём принципам:

1. Фармакологическому действию (по вызываемому эффекту): вазодилаторы – расширяют сосуды, анальгетики и спазмолитики;

2. Терапевтическому применению: препараты для лечения артериального давления, опухолей, противовирусные и противомикробные;

3. Нозологическому принципу: лекарства, которые применяют для лечения только определенной болезни – инфаркт, инсульт, астма и другие;

4. Химическому (сходному) строению: лекарства, которые получают на основе ацетилсалициловой кислоты – салициламид, аспирин, метилсалицилат и другие.

Общая классификация лекарственных средств представлена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация лекарственных средств

Механизм действия	Группы лекарственных препаратов
1	2
I. Средства, которые действуют на центральную нервную систему.	Средства для наркоза Психотропные препараты Снотворные средства Противосудорожные (противоэпилептические средства) Продолжение таблицы 1
	Нестероидные противовоспалительные препараты и анальгезирующие средства. Средства для лечения паркинсонизма Противорвотные и рвотные препараты
II. Лекарственные средства, действующие на периферическую нервную систему	Средства, действующие на периферические адренергические процессы. Средства, действующие на периферические холинергические процессы. Дофалин и дофаминергические препараты. Гистамин и антигистаминные препараты. Серотонин, антисеротониновые и серотониноподобные препараты.

Окончание табл. 1

1	2
III. Средства, действующие преимущественно в области чувствительных нервных окончаний	Адсорбирующие и обволакивающие средства. Вяжущие средства. Средства для местной анестезии. Слабительные средства. Отхаркивающие средства.
IV. Средства, действующие на сердечно – сосудистую систему	Антиаритмические препараты. Спазмолитики и сосудорасширяющие. Сердечные гликозиды. Антигипертензивные средства. Антиангинальные препараты. Препараты, улучшающие мозговое кровообращение.
V. Средства, усиливающие выделительную функцию почек	Средства, способствующие выведению мочевой кислоты и удалению мочевых конкрементов. Диуретические средства.
VI. Маточные средства	Средства, стимулирующие и расслабляющие мускулатуру матки.
VII. Средства, влияющие на процессы обмена веществ	Гормоны, их аналоги и антигормональные препараты Ферменты, препараты и вещества с антиферментной активностью. Витамины и их аналоги. Средства, влияющие на свертывание крови. Препараты, стимулирующие метаболические процессы. Препараты гипохолестеринемического и гиполипопротеинемического действия Аминокислоты
VIII. «Иммуномодуляторы» (модулируют процессы в иммунитете)	Препараты, стимулирующие иммунологические процессы. Иммунодепрессивные препараты.
IX. Противомикробные, противовирусные и противопаразитные средства	Химотерапевтические средства Антисептические средства.
X. Препараты, которые применяют для лечения злокачественных новообразований	Ферментные препараты, применяемые для лечения онкологических заболеваний. Ингибиторы и гормональные препараты образования гормонов, применяемые для лечения опухолей Химотерапевтические средства
XI. Препараты различных фармакологических групп	Анорексигенные вещества Специальные средства для лечения алкоголизма Препараты для профилактики и лечения синдрома лучевой болезни

1.3. Фармакология лекарственных средств

Фармакодинамика – раздел фармакологии, который изучает локализацию, совокупность эффектов и механизмы действия лекарственных средств. Для изучения фармакодинамики используют определённые методы, обладающие рядом важных свойств:

- а) высокой специфичностью – дача «ложноположительных» результатов;
- б) высокой чувствительностью – выявление и оценка положительных изменений в организме и отклонений от исходного состояния;
- в) высокой воспроизводимостью – характеристика и отображение состояния од-

них и тех же больных в одинаковых условиях при повторных исследованиях.

Большинство лекарственных препаратов оказывает своё лечебное действие лишь путем изменения в клетке деятельности физиологических систем. Скорость протекания различных естественных процессов в организме изменяется под влиянием лекарственного средства. Возбуждение или торможение физиологических процессов приводит к усилению или снижению соответствующих функций тканей организма [11].

Фармакокинетика изучает принципы и особенности поступления лекарственного препарата в данный организм в зависимости от всасывания, пути введения, распределения, плазмы крови, связи с белками.

## 2. Изучение подлинности лекарственных средств

### 2.1. Анализ подлинности лекарственных средств

Контроль качества проходят абсолютно все лекарственные средства еще задолго до выпуска из предприятия-изготовителя. За данным контролем следят определённые организации, которые делают отбор партий лекарственных веществ [12]. Качественное определение лекарственного средства включает оценку внешнего вида, установление подлинности, растворимости, определение степени чистоты, а также количественного содержания в препарате чистого вещества (рис. 2).

карственные препараты неорганической природы. Нами были проведены и определены реакции достоверности одиннадцати наиболее важных действующих лекарственных (неорганических) веществ [13]. Результаты адаптированной методики качественного анализа этих веществ представлены в табл. 2 и в Приложении.

### 2.3. Качественные реакции органических лекарственных средств

Органические лекарственные средства – это смесь веществ природного происхождения в виде лекарственной формы. Нами были проведены и определены реакции достоверности двадцати наиболее важных действующих лекарственных (ор-

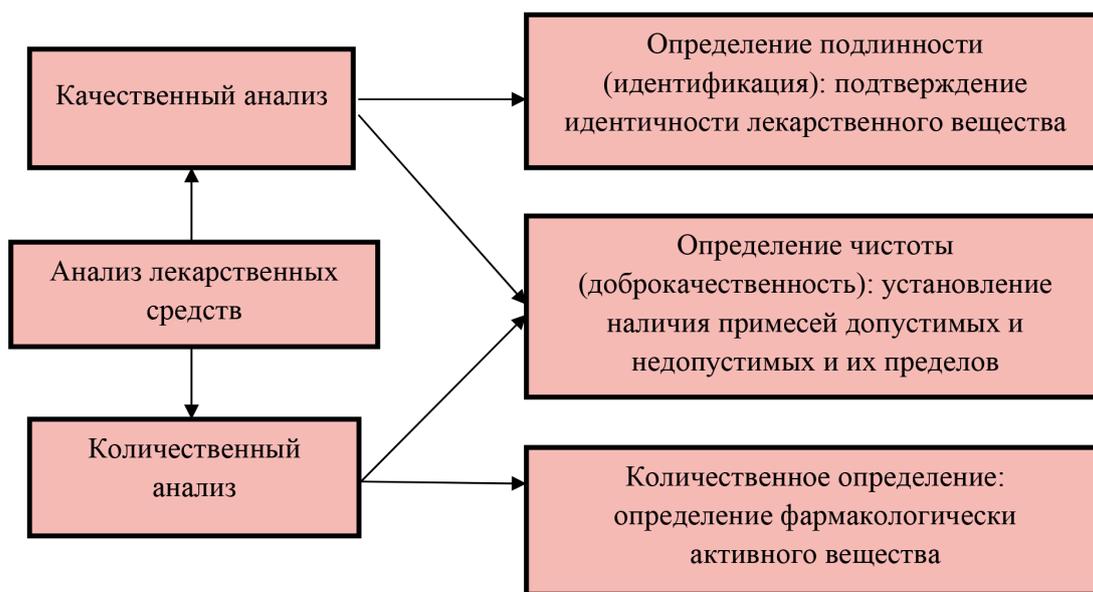


Рис. 1. Определение качества лекарственных средств

### 2.2. Качественные реакции неорганических лекарственных средств

Значительную часть ассортимента лекарственных средств составляют ле-

гических) веществ. Результаты адаптированной методики качественного анализа этих веществ представлены в табл. 3 и в Приложении.

Таблица 2

Анализ неорганических лекарственных веществ

№	Лекарственное вещество	Реактив	Результат	
1	Хлористоводородная кислота	Нитрат серебра	Растворение осадка	
2	Натрий бромида	Соляная кислота + р-р хлорамина + хлороформ	Окрашивание хлороформного слоя в желто-бурый цвет	
3	Раствор йода	Вода + р-р крахмала	Синее окрашивание	
4	Перекись водорода	Серная кислота + эфир + дихромат калия	Окрашивание слоя эфира в синий цвет	
5	Раствор аммиака	Соляная кислота	Выделение белого дыма	
		Метилловый оранжевый + азотная кислота	Изменение окраски индикатора	
6	Гидрокарбонат натрия (питьевая сода)	Соляная кислота	Выделение пузырьков углекислого газа	
7	Борная кислота	Р-р фенолфталеина + р-р гидроксида натрия + глицерин	Появление ярко-розового окрашивания. Исчезновение осадка	
8	Хлорид кальция	Оксалат аммония + Р-р соляной кислоты	Появление белого осадка Растворение осадка	
		Нитрат серебра + р-р гидроксида аммония	Появление белого осадка Растворение осадка	
9	Сульфат бария	Реакция среды (препарат + вода)	Определение по индикаторной бумаге	
		Хлорид бария + соляная кислота	Появление белого осадка Растворение осадка	
10	Нитрат серебра	Соляная кислота (творожистый осадок)	Азотная кислота	Осадок не растворяется
			Р-р гидроксида аммония	Растворение осадка
11	Железо	Разбавленная соляная кислота + р-р гексацианоферрата(III)	Растворение осадка Осадок темно – синего цвета	

Таблица 3

Анализ органических лекарственных веществ

№	Лекарственное вещество	Реактив	Результат
1	2	3	4
1	Этиловый спирт	Дихромат калия + серная кислота + водяная баня	Появление зелёной окраски
2	Формальдегид	Р-р сульфата меди (II) + гидроксид натрия + водяная баня	Образование светло-синего раствора. Образование жёлтого, затем красного осадка.
3	Карболовая кислота	Хлорид железа	Образование сине-фиолетового окрашивания
4	Ацетилсалициловая кислота (аспирин)	Гидроксид калия + кипячение (3 мин) + серная кислота	Выпадение белого кристаллического осадка и ощущение запаха уксусной кислоты.
5	Новокаин	Вода + р-р азотной кислоты + р-р нитрата серебра	Образование белого осадка

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
6	Амидопирин	Вода + р-р хлорида железа (III)  +р-р соляной кислоты	Образование синего быстро исчезающего окрашивания, затем коричневого хлопьевидного осадка. Образование сине-фиолетового окрашивания
7	Анальгин	Вода + р-р соляной кислоты + р-р хлорида железа	Образование синего окрашивания, переходящего в красное, затем обесцвечивание раствора
8	Кофеин	Серная кислота + р-р йода	Образование осадка бурого цвета
9	Парацетамол	Р-р соляной кислоты + кипячение (1 мин) + охлаждение	Ощущение запаха уксусной кислоты
Гормоны			
10	Инсулин	Р-р гидроксида натрия + р-р сульфата меди (II)	Окрашивание в фиолетовый цвет.
		Концентр. азотная кислота + водяная баня  +избыток аммиака	Образование осадка. Окрашивание в желтый цвет. Оранжевое окрашивание
11	Адреналин	Р-р хлорного железа	Окрашивание в изумрудно-зеленый цвет, переходящий при стоянии в желтый.
		Р-р йодата калия + р-р уксусной кислоты + нагревание	Появление красно-фиолетового окрашивания.
		Сульфаниловая кислота + р-р азотистого натрия + р-р углекислого натрия	Окрашивание жидкости в красный цвет
Витамины (жирорастворимые)			
12	Витамин А (ретинол)	Хлороформ + конц. серная кислота	Наблюдают изменения в окраске раствора.
		Уксусная кислота, насыщенная сульфатом железа (II) + конц. серная кислота.	Появление голубого окрашивания, постепенно переходящего в розово-красное.
		Р-р хлорного железа	Появление ярко-зеленого цвета.
13	Витамин Д (кальциферол)	Р-р брома в хлороформе	Появление зелено-голубого цвета.
		Хлороформ + анилиновый реактив (15 частей + 1 часть конц. соляной кислоты) + кипячение (30 с).	Жёлтая эмульсия приобретает вначале грязно-зеленое, а затем буро-красное или красное окрашивание.
14	Витамин Е (токоферол)	Конц. азотная кислота.	На границе двух слоев расслоившейся эмульсии со временем появляется кольцо красного цвета.
		Сахароза + конц. азотная кислота.	Постепенное образование красного окрашивания.
Витамины (водорастворимые)			
15	Витамин С (аскорбиновая кислота)	Дист. вода + р-р йода в иодиде калия + фильтрат растительных тканей.	Обесцвечивание раствора.
		Р-р гексацианоферрата (III) калия + р-р хлорного железа + р-р хлороводородной кислоты.	Образование окрашенного в синий цвет осадка берлинской лазури.
		Р-р красителя 2,6-дихлорфенолиндофенола.	Обесцвечивание красителя.
16	Витамин Р (рутин)	Чай + дистил. вода + кипячение (3 мин) + хлорид железа (III).	Окрашивание.

Окончание табл. 3

1	2	3	4
17	Витамин В1 (тиамин)	Р-р сульфаниловой кислоты + р-р нитрита натрия + р-р карбоната натрия	На границе двух жидкостей появляется кольцо оранжево-красного цвета
		Р-р гексацианоферрата (III) калия + р-р щелочи + изобутиловый спирт. + перенос верхнего спиртового слоя + водяная баня	Образование голубой флюоресценции раствора в УФ лучах. Появление желтой окраски
18	Витамин В2 (рибофлавин)	Соляная кислота + гранула металлического цинка	Выделение пузырьков водорода, жидкость постепенно розовеет, затем обесцвечивается
19	Витамин В6 (пиридоксин)	Р-р хлорного железа	Окрашивание смеси в красный цвет
20	Витамин РР (никотиновая кислота)	Р-р уксусной кислоты + нагревание + р-р ацетата меди (II)	При постепенном охлаждении раствора выпадение синего осадка

2.4. Количественное определение аналгина и аспирина в различных лекарственных препаратах

Для проведения практической части работы были выбраны наиболее известные и часто применяемые противовоспалительные и болеутоляющие средства – аналгин и аспирин.

1. Аналгин (метамизол натрия). В основе количественного определения аналгина в препарате лежит редоксиметрический метод титриметрического анализа, разновидность – йодометрия. При этом протекает окислительно-восстановительная реакция, сопровождающаяся окислением аналгина йодом (сульфит-ион переходит в сульфат-ион).

Оборудование и реактивы: конические колбочки для титрования, ступки с пестиками, весы с разновесами, аналитические весы, воронки, 0,1 н. р-р йода, этиловый спирт, 0,01н раствор HCl, дистиллированная вода.

Ход работы.

1) Около 0,2 г препарата (точно) помещают в сухую колбу; 2) Прибавляют 20 мл этилового спирта, 5 мл 0,01н раствора HCl; 3) Перемешивают до растворения;

4) Титруют 0,1н раствором йода до появления желтой окраски раствора, исчезающей в течение 30 секунд.

Метод титрования – отдельных навесок, способ титрования – прямой.

Процентное содержание компонента рассчитывается по формуле:

$$X_{\%} = \frac{V_{12} T_{\text{исх/опр}}}{m} 100,$$

где  $X_{\%}$  – содержание метамизола натрия, в %;  $V_{12}$  – объем йода, пошедший на титрование, мл;  $T_{\text{исх/опр}}$  – титр йода по метамизолу натрия, г/мл (1 мл 0,1 н раствора йода соответствует: 0,01667 г  $C_{13}H_{16}N_3NaO_4S$ );  $m$  – масса навески аналгина, г.

Результаты определения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты количественного определения метамизола натрия в лекарственных образцах

Проба	V (I), мл	m навески, г	%
ОАО «Асфарма»	12,5	0,22	94,72
	14,5	0,25	96,69
ОАО «Фармстандарт-Лексредства»	11,9	0,23	86,25
	10,0	0,19	87,74
ОАО «Тюменский химико – фармацевтический завод»	9,7	0,22	73,50
	12,8	0,24	88,91

Графическое изображение результатов представлено на рис. 2.

Метод титрования – отдельных навесок, способ титрования – прямой.

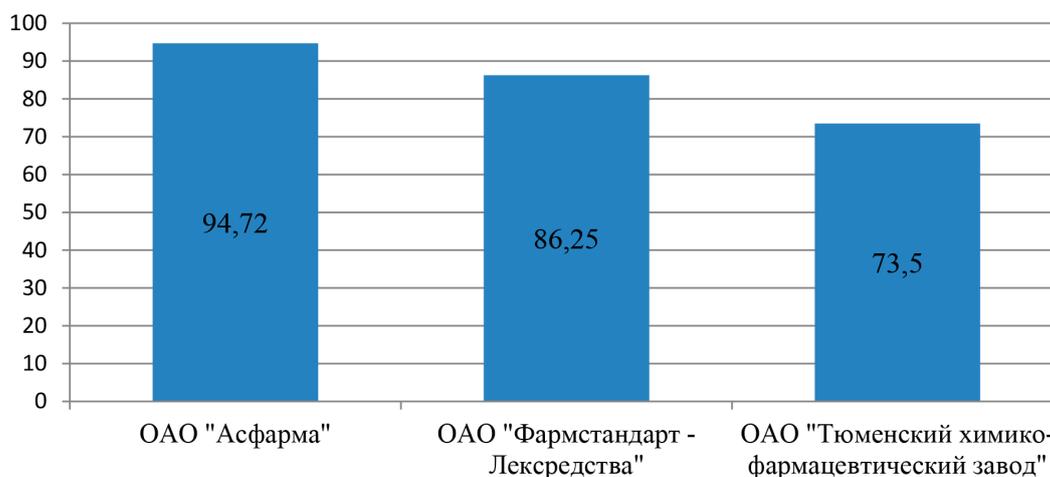


Рис. 2. Результаты количественного определения метамизола натрия в лекарственных образцах

2. Аспирин (ацетилсалициловая кислота). В основе количественного определения аспирина в препарате лежит метод кислотно-основного титриметрического анализа, разновидность – алкалиметрия.

Оборудование и реактивы: конические колбочки для титрования, ступки с пестиками, весы, аналитические весы, воронки, 0,1 н. раствор гидроксида натрия, этиловый спирт, фенолфталеин, дистиллированная вода.

Ход работы. Около 0,5 г препарата (точная навеска) растворяют в 10 мл нейтрализованного по фенолфталеину (5–6 капель) и охлажденного до 8–10°C этилового спирта. Раствор титруют с тем же индикатором 0,1 н раствором гидроксида натрия до розового окрашивания.

Процентное содержание компонента рассчитывается по формуле:

$$X_{\%} = \frac{V_{\text{NaOH}} T_{\text{исх/опр}}}{m} 100,$$

где  $X_{\%}$  – содержание ацетилсалициловой кислоты, %;  $V_{\text{NaOH}}$  – объем гидроксида натрия, пошедший на титрование, мл;  $T_{\text{исх/опр}}$  – титр гидроксида натрия по ацетилсалициловой кислоте, г/мл (1 мл 0,1 н раствора гидроксида натрия соответствует 0,01802 г  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ );  $m$  – масса навески аспирина, г.

Результаты определения представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты количественного определения ацетилсалициловой кислоты в лекарственных образцах

Образец	ОАО «Асфарма»	ОАО «Фармстандарт-Лексредства»	ОАО «Дальхимфарм»
Опыт			
$V_{\text{NaOH}}$ , мл	25	23,1	20
Содержание, %	90,1	83,25	72,08

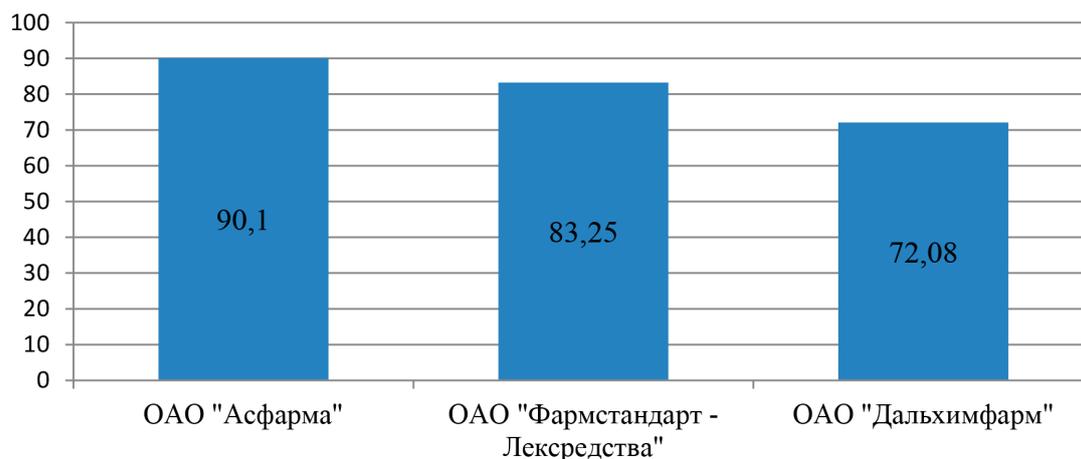


Рис. 3. Результаты количественного определения ацетилсалициловой кислоты в лекарственных образцах

Графическое изображение результатов представлено на рис. 3.

2.5. Модельные опыты по влиянию ферментативных средств на пищеварительную систему

В связи с невозможностью эксперимента in vitro нами были разработаны модельные

опыты по изучению влияния ферментативных средств (гастал, мезим или панкреатин), а также белков и жиров на процесс пищеварения. Анализ переваривания белков и жиров в ЖКТ представлен в табл. 6.

Анализ влияния ферментативных препаратов представлен в табл. 7.

Таблица 6

Переваривание белков и жиров в желудочно-кишечном тракте

Процесс	Реактив	Результат
Переваривание белков в ЖКТ (пепсином)	1. желуд.сок+кипячение+неразб.р-р белка+водяная баня+биуретовая р-ция	Наблюдают окрашивание растворов. Если фермент активен, то белок подвергается гидролизу до пептидов, если не активен, то не переваривается.
	2. Желуд.сок+р-р соды+ неразб.р-р белка+водяная баня+биуретовая р-ция	
	3. Желуд.сок+ неразб.р-р белка+водяная баня+биуретовая р-ция	
Переваривание жиров в ЖКТ	Исследование свойства желчи 1. дист.вода+акт.уголь+фильтрат 2. Разведенная желчь+акт.уголь+фильтрат	Акт.уголь является хорошим фильтратом
	Эмульгирование жиров 1. Подсолн.масло+вода 2. Подсолн.масло+р-р соды 3. Подсолн.масло+р-р желчи	Наблюдаем самую стойкую эмульсию

Таблица 7

Влияние ферментативных лекарственных препаратов на гидролиз пищевых продуктов

Исследование	Реактив	Результаты
Активность протеаз	Мезим+разб.яичн. белок+водяная баня+р-р нингидрина+кипячение	Панкреатические протеазы гидролизуют пептидные связи яичного белка, и освобождающиеся при этом аминокислоты дают заметное фиолетовое окрашивание
Активность амилазы	Фестал+разб. крахмал+водян. баня	Практически все гликозидные связи крахмала разрушаются, и полученный гидролизат не дает синего окрашивания с раствором йода. При гидролизе крахмала образуется глюкоза, которую легко обнаружить реакцией с гидроксидом меди при нагревании и образованию раствора морковного цвета
Активность липазы	Мезим+растит. масло+водяная баня	Одним из продуктов гидролиза жиров под действием липаз является глицерин, который может быть обнаружен качественной реакцией с $\text{Cu}(\text{OH})_2$ с образованием хелатного комплекса васильково-синего цвета

### Заключение

В ходе нашего исследования были рассмотрены общие свойства классификация и фармакология лекарственных средств.

При проведении качественных реакций была определена достоверность более 30 действующих лекарственных (органических и неорганических) веществ. Все исследованные образцы лекарственных препаратов дали положительные качественные реакции, что свидетельствует об их подлинности.

Были разработаны доступные, простые в исполнении модельные опыты по изучению влияния ферментативных препаратов на пищеварительную систему.

Результаты количественного анализа двух распространенных нестероидных противовоспалительных препаратов показали следующее:

а) содержание ацетилсалициловой кислоты в исследуемых лекарственных препаратах колеблется в пределах 72,08% – 98,02%, содержание метамизола натрия – 73,50 – 96,69%. Погрешности анализа могут быть связаны как с присутствием в препаратах вспомогательных веществ, (например, аскорбиновой кислоты), также с погрешностями измерений, проводимых в негостированной лаборатории;

б) в исследуемых лекарственных препаратах содержание основных веществ соответствует норме, однако таблетки ОАО «Тюменский химико-фармацевтический завод» и ОАО «Дальхимфарм» содержат меньшее количество метамизола натрия и ацетилсалициловой кислоты. Возможно, это связано с тем, что были нарушены правила хранения лекарственного препарата.

Изучение качественного и количественного состава, механизмов действия лекарственных средств позволяет подобрать оптимальную дозировку для использования их в лечебных целях и определить показания и противопоказания к их применению. Знания о процессах взаимодействия организма с лекарственными средствами и о их влиянии на наш организм, современному человеку, в том числе и учащимся профильных классов естественнонаучного цикла, можно с уверенностью употреблять нужные препараты и следить не только за своим здоровьем, но и за здоровьем близких и окружающих людей.

### Список литературы

1. Беликов В.Е. Фармацевтическая химия / В.Е. Беликов. – М.: Медицина, 1998. – 408 с.
2. Березов Т.Т. Биологическая химия / Т.Т. Березов, Б.Ф. Коровкин. – М.: Медицина, 1998. – 704 с.
3. Вайнер Э.Н. Валеология / Э.Н. Вайнер. – М.: Флинта, 2012. – 310 с.
4. Власова Ж.Е. Из опыта интеграции химического и экологического образования / Ж.Е. Власова, З.С. Михайлова // Химия в школе. – 2015. – № 9. – С.77–79.
5. Дыхан Л.Б. Педагогическая валеология / Л.Б. Дыхан. – М.: 2005. – 527 с.
6. Захаревский А.С. Фармакология с рецептурой / А.С. Захаревский. – М.: Медицина, 2001. – 356 с.
7. Ингерлейб М.Б. Полный лекарственный справочник фельдшера и медсестры / М.Б. Ингерлейб. – М.: Знание, 2008. – 568 с.
8. Калинин Л.А. Валеология: становление, развитие, проблемы, перспективы / Л.А. Калинин. – М.: Флинта, 2005. – 356 с.
9. Казин Э.М. Основы индивидуального здоровья человека. Введение в общую и прикладную валеологию: Учебное пособие / Э.М. Казин, Н.Г. Блинова. – М.: Владос, 2000. – 192 с.
10. Кемпинкас В.В. Лекарство и человек / В.В. Кемпинкас. – М.: Знание, 2001. – 287 с.

11. Машковский М.Д. Лекарственные средства: в 2-х томах. Т. I. / М.Д. Машковский. – М.: Медицина, 1996. – 624 с.

12. Минович М.В., Горячкина Е.Г., Федосеева Г.М. / Определение подлинности лекарственного растительного

сырья: учеб. пособие. ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России.: – Иркутск, 2013. – 47 с.

13. Опарина С.А. Школьный практикум по анализу лекарств / С.А. Опарина // Химия в школе. – 2017. – № 4. – С. 50–54.

**Приложение**

**Результаты качественного анализа некоторых лекарственных средств**

*Анализ неорганических лекарственных веществ*

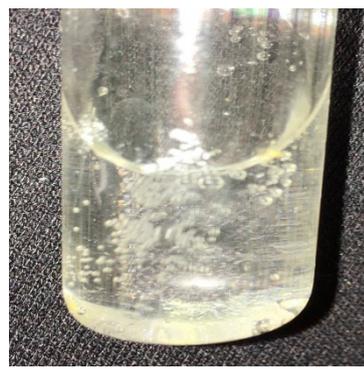
*Анализ хлористоводородной воды*



*Анализ гидрокарбоната натрия*



*Анализ борной кислоты*



*Анализ органических лекарственных веществ*

*Анализ кофеина*



*Анализ адреналина*



*Анализ инсулина*



*Анализ витамина А*



*Анализ витамина РР*



*Анализ витамина Е*

