



nauchforum.ru

# НаучФорум

Оставь свой след в науке

ISSN 2310-0370

СБОРНИК ВКЛЮЧЕН  
В НАУКО-  
МЕТРИЧЕСКУЮ БАЗУ

## РИНЦ



**XXXIII** Студенческая международная  
заочная научно-практическая  
конференция

# МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ № 4(33)

г. МОСКВА, 2016



nauchforum.ru  
**НаучФорум**  
Оставь свой след в науке

# МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Электронный сборник статей по материалам XXXIII студенческой  
международной заочной научно-практической конференции*

№ 4 (33)  
Апрель 2016 г.

Издается с марта 2013 года

Москва  
2016

УДК 62+51  
ББК 30+22.1  
М 75

Председатель редколлегии:

**Лебедева Надежда Анатольевна** – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

**Волков Владимир Петрович** – канд. мед. наук, рецензент АНС «СибАК»;

**Елисеев Дмитрий Викторович** – канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков»;

**Захаров Роман Иванович** – кандидат медицинских наук, врач психотерапевт высшей категории, кафедра психотерапии и сексологии Российской медицинской академии последиplomного образования (РМАПО) г. Москва;

**Зеленская Татьяна Евгеньевна** – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра высшей математики в Югорском государственном университете;

**Карпенко Татьяна Михайловна** – канд. филос. наук, рецензент АНС «СибАК»;

**Копылов Алексей Филиппович** – канд. тех. наук, доц. кафедры Радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, г. Красноярск;

**Костылева Светлана Юрьевна** – канд. экон. наук, канд. филол. наук, доц. Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС), г. Москва;

**Попова Наталья Николаевна** – кандидат психологических наук, доцент кафедры коррекционной педагогики и психологии института детства НГПУ;

**Яковичина Татьяна Федоровна** – канд. с.-х. наук, доц., заместитель заведующего кафедрой экологии и охраны окружающей среды Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, член Всеукраинской экологической Лиги.

## **М 75 Молодежный научный форум: Технические и математические науки.**

Электронный сборник статей по материалам XXXIII студенческой международной заочной научно-практической конференции. – Москва: Изд. «МЦНО». – 2016. – № 4 (33) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://www.nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/4\(33\).pdf](http://www.nauchforum.ru/archive/MNF_tech/4(33).pdf)

Электронный сборник статей XXXIII студенческой международной заочной научно-практической конференции «Молодежный научный форум: Технические и математические науки» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современной науки.

Данное издание будет полезно магистрам, студентам, исследователям и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки.

Сборник входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.RU.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Архитектура, Строительство</b>	<b>5</b>
АКТУАЛЬНОСТЬ РЕГЕНЕРАЦИИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В ГОРОДЕ РЯЗАНИ Арутюнян Рима Араратовна Векилян Михаил Оганесович	5
ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ Нейжмак Наталья Юрьевна Батора Анна Анатольевна Ермолаева Наталия Вячеславовна	10
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД Плеханова Вера Александровна	15
<b>Секция 2. Биотехнологии</b>	<b>21</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА Козьмина Екатерина Дмитриевна Липатова Анжела Владиславовна Яблокова Виктория Сергеевна	21
<b>Секция 3. Информационные технологии</b>	<b>25</b>
ТЕХНОЛОГИИ TEXT MINING И WEB MINING Гершевич Екатерина Константиновна Кукарцев Владислав Викторович	25
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА Куделькин Михаил Владимирович Дженжер Вадим Олегович	29
ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ АНОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИНЕРТНЫХ АНОДАХ В КРИОЛИТ-ГЛИНОЗЕМНЫХ РАСПЛАВАХ Трубникова Полина Сергеевна Лимановская Оксана Викторовна	40

<b>Секция 4. Космос, Авиация</b>	<b>52</b>
ПОНЯТИЕ «ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СМЕЩЕНИЕ», ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ Разаков Руфат Рустамбаевич Солодухин Виктор Александрович	52
<b>Секция 5. Лазерные технологии</b>	<b>61</b>
ЛАЗЕРНОЕ СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ Бесполудин Владислав Валерьевич	61
ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ Бесполудин Владислав Валерьевич	66
<b>Секция 6. Моделирование</b>	<b>71</b>
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА GaAs - Ge С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ PC1D Бесполудин Владислав Валерьевич	71
УСТАНОВКА ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ И ВОЗДУХА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ ХОЛОДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В АГРЕГАТЕ ТИПА СЭР Коротких Кирилл Алексеевич Падалко Алексей Гаврилович	76
<b>Секция 7. Нанотехнологии</b>	<b>80</b>
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЗИТИВНЫХ И НЕГАТИВНЫХ ФОТОРЕЗИСТОВ Сороковикова Вероника Николаевна Чистоедова Инна Анатольевна	80

# СЕКЦИЯ 1.

## АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

### АКТУАЛЬНОСТЬ РЕГЕНЕРАЦИИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В ГОРОДЕ РЯЗАНИ

*Арутюнян Рима Араратовна*  
студент Рязанского института (филиал) Московского Машиностроительного  
университета,  
РФ, г. Рязань



*Векилян Михаил Оганесович*  
научный руководитель, доц. кафедры «Архитектуры и градостроительства»  
Рязанского института (филиал) Московского Машиностроительного  
университета,  
РФ, г. Рязань

В данной статье рассматривается вопрос актуальности развития политехнического образования и регенерации института в городе Рязани.



**Рисунок 1. Ситуационный план политехнического института**

Условные обозначения:

-  – существующее здание института;
-  – сносимые жилые и общественные здания.

Предполагаемым местом расширения института является участок территории на пересечении улицы Ленина и Право-Лыбедская. Проектируемое здание института располагается в центральной части города, рядом с территорией существующего памятника архитектурны, на месте снесенного ветхого жилья и кафе «Снежинка». Территория предполагаемая под строительную площадку представляет сложную градостроительную ситуацию: склон русла р. Лыбедь, липовую аллею с С-3; памятник архитектуры с Востока и новострой с Юга.

Проблема высшего образования актуальна, как никогда и её глобальная модернизация требует новых инновационных решений, технически оснащенных современными отраслевыми специальностями и технологиями, представляющие реструктуризационные изменения в системе высшей школы г. Рязани, особенно политехнического образования с расширением базового ВУЗА и модернизации в технической направленности.

Проблемы высшего профессионального образования:

- вузы готовят кадры по не совсем востребованным специальностям;
- коммерциализация высшего образования ставит преграды для способных молодых людей из низших социальных слоев;
- относительно устаревшая материально-техническая база вузов не отвечает современным информационным технологиям;
- снижен интеллектуальный потенциал молодежи или отсутствует стимул установки на труд, научную деятельность, общественно-политическую активность.

Учитывая возрастающую потребность в подготовке квалифицированных технических кадров, актуальность затрагиваемой темы очевидна и прогнозируема, а с расширением базовой составляющей основных средств политехнического института на инновационной составляющей может решить проблему государственного масштаба:

- увеличения количества желающих обучаться в институте;
- недостаток лекционных аудиторий, а также лабораторий;

- отсутствия площадей для занятия спортом, физкультурой и ЛФК, проведения соревнований;

- проблемы занятости населения (путем создания новых рабочих мест).

- отсутствие парковки для преподавателей и студентов;

- использование возможностей базовой составляющей для софинансирования и самокупаемости, научных разработок и коммерческой деятельности в совокупности с практикой и внедрением в народное хозяйство области.

### **Классификация образовательных учреждений**

Каждое учебное заведение характеризуется определенной направленностью обучения, что, в свою очередь, определяет инновационный состав помещений, их оснащение и оборудование.

Деление помещений в основном происходит по характеру использования - собственно помещения для обучения, лаборатории для персонала, вспомогательные помещения и службы.

Помещения для обучения включают в себя различные аудитории для теоретических занятий, аудитории для практических занятий, лаборатории с соответствующим оборудованием, компьютерные классы, помещения для преподавателей, специализированные кафедры.

В таблице 1 представлены варианты разработки плана подземного этажа.



## Вариантное проектирование подземного этажа

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
		
<p>В данном варианте предлагается спроектировать подземную парковку, так как отсутствуют места для парковки сотрудников института. Предполагается также спроектировать станцию технического осмотра и обслуживания, которая будет функционировать в том числе ночью на коммерческой основе. Так как институту уделяется малая площадь на спортивный зал, предлагается проектирование бассейна с обезжелезиванием воды при помощи обратного осмоса. В данном варианте рассматривается ситуация с проектом часовни на месте кафе «Снежинка»</p>	<p>В данном варианте предлагается спроектировать подземную парковку, так как отсутствуют места для парковки сотрудников института. На отм. -3.000 предлагается расположить музей развития истории института. Также в подземной части находится актовый зал, вместимостью до 500 человек. В том числе есть возможность построить блок общежития на 90 студентов.</p>	<p>В данном варианте предлагается спроектировать подземную парковку, так как отсутствуют места для парковки сотрудников института. Также в подземной части находится актовый зал, вместимостью до 500 человек. Предполагается также спроектировать станцию технического осмотра и обслуживания, которая будет функционировать в том числе ночью на коммерческой основе.</p>

Вывод: исходя из анализа выбора схемы подземного этажа наиболее удачным вариантом для развития политехнического института является первый вариант, так как обладает большим набором помещений, разносторонне сориентированными по востребованности.

Реализация проекта расширение институтского комплекса позволит значительно повысить качество образования в институте, даст возможность расширить перечень специальностей, количество единовременно обучаемых студентов, увеличится кадровый состав. Значительно возрастет

привлекательность города и региона для молодежи и молодых специалистов в области политехнического образования. Расширение учебной территории даст толчок для всестороннего развития института и, в дальнейшем, возведения целого институтского комплекса, перевести его в ранг Регионального технического вуза, готовящего высококачественных специалистов многих отраслей и профессий технической направленности.

### **Список литературы:**

1. Маклакова Т.Г., Нанасова С.М., Шарапенко В.Г. Проектирование жилых и общественных зданий: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Т.Г. Маклаковой. – М.: Высш шк., 1998. – 400 с.: ил.
2. Орловский Б.Я., Сербинович П.П. Архитектура гражданских и промышленных зданий: Общественные здания. Учебник для вузов / Под ред. Ю.С. Яралова. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1978. – 271 с., ил.
3. СНиП 2.08.02-89 «Общественные здания и сооружения».

## **ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

***Нейжмак Наталья Юрьевна***

*студент 2 курса кафедры Строительные производства  
Волгодонского Инженерно-технического института НИЯУ МИФИ,  
РФ, г. Волгодонск*

***Батора Анна Анатольевна***

*студент 2 курса кафедры Строительные производства  
Волгодонского Инженерно-технического института НИЯУ МИФИ,  
РФ, г. Волгодонск*

***Ермолаева Наталия Вячеславовна***

*научный руководитель доц. кафедры «Физика» Волгодонского  
Инженерно-технического института НИЯУ МИФИ,  
РФ, г. Волгодонск*

Инновационные материалы находят применение в современном строительстве и начинают вносить свою долю в формирование архитектуры будущего. Уже получены конструкционные композиционные материалы с уникальными прочностными характеристиками, новые виды арматурных сталей, уникальные нано-пленки для покрытия свето-прозрачных конструкций, самоочищающиеся и износостойкие покрытия, паропроницаемые и гибкие стекла [1].

В настоящей работе были проанализировано применение углеродного волокна в строительной отрасли г. Волгодонска и близлежащих районов.

Углеродное волокно в несколько раз тверже металла и легче любой стали. Его успешно применяют в современных авиационных технологиях и оборонной промышленности. Российские специалисты нашли применение углеродному волокну в сфере ЖКХ.

Если при обычном армировании железобетон вскрывают и окутывают новой опалубкой, что достаточно трудозатратно, то при использовании системы внешнего армирования межэтажные перекрытия закрывают композитным материалом, сплетенным из углеродных волокон [2].

Достоинствами данного материала является [3]:

- универсальность применения (может быть нанесена на поверхности любой конфигурации и сложности, в том числе в угловых соединениях, а также на закругленных поверхностях, применяется при усилении ребристых плит перекрытия, тавровых балок мостовых пролетов с малой шириной ребра, балочных элементов рамных конструкций, ферм и малогабаритных конструкций);

- легкость (система усиления не создает дополнительной нагрузки на конструкцию);

- исключительная стойкость к коррозии;

- возможность нанесения в несколько слоев;

- минимальные трудовые и временные затраты на проведение работ;

- возможность выполнения ремонтных работ без прекращения эксплуатации усиливаемого здания или сооружения.

Углеродное волокно состоит из обработанного при высоких температурах (3–5 тысяч градусов) поли-акрил-нитрита. Для осуществления внешнего армирования углеродную ткань пропитывают связующим веществом (двухкомпонентной эпоксидной смолой) и наклеивают как обои на стены, пол, потолок, колонны, на любую конструкцию, которая требует укрепления.

Следует отметить, что углеродная ткань, вступив в реакцию со связующим веществом, превращается в жесткий пластик и становится прочнее стали в 6–7 раз. Эпоксидная смола обладает хорошей адгезией к железобетону, что и обуславливает целесообразность применения данной технологии. Кроме того, внешнее армирование с применением углеродного волокна производится достаточно быстро. Например, за сутки бригада рабочих укрепляет до 10 квадратных метров поверхности. Сама технология армирования напоминает наклеивание обоев [2].

Конечно же, как и многие инновационные материалы, углеродное волокно достаточно дорогое. К примеру, провести внешнее армирование сегодня стоит около 7000 рублей за квадратный метр. Но учитывая, что армирование

углеродным волокном не требует ни расселения здания, ни наличия строительной техники, в общей сумме затрат такое армирование ничем не уступает традиционному.

Внешнее армирование углеволокном производят:

- при проектировании и строительстве для повышения сейсмостойкости, прочности и надежности возводимых конструкций с увеличением межремонтных сроков при сохранении материалоемкости;
- при реконструкции для усиления несущих конструкций, для восприятия повышенных нагрузок или обеспечения работоспособности по измененной конструктивной схеме;
- при усилении для устранения последствий разрушения бетона и коррозии арматуры в результате длительного воздействия природных факторов и агрессивных сред или механического воздействия.

Сравнительную оценку технической характеристики углеволокна проведем по испытаниям Холдинговой Компании «Композит», которая производит углеволокно. На испытание впервые были взяты конструкции в натуральную величину, были усилены железобетонная балка длиной 12 и 20м таврового поперечного сечения и железобетонная колонна сечением 250×250мм и длиной 2,5м. Результаты испытаний показали повышение несущей способности пролетной балки при усилении углеволокном на 70%. Колонны испытывали на прочность, относительные деформации измерялись с помощью электронных индикаторов с точностью до 0,001мм. Нагружение - поэтапное: через каждые 5-10мин. увеличивается на 10т. Железобетонные образцы, усиленные холстами, обеспечивают несущую способность сжимаемых железобетонных элементов более чем на 60%. Уровень нагружения в момент наступления предельного состояния без усиления составляет 120–130 тонн, с усилением – 190тонн.

*Таблица 1.*

**Сравнение испытаний с применением углеволокна**

<b>Способ применения</b>	<b>Испытания на несущую способность Ж\Б балки</b>	<b>Испытания на прочность при сжатии Ж\Б колонны</b>
Без усиления углеволокном	407кН	1078кН
С усилением углеволокном	625кН	1872кН

Эксперимент доказал, что применение системы внешнего армирования эффективно при конструкциях больших размеров и способно продлить жизнь конструкциям на десятки лет.

Углеволокно также увеличивает несущую способность конструкций из кирпича и дерева.

Поскольку в нашем регионе достаточно большое количество ветхих зданий и сооружений из железобетона, то применение данной технологии имеет большие перспективы.

Кроме применения в сфере ЖКХ по нашему мнению перспективно применять эту технологию для укрепления гидротехнических сооружений. В частности, может быть экономически выгодным применить эту технологию для укрепления железобетонных конструкций Цимлянской гидроэлектростанции.

Например, в случае применения традиционных технологий по укреплению дамбы потребуется спуск воды из водохранилища, следовательно – приостановка судоходства, прекращение подачи воды для полива. Также потребуется применение специальной дорогостоящей строительной техники. Неизбежны потери рыбных запасов. В итоге, все это ведет к большим экономическим потерям. Тогда как при внешнем армировании дамбы углеродным волокном проводить выше перечисленные мероприятия не требуется.

Ремонт и реставрация зданий относятся к высокобюджетным работам. Таким образом, применение нового материала, несмотря на разовые затраты, не только полностью окупается, но с учетом всех преимуществ оказывается более перспективными, рентабельными и экономически целесообразными.

### **Список литературы:**

1. Нанотехнологии в строительстве – [Электронный ресурс] – / URL: [http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr\\_field](http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr_field).
2. Углеродное волокно – [Электронный ресурс] – / URL: [http:// potolochki.com /stroymaterialyi /uglerodnoe-volokno.html](http://potolochki.com/stroymaterialyi/uglerodnoe-volokno.html).
3. Однонаправленная углеродная лента FibARM Tape 530/300 – [Электронный ресурс] – / URL: <http://eleosstroy.ru/materialy-dlya-usileniya-konstrukcij-uglevoloknom>.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД

**Плеханова Вера Александровна**

*магистрант, Инженерно-экологический факультет,  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,  
РФ, г. Новосибирск*

**Сколубович Юрий Леонидович**

*научный руководитель, д-р техн. наук, проф.,  
Инженерно-экологический факультет, Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
РФ, г. Новосибирск*

Промышленность занимает важное место в экономике любой страны, для ее полноценного развития и функционирования. В России добыча полезных ископаемых является стратегически-перспективным направлением, в котором угледобывающая отрасль уступает только добыче сырой нефти и природного газа. В настоящий момент на территории страны работает 70 угольных шахт, с постоянным увеличением общего объема добычи угля.

**Таблица 1.**

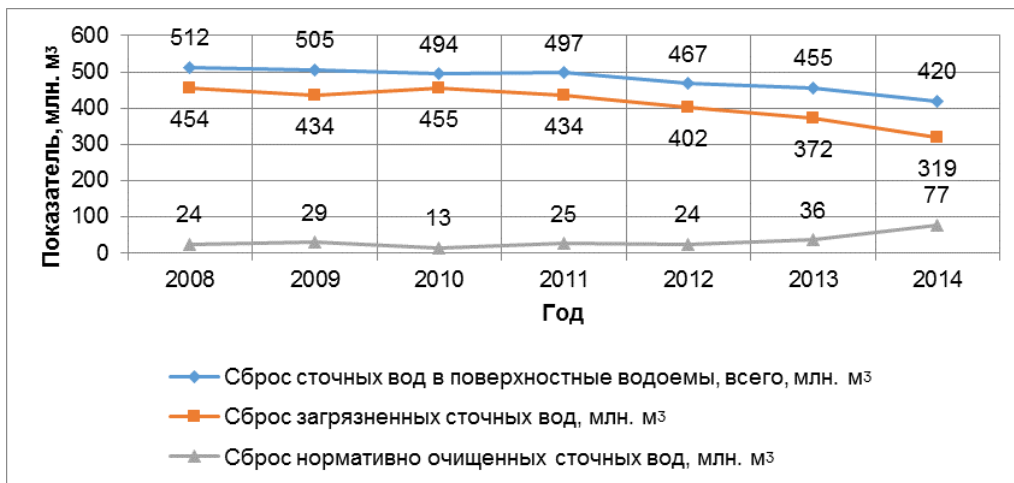
### Добыча угля в России

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Объем, млн. тонн	323,4	336,7	354,6	352,1	359	373,3

Однако предприятия угольного производства оказывают наиболее масштабное негативное экологическое воздействие на загрязнение окружающей среды, в частности водных бассейнов [1].

Подтверждением этого являются данные о сбросе грязной воды угольными предприятиями, представленные на графике (Рис.1). Объем загрязненных сточных вод, выпущенных в водные объекты, равен 318,5 млн. м<sup>3</sup> в 2014 году, это составляет 76% доли общего объема. Без предварительной очистки было сброшено в поверхностные водоемы 112,3 млн. м<sup>3</sup> (27 %) загрязненных сточных вод. Из 283,6 млн. м<sup>3</sup>, что поступили на очистные сооружения, до нормативных требований очищены 77,4 млн. м<sup>3</sup> (30 %) и 206,2 млн. м<sup>3</sup> (70 %) сброшены в поверхностные водоемы с превышением нормативных требований [3].





*Рисунок 1. Диаграмма данных сброса шахтных вод*

Основная причина сложившейся ситуации заключается в низкой эффективности работы имеющихся на предприятиях очистных сооружений. Их проектирование, как правило, производится на основании ограниченного объема исходных данных, без надлежащего учета технологических свойств шахтных вод, зачастую с использованием несовершенных технологий. Также расход очищаемых шахтных вод превышает проектную мощность действующих очистных сооружений. В результате этого 90% очистных сооружений на действующих шахтах не обеспечивают нормативную очистку [2].

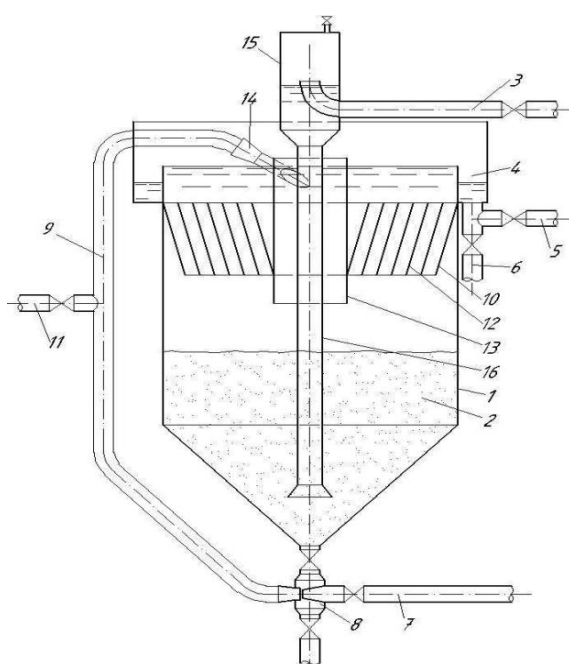
Шахтные воды в основном загрязнены взвешенными веществами, нефтепродуктами, бактериальными примесями. Обогащение этими загрязняющими веществами происходит в процессе движения вод по горным выработкам и выработанному пространству шахты.

Первоочередная задача в технологии очистки шахтных вод стоит в удалении взвешенных веществ.

На сегодняшний день фильтрование фильтровальные установки не рассчитаны на осветление высокомутных вод, каковыми являются шахтные воды, без предварительной очистки [4]. Вследствие этого удельный расход воды на регенерацию загрузки достигает значительной величины и снижает эффективность работы таких установок.

В Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (НГАСУ) разработан новый способ очистки мутных вод

в реакторе-осветлителе (Рис.2). Принцип действия устройства основан на восходящем фильтровании воды снизу-вверх через псевдоожиженную загрузку, что позволяет увеличить скорость фильтрования и грязеемкость загрузки, для повышения коэффициента объёмного использования. В установке предусмотрена эжекционная промывка загрузки чистой водой, которая позволяет добиться эффективной промывки контактной массы, предотвращая тем самым образование крупных конгломератов угольных частиц. После эжекционной промывки производится завершающая промывка чистой водой, при этом расход чистой промывной воды сокращается более чем в 2 раза [1]. Также задерживаемые угольные частицы дополнительно могут служить сорбентом. Но при этом, не требуя никакой регенерации, просто выводясь из реактора в процессе промывки.



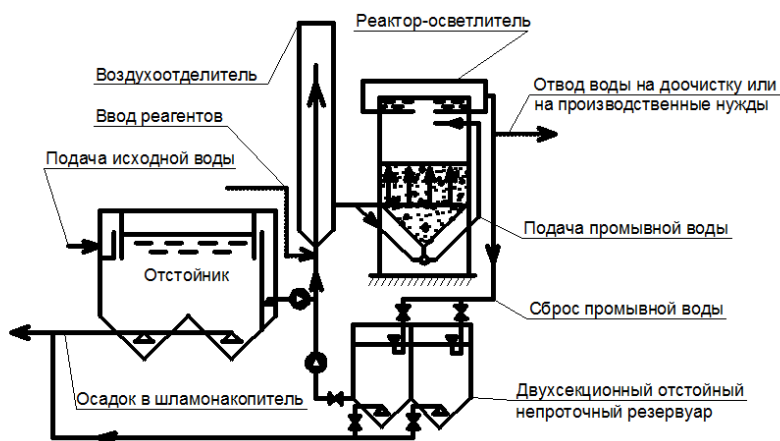
**Рисунок 2. Реактор-осветлитель. 1 – корпус; 2 – контактная загрузка; 3 – трубопровод исходной воды; 4 – сборный желоб; 5 – трубопровод осветленной воды; 6,7 – трубопроводы отведения и подачи промывной воды; 8 – гидроэлеватор; 9 – трубопровод транспортировки пульсы; 10 – коническая диафрагма; 11 – трубопровод выпуска пульсы; 12 – тонкослойный модуль; 13 – полупогружной цилиндр; 14 – воздушный эжектор; 15 – воздухоотделитель; 16 – опускающая распределительная труба**

Для проведения ряда исследований, в лаборатории НГАСУ была собрана экспериментальная модель реактора (Рис. 3), которая была загружена горелыми породами с фракционным составом 0,8–1,25 мм.



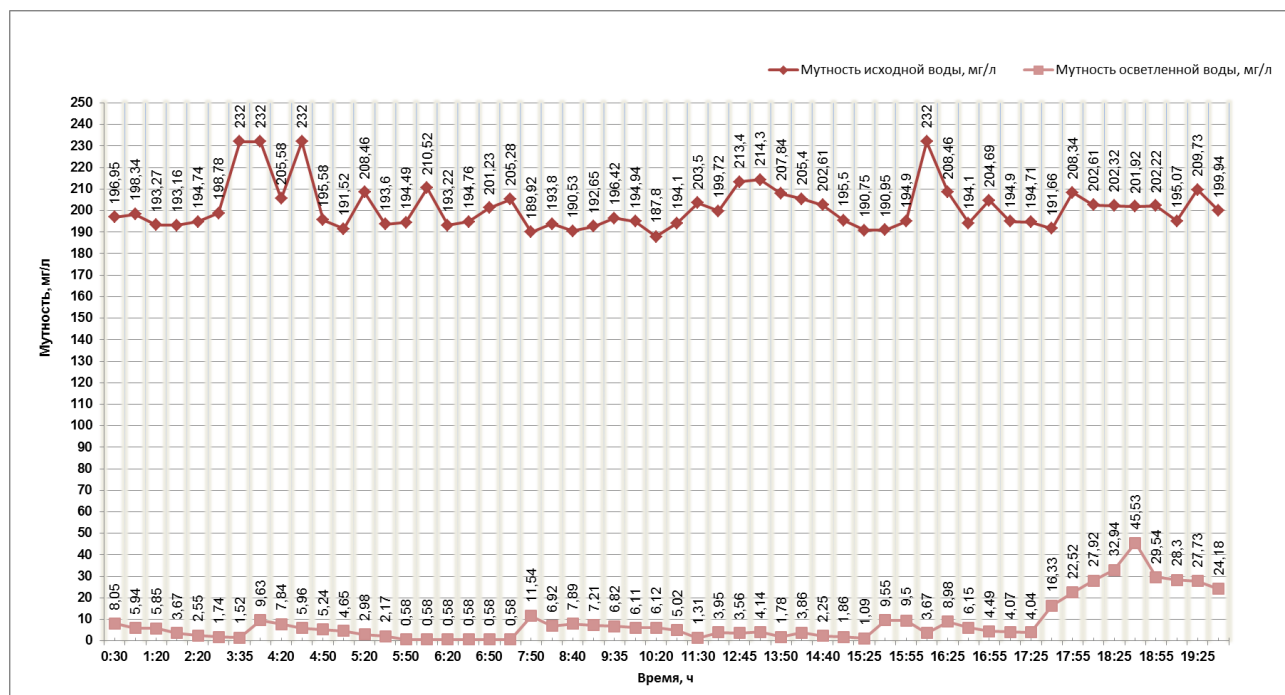
**Рисунок 3. Экспериментальная модель реактора. 1 – реактор-осветлитель, 2 – воздухоотделитель, 3 – измерительное оборудование, 4 – бак с чистой промывной воды**

Считается что, шахтная вода предварительно отстаивается в горизонтальном отстойнике и уже далее со значительным снижением взвешенных веществ, проходя воздухоотделитель для предотвращения попадания пузырьков воздуха, поступает в реактор (Рис.4).



**Рисунок 4. Схема реактора – осветлителя в технологии очистки шахтных вод**

При проведении эксперимента концентрация взвешенных веществ в исходной воде была установлена 200 мг/л, путем замутнения чистой воды порошкообразным углем. Скорость восходящего потока очищаемой жидкости составляла 8,6 м/ч. На выходе из установки в течение 16 часов наблюдалась высокая очистка воды до 3-10 мг/л (Рис.5), после появления проскоков со значениями до 30 мг/л фильтроцикл был остановлен.



**Рисунок 5. Результаты лабораторных исследований**

Предлагаемая установка реактора в технологической схеме очистки шахтных вод показала высокую степень осветления воды, образующейся на угольных предприятиях. В данный момент ведутся производственные испытания модели реактора на шахте «Южная» Кемеровской области, для получения натуральных результатов подтверждающих эффективность работы осветлителя.

Реализация результатов исследования должна позволить получить дополнительный источник чистой воды для восполнения хозяйственных и производственных потребностей шахтерских городков и поселков.

## **Список литературы:**

1. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л. Патент 23070754, РФ, МКИ С02F 1/52. Устройство для очистки воды 2007 г.
2. Гусев Н.Н., Каплунов Ю.В., Подсевалов А.Н.. Очистка шахтных вод до питьевого качества на ликвидированных шахтах. УДК 622.51:628.33/.35. - 309 с.
3. Гусев Н.Н. Эколого-экономическая оценка вовлечения шахтных вод в хозяйственный оборот. УДК 338.45:622.3. – 247 с.
4. Харионовский А.А., Васева В.Н., Симанова Е.И.. Охрана окружающей среды в угольной промышленности России. УДК 622.85:622.33/.470. - 79 с.
5. Чучелок А.С. Анализ существующих и поиск перспективных материалов для очистки шахтных вод. Материалы ежегодной научно-практической конференции «Дни науки» 2005 г.

## СЕКЦИЯ 2. БИОТЕХНОЛОГИИ

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

*Козьмина Екатерина Дмитриевна*  
*студент ДВФУ (Инженерная школа); кафедра нефтегазового дела*  
*и нефтехимии,*  
*РФ, г. Владивосток*

*Липатова Анжела Владиславовна*  
*студент ДВФУ (Инженерная школа); кафедра нефтегазового дела*  
*и нефтехимии,*  
*РФ, г. Владивосток*

*Яблокова Виктория Сергеевна*  
*научный руководитель, доц. кафедры электроэнергетики и электротехники,*  
*РФ, г. Владивосток*

На наш взгляд данная статья является актуальной. В ней рассматриваются преимущества использования газа в качестве топлива. Основная часть загрязнений атмосферы происходит из-за выхлопов транспортных средств. Перевод транспорта на экологически чистое моторное топливо такое как, природный газ, это позволит сократить выбросы, которые негативно влияют на состояние окружающей среды, а именно высокотоксичные углеводороды и окиси азота.

Природный газ – это смесь углеводородов, основу которой составляет метан. Помимо метана, содержание которого может достигать 98%, в составе природного газа присутствуют другие углеводороды такие, как этан, пропан и бутан.

Природный газ как моторное топливо используется двух видах: компримированном (КПГ) и сжиженном (СПГ). КПГ и СПГ среди всех доступных российскому потребителю видов моторного топлива являются самыми безвредными с экологической точки зрения – от них гораздо меньше выбросов, чем от бензина и дизельного топлива. Так же, использование

природного газа в качестве моторного топлива позволяет снизить зависимость от истощающихся запасов нефти.

Как говорилось ранее, существует две основные разновидности газа как топлива - компримированный природный газ, поступающий на специальные заправки по газопроводам, и сжиженный углеводородный газ. Первый является метаном, а второй - смесью пропана и бутана, продуктом переработки попутного нефтяного газа. Говоря конкретнее, пропан-бутан легко сжижается при обычной температуре при давлении до 15 атмосфер; это и есть его главное качество. По отношению к метану этого сказать нельзя: сжижать его можно только при низких температурах, порядка около 113,15 градусов по Кельвину. Разумеется, высокие технологии сжижения и «разжижения» требуют больших. Нельзя не сказать, что безопасность является одним из критериев важности на метановых установках. Поэтому пропановое оборудование чаще всего ставят на легковые автомобили.

При сжигании одного кубического метра жидкого нефтяного моторного топлива в воздух вместе с отработавшими газами выбрасывается до трехсот килограммов оксида углерода, полсотни углеводов и приблизительно такое же количество окислов азота. При использовании природного газа вместо нефтяного топлива выплеск токсичных веществ в атмосферу снижается в более чем два раза по оксиду углерода, окислам азота, углеводородам и по задымленности чуть менее 10 раз. Также существенным показателем использования природного газа является отсутствие образования сажи, которое присуще дизельным двигателям. Выброс парниковых газов в атмосферу сокращается более чем на 25% при газомоторном топливе, а вредность, влияющая на здоровье человека при работе метановых двигателей уменьшается более чем в половину раза, чего нельзя заметить при работе двигателей, работающих на нефтяном топливе.

Мы считаем, что будущее стоит именно за метаном, так как он чище, безопаснее, экономичнее и технологичнее, чем другие виды моторного топлива. Пропан-бутан тоже неплох, но он, как и нефть, является слишком ценным

сырьем для того, чтобы использовать его как автомобильное топливо, хотя, конечно, намного удобнее, и пока парк, использующий его, больше, но мировой парк автомобилей, использующих метан в качестве моторного топлива, стремительно увеличивается.

Увеличение безопасности – важнейший критерий для компаний, использующих машины на метане, так как по физическим и химическим параметрам он опережает более опасный пропан. При эксплуатации мотора «на газе» смывание масляной пленки со стенок блока цилиндров отсутствует, кроме этого, на головке блока цилиндров не скапливаются отложения углерода; из-за закоксовывания поршневых колец происходит изнашивание элементов двигателя внутреннего сгорания, а на газовом топливе этого нет.

Предлагаем выделить основные положительные и отрицательные аспекты в использовании газа как моторного топлива:

Положительные: уменьшение затрат на моторное топливо; уменьшение вредных выбросов в атмосферу; повышение уровня безопасности; продление времени эксплуатации транспортного средства; снижение теплотворной способности газозвушной смеси.

Отрицательные: возможно возникновение неровностей в работе двигателя; усложнение пуска холодного двигателя в мороз; ухудшение динамических характеристик автомобиля; увеличение массы машины, а следовательно снижение ее грузоподъемности; увеличение трудоемкости технического обслуживания и ремонта двигателя.

На наш взгляд, не менее важными причинами того, что «метановое» направление в России до сих пор не получило должного развития, являются недостаточный технический уровень, малая экономическая эффективность предлагаемых решений и низкая конкурентоспособность газовых автомобилей по сравнению с автомобилями, работающими на жидких нефтяных топливах.

В некоторых регионах России разница в цене бензина и сжиженного нефтяного газа иногда не очень существенная, то природный газ всегда как минимум в два, а то и в три раза дешевле бензина и значительно дешевле



дизельного топлива. Для получения ощутимого экономического эффекта в первую очередь необходимо планировать перевод на газ пассажирских автобусов и грузового транспорта с большим расходом топлива (от 25 л/100 км) и годовым пробегом более 30 тысяч км.

Подводя итоги, можно сказать, что рынок автомобилей, работающих на газомоторном топливе, стремительно развивается. Число транспортных средств, которые используют метан как моторное топливо, превысило 13 миллионов. В России использование природного газа и сжиженного нефтяного газа в качестве моторного топлива является одним из приоритетных направлений развития нефтегазового комплекса.

## СЕКЦИЯ 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### ТЕХНОЛОГИИ TEXT MINING И WEB MINING

*Гершевич Екатерина Константиновна*  
*студент Сибирского государственного аэрокосмического университета*  
*им. ак. М.Ф. Решетнева,*  
*РФ, г. Красноярск*

*Кукарцев Владислав Викторович*  
*научный руководитель, канд. техн. наук, доц., инженерно-экономический*  
*факультет, Сибирский государственный аэрокосмический университет*  
*им. ак. М.Ф. Решетнева,*  
*РФ, г. Красноярск*

На сегодняшний день все большую популярность приобретает термин “Big Data”, объединяющий в большинстве случаев информацию, которая находится как в структурированном, так и неструктурированном виде. И если структурированные данные поддаются автоматической обработке, то данные, которые относятся к неструктурированному виду, лишены такой возможности [1, с. 211].

В большинстве случаев, около 80% корпоративной, управляющей и регулирующей информации хранится в неструктурированном виде. Данное обстоятельство в значительной мере затрудняет поиск необходимых сведений, что и обуславливает спрос на различные специализированные программные решения для обработки такого рода данных.

В настоящее время существует множество программных продуктов, целью которых является автоматизация информационно-аналитической деятельности. Все они различаются между собой по количеству и качеству выполняемых функций, производительности и другим показателям эффективности. Принимая за основу функциональные возможности данных программных решений, их можно разделить на следующие классы [2, с. 83]:

- Информационно-поисковые системы;
- Системы анализа текстовой информации;

- Лингвистические процессоры;
- Системы визуализации структурированной информации;
- Системы анализа структурированной информации.

Несмотря на все разнообразие проектных решений, наибольшая эффективность в обработке неструктурированных данных достигается за счет интегрированного применения аналитических систем различных классов и технологий Text Mining и Web Mining.

Суть технологии Text Mining лежит на пересечении таких областей, как поиск информации, Data Mining, машинное самообучение, статистика и компьютерная лингвистика. Данная технология глубинного анализа текстов дает возможность обрабатывать большие объемы неструктурированной информации и извлекать знания и высококачественную информацию из текстовых массивов. Данное обстоятельство в значительной степени сокращает время- и трудозатраты человека на поиск необходимых данных [4].

Результаты, полученные благодаря использованию технологии Text Mining, могут быть использованы для математического прогнозирования, анализа уровня напряженности социальной обстановки и анализа рынков. Широкие функциональные возможности данной технологии открывают целый спектр отраслей, в которых она может быть применена, начиная от корпоративной бизнес-аналитики и мониторинга социальных медиа до национальной безопасности и разведки [3, с. 3-4].

Основными стадиями и задачами технологии Text Mining являются:

1. Поиск информации и определение исходных данных.

Этот этап является подготовительным, суть которого сводится к сбору текстовых материалов для анализа. Такие материалы могут содержаться в базах данных, файловых системах и различных Web-ресурсах.

2. Использование четко формализованных статистических и лингвистических методов анализа.

3. Выявление смыслов.

На данном этапе выявляются именованные сущности (наименования организаций, мест, имена людей и т.д.) с помощью различных техник

статистического анализа. Использование контекста позволяет определить обозначение того или иного слова в конкретном вхождении.

4. Выявление шаблонов.

5. Выявление перекрестных ссылок.

6. Выявление взаимосвязей, фактов и событий.

7. Смысловой анализ.

Данный этап предназначен для выявления различных форм оценочной информации, таких как мнения, настроения и эмоции.

8. Количественный анализ.

Этот этап является заключительным и предназначен для извлечения семантических или грамматических связей между отдельными словами для понимания смысла стилистических шаблонов, проведения психологического профилирования и т.д. Это достигается за счет использования комплекса техник, заимствованных из социальных наук.

Современный Интернет изобилует различного рода знаниями и информацией, что осложняет процесс поиска необходимых данных. Именно поэтому возникает такая острая необходимость в использовании специализированных программных решений для извлечения полезных знаний и высококачественной информации из сети Интернет. Технология Web Mining может успешно служить данным целям и окончательно решить эту проблему [6].

Как уже было сказано, технология Web Mining предназначена для поиска и извлечения знаний и зависимостей в материалах, размещенных на различных ресурсах web-среды [5].

Данная технология базируется на извлечении знаний из баз данных, эффективном поиске информации, искусственном интеллекте, машинном обучении и обработке естественных языков.

В зависимости от выполняемых задач, можно выделить следующие разновидности технологии Web Mining:

- Анализ использования web-ресурсов (получение данных для определения предпочтений пользователей различных ресурсов);

- Извлечение web-структур (анализ взаимосвязей между web-страницами);

- Извлечение web-контента (анализ содержания документов, хранящихся в электронном виде).

В общем и целом, технология Web Mining предназначена для поиска необходимой информации и выявления знаний из web-ресурсов, невзирая на несовершенства поисковых систем, а также для анализа структур сегментов сети.

Обобщая все вышесказанное, хочется признать факт того, что на сегодняшний день действительно существует проблема с процессом обработки неструктурированных данных и многие компании уже столкнулись с ней на личном примере. Несмотря на это, информационные технологии развиваются и появляются все более современные программные решения, которые позволят решить данную проблему раз и навсегда.

### **Список литературы:**

1. Баргесян А.А., Куприянов М.С, Холод И.И., Тесс М.Д. Анализ данных и процессов: учеб.пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. СПб: БХВ – Петербург, 2009. 589 с.
2. Краюшкин Д.В. Методы и средства аналитической обработки информации. Обзор // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. - №1. – С.83.
3. Кутукова Е.С. Технология Text Mining // - М: Государственный университет управления. - 2012.- С.1-9.
4. Text Mining в системе управления знаниями. – [Электронный ресурс]. – Smart Education – Режим доступа: <http://www.smart-edu.com/text-mining-v-sisteme-upravleniya-znaniyami.html> (Дата обращения – 19.12.2015).
5. Web Mining в системе управления знаниями. – [Электронный ресурс]. – Smart Education – Режим доступа: <http://www.smart-edu.com/web-mining-v-sisteme-upravleniya-znaniyami.html>. (Дата обращения – 19.12.2015).
6. Web Mining: интеллектуальный анализ данных в сети Internet. – [Электронный ресурс]. – Управление знаниями – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/tehnologii-upravleniaznaniami/text-mining-web-mining/web-mining>. (Дата обращения – 20.12.2015).

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА**

***Куделькин Михаил Владимирович***

*магистрант 2 курса группы 14ФИИТ(м)ИС Оренбургского государственного  
университета, кафедра геометрии и компьютерных наук,  
РФ, г. Оренбург*

***Дженжер Вадим Олегович***

*научный руководитель, доц. кафедры геометрии и компьютерных наук  
Оренбургского государственного университета,  
РФ, г. Оренбург*

В настоящее время для решения задач по захвату объектов широко применяются механические руки — манипуляторы. Они удобны там, где использование человека экономически неоправданно или опасно. Кроме промышленной сферы манипуляторы можно увидеть на роботах-спасателях, на батискафах, на космических и воздушных летательных аппаратах.

С распространением автономных роботов возникает необходимость в применении интеллектуальных методов управления манипулятором. Нужно не только уметь захватывать объект, но и производить предварительную оценку самой возможности такого захвата. Для решения подобных задач реализуются отдельные программно-аппаратные комплексы, использующие такое оборудование, как видеокамеры, поворотные механизмы и различные датчики. Данные с камер и датчиков обрабатываются алгоритмами машинного зрения. При помощи таких алгоритмов требуется оценить окружающее пространство: определить принадлежность видимых объектов к определённым классам, найти их физические и геометрические свойства. В итоге необходимо получить от системы конечные данные о точном позиционировании манипулятора для корректного захвата объекта.

В реализациях подобных комплексов управления манипуляторами существует ещё множество проблем. Для каждого конкретного случая необходимо учитывать разнообразие аппаратов с манипуляторами и разнообразие выполняемых ими задач. Сильное влияние на работу

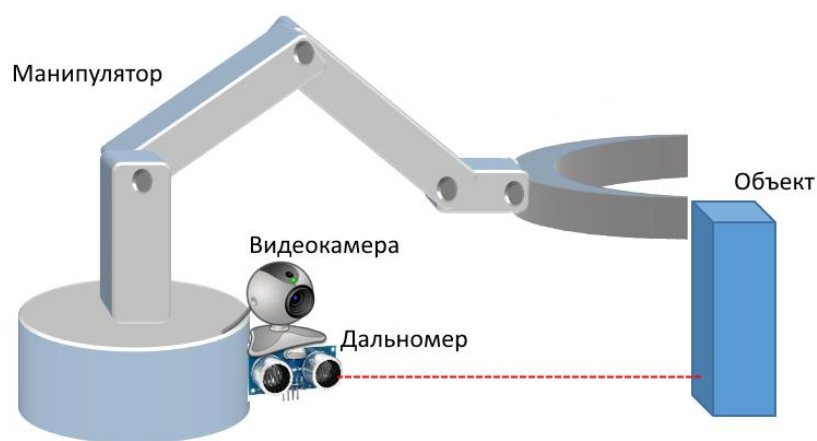
механической руки оказывает сложность окружающего пространства. Возникают проблемы выбора методов машинного зрения, с позиции их эффективности и оптимального выбора оборудования.

В настоящей работе мы поставили задачу реализовать программно-аппаратный комплекс, который должен в реальном времени находить предмет и определять его точные размеры.

Назначение манипулятора — захват каких-либо объектов, расположенных перед ним. Поэтому во многих случаях необходимо обязательно учитывать расстояние до захватываемого объекта, его форму, размеры и даже материал из которого он сделан. Анализ окружающего пространства осуществляется при помощи компьютерного зрения. Алгоритм анализирует видеокadres, поступающие в реальном времени с одной или нескольких видеокамер.

Если в исследуемом пространстве появляется более одного объекта, то возникают дополнительные трудности, поскольку объекты могут перекрывать друг друга, что критично для анализа двумерной сцены [3].

Перед разработкой программно-аппаратного комплекса, необходимо определить технические условия для системы с манипулятором. Предположим, что манипулятор расположен на передвигающейся роботизированной платформе, а значит окружающая среда будет постоянно меняться. Сам манипулятор устроен таким образом, что способен хватать объект перед собой в диапазоне расстояний от 40 см до 70 см. Захват имеет форму клешни и способен захватить предмет шириной не более семи сантиметров. Плоскость захвата клешни всегда расположена параллельно плоскости пола, при этом высота хватаемого объекта не должна быть ниже шести сантиметров. Чтобы избежать ошибок при распознавании, ограничимся одним объектом в кадре. Аппаратная платформа должна быть максимально компактной и должна располагаться на одной вертикальной оси с манипулятором, но ниже него (рис. 1). Манипулятор в этом случае не должен визуальнo попадать в видеокadres в момент работы алгоритма. Захватываемый объект должен иметь форму цилиндра или параллелепипеда.



***Рисунок 1. Схема аппаратной платформы и манипулятора***

Чтобы обнаружить объект и исследовать его в реальном времени, необходимо обрабатывать потоковые кадры с видеокамеры. В работе используется одна видеокамера, что позволяет провести качественный анализ изображения. Для исследовательских целей не обязательно выбирать дорогостоящее оборудование. Можно обойтись обычной веб-камерой среднего качества. Для проекта была выбрана камера Logitech C310 с разрешением матрицы 5МП и максимальным размером кадров 1280 x 720 пикселей. Тип фокусировки у этой веб-камеры фиксированный. Это означает, что рядом с линзой фокус может быть размытым. Для данной камеры фокус будет размытым на расстоянии, меньшем 40 см от линзы. Об этом следует помнить, поскольку при работе алгоритмов машинного зрения будет увеличиваться погрешность анализа объекта, если последний будет расположен очень близко к линзе камеры. При использовании камеры с автофокусом подобной проблемы быть не должно. Также следует учитывать, что объект, не уместающийся полностью в размеры кадра, не может быть корректно проанализирован алгоритмами.

В качестве метода обнаружения объекта был выбран эффективный алгоритм поиска области по заданному цвету. Метод устойчив к переменной сцене, быстро реагирует на изменения окружающей среды и находит объект [5]. Алгоритм использует цветовую модель HSV, которая считается наиболее удобной для поиска объектов по цвету. Цветное изображение разбивается



на три канала  $H$ ,  $S$  и  $V$ . К каждому каналному изображению применяется пороговое преобразование с учётом интересующего цвета. Получившиеся изображения объединяются логической операцией  $\mathbf{И}$ . На выходе получается чёрно-белое изображение, где белым цветом будет найденный объект. Поскольку объект в кадре всегда только один, найденный предмет будет представлять собой белый прямоугольник в чёрном фоне кадра [2].

Следует учитывать, что цвет объекта сильно зависит от его освещения. В результате, если освещение меняется, то объект можно вообще не обнаружить. Если объект освещён неравномерно, то и распознаваться будет только часть объекта. Подобная проблема решается искусственным освещением сцены ярким рассеянным светом. Ясно, что нужно заранее знать цвет исследуемого объекта.

Перед следующими действиями объект обязательно следует отцентрировать в кадре. Иными словами, нужно повернуть камеру соответствующим образом. В данном случае, достаточно вращать камеру вокруг вертикальной оси. Процесс центрирования описывается следующим образом:

1. находятся координаты центра белой области (распознанного объекта), которые сравниваются с центром кадра относительно координаты  $X$ ;
2. камера поворачивается в нужном направлении, пока координаты центров не совпадут.

Обязательно требуется знать точное расстояние до объекта, чтобы, во-первых, понять, возможно ли будет до него дотянуться манипулятором, а во-вторых, вычислить реальные размеры объекта – его высоту и ширину [4]. Найти расстояние проще всего при помощи датчика расстояний. Камера и датчик должны быть закреплены соосно и ориентированы в одном направлении. При повороте камеры объект оказывается в центре кадра и дальномер может получить точное расстояние до него.

На следующем шаге находятся реальные размеры детали по формулам (1) и (2).

$$h = \frac{d \cdot H}{f} - H \quad (1)$$

$$w = \frac{d \cdot W}{f} - W \quad (2)$$

Здесь  $h$  и  $w$  – истинный размер объекта (высота и ширина),  $f$  – фокусное расстояние камеры,  $d$  – расстояние от линзы до объекта,  $H$  и  $W$  – размер объекта на матрице камеры в миллиметрах (высота и ширина). Размер объекта на матрице камеры можно узнать, зная размер матрицы в миллиметрах и составив пропорции (3) и (4):

$$H = \frac{H_m \cdot h_p}{Y} \quad (3)$$

$$W = \frac{W_m \cdot w_p}{X} \quad (4)$$

Здесь  $H_m$  и  $W_m$  – размеры самой матрицы,  $h_p$  и  $w_p$  – размеры детали в пикселях на изображении, а  $Y$  и  $X$  – высота и ширина самого изображения в пикселях. Особый интерес представляют величины  $h_p$  и  $w_p$ , которые являются высотой и шириной найденной белой прямоугольной области (размер предмета). В работе они находились путём суммирования ряда пикселей, проходящего через координаты центра этой области.

Информацию о фокусном расстоянии камеры удалось выяснить в технической поддержке на сайте Logitech. Информацию о точных размерах матрицы получилось выяснить опытным путём, выразив их из формул и зная точно все остальные величины заранее.

Таким образом размеры исследуемого объекта можно установить с погрешностью в несколько миллиметров.

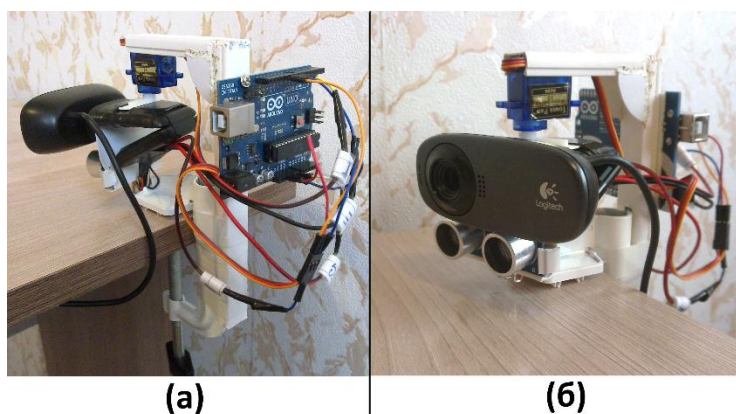
Для управления всей электроникой аппаратной платформы в работе использовался микроконтроллер на плате Arduino UNO.

Для обеспечения движения веб-камеры применялся сервопривод. Учитывая небольшой вес веб-камеры, для её поворота подойдёт маломощный сервопривод. Нами был выбран качественный и недорогой экземпляр “Micro Servo SG90”. Он способен поворачиваться на заданный угол в диапазоне от 0 до 180 градусов, чего в данном случае более чем достаточно. Кроме того,

сервопривод предоставляет информацию о текущем угле поворота, что также необходимо при позиционировании манипулятора.

Измерения точного расстояния до предмета проводились ультразвуковым дальномером HC-SR04. В отличие от любого инфракрасного дальномера, на показания данного сенсора не влияют сильный сторонний свет и цвет объекта. Измеряемый диапазон расстояний соответствует поставленным требованиям. Погрешность измерения этого дальномера составляет всего пару миллиметров, что в проекте не является критичным. Для серьезных задач такой сенсор можно заменить на лазерный дальномер, который является высокоточным, но более дорогостоящим.

Внешний вид аппаратной платформы показан на рис. 2.

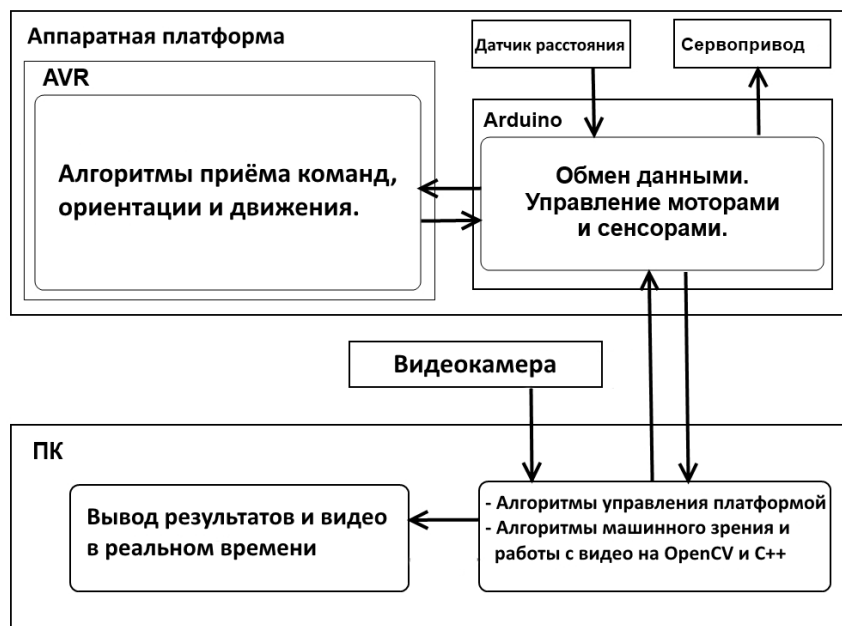


**Рисунок 2. Аппаратная платформа: (а) вид сзади; (б) вид спереди**

В качестве среды разработки была выбрана Visual Studio 2013. Основной язык программирования — C++. Для работы с видео и изображениями использовалась библиотека OpenCV [2]. Вывод информации об объекте осуществляется рядом с его изображением в реальном времени.

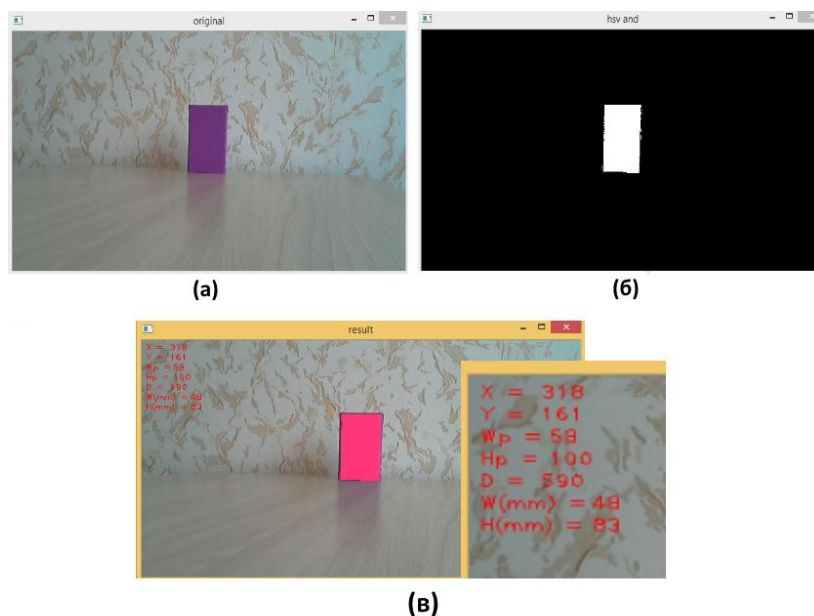
Алгоритмы управления датчиками и сервомоторами работают на микроконтроллере и написаны на C-подобном языке контроллеров Arduino. Для программирования микроконтроллера использовалась бесплатная среда Arduino IDE [1].

Получившийся программно-аппаратный комплекс представлен графически на рис. 3.



**Рисунок 3. Архитектура программно-аппаратного комплекса**

На качество определения размера объекта могут повлиять такие параметры, как размер кадра и предмета, освещение, расстояние до предмета и использованные фильтры изображения (рис. 4).



**Рисунок 4. Результаты работы алгоритма: (а) основной кадр, (б) найденный объект после объединения цветовых уровней HSV, (в) вывод данных об объекте**

## **Влияние разрешения видеосъёмки на работу алгоритма**

Мы рассмотрели пять различных пропорциональных размеров кадров. Оказалось, что разрешение кадра действительно может влиять на точность определения размеров. В таб. 1 приведены результаты исследований. При достаточно малом разрешении алгоритм начинает сильно ошибаться. Из таблицы видно, что отличные результаты начинаются при разрешении 320 x 180 пикселей и более. Плохие результаты можно объяснить тем, что при малом разрешении размер объекта в пикселях будет тоже небольшим. В итоге составляется недостаточно точная пропорция и вырастает ошибка.

*Таблица 1.*

### **Результат работы алгоритма при разных размерах кадра**

<b>Размер кадра (в пикселях)</b>	<b>Расстояние до предмета в мм</b>	<b>Реальные размеры предмета в мм</b>	<b>Найденные размеры предмета в мм</b>
1280 x 720	600	60 x 120	60 x 122
640 x 360			61 x 122
320 x 180			60 x 122
160 x 90			67 x 135
128 x 72			93 x 178

## **Изменение расстояния до объекта**

Не следует также забывать, что на результат влияет ещё и расстояние до предмета. Чем дальше предмет от объектива камеры, тем больше будет ошибаться алгоритм. Причина та же, объект при большом удалении, представляется малым числом пикселей, что влияет на точность определения размеров. В таб. 2 видно, что при разрешении 640 x 360 пикселей на расстоянии 900 и более миллиметров точность найденных размеров уменьшается. В итоге, если требуется определять размеры предметов на расстояниях больших 900 мм, разрешение камеры тоже требуется увеличить. Поскольку выбранная веб-камера фокусирует изображение на расстоянии от 40 см и более, всё что на изображении находится ближе, будет размытым. По результатам из таб. 2 заметно, что на расстояниях меньших 400 мм алгоритм начинает ошибаться. Следует отметить, что в 100 мм от камеры объект по высоте вышел за пределы кадра.

**Таблица 2.****Результат работы алгоритма при изменении расстояния до предмета**

Размер кадра (в пикселях)	Расстояние до предмета в мм	Реальные размеры предмета в мм	Найденные размеры предмета в мм
640 x 360	1000	50 x 80	49 x 88
	900		49 x 86
	800		49 x 81
	700		50 x 81
	600		50 x 81
	500		50 x 82
	400		50 x 83
	300		51 x 85
	200		54 x 91
	100		—

**Анализ предметов с разными размерами**

В таб. 3 приведены результаты исследований при распознавании предметов разных размеров. Расстояние до предмета с номером 6 было определено ультразвуковым дальномером с ошибкой. Причиной стала малая ширина этого предмета. В итоге, чем больше ошибка при определении расстояния, тем больше будет ошибка при определении размеров предмета.

**Таблица 3.****Результаты исследований при распознавании предметов разных размеров**

Предмет №	Реальные размеры предмета в мм	Размер кадра (в пикселях)	Реальное расстояние до предмета в мм	Найденное расстояние до предмета в мм	Найденные размеры предмета в мм
1	80 x 120	640 x 360	600	600 ± 2	80 x 122
2	60 x 120			600 ± 2	58 x 120
3	60 x 100			600 ± 2	59 x 103
4	50 x 80			600 ± 2	50 x 83
5	35 x 50			600 ± 2	35 x 51
6	16 x 80			615 ± 2	15 x 83

**Изменение освещения сцены**

Цветовые оттенки объекта могут отличаться из-за изменения освещения сцены. Это может повлиять на результат работы алгоритма. Чтобы снизить ошибку при определении размеров, нужно изначально настраивать цветовые уровни HSV с учётом разницы в освещении.

Были проведены эксперименты, в которых алгоритм определял размеры предмета с учётом изменений его освещения. При этом цветовые уровни HSV были предварительно откалиброваны. Измерялись размеры неосвещённого предмета, после чего объект освещался ярким рассеянным светом от лампы. Результаты работы алгоритма приведены в таб. 4. Видно, что в обоих случаях алгоритм практически не ошибался, если не учитывать больших и малых расстояний.

**Таблица 4.**

**Влияние освещения на результаты работы алгоритма**

Размер кадра (в пикселях)	Реальное расстояние до предмета в мм	Реальные размеры предмета в мм	Найденные размеры предмета в мм при включенной лампе	Найденные размеры предмета в мм при выключенной лампе
640 x 360	1000	50 x 83	45 x 82	45 x 82
	900		48 x 82	47 x 82
	800		47 x 79	47 x 79
	700		49 x 83	48 x 83
	600		50 x 85	48 x 84
	500		49 x 84	49 x 84
	400		50 x 84	50 x 85
	300		52 x 90	52 x 89
	200		54 x 92	54 x 92
	100		—	—

### Использование фильтров

Предварительное выравнивание яркости кадров может снизить ошибку при распознавании размеров предмета. В OpenCV для этого есть функция `equalizeHist()`. Применение функции никак не повлияло на результат. Одним из возможных объяснений может быть автоматическая корректировка изображения используемой веб-камерой. В нашем случае камера на аппаратном уровне выравнивает яркость кадров, поэтому дополнительные фильтры не снижают ошибку. При использовании более дешёвой камеры, которая не имеет этой функции, применение `equalizeHist()`, скорее всего, улучшит результат. То же самое можно сказать и о применении фильтра чёткости для кадров.

## **Заключение**

В настоящей работе рассмотрен автоматический комплекс для захвата объекта. Система оснащена манипулятором, приводами, видеокамерой и датчиком расстояния. Решена задача об определении геометрических размеров объекта, расстояния до него и позиционировании манипулятора.

Проведённые исследования показали, что алгоритм определения размеров мало требователен к разрешению веб-камеры и устойчив к изменениям освещённости сцены.

## **Список литературы:**

1. Arduino and C++ (for Windows). – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://playground.arduino.cc/Interfacing/CPPWindows#VisualStudio2008> (Дата обращения 18.03.2016).
2. OpenCV шаг за шагом. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://robocraft.ru/page/opencv/> (Дата обращения 20.03.2016).
3. Romea A.C., Berenson D., Srinivasa S., Ferguson D.I. Object Recognition and Full Pose Registration from a Single Image for Robotic Manipulation / A.C. Romea // “Carnegie Mellon University, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)”. – 2009. № 5. – P. 48–55.
4. Гейдаров П.Ш. Алгоритм определения расположения и размеров объектов на основе анализа изображений объектов / П.Ш. Гейдаров // Институт кибернетики НАН Азербайджана, «Компьютерная оптика». – 2011. – Т. 35, №2. – С. 275–280.
5. Пару слов о распознавании образов. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://habrahabr.ru/post/208090/> (Дата обращения 15.03.2016).



# ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ АНОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИНЕРТНЫХ АНОДАХ В КРИОЛИТ-ГЛИНОЗЕМНЫХ РАСПЛАВАХ

*Трубникова Полина Сергеевна*

*студент кафедры Интеллектуальных информационных технологий,  
Уральский федеральный университет,  
РФ, г. Екатеринбург*

*Лимановская Оксана Викторовна*

*научный руководитель, канд. хим. наук, доц. кафедры Интеллектуальных информационных технологий, Уральский федеральный университет,  
РФ, г. Екатеринбург*

## Введение

В современном мире в производстве алюминия в основном используется технология, основанная на электролизе криолит-глиноземного расплава при температуре  $960^{\circ}\text{C}$  с помощью углеродных анодов. Такая технология является материало-, энергоемкой и экологически опасной [5-8]. Для решения этих проблем существует два пути: снижение температуры процесса и использование инертных анодов, таких, как кислородвыделяющие аноды.

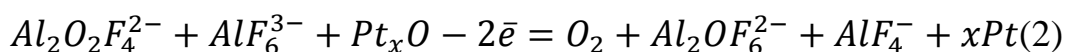
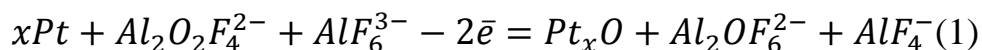
В настоящее время широко исследуется возможность внедрения новой технологии, основанной на электролизе расплава  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  в температурном диапазоне  $750\text{--}850^{\circ}\text{C}$  на кислородвыделяющих анодах [9]. По этой причине изучение электрохимических свойств кислородвыделяющих анодов в данном расплаве в указанном температурном интервале является важной частью развития новой технологии производства алюминия.

В ряде работ [2] была исследована кинетика анодных процессов на угольных анодах в расплаве  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  в температурном диапазоне  $750\text{--}850^{\circ}\text{C}$ . Результаты этого исследования показали, что анодный процесс состоит из двух стадий: на первой стадии идет поверхностное взаимодействие угольного анода с кислородной частицей в расплаве с последующим выделением угарного газа на второй стадии. Далее эти исследования были продолжены для других анодных материалов, а именно кислородвыделяющих анодов [1,3,4].

Таким образом, целью данной работы является моделирование кинетики анодных процессов на кислородвыделяющих анодах в криолит-глиноземных расплавах на примере механизма анодного процесса на платиновом аноде в расплаве  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  при температуре  $750\text{--}850^\circ\text{C}$ .

### Теоретические основы модели

Предполагается [3], что механизм анодного процесса на платиновом аноде в расплаве  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  состоит из двух основных этапов: образование промежуточного оксидного соединения на поверхности платины (1) и дальнейший распад этого соединения по электрохимическому механизму (2) (с переносом электрона), либо химическому (3) (без переноса электрона).



Равновесие электроактивных частиц ( $\text{Al}_2\text{O}_2\text{F}_4^{2-}$  и  $\text{Al}_2\text{OF}_6^{2-}$ ) задается следующим уравнением [1]:



Плотность парциального тока для данных процессов может быть записана следующим образом:

$$i_1 = i_{01} * \left\{ \frac{x}{x_0} * \frac{1-\theta}{1-\theta_0} * e^{\frac{2\alpha NuF}{RT}} - \frac{y}{y_0} * \frac{\theta}{\theta_0} * e^{\frac{-2(1-\alpha)NuF}{RT}} \right\} \quad (4)$$

$$i_2 = i_{02} * \left\{ \frac{x}{x_0} * \frac{\theta}{\theta_0} * e^{\frac{2\alpha NuF}{RT}} - \frac{y}{y_0} * \frac{1-\theta}{1-\theta_0} * \frac{z}{z_0} * e^{\frac{-2(1-\alpha)NuF}{RT}} \right\} \quad (5)$$

$$i_3 = i_{03} * \left\{ \frac{\theta}{\theta_0} - \left( \frac{z}{z_0} \right)^{1/2} * \frac{1-\theta}{1-\theta_0} \right\} \quad (6)$$

где:  $i_{01}$ ,  $i_{02}$ ,  $i_{03}$  – токи обмена соответствующих реакций;  $\theta$ ,  $\theta_0$  – степень заполнения поверхности анода соединением  $\text{Pt}_x\text{O}_{\text{abs}}$  при  $i > 0$  и  $i = 0$  соответственно;  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ( $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ ) – концентрации (моль\*см<sup>-1</sup>) соединений  $\text{Al}_2\text{O}_2\text{F}_4^{2-}$ ,  $\text{Al}_2\text{OF}_6^{2-}$  и кислорода вблизи к поверхности анода (диффузионный слой) при  $i > 0$  и  $i = 0$  соответственно.

Фарадеевский ток процесса равен сумме первого и второго токов обмена:

$$i_f = i_1 + i_2 \quad (7)$$

Переходя к кинетическим процессам, нужно установить зависимости неизвестных в модели (потенциал, концентрации и степень заполнения поверхности промежуточными соединениями) от времени.

Зависимость потенциала от времени определяется разницей между подаваемым током и фарадеевским током:

$$C_d \frac{dNu}{dt} = i - i_f \quad (8)$$

где:  $C_d$  – емкость двойного электрического слоя.

В первую стадию анодного процесса (1) поверхность платинового анода заполняется, и освобождается во вторую стадию (2), (3). Таким образом, плотность парциального тока при этих процессах влияет на степень заполнения поверхности анода (9).

$$2FN_0 \frac{d\theta}{dt} = i_1 - (i_2 + i_3) \quad (9)$$

где:  $N_0$  – количество вещества в монослое ( $4 \cdot 10^{-9}$ ).

Концентрации веществ X и Y в диффузионном слое зависят и от диффузии, и от химических взаимодействий между ними, в то время как изменение по времени концентрации кислорода зависит только от диффузии.

$$\frac{dx}{dt} = D_x \frac{\partial^2 x}{\partial r^2} + k_1 y^2 - k_2 x \quad (10)$$

$$\frac{dy}{dt} = D_y \frac{\partial^2 y}{\partial r^2} + k_3 x^{1/2} - k_4 y \quad (11)$$

$$\frac{dz}{dt} = D_z \frac{\partial^2 z}{\partial r^2} \quad (12)$$

где:  $D_x, D_y, D_z$  – коэффициенты диффузии веществ x, y и кислорода (z); k – динамическая константа реакции (1), характеризующая изменение соотношения форм частиц  $k=x/y^2$  в ходе процесса;  $k_1-k_4$  – прямые и обратные константы скорости реакций (1-2), определенные в уравнениях (10-11).

Граничные условия для уравнений x и y на левой границе зависят от фарадеевского тока:

$$\left. \frac{dx}{dt} \right|_{r=0} = \pm \frac{i_f}{2FD_x} \quad (13)$$

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{r=0} = \mp \frac{i_f}{2FD_y} \quad (14)$$

Поскольку кислород выделяется на второй стадии, условия для левой границы в уравнении для концентрации кислорода зависит от суммы парциальных токов этих реакций (2-3):

$$\left. \frac{dz}{dt} \right|_{r=0} = \mp \frac{i_2 + 0.5i_3}{2FD_z} \quad (15)$$

Одной из задач данной работы является создание программного обеспечения для расчета модели анодного процесса на платиновом аноде в расплаве  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  при температуре  $750\text{--}850^\circ\text{C}$  для проверки ее адекватности. Адекватность модели проверялась путем сопоставления расчетных результатов с экспериментальными данными, полученными в ходе исследования стационарных анодных процессов на платиновом аноде в расплаве  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  при температуре  $750\text{--}850^\circ\text{C}$  [3].

### Методика расчета

Согласно методу интегрирования, для уравнений (8-9) значение искомой функции можно рассматривать как сумму ее значения в предыдущей точке и ее приращения на текущем отрезке аргумента. В таком случае, уравнения (8-9) в общем виде будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} Nu_i &= Nu_{i-1} + \Delta t \frac{i - i_f}{C_d} \\ \theta_i &= \theta_{i-1} + \Delta t \frac{i_1 - (i_2 + i_3)}{2FN_0} \end{aligned} \quad (16)$$

В частности, на первом слое, когда  $Nu_{i-1}$  отсутствует, а также парциальные токи равны нулю, уравнение (16) принимает следующий вид:

$$Nu_1 = \Delta t \frac{i}{C_d}$$

а начальная степень заполнения поверхности  $\theta_1$  задана и равна 0.1.

Поскольку первый слой соответствует состоянию системы в первый момент включения тока, когда анодный процесс еще не начался, концентрации веществ одинаковы на любом расстоянии от анода и равны начальным

концентрациям. Их значения в любой точке определяются по следующим формулам:

$$x_0 = \frac{1}{8k} + 1.5Z - 0.5 \sqrt{\frac{1}{16k^2} + \frac{3Z}{2k}}$$

$$y_0 = -\frac{1}{4k} + \sqrt{\frac{1}{16k^2} + \frac{3Z}{2k}}$$

где: Z – концентрация  $Al_2O_3$ , которая равна 0.000304. Концентрация кислорода  $z_0$  задана изначально и равна 0.0000001.

Поскольку концентрации и степень заполнения поверхности в первый момент времени равны начальным значениям, то соответствующие коэффициенты перед экспонентами в уравнениях (4-5) обратятся в единицу, и уравнения примут вид:

$$i_{11} = i_{01} * \left\{ e^{\frac{2\alpha NuF}{RT}} - e^{\frac{-2(1-\alpha)NuF}{RT}} \right\} \quad (17)$$

$$i_{21} = i_{02} * \left\{ e^{\frac{2\alpha NuF}{RT}} - e^{\frac{-2(1-\alpha)NuF}{RT}} \right\} \quad (18)$$

а парциальный ток для процесса (3) будет равен 0.

Для расчета плотности парциального тока на остальных слоях используются уравнения (4-6).

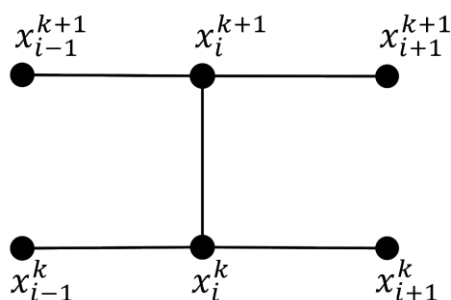
Для нахождения концентраций x, y и z были составлены следующие уравнения по явной схеме:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \frac{\Delta t D_x}{r^2} (x_{i+1}^k - 2x_i^k + x_{i-1}^k) + \Delta t k_1 y_i^{k^2} - \Delta t k_2 x_i^k \quad (19)$$

$$y_i^{k+1} = y_i^k + \frac{\Delta t D_y}{r^2} (y_{i+1}^k - 2y_i^k + y_{i-1}^k) + \Delta t k_3 x_i^{k^{1/2}} - \Delta t k_4 y_i^k \quad (20)$$

$$z_i^{k+1} = z_i^k + \frac{\Delta t D_z}{r^2} (z_{i+1}^k - 2z_i^k + z_{i-1}^k) \quad (21)$$

Хотя явная схема довольно проста в использовании, она является неустойчивой для данной модели. По этой причине уравнения (19-21) были адаптированы для неявной разностной схемы, шаблон которой представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1. Шаблон неявной разностной схемы**

Неявная разностная схема содержит в каждом уравнении сразу несколько неизвестных значений нового слоя. Для каждого временного слоя неявная схема сводится к системе линейных уравнений, позволяющих определить искомые значения на слое  $k+1$ . Матрица такой системы уравнений является трехдиагональной, поэтому ее решение можно найти с помощью метода прогонки. В общем виде такая матрица имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \beta_i & \gamma_i & 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{i+1} & \beta_{i+1} & \gamma_{i+1} & 0 & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{i+2} & \beta_{i+2} & \gamma_{i+2} & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & \alpha_{r-2} & \beta_{r-2} & \gamma_{r-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 & \alpha_{r-1} & \beta_{r-1} & \gamma_{r-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & \alpha_r & \beta_r \end{bmatrix} \quad (22)$$

В соответствии с представленным на рисунке 1 шаблоном, уравнения (10-12) приняли вид:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \frac{\Delta t D_x}{r^2} (x_{i+1}^{k+1} - 2x_i^{k+1} + x_{i-1}^{k+1}) + \frac{\Delta t D_x}{2r^2} (x_{i+1}^k - 2x_i^k + x_{i-1}^k) + \Delta t k_1 y_i^{k^2} - \Delta t k_2 x_i^k \quad (23)$$

$$y_i^{k+1} = y_i^k + \frac{\Delta t D_y}{r^2} (y_{i+1}^{k+1} - 2y_i^{k+1} + y_{i-1}^{k+1}) + \frac{\Delta t D_y}{2r^2} (y_{i+1}^k - 2y_i^k + y_{i-1}^k) + \Delta t k_3 x_i^{k^{1/2}} - \Delta t k_4 y_i^k \quad (24)$$

$$z_i^{k+1} = z_i^k + \frac{\Delta t D_z}{r^2} (z_{i+1}^{k+1} - 2z_i^{k+1} + z_{i-1}^{k+1}) + \frac{\Delta t D_z}{2r^2} (z_{i+1}^k - 2z_i^k + z_{i-1}^k) \quad (25)$$

Чтобы вычислить значения концентраций методом прогонки, на основании системы уравнений (22) с учетом граничных условий (13-15) составлены три системы уравнений для  $x$  (26),  $y$  (27) и  $z$  (28):

$$\left\{ \begin{aligned}
& x_1^{k+1} = x_1^k - \frac{i_f \Delta t}{2FD_x} \tag{26} \\
& \left(1 + \frac{2\Delta t D_x}{r^2}\right) x_2^{k+1} - \frac{\Delta t D_x}{r^2} x_3^{k+1} = \\
= & -\frac{i_f \Delta t}{2r^2 F} + \left(1 - \frac{\Delta t D_x}{r^2} - \Delta t k_2\right) x_2^k + \frac{\Delta t D_x}{2r^2} x_3^k + \frac{\Delta t D_x}{2r^2} x_0^k + \Delta t k_1 y_2^{k^2} \\
& \vdots \\
& \left(1 + \frac{2\Delta t D_x}{r^2}\right) x_i^{k+1} - \frac{\Delta t D_x}{r^2} x_{i+1}^{k+1} - \frac{\Delta t D_x}{r^2} x_{i-1}^{k+1} = \\
= & \left(1 - \frac{\Delta t D_x}{r^2} - \Delta t k_2\right) x_i^k + \frac{\Delta t D_x}{2r^2} x_{i+1}^k + \frac{\Delta t D_x}{2r^2} x_{i-1}^k + \Delta t k_1 y_i^{k^2} \\
& \vdots \\
& \left(1 + \frac{2\Delta t D_x}{r^2}\right) x_n^{k+1} - \frac{\Delta t D_x}{r^2} x_{n-1}^{k+1} = \\
= & \left(1 - \frac{\Delta t D_x}{r^2} - \Delta t k_2\right) x_n^k + \frac{3\Delta t D_x}{2r^2} x_0^k + \frac{\Delta t D_x}{2r^2} x_{n-1}^k + \Delta t k_1 y_n^{k^2}
\end{aligned} \right. \tag{27}$$

$$\left\{ \begin{aligned}
& y_1^{k+1} = y_1^k + \frac{i_f \Delta t}{2FD_y} \\
& \left(1 + \frac{2\Delta t D_y}{r^2}\right) y_2^{k+1} - \frac{\Delta t D_y}{r^2} y_3^{k+1} = \\
= & \frac{i_f \Delta t}{2r^2 F} + \left(1 - \frac{\Delta t D_y}{r^2} - \Delta t k_4\right) y_2^k + \frac{\Delta t D_y}{2r^2} y_3^k + \frac{\Delta t D_y}{2r^2} y_1^k + \Delta t k_3 x_2^{k^{1/2}} \\
& \vdots \\
& \left(1 + \frac{2\Delta t D_y}{r^2}\right) y_i^{k+1} - \frac{\Delta t D_y}{r^2} y_{i+1}^{k+1} - \frac{\Delta t D_y}{r^2} y_{i-1}^{k+1} = \\
= & \left(1 - \frac{\Delta t D_y}{r^2} - \Delta t k_4\right) y_i^k + \frac{\Delta t D_y}{2r^2} y_{i+1}^k + \frac{\Delta t D_y}{2r^2} y_{i-1}^k + \Delta t k_3 x_i^{k^{1/2}} \\
& \vdots \\
& \left(1 + \frac{2\Delta t D_y}{r^2}\right) y_n^{k+1} - \frac{\Delta t D_y}{r^2} y_{n-1}^{k+1} = \\
= & \left(1 - \frac{\Delta t D_y}{r^2} - \Delta t k_4\right) y_n^k + \frac{3\Delta t D_y}{2r^2} y_0^k + \frac{\Delta t D_y}{2r^2} y_{n-1}^k + \Delta t k_3 x_n^{k^{1/2}}
\end{aligned} \right. \tag{28}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z_1^{k+1} = z_1^k + \frac{(i_2^k + 0.5i_3^k)\Delta t}{2FD_z} \\ \left(1 + \frac{2\Delta t D_z}{r^2}\right) z_2^{k+1} - \frac{\Delta t D_z}{r^2} z_3^{k+1} = \\ = \frac{\Delta t(i_2^k + 0.5i_3^k)}{2r^2 F} + \left(1 - \frac{\Delta t D_z}{r^2}\right) z_2^k + \frac{\Delta t D_z}{2r^2} z_1^k + \frac{\Delta t D_z}{2r^2} z_3^k \\ \vdots \\ \left(1 + \frac{2\Delta t D_z}{r^2}\right) z_i^{k+1} - \frac{\Delta t D_z}{r^2} z_{i+1}^{k+1} - \frac{\Delta t D_z}{r^2} z_{i-1}^{k+1} = \\ = \left(1 - \frac{\Delta t D_z}{r^2}\right) z_i^k + \frac{\Delta t D_z}{2r^2} z_{i+1}^k + \frac{\Delta t D_z}{2r^2} z_{i-1}^k \\ \vdots \\ \left(1 + \frac{2\Delta t D_z}{r^2}\right) z_n^{k+1} - \frac{\Delta t D_z}{r^2} z_{i-1}^{k+1} = \\ = \left(1 - \frac{\Delta t D_z}{r^2}\right) z_n^k + \frac{3\Delta t D_z}{2r^2} z_0 + \frac{\Delta t D_z}{2r^2} z_{n-1}^k \end{array} \right.$$

Согласно методу прогонки, неизвестные вычисляются обратной прогонкой по формулам (29-30).

$$U_n = \frac{b_n - \alpha D_n}{\alpha C_n + \beta} \quad (29)$$

$$U_{i-1} = C_i U_i + D_i \quad (30)$$

где:  $U$  – неизвестная величина на данном расчетном слое.

Коэффициенты  $C$  и  $D$  для (29-30) вычисляются прямой прогонкой по формулам (31-32).

$$C_{i+1} = -\frac{\gamma}{\alpha C_i + \beta} \quad (31)$$

$$D_{i+1} = \frac{b_i - \alpha D_i}{\alpha C_i + \beta} \quad (32)$$

Поскольку концентрации  $x_1$ ,  $y_1$  и  $z_1$  находятся из граничных условий (13-15) без метода прогонки, начальными коэффициентами будут  $C_2$  и  $D_2$ :

$$C_2 = -\frac{\gamma}{\beta} \quad (33)$$

$$D_2 = \frac{b_i}{\beta} \quad (34)$$

Концентрация  $x$  для слоя  $k+1$  вычисляется по формулам (29-34) с помощью коэффициентов  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , полученных из системы уравнений (26):

$$b_{2x} = -\frac{i_f \Delta t}{2r^2 F} + x_2^k \left(1 - \frac{\Delta t D_x}{r^2} - \Delta t k_2\right) + x_3^k \frac{\Delta t D_x}{2r^2} + x_1^k \frac{\Delta t D_x}{2r^2} + \Delta t k_1 y_2^{k2}$$



$$b_{i_x} = x_i^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_x}{r^2} - \Delta t k_2 \right) + x_{i+1}^k \frac{\Delta t D_x}{2r^2} + x_{i-1}^k \frac{\Delta t D_x}{2r^2} + \Delta t k_1 y_i^{k^2}$$

$$b_{n_x} = x_n^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_x}{r^2} - \Delta t k_2 \right) + x_0 \frac{3\Delta t D_x}{2r^2} + x_{n-1}^k \frac{\Delta t D_x}{2r^2} + \Delta t k_1 y_i^{k^2}$$

$$\alpha_x = -\frac{\Delta t D_x}{r^2}$$

$$\beta_x = 1 + \frac{2\Delta t D_x}{r^2}$$

$$\gamma_x = -\frac{\Delta t D_x}{r^2}$$

$y^{k+1}$  вычисляется аналогично с помощью коэффициентов, полученных из системы уравнений (27):

$$b_{2_y} = \frac{i_f \Delta t}{2r^2 F} + y_2^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_y}{r^2} - \Delta t k_4 \right) + y_3^k \frac{\Delta t D_y}{2r^2} + \Delta t k_3 x_2^{k^{1/2}}$$

$$b_{i_y} = y_i^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_y}{r^2} - \Delta t k_4 \right) + y_{i+1}^k \frac{\Delta t D_y}{2r^2} + x_{i-1}^k \frac{\Delta t D_y}{2r^2} + \Delta t k_3 x_i^{k^{1/2}}$$

$$b_{n_y} = y_n^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_y}{r^2} - \Delta t k_4 \right) + y_0 \frac{3\Delta t D_y}{2r^2} + y_{n-1}^k \frac{\Delta t D_y}{2r^2} + \Delta t k_3 x_n^{k^{1/2}}$$

$$\alpha_y = -\frac{\Delta t D_y}{r^2}$$

$$\beta_y = 1 + \frac{2\Delta t D_y}{r^2}$$

$$\gamma_y = -\frac{\Delta t D_y}{r^2}$$

Для  $z^{k+1}$  коэффициенты получены из системы уравнений (28):

$$b_{2_z} = \frac{\Delta t(i_2 + 0.5i_3)}{2r^2 F} + z_2^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_z}{r^2} \right) + z_3^k \frac{\Delta t D_z}{2r^2}$$

$$b_{i_z} = z_i^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_z}{r^2} \right) + z_{i+1}^k \frac{\Delta t D_z}{2r^2} + z_{i-1}^k \frac{\Delta t D_z}{2r^2}$$

$$b_{n_z} = z_n^k \left( 1 - \frac{\Delta t D_z}{r^2} \right) + z_0 \frac{3\Delta t D_z}{2r^2} + z_{n-1}^k \frac{\Delta t D_z}{2r^2}$$

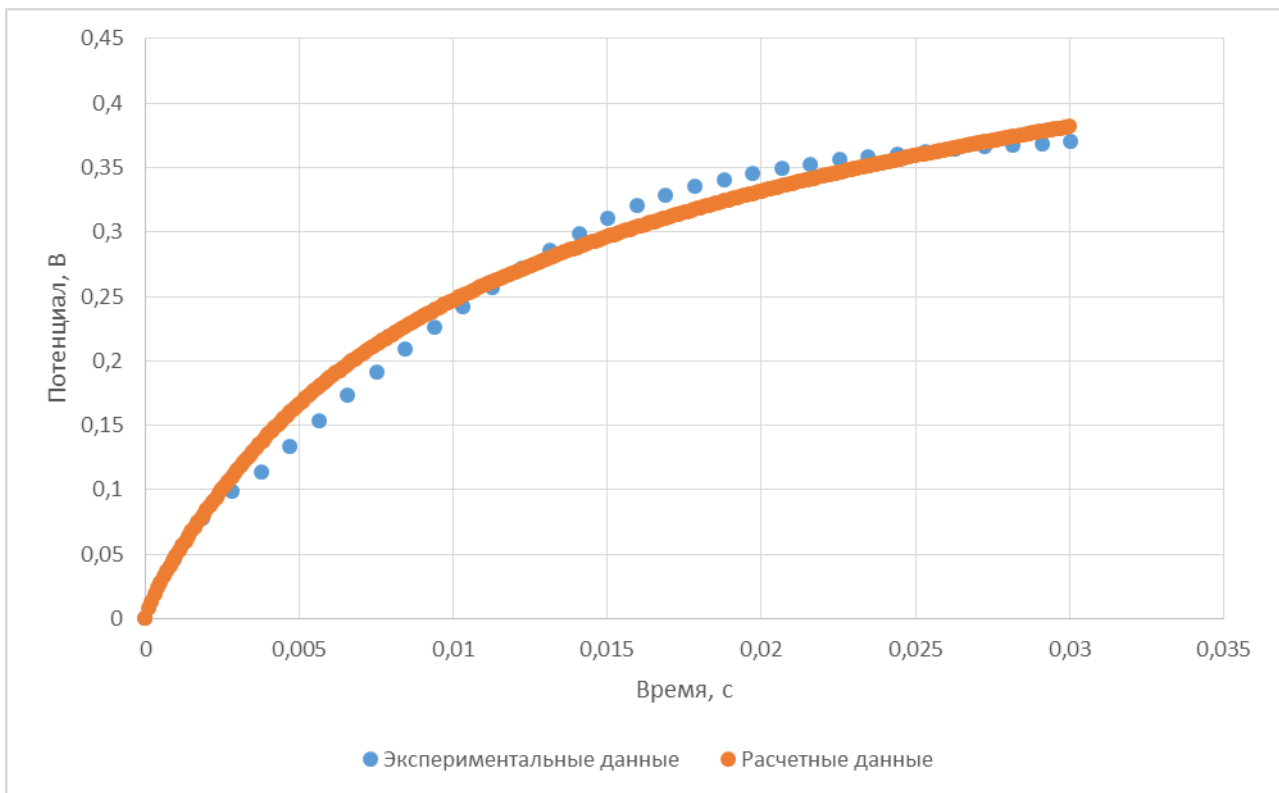
$$\alpha_z = -\frac{\Delta t D_z}{r^2}$$

$$\beta_z = 1 + \frac{2\Delta t D_z}{r^2}$$

$$\gamma_z = -\frac{\Delta t D_z}{r^2}$$

### Результаты и обсуждения

Данные, полученные в результате расчетов, были сравнены с экспериментальными данными. Результат сравнения приведен на рисунке 2.



**Рисунок 2. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных**

Как видно на рисунке 2, расчетная и экспериментальная кривые симпатны при следующих условиях:

- Коэффициенты диффузии веществ X и Y одинаковы и равны 0,00001; коэффициент диффузии кислорода – 0,0001 (значения подобраны вручную);
- Токи обмена  $i_{01}=0,44 \text{ А/см}^2$ ,  $i_{02}=0,04 \text{ А/см}^2$ ,  $i_{03}=0,02 \text{ А/см}^2$  [2];
- Температура задана изначально и равна 1053К.

Таким образом, результаты расчетов показывают, что принятая математическая модель адекватна реальным процессам, протекающим в системе платиновый анод – криолит-глиноземный расплав.

### **Вывод**

В ходе работы была рассчитана математическая модель анодного процесса на платиновом аноде в расплаве  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ . В результате расчета был получен ряд данных (потенциал, степень заполнения поверхности анода, концентрации соединений  $\text{Al}_2\text{O}_2\text{F}_4^{2-}$ ,  $\text{Al}_2\text{OF}_6^{2-}$  и кислорода и парциальные токи реакций (1-3)). Потенциал и степень заполнения поверхности анода были рассчитаны методом интегрирования. Концентрации соединений  $\text{Al}_2\text{O}_2\text{F}_4^{2-}$ ,  $\text{Al}_2\text{OF}_6^{2-}$  и кислорода были адаптированы для неявной разностной схемы и рассчитаны методом прогонки. Плотность парциальных токов была рассчитана напрямую по формулам математической модели.

Расчетные и экспериментальные значения потенциалов дали хорошее совпадение, что подтверждает адекватность модели. Таким образом, модель может быть использована для дальнейшего изучения свойств кислородвыделяющих анодов. Ее применение позволит получить больше данных об анодном процессе (плотность парциального тока третьего процесса (3), потенциал, степень заполнения поверхности анода, а также концентрации соединений  $\text{Al}_2\text{O}_2\text{F}_4^{2-}$ ,  $\text{Al}_2\text{OF}_6^{2-}$  и кислорода в диффузионном слое) и сделать выводы об устойчивости исследуемых материалов анодов.

### **Список литературы:**

1. Некрасов В.Н. Стационарный анодный процесс на платине в расплавах  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  / Некрасов В.Н., Лимановская О.В., Суздальцев А.В., Храмов А.П., Зайков Ю.П. // Расплавы. – 2014. №4. – С. 71–79.
2. Некрасов В.Н. Хронопотенциометрия на углеродном аноде в расплавах  $\text{KF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  / Некрасов В.Н., Лимановская О.В., Суздальцев А.В., Храмов А.П., Зайков Ю.П. // Расплавы. – 2011. №2. – С. 18–29.
3. Некрасов В.Н. Stationary anode process at the platinum in  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  melts / Некрасов В.Н., Лимановская О.В., Суздальцев А.В., Храмов А.П., Зайков Ю.П. // Russian Metallurgy. – 2014. Vol. 8. – P. 664–670.

4. Суздальцев А.В. Хроновольтамперометрия на платине в расплаве  $\text{KF-NaF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  / Суздальцев А.В., Храмов А.П., Лимановская О.В., Некрасов В.Н., Зайков Ю.П. // *Расплавы*. – 2015. №5. – С. 12–21.
5. Goupil G. Anodic behavior of mechanically alloyed Cu–Ni–Fe and Cu–Ni–Fe–O electrodes for aluminum electrolysis in low-temperature  $\text{KF-AlF}_3$  electrolyte / Goupil G., Helle S., Davis B., Guay D., Roue L. // *Electrochimica Acta*. – Vol. 112. 2013. – P. 176–182.
6. Helle S. Structure and high-temperature oxidation behaviour of Cu–Ni–Fe alloys prepared by high-energy ball milling for application as inert anodes in aluminium electrolysis / Helle S., Pedron M., Assouli B., Davis B., Guay D., Roue L. // *Corrosion Science*. – Vol. 52. 2010. – P. 3348–3355.
7. Khramov A.P. Anodic behaviour of the  $\text{Cu}_{82}\text{Al}_8\text{Ni}_5\text{Fe}_5$  alloy in low-temperature aluminium electrolysis / Khramov A.P., Kovrov V.A., Zaikov Yu.P., Chumarev V.M. // *Corrosion Science*. – Vol. 70. 2013. – P. 194–202.
8. Yang J. New opportunities for aluminum electrolysis with metal anodes in a low temperature electrolyte system / Yang J., Hryn J.N., Davis B.R., Roy A., Krundick G.K., Pomykala Jr. J.A. // *Light Metals*. 2004. P. 321–326.
9. Zaikov Y., Khramov A., Kovrov V. et al. Electrolysis of aluminum in the low melting electrolytes based on potassium cryolite // *Light Metals*. – 2008. – P. 505–508.

## СЕКЦИЯ 4. КОСМОС, АВИАЦИЯ

### ПОНЯТИЕ «ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СМЕЩЕНИЕ», ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

***Разаков Руфат Рустамбаевич***

*аспирант 3 курса кафедры «Эксплуатация воздушного транспорта»  
Санкт-Петербургский Университет Гражданской Авиации,  
РФ, г. Санкт-Петербург*

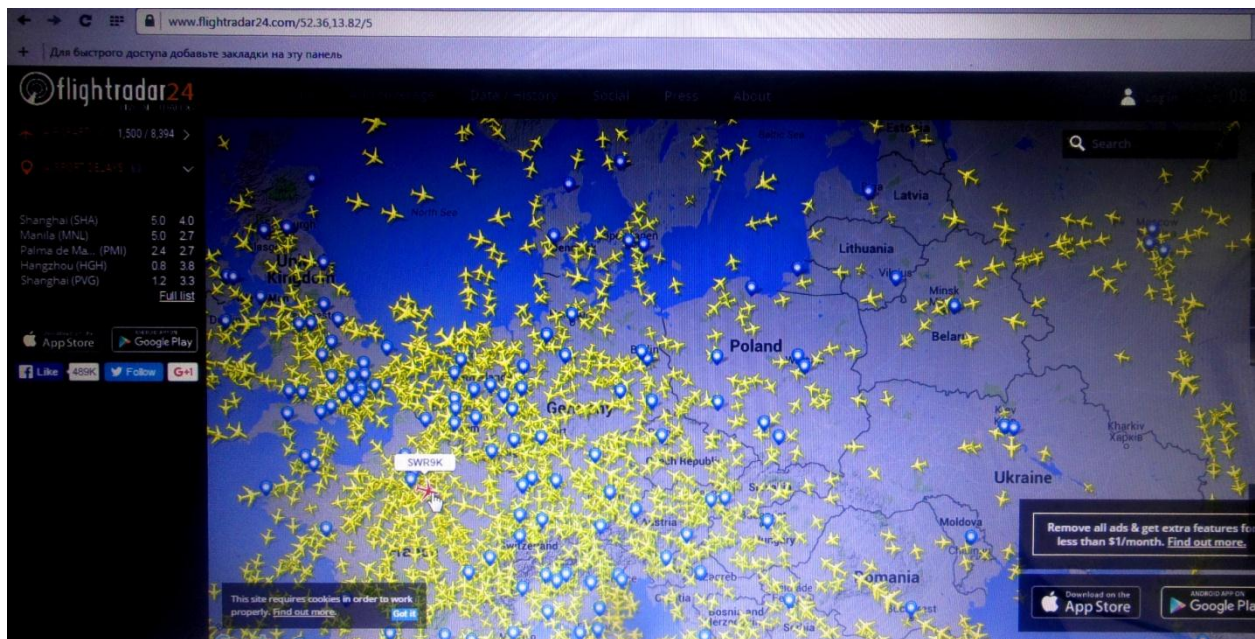
***Солодухин Виктор Александрович***

*научный руководитель, канд. техн. наук Санкт-Петербургский Университет  
Гражданской Авиации,  
РФ, г. Санкт-Петербург*

Огромное количество самолетов, летающее в небе, переплетаются в паутину, которое на первый взгляд может показаться не логичной и точно не поддающейся контролю и упорядочению. Однако, это не так! Весь самолетный поток движется в небе по четко установленным правилам и нормам, обеспечение которых возложено на службу движения. При всей компьютеризованности современных лайнеров и систем контроля, человек до сих пор остается центром принятия решения, контроля и выдачи рекомендаций по обеспечению безопасности полетов, как в воздухе, так и на земле. Введение новых программ контроля и прогнозирования ситуаций в небе, существенно облегчало работу службы движения по безопасному разведению воздушных судов, однако не решило главной проблемы – увеличение пропускной способности зон управления воздушным движением без изменений структуры воздушного пространства. Современные системы контроля, такие как Альфа 3, Альфа 5, Теркас или Еврокат, способны отследить огромное количество воздушных судов, выдать необходимую информацию авиадиспетчеру, и даже спрогнозировать конфликт в небе, но они не способны применить эти действия к реальному разведению воздушных судов. Вся информация носит исключительно информационный характер, и вот тут-то,

главное и окончательное решение принимает именно служба движения. На «Вооружение» и авиадиспетчеров существуют различные процедуры и меры для безопасного разведения воздушных судов в конфликтных точках, таких как – изменение эшелона полета, спрямление, регулировка скоростей и времени прохождения конфликтных точек конфликтующими самолетами, в не зависимости от их количества. Все эти способы давно описаны и хорошо изучены. Однако, при всем при этом, постоянное увеличение количество лайнеров в воздухе заставляет задуматься надо вопросом, а что ещё можно применить к разведению воздушных судов (ВС)? Как ещё можно обеспечить постоянный и не прерывный поток самолетов по существующим трассам?, не вгоняя авиакомпания в дополнительные траты на топливо, не нарушая план полета и комфорт пассажиров по резкому и частому изменения эшелона полетов в связи с конфликтностью движения. Пример возможности ответа на данные вопросы описан в этой статье.

Посмотрим на фотографию. Она взята со всеми известного сайта [flightradar24.com](http://flightradar24.com). Глядя на эту фотографию, трудно представить, что все лайнеры выполняют полеты, не меняя свой план полета, и не нарушая комфорт пассажиров. Решение упорядочного и плавного потока всей этой массы самолетов, достигается точным и своевременным выполнением команд службы движения. Где на ряду с изменением эшелона полета, полета ВС в виражах и в зонах ожидания, для ВС выполняющих заходы на посадку и взлеты, применяется так же процедура «параллельного смещения», при полетах ВС по трассам на дальние дистанции.



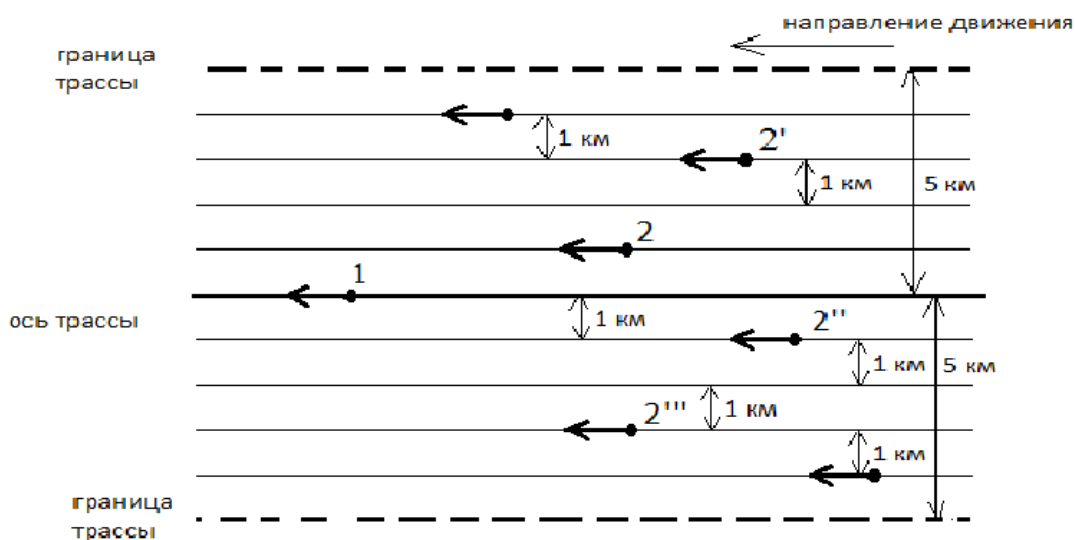
*Рисунок 1. Воздушная обстановка над Европой*

Данная процедура широко применяется в странах Европы, и хотя она описана в Руководящих документах РФ, но почему то не носит массовый характер применения. Рассмотрим более подробно:

Что такое «параллельное смещение»?! Полет современных лайнеров и их пространственное положение, выдерживается и обеспечивается бортовым компьютером, в котором наряду с огромным числом датчиком и электроники, присутствует и GPS навигатор (определение места самолета по спутнику). Этот прибор как раз и предназначен для информирования бортового компьютера о пространственном положении ВС, относительно оси трассы. 99% современной авиатехники оборудованы данными датчиками. Полет выполняется строго по оси трассы. И вот как раз отклонение от полета по трассе и есть «параллельное смещение». Выполнение данной процедуры, не требует введение каких-то новых норм эшелонирования, или введение дополнительное оборудования контроля за выдерживанием данного отклонения полета от оси трассы на рабочих местах авиадиспетчеров. В руководящих документах Экипажей данная процедура носит название «Offset», и выполняется простым «накручиваем» датчика контроля полета по оси трассы, на необходимое отклонение от оси, вправо или влево, выраженное

в километрах или милях. Зачастую, данное решение применяется во избежание попадания самолета в спутную струю впереди идущего лайнера. Возникает вопрос, если экипажи могут без особых усилий в изменении плана полета, отклоняться от оси трассы, на выбранную дистанцию, почему же данная процедура не используется в РФ, как альтернатива разведения ВС в пределах одной трассы?! Вопрос остается открытым ...

В описании ниже, я постарался описать полеты ВС по параллельным траекториям в пределах одной трассы и пределах средств контроля за полетами, по зональной трассе.

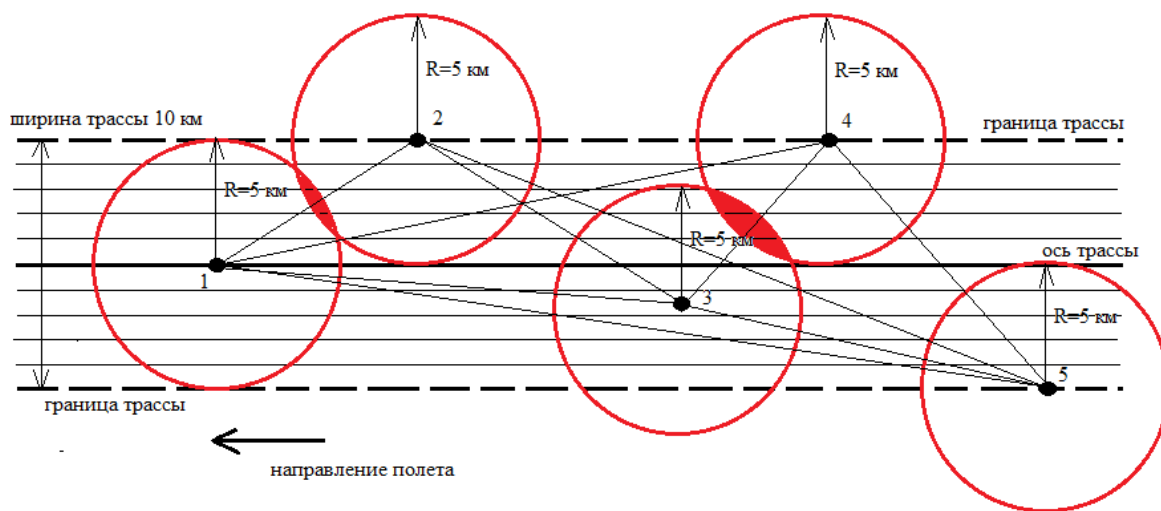


**Рисунок 2. Схематическое изображение различных положений Воздушных судов**

На данном рисунке 2 изображено схематическое движение воздушного судна (1), и различные пространственные положения воздушного судна (2), при выполнении им процедуру Offset (параллельное смещение). Отклонение происходит на минимальное значение в 1 км (либо в 1 м.милю), но не далее границ воздушной трассы. Кстати, об этом ... воздушны трассы пронизывающее небо над нашими головами, условно делятся на трассы для полетов по зональной навигации, трассы оборудованные средствами навигации и не оборудованные такими средствами. Разница заключается лишь в ширине таких трасс (оборудованных средствами навигации – 10 км,



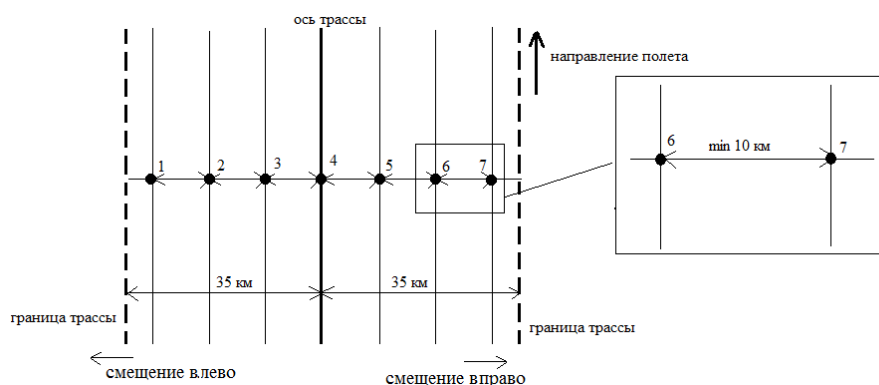
не оборудованными – 20 км, и трассы выделенные для полетов по зональной навигации до 35 км в обе стороны от оси трассы). Таким образом, как видно на рис. 2, в пределах одной трассы, на определенном участке, могут выполнять полет огромное количество ВС, с минимальным отклонением в 1 км, но при этом их число не может быть бесконечным. Вы спросите почему?, ответ прост... каждый самолет оборудован системой предупреждения столкновения ( СПОС – англ. Аббревиатура TCAS). И именно эта система не позволит самолетам сблизиться на расстояние менее 10 км друг от друга, без изменения профиля полета. Как это показано на рис 3.



**Рисунок 3. Параллельное смещение при действии TCAS**

На данном рисунке изображено различное положение 5-ти воздушных судов при выполнении ими процедуры «Offset» в пределах одной трассы. Так к примеру пара ВС 1-3 является безопасной для выполнения полетов по смещенной траектории, и наоборот, пара ВС 3-4 такой не является, так как происходит взаимное пересечение зон действия TCAS (красные круги). Таким образом, для удовлетворения всех условий комфортное и безопасное полета ВС по смещенным траектория (Offset), необходимо, что бы «Красные круги» не пересекались. Так чтобы минимальное расстояние по боковому разведению было не менее 5 км от каждого самолета (зона действия TCAS ограничена 5-ю км вокруг каждого ВС). Такими же являются и нормы бокового

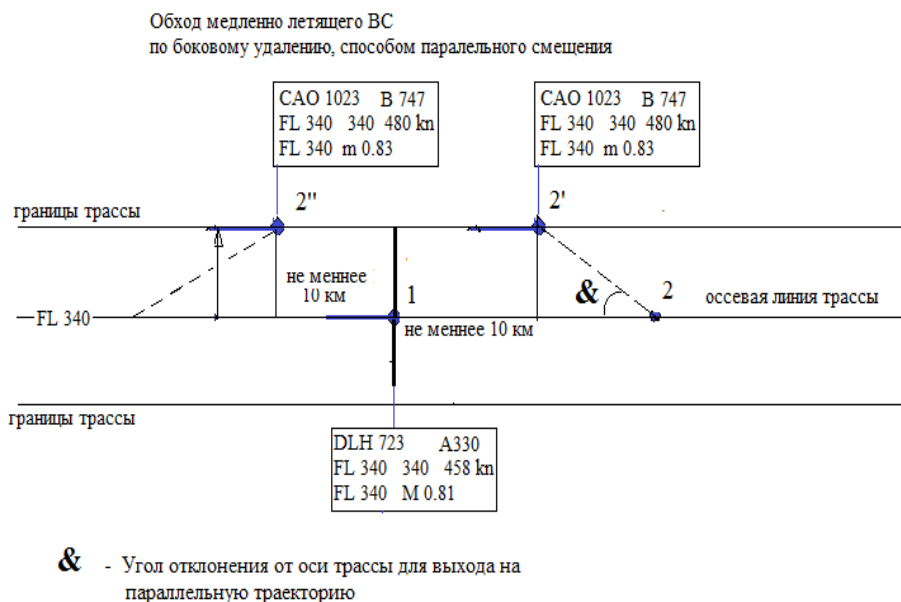
эшелонирования, при пересечении встречно-занятых и попутно-занятых эшелонов (не менее 10 км в момент пересечения), как и описано в руководящих документах РФ. Т.е. если между параллельно движущимися ВС по боковому интервалу будет не менее 10 км, ВС расходятся безопасно и без изменения профиля полета под действием TCAS. Практика воспроизведение этой ситуации на тренажере это и доказывает. Таким образом, в пределах скажем одной трассы, обеспеченной для полетов по зональной навигации можно разместить до 6 воздушных судов (пронумерованы от 1 до 6 с вариантами смещения как вправо, так и влево в пределах одной трассы, при их одновременном параллельном расположении), при учете что эти самолеты не мешают полетам других воздушных судов, как это и показано на рис. 4.



**Рисунок 4. Распределение ВС в пределах одной трассы**

В Реальности, на практике, выполнение процедуры «параллельного смещения», могло бы существенно облегчить процедуру разведения воздушных судов, следующих на одном эшелоне с различными скоростями, в пределах одной трассы. Так, к примеру, на рис. 5, показано практическое применение метода параллельного смещения, в частности при обгоне более скоростным воздушным судном менее скоростного воздушного судна, в пределах одной трассы, с сохранением профиля и параметром полета. Где, под номером 1 указан аэробус 330, следующий со скоростью в 458 узлов и скоростью по Маху 0,81. Под номером 2 в различных его положениях, следует воздушное судно Боинг 747, со скоростью в 480 узлов и скоростью по Маху 0,83. Без применения

процедуры «параллельного смещения», решением данной конфликтной ситуации, было бы изменение эшелона полета одним из самолетов, а то время как с параллельным смещением, оба ВС сохраняют свои профили полета и экономически выгодные эшелона полета.



**Рисунок 5. Применение “Offset” на практике**

Распишем уравнения движения двух объектов в дифференциальной форме:

Движение второго ВС относительно первого ВС описывается следующим уравнением:

$$x_2 - x_1 = x_2^0 - x_1^0 + (V_2^x - V_1^x)t = \Delta x^0 + V_x t$$

$$y_2 - y_1 = y_2^0 - y_1^0 + (V_2^y - V_1^y)t = \Delta y^0 + V_y t$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_y}{V_x} = \frac{V_2^y - V_1^y}{V_2^x - V_1^x}$$

$\alpha$  – угол отклонения от оси трассы для выхода на параллельную траекторию

Расстояние между ВС равно

$$\rho_{1,2}(t) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \sqrt{(\Delta x^0 + V_x t)^2 + (\Delta y^0 + V_y t)^2}.$$

Время прохождения минимального расстояние между ВС определяется с помощью дифференцирования

$$\frac{d}{dt}\rho_{1,2}(t) = \frac{(\Delta x^0 + V_x t)V_x + (\Delta y^0 + V_y t)V_y}{\sqrt{(\Delta x^0 + V_x t)^2 + (\Delta y^0 + V_y t)^2}} = 0.$$

Отсюда

$$V_x \Delta x^0 + V^2 t + V_y \Delta y^0 + V_y^2 t = 0,$$

$$t = -\frac{V_x \Delta x^0 + V_y \Delta y^0}{V_x^2 + V_y^2},$$

Тогда минимальное расстояние:

$$\begin{aligned} & \sqrt{(\Delta x^0 + V_x t)^2 + (\Delta y^0 + V_y t)^2} = \\ & = \sqrt{\left(\Delta x^0 - V_x \frac{V_x \Delta x^0 + V_y \Delta y^0}{V_x^2 + V_y^2}\right)^2 + \left(\Delta y^0 - V_y \frac{V_x \Delta x^0 + V_y \Delta y^0}{V_x^2 + V_y^2}\right)^2} = \\ & = \sqrt{\left(\frac{V_y^2 \Delta x^0 - V_x V_y \Delta y^0}{V_x^2 + V_y^2}\right)^2 + \left(\frac{V_x^2 \Delta y^0 - V_x V_y \Delta x^0}{V_x^2 + V_y^2}\right)^2} = \\ & = \frac{\sqrt{(V_y^2 \Delta x^0)^2 - 2V_x V_y^3 \Delta x^0 \Delta y^0 + (V_x V_y \Delta y^0)^2 + (V_x^2 \Delta y^0)^2 - 2V_x^3 V_y \Delta x^0 \Delta y^0 + (V_x V_y \Delta x^0)^2}}{V_x^2 + V_y^2} = \\ & = \frac{\sqrt{(V_y^4 + V_x^2 V_y^2)(\Delta x^0)^2 + (V_x^4 + V_x^2 V_y^2)(\Delta y^0)^2 - 2V_x V_y (V_x^2 + V_y^2) \Delta x^0 \Delta y^0}}{V_x^2 + V_y^2} = \\ & = \frac{\sqrt{(V_x^2 + V_y^2)V_y^2 (\Delta x^0)^2 + (V_x^2 + V_y^2)V_x^2 (\Delta y^0)^2 - 2V_x V_y (V_x^2 + V_y^2) \Delta x^0 \Delta y^0}}{V_x^2 + V_y^2} = \end{aligned}$$

$$= \frac{\sqrt{V_y^2 (\Delta x^0)^2 + V_x^2 (\Delta y^0)^2 - 2V_x V_y \Delta x^0 \Delta y^0}}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{(V_y \Delta x^0 - V_x \Delta y^0)^2}}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} = \left| \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} \Delta x^0 - \frac{V_x}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} \Delta y^0 \right|$$

Данное уравнение описывает движение и расчет расстояния только между 2-мя самолетами. Увеличении их до числа в 6 ВС, уравнение переписывается с большим количеством переменных.

Хочется добавить, что увеличение количества ВС больше значения 6, приведет к выходу ВС за пределы установленных границ полета по трассе, а следовательно, к снижению уровня безопасности полета. Для решения данной дилеммы и повышению уровня безопасности полетов, необходимо полностью менять структура воздушного пространства, переписывать документы регламентирующие работу служб движения, увеличивать зону покрытия локаторов и разрешающую способность по азимуту, и разрешающую способность по дальности.

### Список литературы:

1. Инструкция по TCAS (Система предупреждения опасного столкновения).
2. Федеральные авиационные правила выполнения полетов в воздушном пространстве РФ. 31 марта 2002 года, № 136/42/51.
3. Федеральные авиационные правила организации воздушного движения РФ. Приказ Минтранса РФ от 25 ноября 2011 г. № 293.
4. Дос 9689. Руководство по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования.
5. Дос 9992. Руководство по использованию навигации, основанной на характеристиках (PBN), при построении воздушного пространства.
6. [www.Flightradar24.com](http://www.Flightradar24.com).

## СЕКЦИЯ 5.

### ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### ЛАЗЕРНОЕ СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

*Бесполудин Владислав Валерьевич*

*студент Института нанотехнологий, электроники и приборостроения  
Южного федерального университета,  
РФ, г. Таганрог*

Лазерное сверление отверстий характеризуется такими физическими процессами как нагрев, испарение и плавлением материала. При этом предполагается что отверстие увеличивается в глубину в следствии испарения, а по диаметру - в результате плавления стенок и вытеснения жидкости избыточным давлением паров[1].

Для получения прецизионных отверстий с допуском порядка 2 мкм, используются лазеры с очень короткими импульсами в диапазоне нс и пс. Позволяющие контролировать диаметр отверстия на заданном уровне т.е. не приводящим к нагреву и плавлению стенок, отвечающих за рост диаметра отверстия, а приводящее к испарению материала из твердой фазы. Также использование лазеров с нс и пс диапазоном импульсов позволяет существенно уменьшить наличия затвердевшей жидкой фазы на боковых поверхности отверстия[1,2].

В данный момент существует несколько методов реализации лазерного сверления отверстий: сверление одиночным импульсом используется одиночный импульс в результате которого просверливается отверстие. Достоинства этого метода быстрота. Недостатки высокая энергия импульса, низкая толщина и каноническая форма отверстия за счет уменьшении передачи тепловой энергии с увеличением глубины отверстия.

Ударном сверлении отверстие возникает под воздействием нескольких лазерных импульсов незначительной продолжительности и энергии.

Достоинства: возможность создавать более глубина отверстия (около 100 мм), получения отверстий малого диаметра. Недостаток этого метода более длительный процесс сверления.

Кольцевое сверлениевозникает под действием нескольких лазерных импульсов. Сначала лазер методом ударного сверления выполняет начальное отверстие. Затем он увеличивает начальное отверстие, несколько раз перемещаясь по увеличивающейся круговой траектории на заготовке. Большинство расплавленного материала вытесняется из отверстия в направлении вниз.Спиральное сверление в отличие от кольцевого сверления не предусматривает выполнения начального отверстия. Лазер уже с первых импульсов перемещается по круговой траектории по материалу. При таком движении большое количество материала выходит вверх. Перемещаясь как по винтовой лестнице, лазер углубляет отверстие.После того, как лазер пройдет сквозь материал, могут быть выполнены еще несколько кругов. Они предназначены для расширения нижней стороны отверстия и сглаживания краев. Спиральное сверление позволяет получать очень большие и глубокие отверстия высокого качества. Достоинства: получения больших и глубоких отверстий высокого качества[3].

Преимущества лазерного сверления: возможность получение малых отверстий (меньше 100 мкм),необходимость сверления отверстия под углом, сверления отверстия в очень твердых материалах, возможность получать отверстия не круглой формы, высокая производительность процесса, малое тепловое воздействие на материал (с уменьшением длительности импульса уменьшается нагрев материала),бесконтактный метод позволяющийсверлить хрупкие материалы(алмаз, фарфор, феррит, хрусталь сапфир, стекло),высокая автоматизация процесса, большой срок службы и стабильность процесса[4,5].

Данная работа посвящена поиску оптимальных режимов лазерного сверления отверстий на различных твердых поверхностях.

Для проведения экспериментов использовался инфракрасный импульсный Nd:YAG лазер с длиной волны 1064 нм. С максимальной мощность лазерного

излучения 110 Вт, частотой следования импульсов 10 кГц и длительность импульса 84 нс, отверстия в данной работе получены методом ударного сверления. В процессе лазерного сверления мощность лазерного излучения варьировалась в пределах от 3,7 Вт до 61,4 Вт, диаметр лазерного пятна на поверхности образца изменялся в пределах от 2 мм до 4 мм.

Лазерное сверления отверстий проводилось на следующих твердых поверхностях: пластмассе (желтая), углепластике, алюминии, толщиной 1,22,3 мм соответственно.

На качество лазерного сверления поверхности существенно влияют следующие параметры: средняя мощность лазерного излучения, диаметр лазерного пятна на поверхности образца, физические свойства материала (коэффициент поглощения лазерного излучения поверхностью, температура плавления) длина волны лазерного излучения, длительность импульса и метод лазерного сверления (одиночный импульс, ударном сверлении и т.д.).

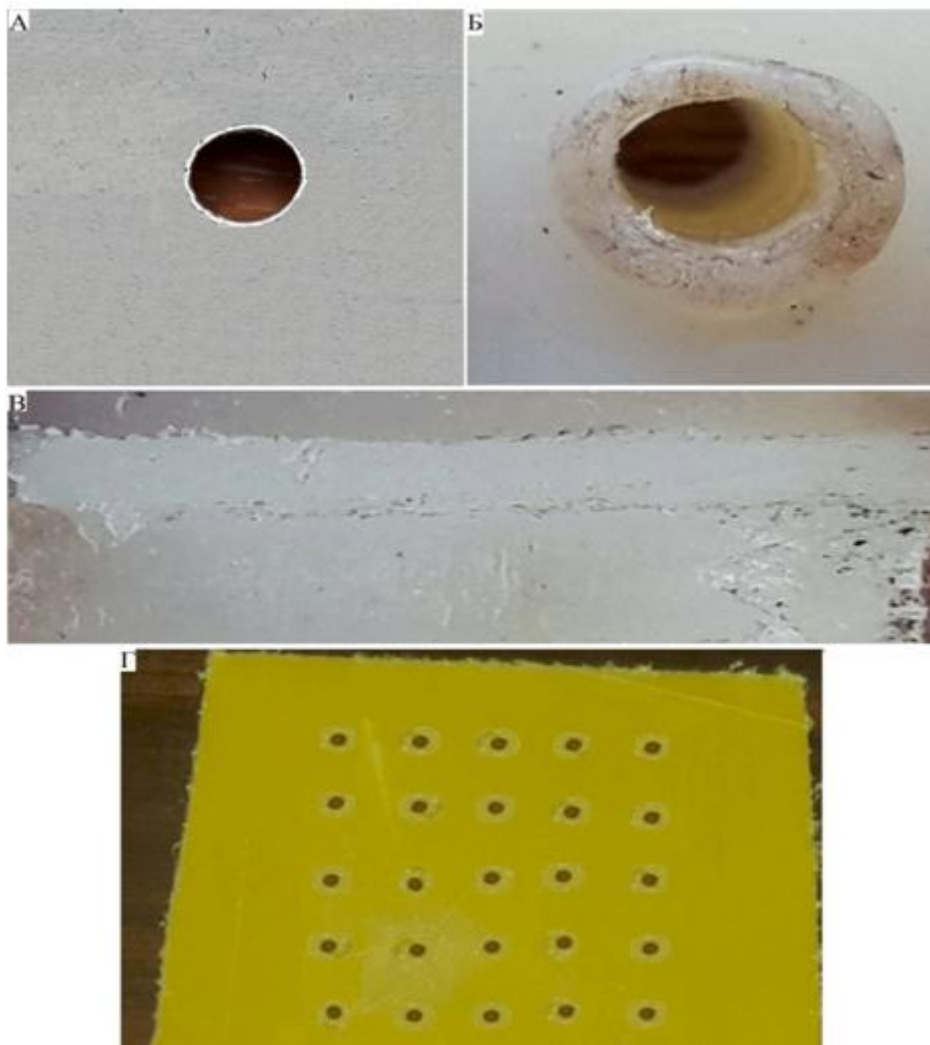
В таблице 1 отображены режимы лазерного сверления на различных твердых поверхностях. Наглядно результат лазерного сверления представлен на рисунке 1.

**Таблица 1.**

**Режимы лазерного сверления отверстий на различных поверхностях**

<b>Материал</b>	<b>Средняя мощность лазерного излучения,Вт</b>	<b>Толщина материала, мм</b>	<b>Диаметр лазерного пятна на поверхности образца,мм</b>
Пластмасса(желтая)	3.7	1	2
Углепластик	7.8	22	4
Алюминий	61.4	3	3





***Рисунок 1. Результаты лазерного сверления твердых поверхностей Nd:YAG лазером с длиной волны 1064 нм: а) алюминий; б) углепластик в) сечение отверстия в углепластике г) лазерная перфорация пластмассы(желтой)***

Экспериментальным путем была определена оптимальная мощность лазерного излучения для каждой из твердой поверхности. Так материалы обладающие меньшим коэффициентом поглощения инфракрасного лазерного излучения, а также высокой температурой плавления, хуже поддаются лазерному сверлению и требуют гораздо большей плотности мощности лазерного излучения.

Так для лазерного сверления отверстий в алюминии потребовалось увеличить плотность мощность лазерного излучения до 61.4 Вт. На данный момент лазерное сверление отверстий является наиболее перспективным методом получения всевозможных отверстий различной величины и геометрии

практический на любой твердой поверхности включая такие тугоплавкие материалы как вольфрам, рений, тантал, молибден и др.

### **Список литературы:**

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. -664 с.
2. Вакс Е.Д., Миленский М.Н., Сапрыкин Л.Г. Практика прецизионной лазерной обработки Москва: Техносфера, 2013. — 696 с.
3. TRUMPF. Сверление – [Электронный ресурс] – Режим доступа.–URL: <http://slesario.ru/metalli/lazernaya-obrabotka-metallov.html>(Дата обращения 22.02.2016).
4. LINTECH.Лазерное сверление – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.lintech.cz/lazjernoje-svjerljenije> (Дата обращения 22.02.2016).
5. LAZERpaika.Сварка лазером – [Электронный ресурс] – Режим доступа.– URL: <http://лазер-пайка.рф/usluga/lazer/> (Дата обращения 22.02.2016).

## ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Бесполудин Владислав Валерьевич*

*студент Института нанотехнологий, электроники и приборостроения  
Южного федерального университета,  
РФ, г. Таганрог*

Лазерной резкой или разделением называется процесс достаточно быстрого локального нагрева, плавления и испарения материалов остросфокусированным лазерным излучением[1]. По виду воздействия на материал лазерный луч аналогичен газовому пламени и плазменной дуге (тепловой источник), однако концентрация его мощности на несколько порядков выше и составляет  $10^6-10^7$ Вт/см<sup>2</sup>.

Существуют несколько основных видов лазерной резки: резка в режиме испарения и резка в режиме плавления.

При резке в режиме испарения температура материала разогревается до температуры кипения и вещество из канала реза удаляется в парообразном состоянии. Механизм испарения характерен для материалов, в которых энергия удельного испарения мало отличается от удельной энергии плавления, например, для ситала. Резка в режиме плавления характерна для металлов при действии на них непрерывного излучения для удаления расплава в зону обработки подается струя газа – это режим при низких скоростях резки характеризуется образованием и удалением расплава. Качества реза при этом не высокое, увеличение же скорости резки переводит процесс в стационарный режим и качества реза увеличивается.

Основными недостатками механических методов резки являются потери в материалах, низкая производительность процесса, износ и поломка инструмента, все это результат контакта инструмента с материалом.

Основные недостатки термических методов низкое качество реза и невозможность обработать неметаллических материалов. Здесь бессильна и газопламенная и плазменная технология.

Лазерной резке поддаются практически все материалы не зависимо от твердости. Благодаря отсутствию механических усилий могут разрезаться не жесткие материалы, а жесткие лишь фиксироваться без специального закрепления[2,3]. При этом обеспечиваются высокая точность и качество реза (малая ширина и параллельные кромки), малая зона нагрева, большая производительность процесса и возможности точного, автоматизированного управления.

Лазерной резке одинаково легко поддаются такие высокотвердые материалы, как металлокерамика, стеклоуглерод, композиционные материалы на основе нитей бора и углерода и тугоплавкие материалы (вольфрам, рений, тантал, молибден и др.) [4].

Высокое качество реза достигается при лазерной резке стеклоткани, наряду с этим улучшаются условия труда за счет уменьшения количества стеклопыли по сравнению с механической резкой[4].

Таким образом преимущества лазерных методов резки материалов заключается в следующем:

1) Возможность разделения лазером обширного класса материалов независимо от их твердости;

2) Возможность получения узких разрезов с минимальной зоной термического влияния в результате острой фокусировки обеспечивающей локальность нагрева;

3) Практически полное отсутствие механического воздействия на обрабатываемый материал (возможна обработка легкодеформируемых и нежестких материалов), в связи с чем отпадает необходимость в закреплении образца можно ограничиться лишь фиксацией;

4) Высокая производительность процесса;

5) Возможность контроля и строгой регламентации пребывания материала при высоких температурах в случае применения лазеров импульсного периодического действия;

б) Возможность полной автоматизации процесса на высоком уровне. В состав автоматизированного лазерного комплекса обычно входят лазер с источником питания, система управления;

7) Осуществление многопозиционной обработки.

В то же время применение лазерного излучения для резки материалов нельзя считать универсальным средством. Из недостатков стоит отметить глубину проникновения излучения в вещество, имеет ограничение, связанное как с естественной расфокусировкой пучка так и с погашением части излучения на стенках канала. К основным недостаткам лазерной резки относят низкий КПД установки и высокую стоимость оборудования [1].

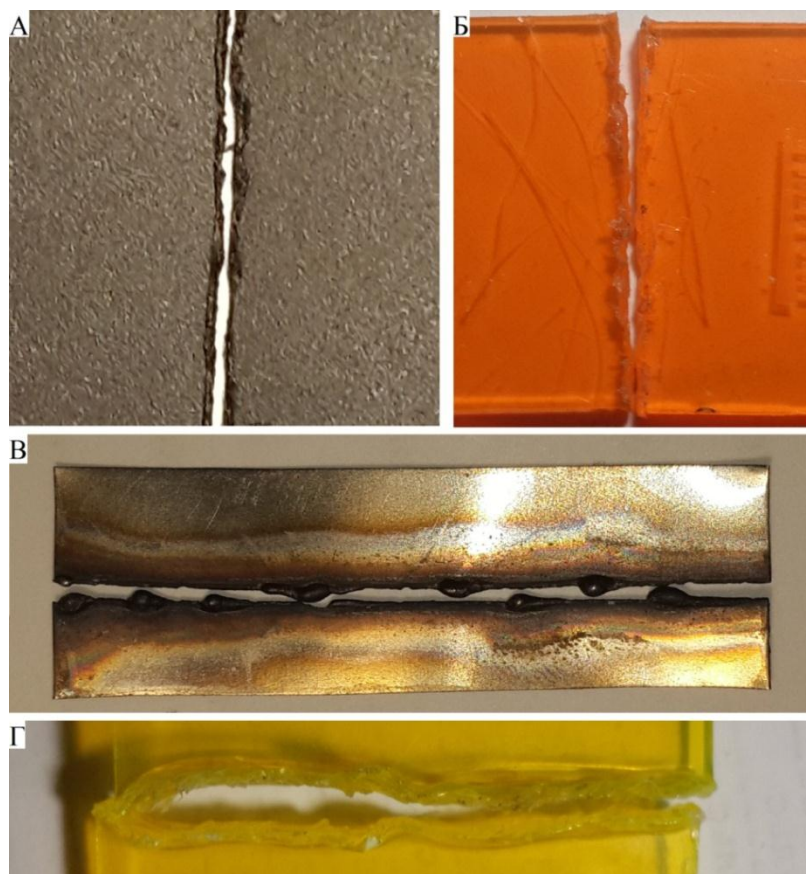
Целью данной работы является подбор оптимальных режимов лазерной резки на различных твердых поверхностях с помощью импульсного инфракрасного Nd:YAG лазера с длиной волны 1064 нм. Максимальная мощность лазерного излучения составляет 110 Вт, частота следования импульсов 10 кГц и длительность импульса 84 нс.

В процессе лазерной резки средняя мощность лазерного излучения изменялась в диапазоне от 5.4 Вт до 88.9 Вт, скорость перемещения лазерного луча по поверхности для всех образцов составила 1 мм/сек., диаметр лазерного пятна на поверхности образца изменялся в пределах от 300 до 560 мкм. Лазерную резку проводили на поверхностях пластмасс различного цвета и жести. В таблице 1 отображены режимы лазерной резки для каждой из твердых поверхностей. На рисунке 1 наглядно отображены режимы лазерной резки различных поверхностей.

*Таблица 1.*

**Режимы лазерной резки твердых материалов**

<b>Материал</b>	<b>Средняя мощность лазерного излучения, Вт</b>	<b>Скорость перемещения, мм/сек.</b>	<b>Диаметр лазерного пятна на поверхности образца, мкм</b>
Пластмасса (черная)	5,4	1	300
Жесть	88,9	1	320
Пластмасса (оранжевая)	7,8	1	360
Пластмасса (желтая)	9,7	1	960



***Рисунок 1. Результаты лазерной резки Nd:YAG лазером с длиной волны 1064 нм а)пластмасса(черная); б) пластмасса(оранжевая);в)жесть; г)пластмасса (желтая)***

На качество лазерной резки существенно влияют такие параметры как: средняя мощность лазерного излучения, скорость перемещения лазерного пятна по поверхности, диаметр лазерного пятна на поверхности материала, физические свойства материала, вид лазерной резки, длина волны, и длительность импульса, а также вид лазерной резки. Лазерная резка металлов требует гораздо большей плотности мощности лазерного излучения, и максимальное качество лазерного излучения, т.е. фокусировки лазерного луча в минимальное возможное пятно.

## Список литературы:

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
2. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. Под ред. В.Я. Панченко. – М.: Физматлит, 2009, 664 с.
3. Ковалев О. Б. Фомин В. М. Физические основы лазерной резки толстых листовых материалов. — М ФИ.Ш ЛТ.Л ИТ. 2013 — 256 с.
4. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

## СЕКЦИЯ 6.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА GaAs - Ge С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ PC1D

*Бесполудин Владислав Валерьевич*

*студент Института нанотехнологий, электроники и приборостроения  
Южного федерального университета,  
РФ, г. Таганрог*

Однокомпонентные фотоэлектрические устройства имеют ограничения в способности эффективно поглощать фотоны солнечного излучения широкого спектра в диапазоне от 300 нм до 2500 нм. Например, в случае солнечных элементов Si, они не могут поглощать фотоны с длиной волны больше, чем 1100 нм, что составляет более 20% стандартного нормального наземного излучения, а также фотоны с длиной волны в ультрафиолетовой области спектра также эффективно не поглощаются[1]. Солнечные элементы, изготовленные на основе гетеропереходов, позволяют поглощать фотоны гораздо более широкого спектра, и оказались хорошим подходом к повышению эффективности фотогальванических устройств[1].

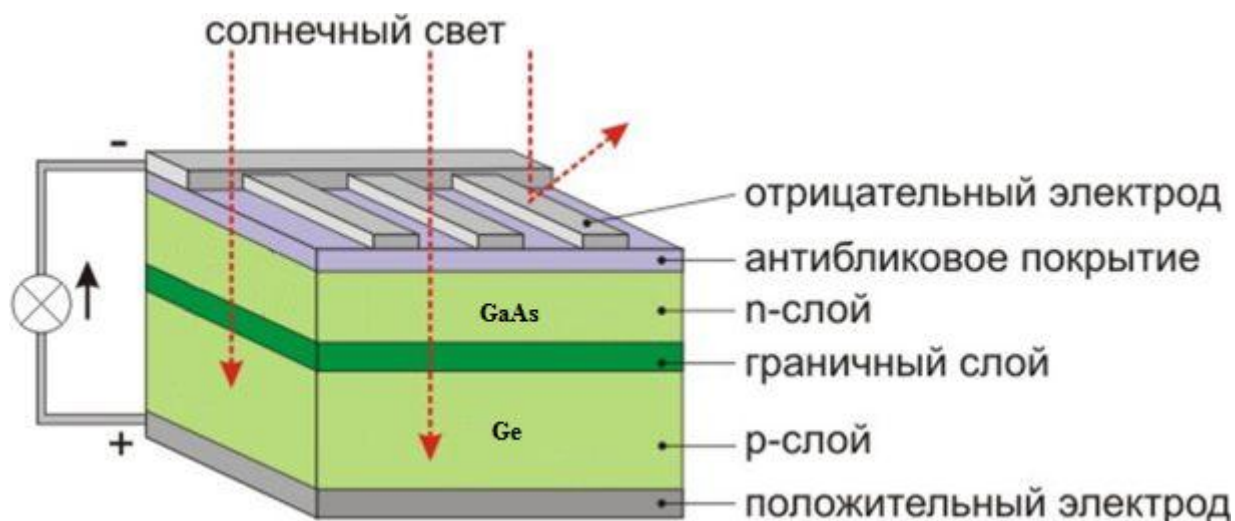
Одним из перспективных сочетание материалов является GaAs и Ge с энергией запрещенных зон 1,42 эВ и 0,66 эВ соответственно. Хотя это и не оптимальное сочетание, эта система имеет ряд преимуществ, как по согласованию решёток, период решётки 5,653 Å для GaAs и 5,660 Å для Ge значительно снижающих генерацию дислокаций несоответствия, высокая механическая прочность Ge, позволяющая использовать тонкие подложки Ge, более низкая стоимость Ge, более высокая теплопроводность, а также термическим соответствием с GaAs[2,3].

Ширина запрещенной зоны GaAs (1,42 эВ) близка к значению, оптимальному для целей фотоэлектрического преобразования солнечной энергии.



Арсенид галлия - прямозонный полупроводник с большим коэффициентом оптического поглощения. Высокая стоимость исходного материала и технологии изготовления солнечных элементов обусловили ограниченное применения его в солнечных элементах[4]. В этой статье мы предлагаем использования спая двух материалов GaAs с шириной запрещенной зоны 1,42 эВ в качестве верхнего слоя и Ge с шириной запрещенной зоны 0,66 эВ в качестве нижнего слоя[4].

В данной статье описывается моделирование работы фотоэлемента на основе гетероперехода GaAs - Ge, верхний слой (GaAs) и нижний слой (Ge) рисунок 1. Этот однокаскадный солнечный элемент был смоделирован с использованием программы PC1D.



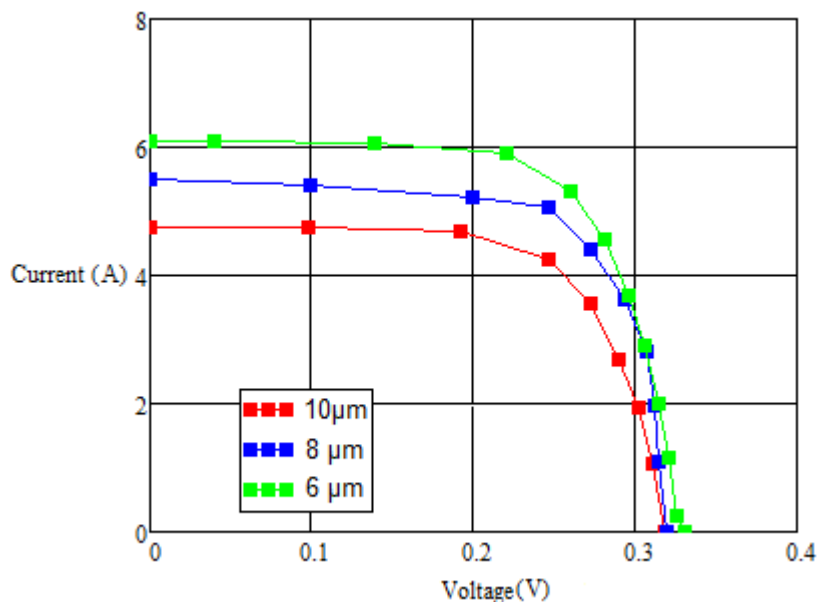
**Рисунок 1. Структура солнечного элемента на основе гетероперехода GaAs – Ge**

Моделирование проводилось на основе стандартной “диффузионно-дрейфовой” одномерной модели. В этой модели совместно решается система одномерных уравнений с использованием дискретной сетки. Система представлена уравнением Пуассона и двумя уравнениями переноса заряда в случае электронов и дырок.

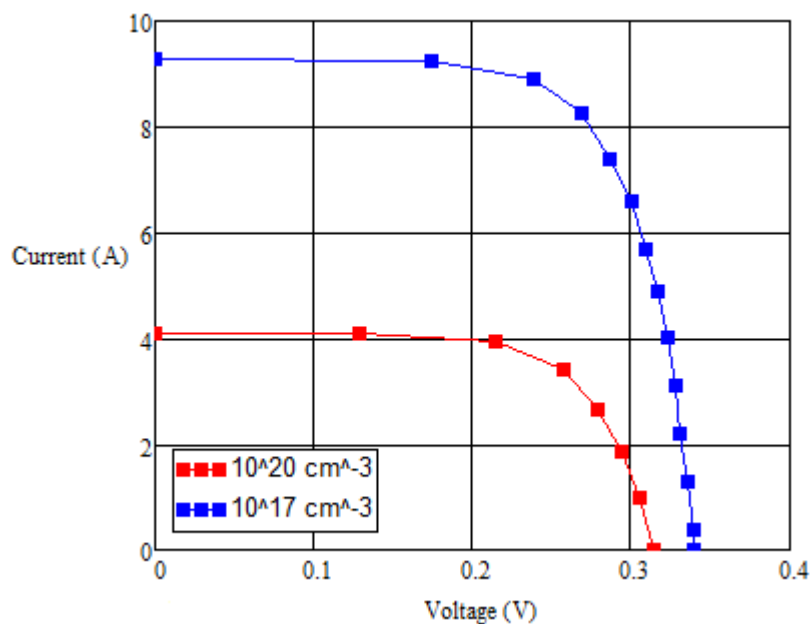
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{q} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = p(x, t) + n(x, t) + N_d - N_A \\ -\frac{1}{q} \cdot \frac{dj_n(x, t)}{\partial x} = G_n(x, t) - R_n(x, t) \\ \frac{1}{q} \cdot \frac{\partial j_p(x, t)}{\partial x} = G_p(x, t) - R_p(x, t) \end{array} \right. \quad (1)$$

где:  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость моделируемого слоя,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $q$  – заряд электрона,  $p(x,t)$  и  $n(x,t)$  – концентрация дырок и электронов в моделируемом слое,  $\varphi$  – электрический потенциал,  $N_D$  и  $N_A$  – концентрации дырок и акцепторов в моделируемом слое,  $j_n$  и  $j_p$  – плотность электронного и дырочного токов соответственно,  $G_n(x, t)$  и  $G_p(x, t)$  – скорости генерации электронов и дырок,  $R_n(x, t)$  и  $R_p(x, t)$  – скорости рекомбинации электронов и дырок[5].

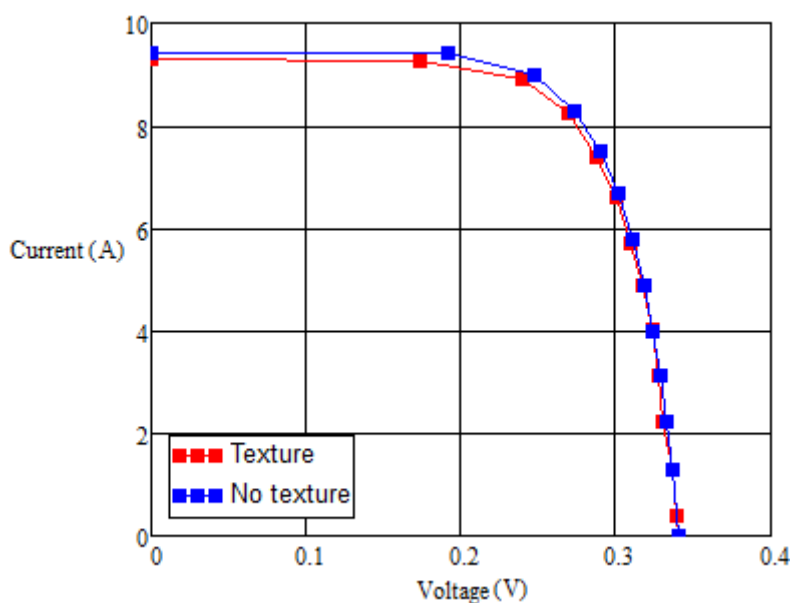
В процессе моделирования менялись такие параметры как толщины слоя GaAs, степень легирования слоя GaAs, а также текстурирования верхнего антибликового покрытия для лучшей передачи фотонов в толщину материала и снижения потерь в верхнем слое.



**Рисунок 1. Влияния толщины слоя GaAs на ВАХ солнечного элемента**



**Рисунок 2. Влияния степени легирования слоя GaAs на ВАХ солнечного элемента**



**Рисунок 3. Влияние текстурирования на ВАХ солнечного элемента**

В данном исследовании мы показали, что гетеропереход на основе GaAs/Ge может достигать удивительно высоких КПД. За счет широкого спектрального охвата, а также тщательного подбора материалов по параметрам решетки, а также изменения конструкции самого фотоэлемента и степени легирования слоя GaAs. Уменьшения толщины слоя GaAs приводило к увеличению тока, в следствии того что слой GaAs генерирует основную часть

электронов, которым необходимо пройти определенное расстояние, чтобы добраться до слоя Ge, и чем меньше это расстояние, тем вероятней что большее количество электронов достигнет слоя Ge. Также увеличении легирования, сверх определенного значения, отрицательно сказывается на мощности устройства.

### **Список литературы:**

1. Simulation of Tunnel Junction in Cascade Solar Cell (GaAs/Ge) Using AMPS-1D. Benmoussa Dennai\*, H. Ben Slimane, A. Helmaoui. JOURNAL OF NANO-AND ELECTRONIC PHYSICS. Vol. 6. №4, (2014).
2. High-Efficiency GaAs/Ge Monolithic Tandem Solar Cells. STEPHEN P. TOBIN, member, IEEE, E. S. M. VERNON, and Al. IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, VOL. 9, №5, MAY 1988. P.256 -258.
3. High - Efficiency GaAs Solar Cells on Polycrystalline Ge Substrates. R. Venkatasubramanian Center for Semiconductor Research. Research Triangle Institute Research Triangle Park, North Carolina. Final Report. NREL technical monitor: – R. McConnell. August 1998.
4. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент/ Пер. сангл. подред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.:ил.
5. Моделирование зависимостей функциональных характеристик кремниевых солнечных элементов, полученных методом ионно-лучевого осаждения, от толщины и уровня легирования фронтального слоя. С.Н. Чеботарев, А.С. Пащенко, М.Л. Лунина. ВЕСТНИК ЮЖНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН Том 7, № 4, 2011, С. 25–30.

# УСТАНОВКА ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ И ВОЗДУХА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ ХОЛОДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В АГРЕГАТЕ ТИПА СЭР

*Коротких Кирилл Алексеевич*

*студент, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
РФ, г. Новокузнецк*

*Падалко Алексей Гаврилович*

*научный руководитель, канд. техн. наук, доц., ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
РФ, г. Новокузнецк*

**Аннотация.** Современным и достаточно эффективным подходом, который реализуется благодаря использованию лабораторных комплексов, является применение физического моделирования в учебном процессе. Одним из таких комплексов является автоматизированный лабораторный комплекс холодного моделирования процессов, протекающих в агрегате типа СЭР.

Работа посвящена анализу улучшения автоматизированного лабораторного комплекса холодного моделирования процессов, протекающих в агрегате типа СЭР. На основе результата было принято решение по установке дополнительных датчиков для отслеживания уровня воды и воздуха.

**Ключевые слова:** Физическое моделирование, агрегат типа СЭР, автоматизированный лабораторный комплекс, программируемый логический контроллер ПЛК-150 фирмы ОВЕН, датчик воды и воздуха.

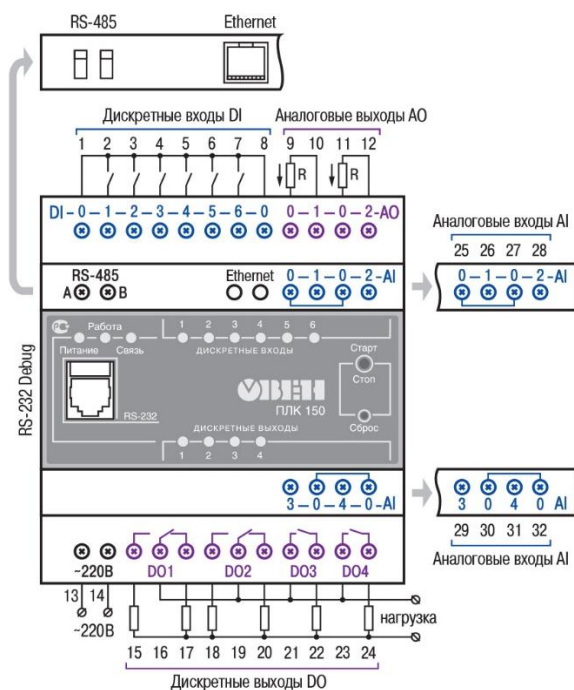
Исходный датчик – это датчик расхода жидкости, который удобен для автоматизации контроля использования, как воды, так и воздуха. Сам датчик состоит из пластикового клапана с двумя штуцерами, водного ротора и датчика Холла. Когда вода проходит сквозь датчик, ротор вращается со скоростью, пропорциональной скорости потока воды. Все абсолютно так же происходит, когда подается воздух. Датчик Холла фиксирует каждый оборот и передает

полученный сигнал[1]. На рисунке 1 изображен датчик расхода жидкости уже встроенный в лабораторный комплекс. Счетчик расхода жидкости способен контролировать объем жидкости пропущенный через него. Термостоек способен выдерживать давление до ( $> 0.8 \text{ Мра}$ ). Данные счетчики используются в водонагревателях, фильтрах для воды, бойлерах, автоматах с газированной водой, кофе-машинах.



*Рисунок 1. Датчик расхода жидкости в лабораторном комплексе*

«Мозгом» лабораторного комплекса является программируемый логический контроллер ПЛК-150 фирмы ОВЕН [2]. Данный контроллер обладает рядом преимуществ. Среди них стоит отметить следующее. Отсутствие операционной системы, возможность работы по любому нестандартному протоколу, широкие возможности самодиагностики, возможность «горячей» замены программы, встроенный аккумулятор и часы реального времени. ПЛК конфигурируется персональным компьютером посредством интерфейса RS-485 и программного комплекса CoDeSys. Схема подключения программируемого логического контроллера ПЛК-150 фирмы ОВЕН изображена на рисунке 2.



**Рисунок 2. Схема подключения ОВЕН ПЛК150-220**

Логический контроллер ПЛК-150 фирмы ОВЕН обладает дискретными входами. Любой дискретный вход ПЛК может быть настроен для работы с импульсными сигналами частотой до 10 кГц. Дискретный вход может функционировать в режиме импульсного счетчика, триггера или энкодера (максимальная частота для энкодера 1 кГц), а также в нескольких режимах одновременно[3].

Для ОВЕН ПЛК100 возможны два варианта исполнения по типу дискретных выходов. По заказу в контроллер могут быть установлены:

- 6 э/м реле;
- 12 транзисторных ключей, выдающих логический сигнал 24 В для управления внешними силовыми реле или иными устройствами.

Любой дискретный выход контроллеров ОВЕН ПЛК может быть настроен на выдачу ШИМ - сигнала, генерируемого с высокой точностью, с периодом до 100 мс (для выхода «К»).

Именно дискретные входа стали необходимы для установки датчиков расхода жидкости. Чтобы установить датчик понадобилось провести питание к датчику от блока питания, подать провод, отвечающий за минус на шину

дискретного входа контроллера, затем завести сигнальный провод на дискретный вход ПЛК 150. Программная связь была реализована в CoDeSys.

По средством опытов и вычислений была проведена калибровка датчика. Были выведены формулы расчета объема воды и воздуха в зависимости от импульса и времени.

Во время анализа улучшения автоматизированного лабораторного комплекса холодного моделирования процессов, протекающих в агрегате типа СЭР были установлены датчики расчета воды и воздуха. Установка датчиков стала расширением возможности по проведению опытов в данном лабораторном комплексе.

### **Список литературы:**

1. Датчик расхода жидкости 0,1-3 л/мин DC 3-18V для Ардуино – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://5250000.ru/shop/arduino/sensory/datchik-raskhoda-zhidkosti-01-3-lmin-dc-3-18v/> [14.04.2016];
2. Падалко А.Г., Оленников А.А., Нурмухаметов В.Н., Цымбал В.П. Автоматизированная лабораторная установка низкотемпературного физического моделирования процесса с элементами самоорганизации. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды IX Всероссийской научно-практической конференции. Новокузнецк, 2013. С. 271-277.
3. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 150 – Краткое описание – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij\\_logicheskij\\_kontroller\\_oven\\_plk\\_150/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk_150/opisanie) [14.04.2016].



## СЕКЦИЯ 7. НАНОТЕХНОЛОГИИ

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЗИТИВНЫХ И НЕГАТИВНЫХ ФОТОРЕЗИСТОВ

*Сороковикова Вероника Николаевна*

*студент, кафедра Физической электроники Томского университета систем  
управления и радиоэлектроники,  
РФ, г. Томск*

*Чистоедова Инна Анатольевна*

*научный руководитель, канд. техн. наук доц. кафедры Физической электроники  
Томского университета систем управления и радиоэлектроники,  
РФ, г. Томск*

На практике были рассмотрены свойства позитивных и негативных фоторезистов на примере AZ1505 и ma-N 1405.

AZ1505 — позитивный фоторезист, доступный в различной вязкости. Эффективен при широкополосном и монохроматическом (g-линия) экспонировании. Толщина резиста нанесенного при 4000 об/мин составляет 0,5 мкм. Время проявления в AZ351B 60 – 120 сек. Однако, этот резист проявлялся в MF 319 в течении 15 сек.

ma-N1405 — негативный фоторезист, предназначенный для использования в микроэлектронике и микросистемных технологиях. Резист имеет различную вязкость. Хорошо подходит в качестве маски при сухом и жидкостном травлении, имеет высокую стабильность в кислотных и щелочных растворах, имеет высокую термическую стабильность. Толщина резиста нанесенного при 3000 об/мин составляет 0,5 мкм. Время проявления в ma-D 533/S 15 сек.

Перед нанесением резиста пластины из GaAs проходят визуальный входной контроль и обработку в органических растворителях. Затем пластины прокаливаются при температуре 190 °С. Далее на пластину наносится резист. После нанесения измеряется толщина резистивной пленки. Затем пленка экспонируется разной дозой и проявляется.

1. Определение основных параметров светочувствительности позитивного фоторезиста.

Исходная толщина резистивной пленки составила 1 мкм.

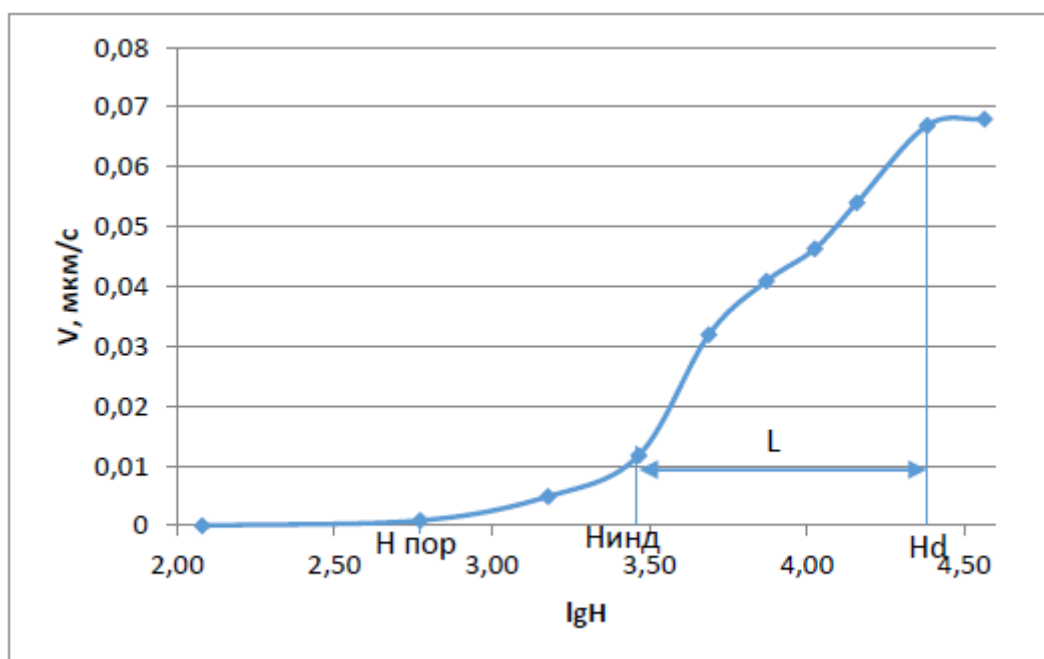
В таблице 1 представлены результаты измерений толщины фоторезиста AZ1505 и расчетные данные скорости проявления при разных дозах экспонирования, необходимые для построения характеристической кривой и определения основных параметров светочувствительности.

**Таблица 1.**

**Результаты измерений толщины и расчетные данные дозы экспонирования и скорости проявления при различных временах экспонирования для фоторезиста AZ1505**

Доза экспонирования H, мДж/см <sup>2</sup>	Толщина удаленного слоя d, мкм	Скорость проявления V, мкм/сек
8	0	0
16	0,01	0,0009
24	0,07	0,0049
32	0,18	0,0117
40	0,61	0,0319
48	0,48	0,041
56	0,83	0,0463
64	0,88	0,0540
80	1	0,0669
96	1,02	0,0680

На рисунке 1 представлена зависимость скорости проявления AZ1505 от логарифма дозы экспонирования, называемая характеристической кривой,  $V=f(\lg H)$ .



**Рисунок 1. Характеристическая кривая позитивного фоторезиста AZ1505**

Из представленной зависимости были определены:

$S_{инд}$  - светочувствительность по точке инерции — величина, обратная экспозиции необходимой, для того, чтобы в дальнейшем изменение скорости проявления было пропорционально  $lgH$ :

$$S_{инд} = \frac{1}{H_{инд}} = \frac{1}{32} = 0,025 \text{ см}^2/\text{мДж}$$

$S_d$  - величина, обратная экспозиции, вызывающей при данных условиях проявления максимальную скорость растворения облученных участков пленки:

$$S_d = \frac{1}{H_d} = \frac{1}{80} = 0,0125 \text{ см}^2/\text{мДж}$$

$S_{пор}$  - пороговая светочувствительность — величина, обратная экспозиции, при которой скорость проявления облученных участков асимптотически приближается к скорости растворения необлученных участков:

$$S_{пор} = \frac{1}{H_{пор}} = \frac{1}{16} = 0,0625 \text{ см}^2/\text{мДж}$$

$L$  - фотографическая ширина — диапазон экспозиций, в пределах которого скорость проявления растет пропорционально экспозиции:

$$L = 80 - 32 = 48 \text{ мДж/см}^2$$

Гамма-контраст:

$$\gamma = \frac{80}{32} = 2,5$$

Контрастность проявления:

$$k = \frac{0,0669}{0,0117} = 5,7$$

2. Определение основных параметров светочувствительности негативного фоторезиста.

Толщина пленки составила 0,526 мкм.

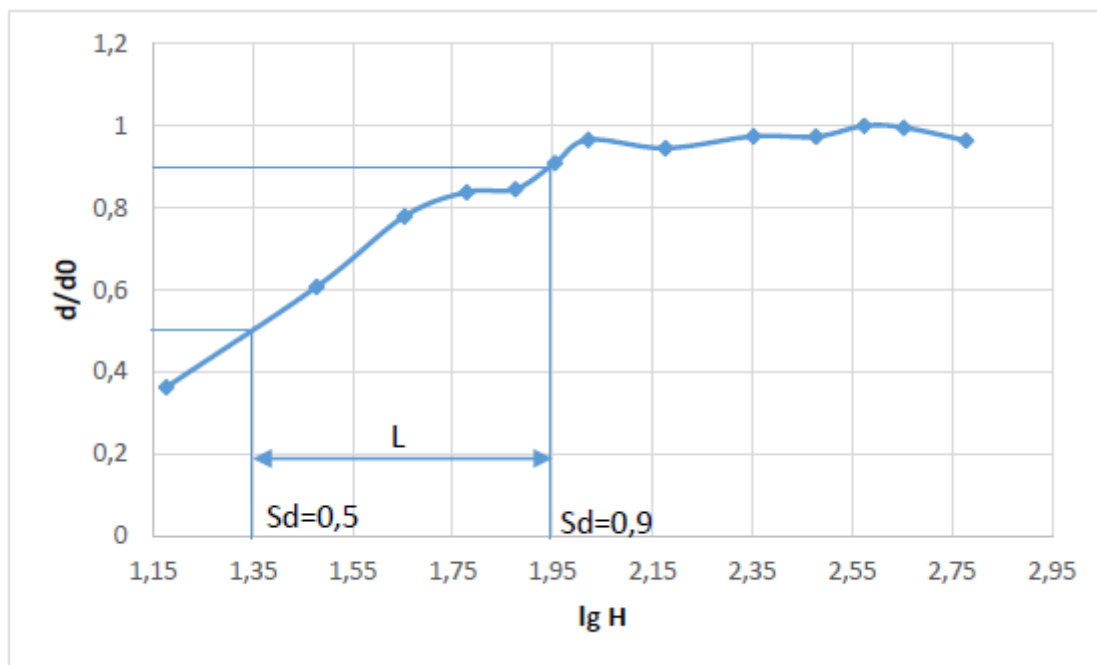
В таблице 2 представлены результаты измерений толщины фоторезиста та-N 1405 и дозы экспонирования, необходимые для построения характеристической кривой и определения основных параметров светочувствительности.

**Таблица 2.**

**Результаты измерений толщины и дозы при различных временах экспонирования для фоторезиста та-N 1405**

Доза экспонирования H, мДж/см <sup>2</sup>	Толщина сшитого слоя d, мкм
15	0,1921
30	0,3218
45	0,4129
60	0,4442
75	0,4758
90	0,4817
105	0,5118
150	0,5011
225	0,5163
300	0,5159
375	0,5299
450	0,5277
600	0,5109
750	0,5616
900	0,5072

На рисунке 2 представлена зависимость толщины сшитого слоя приведенная к исходной толщине пленки фоторезиста от логарифма дозы экспонирования, называемая характеристической кривой,  $d/d_0=f(\lg H)$ .



**Рисунок 2. Характеристическая кривая негативного фоторезиста ma-N 1405**

$S_{d=0,5}$  - величина, обратная экспозиции, необходимой для образования сшитой пленки, толщина которой составляет 0,5 от исходной толщины:

$$S_{d=0,5} = \frac{1}{H_{d=0,5}} = \frac{1}{22,39} = 0,045 \text{ см}^2/\text{мДж}$$

$S_{d=0,9}$  - величина, обратная экспозиции, необходимой для образования сшитой пленки, толщина которой составляет 0,9 — 0,95 от исходной толщины:

$$S_{d=0,9} = \frac{1}{H_{d=0,9}} = \frac{1}{90} = 0,011 \text{ см}^2/\text{мДж}$$

$$L \approx 90 - 15 \approx 75 \text{ мДж/см}^2$$

$$\gamma \approx \frac{90}{15} \approx 6$$

$$k \approx \frac{0,0321}{0,0128} \approx 2,51$$

Светочувствительность  $S_d$  составила  $0,011 \text{ см}^2/\text{мДж}$  для негативного фоторезиста и  $0,0125 \text{ см}^2/\text{мДж}$  для позитивного фоторезиста. Фотографическая широта составила  $75 \text{ мДж}/\text{см}^2$  для негативного и  $80 \text{ мДж}/\text{см}^2$  для позитивного фоторезиста. Можно сделать вывод, что для наиболее точного воспроизведения элементов изображения целесообразно экспонировать AZ1505 дозой от 32 до  $80 \text{ мДж}/\text{см}^2$ , а та-N 1405 дозой от 15 до  $90 \text{ мДж}/\text{см}^2$ .

### **Список литературы:**

1. Боков Ю.С. Фото- электроно- и рентгенорезисты/ Ю.С. Боков. - М.: Радио и связь, 1982. - 138 с.
2. Гудымович Е.Н., Гавриленко Н.А. Основы фотолитографии. Учеб. Пособие / Е.Н. Гудымович, Н.А. Гавриленко - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. - 182 с.
3. Моро У. Микролитография: в 2-х ч. Ч 1: Пер. С англ./ У. Моро. - М.: Мир, 1990. - 605 с.
4. Моро У. Микролитография: в 2-х ч. Ч 2: Пер. С англ./ У. Моро. - М.: Мир, 1990. - 632 с.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ  
И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Электронный сборник статей по материалам XXXIII студенческой  
международной заочной научно-практической конференции*

№ 4 (33)  
Апрель 2016 г.

В авторской редакции

Издательство «МЦНО»  
127106, г. Москва, Гостиничный проезд, д. 6, корп. 2, офис 213

E-mail: [mail@nauchforum.ru](mailto:mail@nauchforum.ru)



