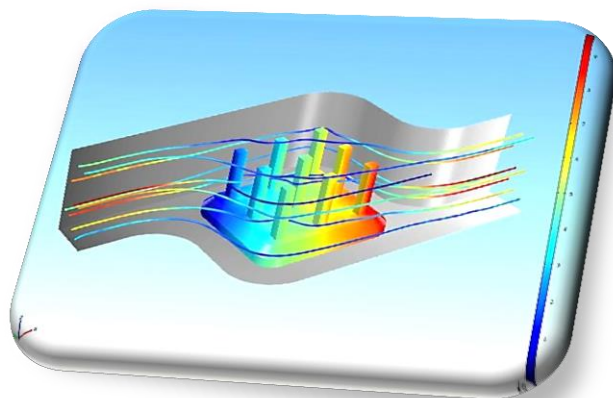


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---



## **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ**

**Сборник трудов  
VI Всероссийской научно-практической конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых  
«Неразрушающий контроль: электронное приборостроение,  
технологии, безопасность»**

**23– 27 мая 2016 г.**

**В трех томах  
Том 2**

**Томск-2016**

УДК 620.1  
ББК 30.3  
Н54

Н54

**Неразрушающий контроль:** сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 3 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 350 с.

В сборнике представлен широкий круг исследований аспирантов, студентов и молодых учёных Томска и других городов России. Сборник посвящён теоретическим и практическим аспектам неразрушающего контроля.

**УДК 620.1  
ББК 30.3**

**Материалы предоставлены в авторской редакции**

© ФГАОУ ВПО НИ ТПУ, 2016  
© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2016

## Секция 2: Электронно-измерительные устройства контроля и диагностики в технике и медицине

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ОБЪЕКТОВ.**

*Адиева Ю.Р.*

*Томский политехнический университет, г. Томск.*

*Научный руководитель: Тригуб М.В., к.т.н., доцент кафедры  
высоковольтной электрофизики и силовых электроники*

Методы неразрушающего контроля уже продолжительное время занимают важное место в разнообразных сферах деятельности человека. Возможность проводить исследования какого-либо объекта, не нарушая его целостность и не мешая рабочему процессу, это важный аспект, если речь идет о сложных конструкциях и системах, которые могут относиться как к промышленности, так и к биологическим объектам.

Визуализация слабоконтрастных объектов относится к оптическим методам неразрушающего контроля и длительное время оставалась труднодоступной. А между тем, многие сферы промышленности и медицины нуждаются в безопасном, простом и доступном методе визуализации слабоконтрастных объектов. [1]

Говоря о слабоконтрастных объектах, мы можем дать им определение как объектам, которые имеют низкий коэффициент отражения проходящего сквозь них излучения, что вызывает трудности регистрации отраженного излучения. Это может относиться к медицине, при необходимости диагностики состава биологических жидкостей, или же внутренних органов на наличие микроразрывов. В промышленности подобный вопрос встает перед работниками пищевой отрасли, в случае проверок вино-водочных продуктов и подобных им на наличие примесей и осадков. Так же, стоит отметить те сферы промышленности, когда речь идет о дефектоскопии полупрозрачных объектов подобных некоторым видам керамики, стеклу и прочим. В некоторых случаях встает вопрос обнаружения примесей и дефектов структуры таких объектов, для их правильного функционирования в других оптических системах [2].

В ходе исследований были рассмотрены несколько вариантов получения изображений слабоконтрастных объектов на экран. Из трех выбранных: схема визуализации объекта “на просвет”, Шлирен-съёмка, и оптическая схема лазерного монитора, большее внимание было уделено последнему. В качестве исследуемого лазера был выбран лазер на парах бромида меди.

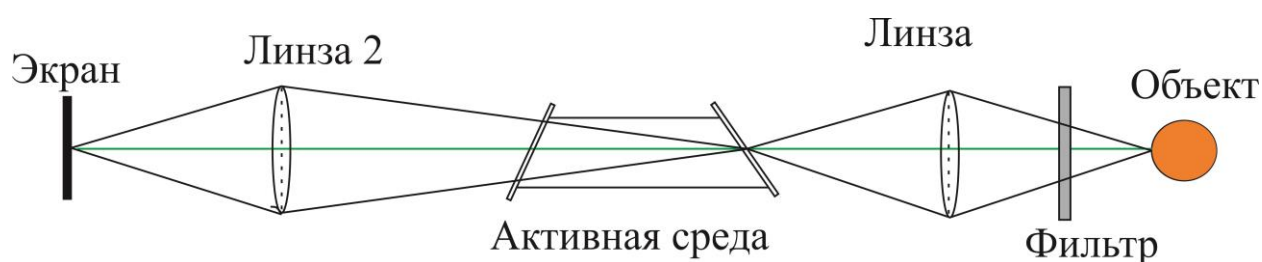


Лазеры на парах бромида меди – это импульсные газоразрядные лазеры, генерирующие на переходах с резонансных уровней на метастабильные. Данные лазеры относятся к классу лазеров на самоограниченных переходах, вероятность распада нижнего уровня которых, меньше, чем вероятность рабочего перехода. Высокая спектральная яркость усилителей яркости на парах металлов дает возможность проводить диагностику объектов и процессов, включающих в себя слабоконтрастные текстуры.[3]

Лазерным монитором является активная оптическая система с усилителем яркости изображения, которая предназначена для наблюдения процессов и объектов в режиме реального времени. Впервые термин лазерный монитор был применен к системе, основанной на принципе лазерного проекционного микроскопа, для визуализации объекта, экранированного фоновой засветкой. Изначально, лазерный монитор был разработан для визуализации быстропротекающих процессов и объектов в условиях мощной фоновой засветки, получив поэтическое название “видеть сквозь пламя” [5]. Именно благодаря успехам данных исследований и было выдвинуто предложение для исследования лазерного монитора применительно к слабоконтрастным объектам.

Для изучения возможности применения лазерного монитора для визуализации слабоконтрастных объектов, была проведена серия опытов по определению коэффициентов контрастности получаемых в изображении объектов на экране и уровня фона.

Для проведения исследования была отстроена схема лазерного монитора изображенная на рис. 1.



*Рис.1. – схема лазерного монитора.*

В качестве объекта исследования нами была выбрана печатная плата, при помощи которой мы могли наблюдать одновременно участок с высокой контрастностью (метализированная площадка) и участок нулевого контраста (отверстие).

Для изменения уровня отражения, между объектом и линзой (1) и между линзой и активной средой (2) помещались светофильтры. В

работе использовались белое стекло и нейтральные светофильтры. Серия снимков, для каждого светофильтра в дальнейшем обрабатывались, строились дистограммы и при помощи них уже шел расчет нужных величин.

Локальный контраст рассчитывался по формуле:

$$K = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}, \text{ где}$$

$K$  – локальный контраст.

$L_{max}$  – яркость объекта

$L_{min}$  – яркость фона.

Логично предположить, что в случае, когда объект сливается с фоном и невидим для наблюдателя, значение  $K$  равно 0.

Таблица 1. Зависимость уровня контраста и яркости фона в зависимости от коэффициента пропускания фильтров.

№	Светофильтр	$K_{пр}$	$K$	$L_{min}$
1	БС-15	0,95	0,7	0,23
2	БС-11	0,94	0,69	0,24
3	БС-12	0,93	0,67	0,24
4	БС-5	0,91	0,66	0,24
5	БС-4	0,9	0,65	0,24
6	БС-7	0,88	0,645	0,24
7	БС-8	0,86	0,64	0,24
8	НС-6	0,81	0,49	0,25
9	НС-1	0,72	0,47	0,26
10	НС-7	0,65	0,4	0,26
11	НС-2	0,44	0,16	0,26
12	НС-8	0,32	0,08	0,27
13	НС-3	0,3	0,04	0,28

Опираясь на данные полученные в ходе исследования (таблица 1), мы можем утверждать, что при работе со слабоконтрастными объектами, в схеме с лазерным монитором, качество полученного изображения объекта позволяет проводить качественную оценку структуры объектов. Так как, даже при малом коэффициенте пропускания, что мы можем наблюдать при использовании НС-8 и НС-3. Это можно так же увидеть на изображениях полученных в ходе исследования на рис. 3. Из чего следует, что лазерный монитор позволяет проводить визуализацию даже в случае малого коэффициента отражения у исследуемой поверхности, как и в случае со слабоконтрастными объектами.

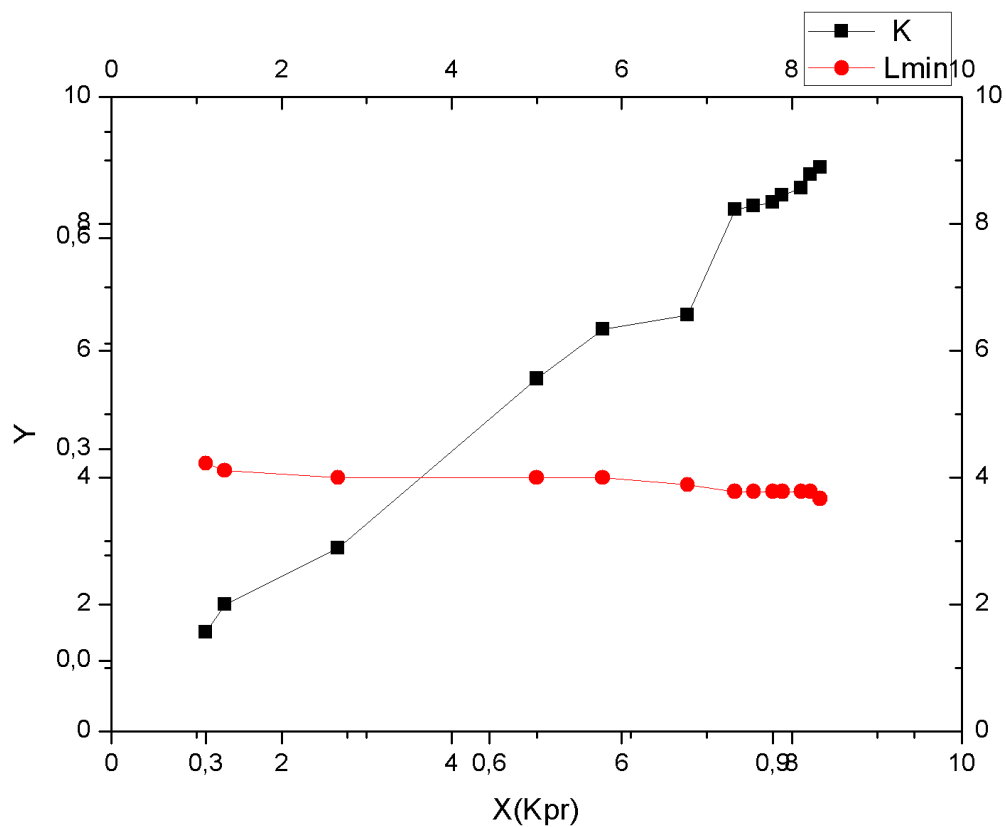
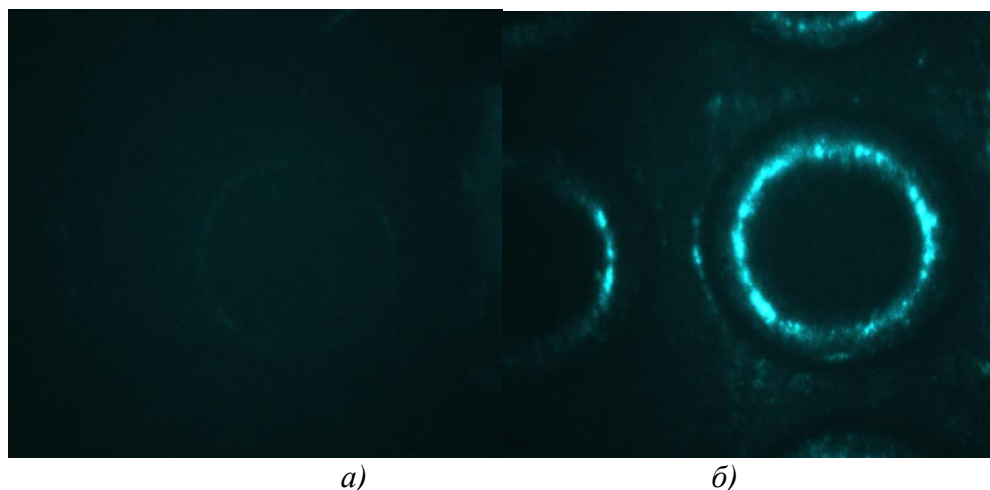


Рис.2. График зависимости уровня контраста( $K$ ) и яркости фона( $L_{min}$ ) от коэффициента пропускания светофильтров.



а)

б)

Рис. 3. – фотографии полученный при применении светофильтров а)НС-3, б) БС-15

### Список информационных источников

1. Савицкий С.С. Методы и средства неразрушающего контроля//электрон.учебно-методическое пособие. – Минск. – 2012г. – 183с.

2. Волкенштейн. С, Ланин.В. Лазерная фотоакустическая диагностика скрытых дефектов в изделиях электроники // Компоненты и технологии. - 2007. - №11. - С. 154-158

3. Применение активных сред на парах металлов в лазерных методиках наблюдения быстропротекающих процессов / М. В. Тригуб // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине : доклады V Всероссийской конференции, 2013 г.. — 2013. — Т. 1. — С. 253-257.

4. Абрамов Д.В., Галкин А.Ф., Жаренова С.В., Климовский И.И., Прокошев В.Г, Шаманская Е.Л. Визуализация с помощью лазерного монитора взаимодействия лазерного излучения с поверхностью стекла и пироуглерода // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 97-100.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ**

*Асадчий А.В.<sup>1, 2</sup>*

*<sup>1</sup>АО «НПЦ «Полюс», г. Томск.*

*<sup>2</sup>Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Солдатов А.И.<sup>2</sup>, д.т.н., профессор  
кафедры промышленной и медицинской электроники*

В автономных системах электропитания различной аппаратуры, работающей без постоянного контроля операторов, важное значение имеют диагностические сигналы, несущие информацию о состоянии аппаратуры на протяжении всего периода эксплуатации. Диагностические сигналы должны быть доступны для контроля и сохраняться в узлах диагностики от момента появления неисправности до момента последующего контроля оператором. Для сохранения диагностической информации в узлах диагностирования должны использоваться энергонезависимые запоминающие устройства.

Построение таких узлов для диагностирования сигналов в преобразовательных устройствах является актуальной задачей. Чтобы создать такой узел, необходимо иметь полное представление об алгоритме работы преобразовательного устройства, а также знать, какие диагностические сигналы должно формировать

преобразовательное устройство при различных режимах работы, в том числе и при неисправностях.

Рассмотрим алгоритм формирования диагностических сигналов в преобразовательном устройстве, позволяющий наиболее точно показать процессы, происходящие в преобразовательном устройстве при различных режимах работы (рис. 1).

При подаче команды «Вкл.» включается преобразовательное устройство и при установлении выходного напряжения происходит формирование сигнала «Норма».

Следующие ступени алгоритма, такие как сигнал «Перегрузка», « $U_{\text{вых}} < U_{\text{нижн}}$ », « $U_{\text{вых}} > U_{\text{верх}}$ », « $U_{\text{вх}}$ », имеют разветвленную структуру и формируют сигналы неисправности по токовой перегрузке, а также сигналы об отклонении входного и выходного напряжения за допустимые пределы.

В свою очередь, сигнал «Перегрузка» в алгоритме (рис. 1) имеет разветвление для двух видов перегрузки:

- глубокая, со снятием сигнала «Норма» и выдачей сигнала «Перегрузка»;
- неглубокая, когда преобразовательное устройство входит в режим токоограничения без снятия сигнала «Норма» до истечения времени 2 – 3 с., после истечения данного времени сигнал «Норма» снимается и выдается сигнал «Перегрузка».

Состояние диагностических сигналов при работе по данному алгоритму приведено в табл. 1 в момент времени  $T_1$ , когда сформирован сигнал «Норма», и в момент времени  $T_2$ , когда сигнал «Норма» снят из-за неисправности.

Таблица 1

Наименование диагностического сигнала	Наличие сигнала в режиме							
	$U_{\text{вых}} < U_{\text{нижн}}$		$U_{\text{вых}} > U_{\text{верх}}$		Перегрузка		$U_{\text{вх}}$ ненорма	
	$T_1$	$T_2$	$T_1$	$T_2$	$T_1$	$T_2$	$T_1$	$T_2$
Сигнал «Норма»	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет
Сигнал «Откл. по нижн.»	Нет	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Сигнал «Откл. по верх.»	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет
Сигнал «Перегрузка»	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет
Сигнал « $U_{\text{вх}}$ ненорма»	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть

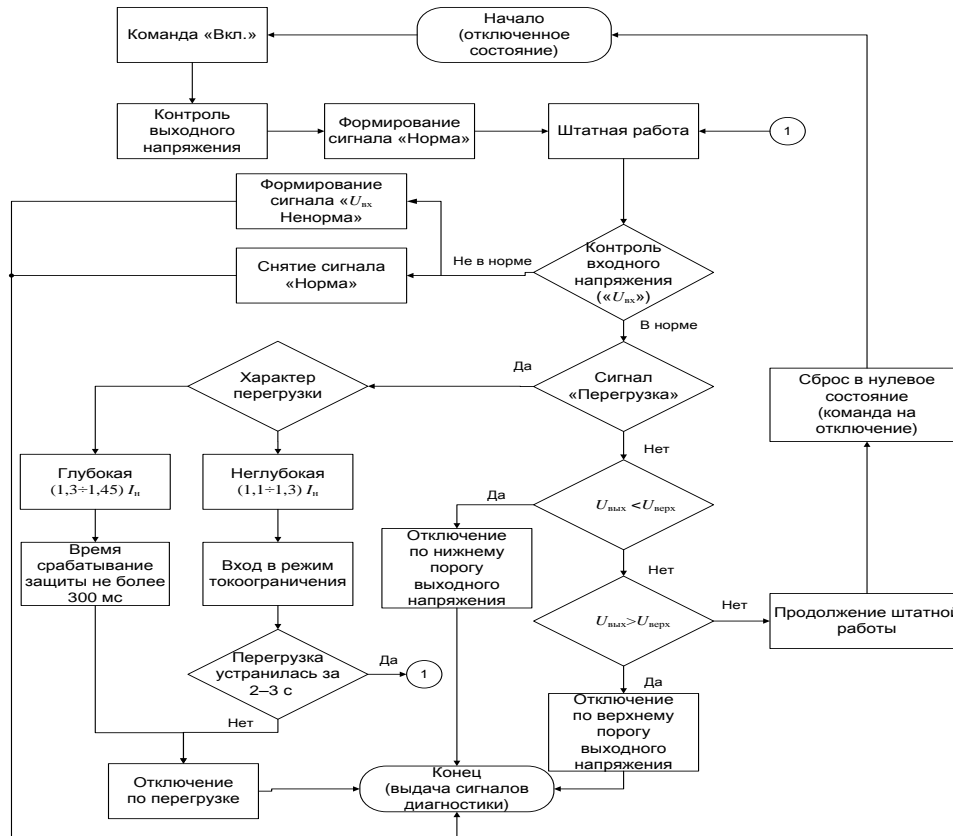


Рис. 1. Алгоритм

Моделирование данного алгоритма проводилось на основании функциональной схемы, показанной на (рис. 2) в среде компьютерного моделирования NI Multisim.

Результаты моделирования приведены на рис. 3.

Моделирование проводилось для пяти видов неисправностей:

- А – отключение по верхнему порогу напряжения;
- Б – отключение по нижнему порогу напряжения;
- В – глубокая перегрузка  $(1,30 \div 1,45) I_n$ ;
- Г – неглубокая перегрузка  $(1,1 \div 1,3) I_n$  (без снятия сигнала «Норма»);
- Д – ненорма входного напряжения.

Из результатов моделирования (рис. 3) видно, что полученные эпюры напряжений диагностических сигналов полностью совпадают с данными, указанными в табл. 1, и соответствуют алгоритму (рис. 1).

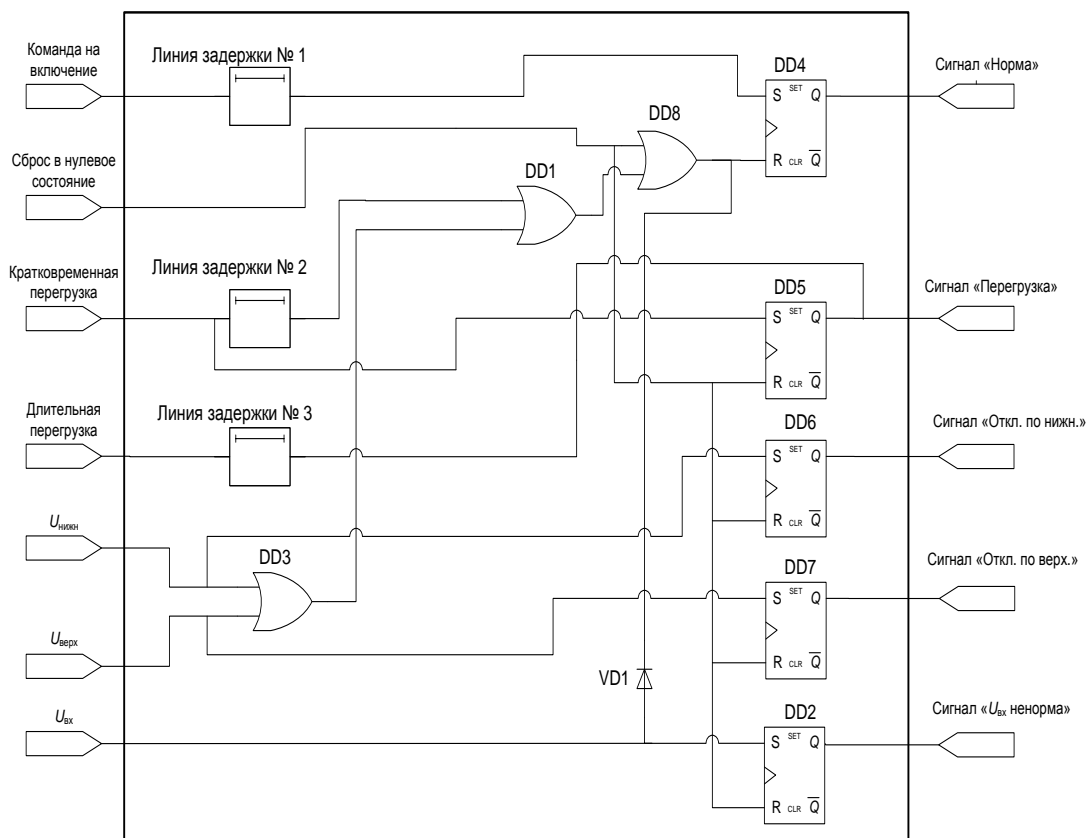


Рис. 2. Функциональная схема электронной модели

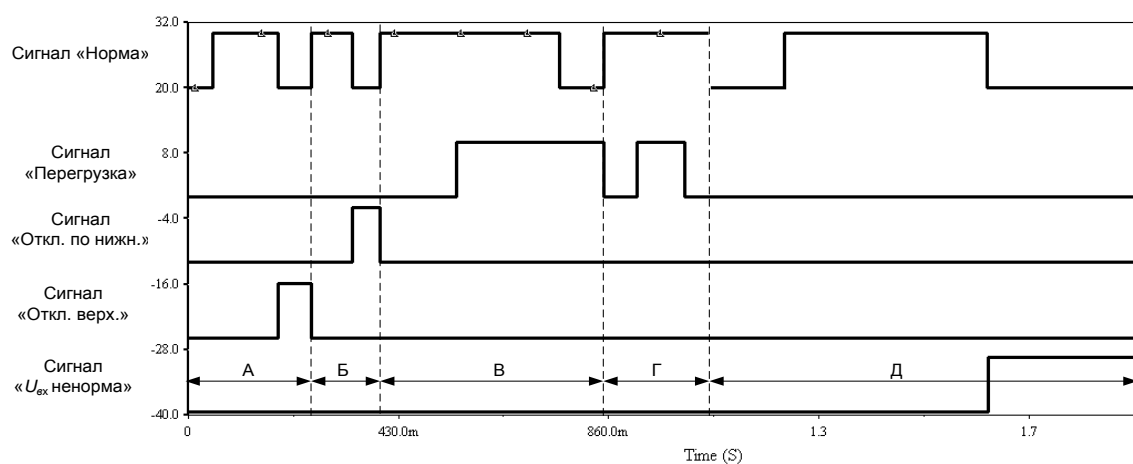


Рис. 3. Результаты моделирования

Результаты, полученные на основании алгоритма, описывают процессы наиболее типичных неисправностей в преобразовательном устройстве.

Таким образом, полученная модель алгоритма формирования диагностических сигналов дает начальное представление о структуре последующего устройства, которое будет хранить в энергонезависимой памяти всю информацию о диагностике.

Наиболее важным подходом при составлении подобного алгоритма является то, что можно не только расширять диапазон диагностических сигналов, но и предусматривать полный автоматизированный контроль преобразовательного устройства, не нарушая его штатного режима работы [2].

### **Список информационных источников**

1. Хернтер М.Е. Multisim 7. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. перевод с англ. Осипов А.И. – М. : ДМК-пресс, 2006. С. 400 – 430.

2. Крупский В.Н., Плиско В.Е. Теория алгоритмов. М. : Академия, 2009, С. 19 – 24.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА ПЛИС**

*Асочаков А.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Шульгина Ю.В., ассистент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

В настоящее время ультразвуковой неразрушающий контроль приобрел новый виток в своем развитии. Стали активно применяться фазированные антенные решётки, благодаря которым появилась возможность осуществлять визуализацию контролируемых объектов и материалов с высокой скоростью сканирования. Также использование программируемых логических схем позволило повысить скорость сканирования, благодаря тому, что ПЛИС имеет высокую скорость межкристального обмена, а также выполняет большое количество операций одновременно и хранит большой объем информации.

В настоящее время активно применяется метод тактированной фазированной решётки SPA (Sampling phased array)[1-2]. Суть этого метода заключается в поочередном возбуждении элементов антенной решетки и параллельном приеме всеми элементами отраженных сигналов. Принятые ультразвуковые сигналы для каждого



преобразователя решетки с каждой позиции сохраняются и служат исходными данными для визуализации объекта контроля. Таким образом, после однократного цикла приема-передачи могут быть реализованы все углы распространения ультразвука на всю глубину прозвучивания.(Рис.1)[3]

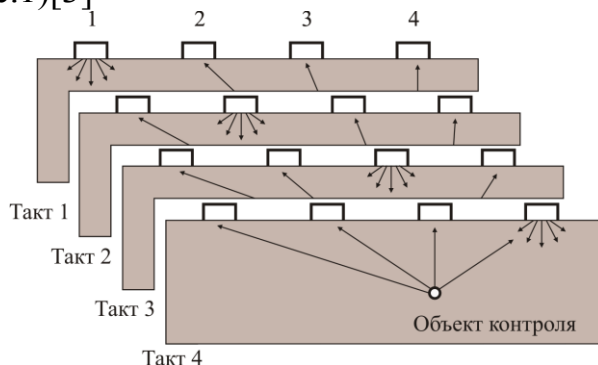


Рис.1. Сканирование методом SPA

Для того чтобы получить изображение среза объекта требуется определить алгоритм обработки отражённых ультразвуковых сигналов, полученных с фазированной решётки. Первоначально либо в процессе обработки, либо предварительно рассчитываются все расстояния от каждого излучателя до каждой точки и до каждого приёмника, т.е. в итоге имеется таблица, которая несет в себе информацию о расстояниях (временах) распространения ультразвука в зависимости от номера точки, номера излучающего датчика и номера принимающего датчика[4]. (Таб.1)

Таб. 1. Информационная матрица

$i,j$	0,0	0,1	1,0	1,1	...	$i,j$
$N$ точки						
0	$L_{0,0,0}$	$L_{0,1,0}$	$L_{1,0,0}$	$L_{1,1,0}$		$L_{i,j,0}$
1	$L_{0,0,1}$	$L_{0,1,1}$	$L_{1,0,1}$	$L_{1,1,1}$		$L_{i,j,1}$
...	...	...	...	...		...
$m$	$L_{0,0,m}$	$L_{0,1,m}$	$L_{1,0,m}$	$L_{1,1,m}$		$L_{i,j,m}$

Где:  $i$  – номер излучателя,  $j$  – номер приемника.

Хранение такого большого количества данных существенно снижает скорость обработки, поскольку информацию приходится хранить не в самой ПЛИС, а во внешней памяти, из-за чего данные приходится обрабатывать последовательно.

Для увеличения скорости обработки данных требуется минимизировать объем памяти, хранимой в ПЛИС. Добиться

существенного сокращения памяти позволит задание симметричных точек для построения изображения, а также правильный алгоритм расчета требуемых адресов.

В основе сокращения матрицы хранящей расстояния (времена) распространения ультразвукового сигнала лежит геометрическое равенство расстояний для симметричного расположения точек (Рис.2).

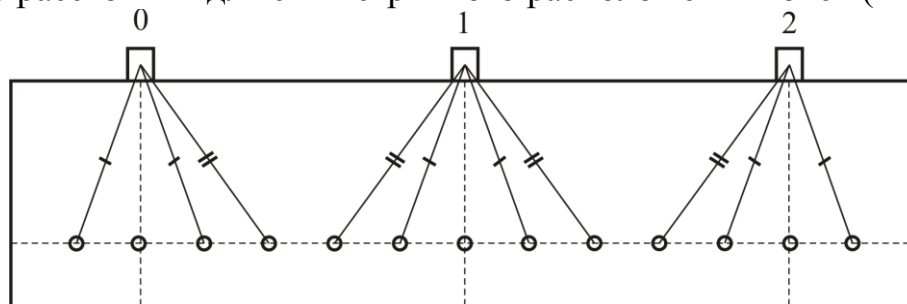


Рис. 2. Расположение датчиков и расчетных точек.

Из рисунка становится, очевидно, что в случае использования трех датчиков имея данные об одном расстоянии можно получить амплитуду сигналов для шести точек. Так же отмеченные отрезки войдут в расчет результирующего пути прохождения ультразвука как часть расстояния или от излучателя до точки или от точки до приемника. При правильном алгоритме обработки данную информацию можно хранить единожды, т.е. используя расстояния только первого датчика до каждой точки.

Для обработки информации и получения результирующей матрицы изображения применяется программируемая логическая схема с архитектурой FPGA.

Результирующая амплитуда расчетной точки объекта контроля определяется как суммирующая амплитуда этой точки из всех полученных сигналов с учетом временного сдвига.

Структурная схема получения амплитуды точки для обработки четырех отражённых ультразвуковых сигналов приведена на рис. 3.

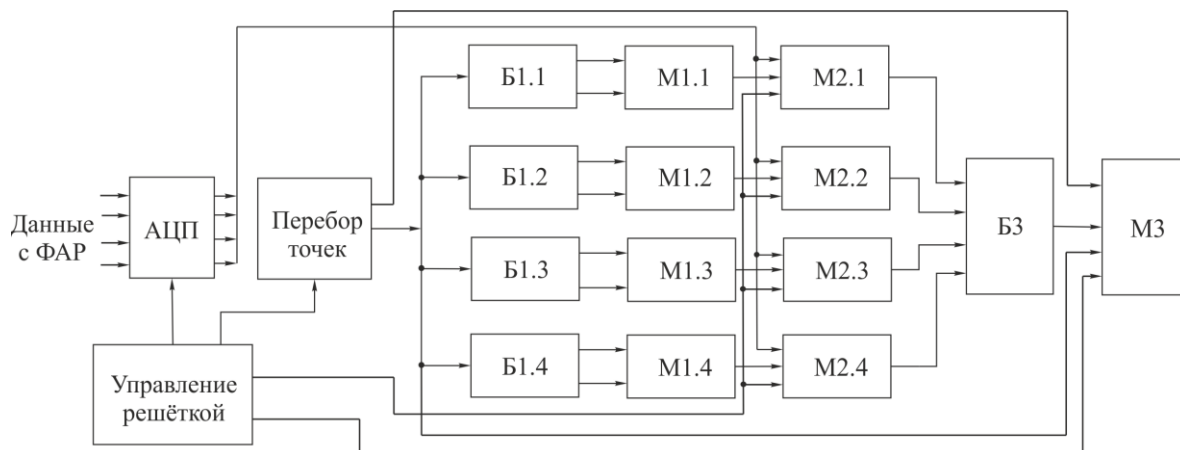


Рис.3. Структурная схема системы обработки

Каждый элемент решётки поочерёдно возбуждается и через АЦП амплитуда точки для каждого сочетания передатчик-приёмник записывается в матрицу М2.

На выходе блока перебора точек данные поступают на блок первичной обработки Б1. В этом блоке происходит расчет адреса для матрицы путей, хранящей время прохождения ультразвука от источника до излучателя через выбранную точку изображения объекта. Из сквозной нумерации точек осуществляется переход к формату строка - столбец.

На выходе блока Б1 имеем информацию об адресе  $t_1$  и  $t_2$  для матрицы путей М1. Эта матрица хранит информацию о временном отрезке, необходимого ультразвуку, чтобы преодолеть расстояние от первого датчика до расчетной точки и до приемника. Результатом работы этого блока является адрес для память А-скана М2. Элемент памяти хранящий информацию об отклике сигнала, пришедшего на датчик в виде амплитудного сигнала. Рассчитанный в предыдущем блоке временной интервал служит адресной информацией для нахождения в А – скане амплитуды расчетной точки.

Амплитуда расчетной точки записывается в память изображения, хранящий информацию о изображении всех расчетных точек из первого А – скана.

В результате реализации данного алгоритма обработки на ПЛИС для 16ти канальной системы, с учетом оптимизации, требуется 32768 бита памяти, что в 16 раз меньше, чем для реализации системы без сокращения матрицы путей – 524288 бит.

При этом за счет параллельной работы каналов скорость обработки в 16 раз, чем при последовательной обработки на микропроцессоре.

### Список информационных источников:

1. Ультразвуковые решетки для количественного неразрушающего контроля. инженерный подход. // Болотина И.О., Дьякина М.Е., Жантлесов Е., Крёнинг М., Мор Ф., Редди К., Солдатов А.И. Дефектоскопия. 2013. – № 3. – С. 21-40.

2. Диаграмма направленности антенной решетки при сканировании по методу SAFT. // Квасников К.Г., Макаров В.С., Солдатов А.И., Сорокин П.В., Солдатов А.А., Кренинг Х.М.В.А., Рябушкин А.П. Контроль. Диагностика. – 2012, № 13. – С. 62-66.

3. A. I. Soldatov, P. V. Sorokin, V. S. Makarov, A. A. Soldatov, [and others], “Nondestructive testing of pallets defects by multichannel ultrasound system,” in 2013 52nd Annual Conference of the British Institute of Non-Destructive Testing, 2013 – pp. 1-7.

4. А. С. Асочаков, Ю. В. Шульгина. Метод обработки ультразвукового сигнала фазированной антенной решётки. // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции, 2015. – стр. 230-233.

## УСТРОЙСТВО ОГРАНИЧЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА

*Барило А.Е.*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Огородников Д.Н., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Пусковой ток — это пиковый ток, возникающий в цепях источника питания при включении. [1] В сущности, все методы ограничения пускового тока сводятся к нескольким основным вариантам, а именно:

- заряд с помощью зарядного резистора;
- заряд с помощью термистора;
- заряд с помощью транзистора;
- заряд с помощью тириستоров.

Все они имеют множество схемных вариаций и довольно широко используются на практике.

Заряд с помощью зарядного резистора, пожалуй, наиболее распространённый способ ограничения пускового тока. Популярность этого метода объясняется простотой и дешевизной реализации, очень высокой надёжностью (КЗ в нагрузке схема из строя не выйдет),

применимостью как в цепях переменного, так и в цепях постоянного тока [1].

Заряд с помощью термистора способ очень прост, надёжен, не требует никаких дополнительных схем, однако в мощных преобразователях он не нашёл широкого. Этот метод оптимален для преобразователей мощностью не более сотен Ватт; для более «серьёзных» преобразователей потери на термисторе оказываются слишком большими и, плюс к этому, недопустимо снижается надёжность устройства в целом.[1]

Заряд с помощью транзисторов. В зависимости от управления, для этого метода существуют два основных режима: статический и динамический. Статический режим подразумевает работу транзистора на активном участке его ВАХ, таким образом, что сопротивление его канала оказывается достаточно большим, чтобы ограничить ток заряда. Фактически, в таком режиме транзистор используется как переменный резистор. Такое управление используется не часто в виду больших тепловых потерь на кристалле транзистора в процессе заряда, изменении параметров транзистора, в частности, при изменении температуры и, в конечном итоге, из-за низкой надёжности такого способа в целом [2].

Другой режим – динамический: накачка ёмкости кратковременными импульсами. Такой способ плавного заряда гораздо более популярен. Достоинства:

1. Возможность работы от постоянного напряжения питания;
2. Не критичность к напряжению питания и к ёмкостному сопротивлению нагрузки;
3. Возможность реализации защиты нагрузки от КЗ в том числе и кратковременного;
4. Малые габариты в сравнении с резистивным (а тем более резистивно-транзисторном) способе заряда.

Заряд с помощью тиристоров.

Преимущества следующие:

1. Относительная простота реализации (в сравнении со схемой управления для транзистора), не требуется гальванической развязки, преобразователя питания и т.д.
2. Относительно меньшая критичность к изменению напряжения питания;
3. Устойчивость к изменению нагрузки, к импульсным токам большой амплитуды;
4. Малые габариты, т.к. не требуется дополнительных устройств, помимо собственно выпрямительного моста. [3]

Недостатки:

1. Возможность работы только от сети переменного напряжения;
2. Невозможность реализации быстрой защиты нагрузки от КЗ.

В итоге, можно составить таблицу (таблица 1) выбора способа заряда ёмкости. [3]

Таблица 1 – Выбор способов заряда ёмкости нагрузки

	Резистор	Резистор + управление	Термистор	Транзистор	Тиристор
Работа на постоянном напряжении источника	+	+	+	+	–
Работа при изменении напряжения питания и/или нагрузки	–	+	–	+	+
Работа на больших мощностях	+	+	–	±	+
Простота схемы управления	+	–	+	–	±

Устройство ограничения пускового тока (УОПТ), предназначено для ограничения тока заряда емкостей порядка 6000 мкФ, током от 10 до 12 ампер, в первый момент времени после подачи питания на УОПТ. После заряда емкости, в функции УОПТ входит защита от импульсных коммутационных перенапряжений (ИКП).

Было решено использовать контроль тока в цепи заряда конденсаторов С1, использовать шунт RS1, это простое и не дорогое решение. Для управления током заряда решено использовать полевой транзистор VT1. Во избежание резких скачков тока будем использовать дроссель L1, установленный последовательно с транзистором. Так же установим диод VD1 во избежание насыщения дросселя. Параллельно транзистору и дросселю установим резистор R1, для того чтобы в первый момент времени заряд емкостей шел через резистор, до тех пор, пока не установится напряжение питания в блоке управления транзистором (БУТ). Полученная схема представлена на рисунке 1.

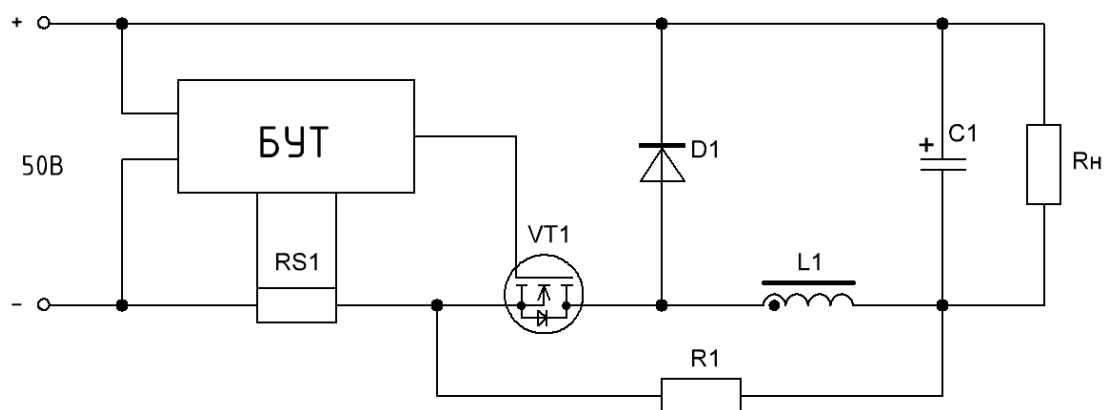
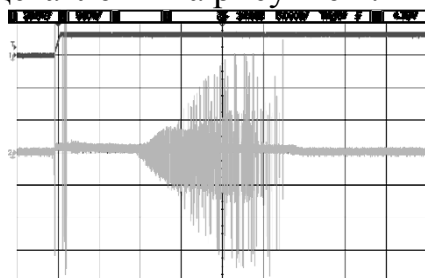


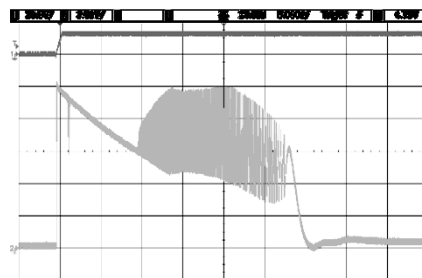
Рисунок 1. Устройство ограничения пускового тока. Схема функциональная

Принцип действия. При подаче напряжения через шунт RS1 начинает протекать зарядный ток, в исходном режиме транзистор VT1 открыт, ток ограничен сопротивлением резистора R1. Как только установится напряжение питания БУТ, начнется ограничение пускового тока. При увеличении зарядного тока на шунте RS1 будет увеличиваться падение напряжения, которое в свою очередь фиксирует БУТ. Когда падение достигнет значения, соответствующего определенному току, БУТ подаст сигнал запирающего транзистора, транзистор VT1 закроется. Зарядный ток пойдет через резистор R1, поэтому величина тока станет меньше. Во время уменьшения тока падение напряжения на шунте RS1 будет уменьшаться и когда достигнет определенного значения, БУТ подаст сигнал отпирающего транзистора VT1. Транзистор VT1 снова откроется, следовательно, увеличится ток, и все повторится снова. Все эти процессы будут происходить до тех пор, пока емкость C1 не зарядится. Когда емкость C1 зарядится до максимума, транзистор VT1 будет в открытом состоянии (установившийся режим). Осциллограммы работы представлены на рисунке 2.



1-Напряжение питания схемы

2-Напряжение на шунте



2-Ток в C1

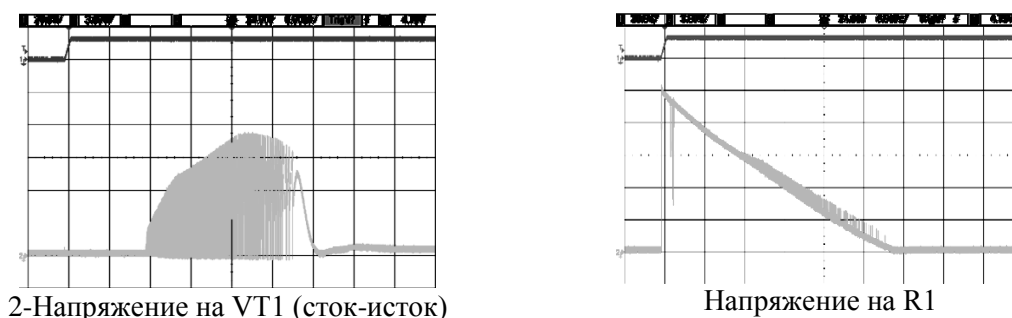


Рисунок 2. Осциллограммы работы УОПТ

Защита от ИКП. Если в установившемся режиме приходит ИКП, на шунте RS1 резко увеличивается падение напряжения, БУТ это фиксирует и выдает сигнал на запираание транзистора VT1, тем самым не дает развиваться току ИКП. После того как импульс ИКП закончился, падение на шунте RS1 уменьшилось, БУТ снова открывает транзистор VT1. Такая система позволяет не допустить больших скачков тока нагрузки.

В итоге собрано УОПТ способное заряжать емкость током порядка 12А. Так же устройство способно защитить нагрузку от ИКП. Устройство полностью удовлетворяет требование технического задания.

### Список информационных источников

1. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие для специальности «Промышленная электроника»/ И.М. Чиженко, В.С. Руденко, В.И. Сенько – М.: Высшая школа, 1974. – 430 с.
2. Высокочастотные транзисторные преобразователи/Э.М. Ромаш, Ю.И. Драбович, Н.Н. Юрченко, П.Н. Шевченко. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.
3. Справочник по импульсной технике/ В.Н. Яковлев, В.В. Воскресенский, А.А. Генис, Е.Ф. Доронин, О.Н. Литвиненко, И.Н. Мигулин, В.И. Сошников, А.В. Цветков. – М.: Техніка, 1972. – 712 с.



# ЭХООСТЕОМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА

*Бочкарева А.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Болотина И.О., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

В настоящее время проблема нарушения целостности структуры костной ткани достаточно велика. Так, одно из самых распространенных заболеваний скелета человека – остеопороз. Остеопороз характеризуется снижением минеральной плотности, массы костной ткани, нарушением структурных особенностей и повышенной хрупкостью костей. Остеопороз увеличивает риск перелома и стал серьезной угрозой общественного здравоохранения в настоящее время в мире. Таким образом, в медицине появляется необходимость диагностировать костные ткани человека.

Наиболее известными современными методами неинвазивной диагностики заболеваний скелета являются рентгеновская и ультразвуковая костная денситометрия (остеометрия), биохимический метод. Все эти методы неинвазивны, имеют свои преимущества, однако значительно различаются по точности и воспроизводимости измерений, по воздействию на организм пациента, по значимости для клинической и научной практики, а также по общей доступности.

Метод рентгеновской денситометрии позволяет визуализировать органы, что облегчает возможность увидеть поражения. Данный метод оценивает проекционную минеральную плотность кости при потере костной массы уже на 20%. А ведь остеопороз развивается длительно, оставляя достаточно времени для принятия спасительных мер. Также, к недостатку данного типа оборудования относится лучевая нагрузка на пациента, громоздкость и высокая стоимость аппаратуры.

Биохимический метод дает точный результат по анализу крови пациента. Но данный метод применяется в комплексе с другими исследованиями.

Существует ряд ограничений по безопасности для здоровья человека при использовании данных методов диагностики.

Актуальность использования для диагностики остеопороза ультразвуковых приборов велика еще и потому, что метод под контролем ультразвука позволяет диагностировать остеопороз своевременно, на самых ранних стадиях.

Ультразвуковая диагностика костной ткани является средством со значительными возможностями для широкого использования в

клинической практике благодаря отсутствию радиации и низкой стоимости его проведения. Отсутствие лучевой нагрузки позволяет использовать ультразвук для измерения плотности костей у детей и у беременных женщин.

Метод количественной ультразвуковой костной денситометрии (остеометрии) основан на измерении скорости распространения ультразвуковой волны вдоль или поперек кости. Измеряется скорость прохождения звука, которая указывает на плотность костной ткани.

Нахождение плотности костной ткани методом количественной ультразвуковой диагностики вытекает из законов распространения ультразвука в разных средах. Чем выше плотность среды, тем больше скорость ультразвука.

На данный момент в мире выпускаются несколько видов ультразвуковых приборов для диагностики состояния кости, каждый из которых основан на применении различных технологий измерений.

Первый метод – теневой (абсолютный или режим осевой передачи). Распространение ультразвука вдоль поверхности кости. Использование данного режима подходит для диагностики длинных костей (большеберцовая, лучевая). При этом источник и приемник ультразвуковых сигналов находятся на одной стороне кости.

Второй метод основан на распространении ультразвука поперек кости, т.е. режим поперечной передачи. Данный метод позволяет измерить скорость ультразвука в кости при оценке состояния губчатых костей (пяточная кость), измерить толщину кости. Датчики приема и передачи ультразвуковых волн расположены на противоположных сторонах диагностируемой кости.

Интерес вызывает методика измерения, работа данных приборов. Любой орган человека сложен по составу, и мы не сможем измерить параметры костной (твердой ткани) не учитывая влияние мягких тканей (мышц, кожи). Таким образом, в приборах данного типа предусмотрено устранение влияния мягких тканей, которые могут значительно воздействовать на результат измерения параметров кости (а именно скорости распространения), и значительно снизить точность измерения благодаря использованию так называемого эхо-импульсного режима (Эхо-метод, отражение).

С помощью применения эхо-импульсного режима измеряют толщину слоя мягких тканей над исследуемой областью кости. В данном методе преобразователь сигналов одновременно является источником и приемником ультразвука.

В настоящее время, к сожалению, в России уже не выпускают приборов, позволяющих оценить плотность костной ткани. Хотя в

стоматологии для проверки плотности костей верхней и нижней челюстей используется прибор российского производства эхоостеометр ЭОМ-01ц. Прибор имеет два режима работы. Второй режим, так называемый режим приращения базы, позволяет исключить влияние мягких тканей за счет эхо-метода, рассмотренный выше. В стоматологии этот прибор в основном применяется для исключения различных видов гнойно-воспалительных процессов, происходящих в костных тканях верхней и нижней челюстей. К тому же, элементная база прибора устарела. Источник и приемник ультразвуковых сигналов разделены и не имеют общей рабочей области, что делает прибор неудобным в использовании. Поэтому, для общей оценки состояния костной ткани человека на данный момент в России используются аппараты зарубежного производства.

Рассмотрев все известные методы и приборы, для своей исследовательской работы я взяла существующий выпускающийся прибор зарубежного производства Sunlight Omnisense 7000. Данный прибор выпускают с 2001 года.

Данный прибор основан на теневом методе (режим осевой передачи), т.е. ультразвуковая волна проходит вдоль кости. Одновременно учитывается влияние мягких тканей с помощью эхо-метода. Также, включает в свой принцип работы законы распространения ультразвуковой волны под критическим углом.

Технология Omnisense основана на измерении скорости ультразвуковых волн, распространяющихся вдоль кости. Технология Omnipath позволяет измерять вдоль оси максимальной прочности в кости, устраняя эффекты мягких тканей и обеспечивая точный диагноз.

Ультразвуковые волны последовательно передаются и принимаются с помощью датчиков, встроенных в ручной ультразвуковой зонд. Путем измерения времени распространения вдоль различных траекторий (время прохождения), определяется скорость кости.

Неинвазивные аппараты, которые способны измерять скорость прохождения звука через кость в более чем одной точке скелета. Устройство состоит из основного блока и небольших ручных датчиков, каждый из которых подходит для измерения скорости ультразвука в нескольких определенных точках скелета, например в дистальной трети лучевой кости, средней трети фаланги пальца, пятой плюсневой кости и средней трети диафиза большеберцовой кости.

### **Список информационных источников**

1. С.П. Моршнева. Методические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза. - Одесса, 2010.

2. И.И. Резников, В.Н. Фёдорова, Е.В. Фаустов, А.Р. Зубарев, А.К. Демидова «Физические основы использования ультразвука в медицине»

3. Эффективность применения количественного ультразвукового исследования для ранней диагностики и лечения остеопороза - Didier Hans, Center of Bone diseases, Bone and Joint Department, Lausanne University Hospital, Lausanne Switzerland.

4. A genetic algorithms-based optimization method for estimating thickness and porosity of cortical bone from guided wave measurements. Published in: Ultrasonic Characterization of Bone (ESUCB), 2015 6th European Symposium on. [Nicolas Bochud](#) ; Laboratoire d'Imagerie Biomédicale, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, INSERM, CNRS, 75006, France

## **ПЛАТА РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПО ОБРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ**

*Брагина А.Д.<sup>1</sup>, Киселева В.А.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Торгаев С.Н., к.ф.-м.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

**Аннотация** – В данной работе представлены результаты разработки платы расширения для лабораторного комплекса по цифровой обработке сигналов. Приведена структурная схема платы, а также экспериментальные осциллограммы по получению сигналов различной формы с наложенными высокочастотными гармоническими помехами.

**Ключевые слова** – цифровая обработка сигналов, цифровой фильтр, генератор, синусоидальный сигнал.

## Введение

В настоящее время цифровая обработка сигналов находит широкое применение в различных отраслях техники и науки. К данным отраслям можно отнести цифровое телевидение, биомедицинские технологии, обработка звука и видео и т.д. Следовательно, на данный момент инженерам – электронщикам необходимо обладать принципами цифровой обработки сигналов.

### Структурная схема программно-аппаратного комплекса

Структурная схема программно-аппаратного комплекса представлена на рис. 1.

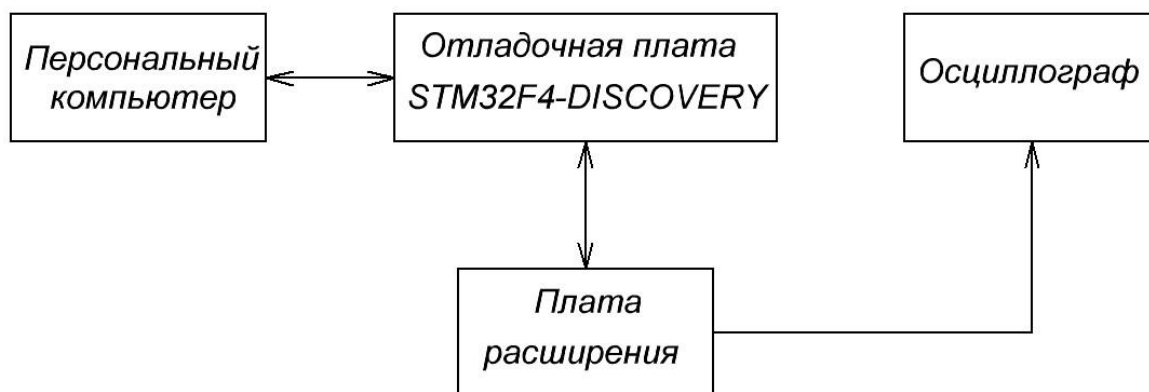


Рис. 1. Структурная схема лабораторного комплекса

Структурная схема включает в себя *Персональный компьютер*, в котором осуществляется расчет соответствующего цифрового фильтра. Далее по интерфейсу UART данные расчета фильтра поступают в микроконтроллер, который расположен в *Отладочной плате STM32F4-DISCOVERY*. *Плата расширения* представляет собой набор генераторов тестовых сигналов, а также буферный усилитель для согласования.

### Структурная схема платы расширения

Структурная схема платы расширения показана на рис. 2.

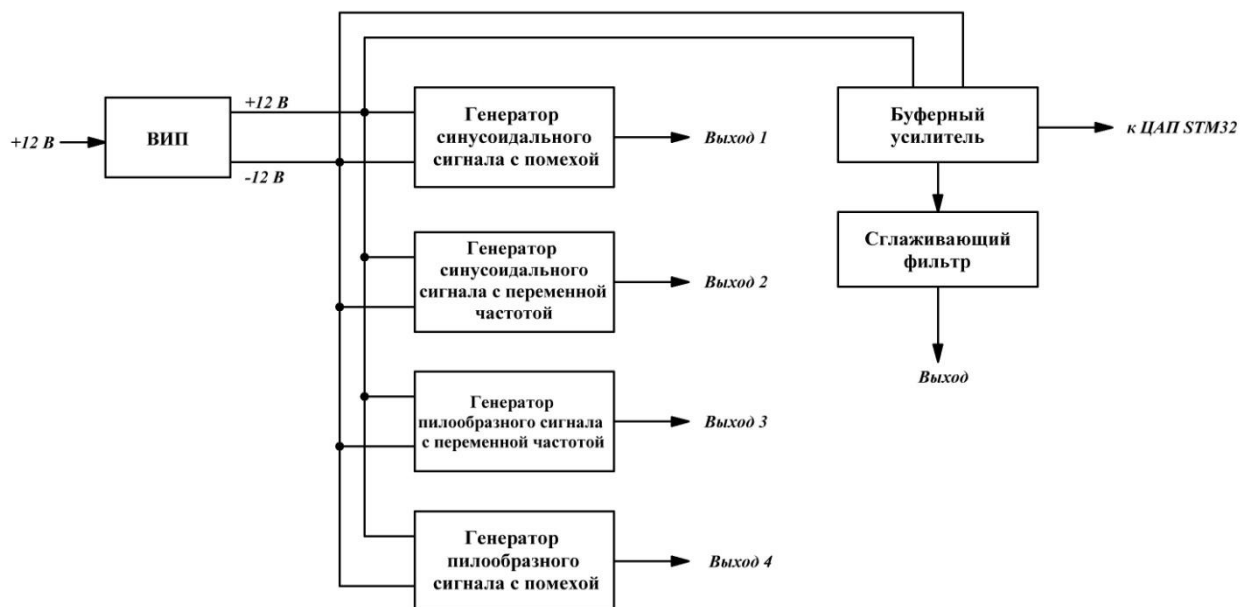


Рис. 2. Структурная схема платы расширения

*Выход 1* на схеме представляет собой гармонический сигнал с частотой 5 кГц и наложенными на него гармоническими сигналами частотами 20 и 50 кГц, тем самым искусственно организованы помехи. *Выход 2* представляет собой синусоидальный сигнал с переменной частотой, за счет этого имеется возможность снятия реальной амплитудно-частотной характеристики разрабатываемого цифрового фильтра. *Выходом 3* является сигнал треугольной формы с переменной частотой, использование треугольного сигнала позволит продемонстрировать студентам влияние частоты среза фильтра на гармонический состав сигнала. *Выход 4* представляет собой треугольный сигнал переменной частоты с наложенным на него помехой

В 20 кГц и 50 кГц. *Буферный усилитель* необходим для согласования выхода аналогово-цифрового преобразователя микроконтроллера со средствами измерения. *Сглаживающий фильтр* представляет собой ФНЧ и выполняет функцию исключения высокочастотных гармоник выходного сигнала.

Составной частью платы расширения является *вспомогательный источник питания (ВИП)*, основной функцией которого является преобразование из однополярного питания +12В в двухполярное питание +12В и -12В. Наличие такого источника обусловлено необходимостью питать операционные усилители, на которых построены принципиальные схемы генераторов сигналов различной формы.

## Макетирование и экспериментальная проверка платы расширения

Для изготовления макета платы расширения с генераторами сигналов сначала была нарисована электрическая схема всех генераторов в рабочем поле «Schematic» программы Altium Designer, а затем произведена разводка платы в рабочем поле «PCB».

Для проверки правильности работы макета данной платы расширения были сняты осциллограммы напряжений на выходах всех генераторов сигналов различной формы:

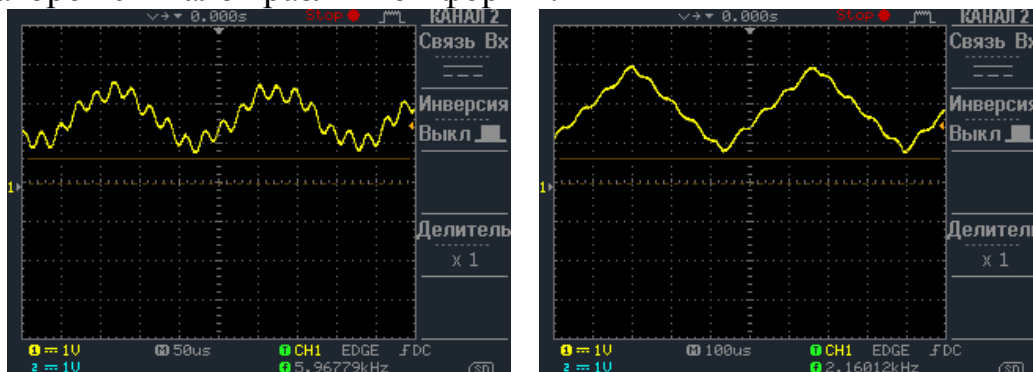


Рис.3. Осциллограммы напряжений с генератора:

а) синусоидального сигнала с помехой

б) пилообразного сигнала с переменной частотой и помехой

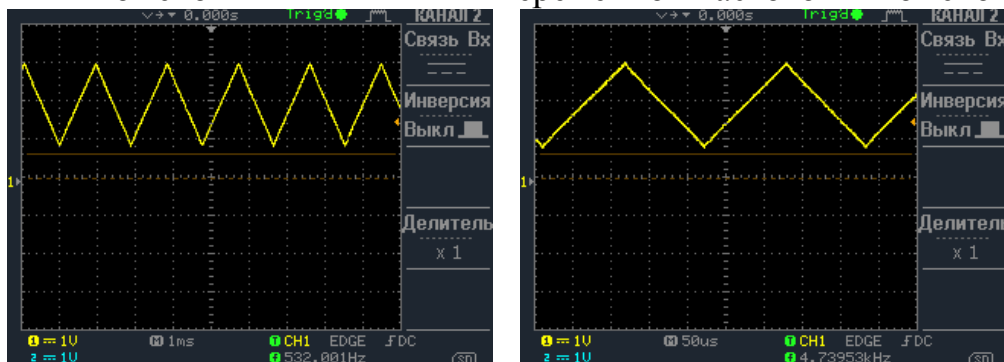


Рис.4. Осциллограммы напряжений с генератора:

а) пилообразного сигнала с переменной частотой ( $f_{min}$ )

б) пилообразного сигнала с переменной частотой ( $f_{max}$ )

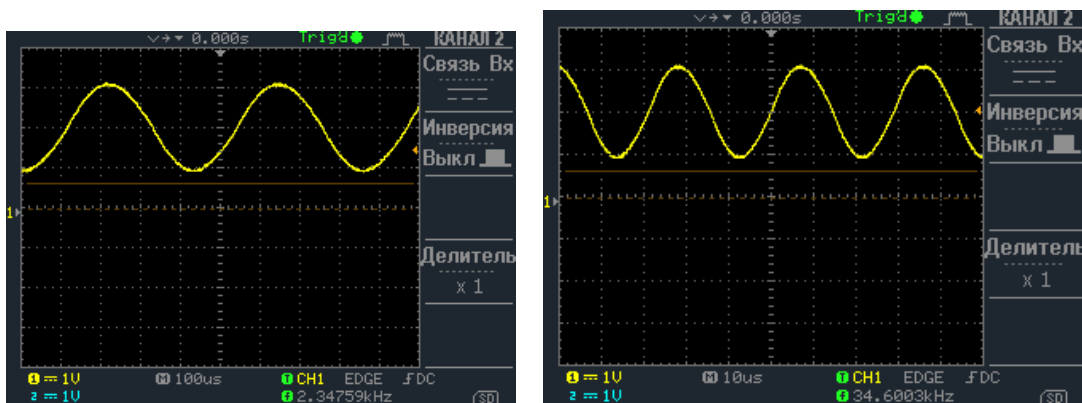


Рис.5. Осциллограммы напряжений с генератора:

а) синусоидального сигнала с  
переменной частотой ( $f_{min}$ )

б) синусоидального сигнала с  
переменной частотой ( $f_{max}$ )

### Заключение

Таким образом, разработанная плата расширения позволяет формировать сигналы различной формы, в том числе с наложенной высокочастотной помехой.

### Список информационных источников

1. Сабунин, Алексей Евгеньевич. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств / А. Е. Сабунин. — Москва: СОЛОН-Пресс, 2010. — 432 с.: ил. — Системы проектирования. — Библиогр.: с. 419.

2. Суходольский, . Altium Designer: сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах :. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. — 560 с.: ил.

3.Каталог продукт - STM32F4DISCOVERY. - [Электронный ресурс]. -Режим доступа:  
<http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF252419>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус. (дата обращения: 02.02.2015).

4.Каталог продукт - STM32F407VGT6. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа:  
<http://www.st.com/web/cn/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1577/LN11/PF252140#>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ. (дата обращения :02.02.2015).



# ИЗМЕРИТЕЛЬ ЕМКОСТЕЙ И ИНДУКТИВНОСТЕЙ

*Ван Юйкэ, Мусоров И.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Торгаев С.Н., к.ф.-м.н. доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

В настоящем времени, конденсаторы и индуктивности находят применение практически во всех областях электротехники. Например, они используются для построения различных цепей с частотно-зависимыми свойствами, в частности, фильтров, цепей обратной связи, колебательных контуров и т. п. Для того, что хорошо и разумно используют конденсаторы и индуктивности, прежде всего, надо узнать их параметрах. Для измерения емкостей и индуктивностей, существует несколько вариантов. Измерители емкостей и индуктивностей могут основаны на мостовой схеме, методе вольтметра – амперметра и основе RLC последовательно резонансной цепи и т.д. В данной статье представлен измеритель емкостей и индуктивностей, который основан на компараторе LM311. Предел измерения индуктивностей составляет 1мкГн-100мГн, и предел измерения емкостей составляет 1пФ-5мкФ.

Измеритель емкостей и индуктивностей строился по структурной схеме, представленной на рис. 1.

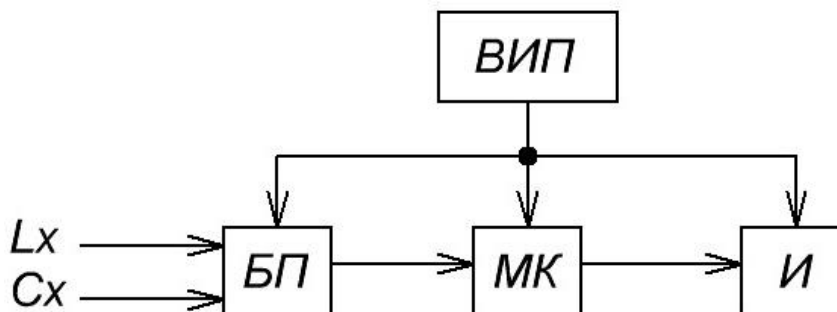


Рис. 1. Структурная схема измерителя емкостей и индуктивностей: БП-блок преобразователя; МК-микроконтроллер; И- индикатор; ВИП-вспомогательный источник напряжения.

При подключении конденсатора  $C_x$  или катушки  $L_x$  на входе блока преобразователя, на выходе блока преобразователя происходит изменение частоты импульсного сигнала. С помощью микроконтроллера STM32F407VGT6 определяется частота сигнала, а следовательно, и величина ёмкостей и индуктивностей. Данной системе нужен источник питания 5В для питания микроконтроллера блока

преобразователи и индикатора.

С помощью программы ORCAD, имитируем процесс, который происходит на выходе ОУ при изменении величины  $L_x$  (с 1мкГн до 10мГн) и  $C_x$  (с 50пФ до 5 мкФ). Результаты моделирования погрешностей измерения емкости и индуктивности представлены на рис. 2 и 3.

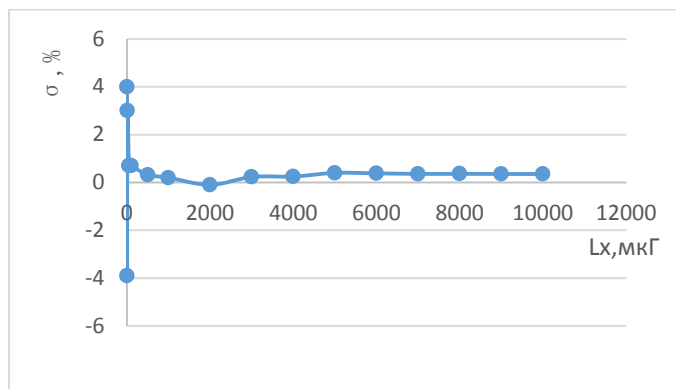


Рис.2. Зависимость погрешности от величины  $L_x$

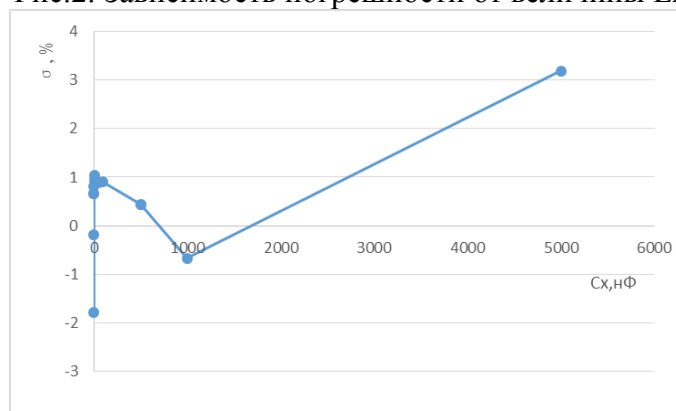


Рис.3. Зависимость погрешности от величины  $C_x$

При измерении маленьких емкостей (с 1 пФ до 50 пФ) погрешность слишком большая. Для устранения данной проблемы необходимо изменить величину эталонной индуктивности  $L=47\text{мкГн}$  на  $L=470\text{мкГн}$ .

Для проверки работоспособности использовалась программы СооСох СоIDE и осциллограф. Во время измерения частоты, получены графики, показанные на осциллографе и экране СооСох СоIDE:

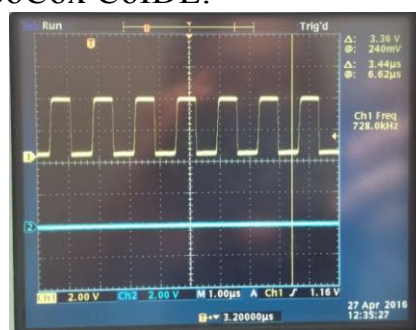
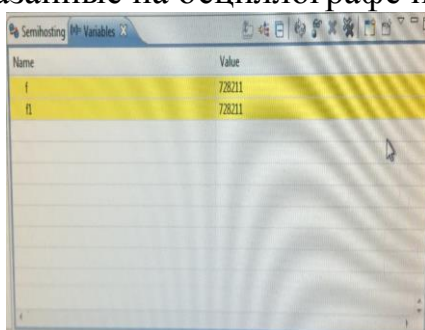


Рис.4. получаемые графики при измерении F1

Рис. 4. показывает, что частоты, получаемые CooSx CoIDE и осциллографом, совпадают.

### **Список информационных источников**

1.Роман Лут [Электронный ресурс] Россия. 2015. URL: <http://radiokot.ru/circuit/digital/measure/93/23.05.2013>. (дата обращения: 23.09.2015.)

2.JunLin [Электронный ресурс] Китай. 2011. URL: <http://wenku.baidu.com/view/76869831eefdc8d376ee32ad.html?from=search> (дата обращения: 29.02.2016)

## **СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНЕРА- ДЕФЕКТОСКОПА С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ STL ФАЙЛА**

*Васильев И.М.*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Сорокин П.В., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

На сегодняшний день, в любом промышленном производстве существует проблема брака в изделиях. Зачастую при выполнении всех требуемых норм качества изготовления, существует вероятность того, что полученный продукт не будет соответствовать заявленным требованиям качества. Маленький дефект на поверхности или внутри изделия может привести к большим затратам и плачевным последствиям, поэтому, чтобы избежать лишних затрат, и сохранить репутацию компании, 234 изготовители уделяют большое внимание на выявление этих дефектов и недопущения недоброкачественных изделий в оборот. На сегодняшний день существует множество способов определения наличия дефекта:

- Метод отклонения от номинала. В этом методе один или несколько физических параметров сравниваются с известными или рассчитанными номинальными значениями параметров доброкачественной детали. При таком методе удаётся выявить только наличие дефекта, а его размеры и положение в детали останется неизвестным. Данный метод прост и не требует больших затрат ресурсов и времени, однако он не даст нам никакой информации о местоположении дефекта.

- Метод получения одной проекции. Этот метод заключается в исследовании детали лишь в одной проекции, т.е. мы увидим все дефекты лишь с одной стороны и, как и в прошлом методе, не сможем определить точное местоположение дефекта в объёмной детали.

- Метод измерения в нескольких координатах. В данном методе объект рассматривается с нескольких сторон, после чего полученные данные синхронизируются, и получается единая модель детали. Путём увеличения количества рассматриваемых проекций, мы можем значительно увеличить точность определения положения дефектов в детали. Данная работа посвящена методу измерения в нескольких координатах, т.к. этот метод позволяет получить более полную информацию о дефектах детали. Для того чтобы получить информацию не только о наличии, но и о положении дефекта в детали, нужна точная привязка координат дефекта к параметрам детали. Для этого, в свою очередь, нужно организовать систему позиционирования измерительного элемента, позволяющую определить местоположение датчика относительно детали. Возможные варианты осуществления системы позиционирования измерительного элемента в многокоординатных сканерах:

- Механическая система. Принцип работы такой системы заключается в том, что датчик перемещается вдоль специально выставленных стоек посредством управления двигателями. Координаты датчика определяются путём считывания шагов двигателя в том или ином направлении.

- Передвигающийся манипулятор. Особенностью данной системы позиционирования является возможность передвижения всей системы с датчиком по самой детали, а не перемещение датчика вдоль неё (Рис.1). Координаты датчика определяются количеством оборотов колёс или специального считывающего ролика в ту или иную сторону. Такая система позиционирования может применяться для нахождения дефектов в деталях простой формы, например рельсы или трубы.

- Система ультразвуковой триангуляции. Данный метод основан на обнаружении волн, испускаемых тремя заранее установленными ультразвуковыми датчиками, и определение относительных координат положения по полученному датчиком ультразвуковому сигналу. Подразумевается, что распространение ультразвуковой волны будет фиксироваться через вибрацию, переданную деталью. Алгоритм расчета координат от полученной величины зависит от измеряемой поверхности. Метод обладает следующим рядом достоинств: наглядность построения карты дефектов, работа в реальном времени,

возможность самостоятельно уделять особое внимание проблемным местам. Недостатки – сложность алгоритма получения координат, невозможность работы в автоматическом режиме, а так же зависимость скорости ультразвука от температуры.

- **Оптическое позиционирование (оптический трекинг)** Работа систем оптического трекинга основана на том же принципе, что и стереоскопическое зрение человека. Поскольку человек видит двумя глазами, он способен определить, на каком расстоянии находится объект и как он ориентирован. Для построения оптической системы трекинга используют, как правило, от двух до 24-х видеокамер, работающих в ИК-диапазоне и пассивные ИК-отражатели (или активные ИК-маячки), располагаемые на объектах, положение и ориентацию которых нужно определить.

- **Электромагнитное позиционирование** При электромагнитном позиционировании измеряется сила магнитного поля. Магнитное поле возникает в результате пропускания тока через электромагнитную катушку. Ток, проходящий через катушку, превращает её в электромагниты, что позволяет определить её позицию и ориентацию в пространстве. Такая система плохо работает вблизи любых металлических объектов и устройств, способных повлиять на электромагнитное поле. Достоинства систем электромагнитного позиционирования: хорошая точность измерения координат и углов, не требуется трудоемкая калибровка при наличии специально подготовленного помещения, работает в отсутствии прямой видимости.

В моей работе использована механическая система позиционирования, а так же сделана лабораторная установка для практических испытаний, способная сканировать объекты с общей площадью 2х2 метра и точностью позиционирования измерительного элемента – 1мм. В дальнейшем предполагается повышение точности за счёт использования других двигателей и редукторов.

### **Список информационных источников**

1.Б.А.Агранат, «Основы физики и техники ультразвука», 1987 г., 214 с.

2.Козловский Е. Искусство позиционирования // Вокруг света. — М., 2006. — № 12 (2795). — С. 204-280.

3. Е. В. Каршаков, —Задача калибровки электромагнитной системы относительного позиционирования», УБС, 37 (2012), 250–268

4.Савицкий С.С. Методы и средства неразрушающего контроля//электрон. учебно-методическое пособие. – Минск. – 2012г. – 54с

5.В.Г. Бадалян, Е.Г. Базулин, А.Х. Вopilкин, Д.А. Кононов, П.Ф. Самарин, Д.С. Тихонов. Ультразвуковая дефектометрия металлов с применением голографических методов. Москва, 2008г., 153 С.

## **РАБОТА CuBr-ЛАЗЕРА В ЖДУЩЕМ РЕЖИМЕ**

*Васнев Н.А., Тригуб М.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Тригуб М.В., н.с. ИОА СО РАН,*

*доцент каф. ВЭСЭ высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники*

Одним из перспективных направлений развития неразрушающего контроля является оптические методы визуализации быстротекущих процессов с мощной фоновой засветкой. Для решения подобного рода задач активно используют лазеры на парах атома меди. В данной работе приведены результаты исследований работы CuBr-лазера при введении цугового режима накачки его активной среды.

Активные оптические системы с усилителями яркости широко применяются для наблюдения процессов в условиях мощной фоновой засветки. Для визуализации таких процессов, используют лазеры на самоограниченных переходах металлов, в частности на переходах атомов меди [1, 2]. Самоограниченность лазерных переходов обуславливает импульсно-периодический режим работы усилителя яркости. Типичная длительность импульса генерации CuBr-лазера варьируется от 30 до 50 нс. Межимпульсный период характеризуется восстановлением температуры активной среды, концентрации электронов, населенности метастабильного и резонансного уровней [3]. Высокая частота следования импульсов препятствует полному восстановлению перечисленных параметров в межимпульсную паузу. Оптимальный подбор таких параметров как рабочая температура, частота повторения импульсов и приходящийся на один импульс энергозатрат позволит оказывать влияние на спектральные и временные характеристики сверхизлучения, что представляет большой научный и практический интерес.

В Институте оптики атмосферы имени Зуева СОА РАН была разработана система, позволяющая организовать ждущий режим

работы лазера. Программное обеспечение позволяет переводить лазер в цуговой режим работы с возможностью регулировки количества цугов, времени паузы между цугами и времени длительности цуга. Реализация ждущего режима позволит существенно повысить интерес к подобным лазерам. Такой режим, фактически, уменьшает потребляемую энергию в течение работы. А синхронизация такого лазера с процессом (визуализации, микрообработки и др.) повысит экономическую эффективность систем на основе CuBr-лазеров.

Был проведен ряд исследований поведения активной среды лазера после намеренного ввода паузы ее накачки. Схема эксперимента приведена на рис.1. Усилитель яркости (1) работает в режиме сверхсветимости. Оптическая система (2, 3, 4) используется для согласования параметров лазерного пучка с измерительным фотоэлементом ФЭК-22СПУ-М (5). Прибор (5) измеряет мощность излучения и преобразует оптический сигнал в электрический, который регистрируется с помощью осциллографа (6).

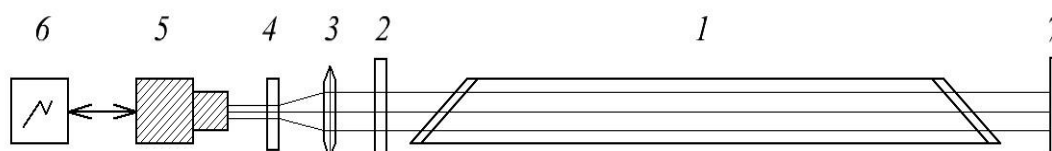


Рис.1. Схема эксперимента: 1 – лазерный усилитель яркости, 2 – полосовой фильтр, 3 – собирающая линза (объектив), 4 – полосовой фильтр, 5 – ФЭК, 6 – осциллограф, 7 – оптический резонатор.

Первая серия экспериментов была проведена для времени паузы в диапазоне от 1 мс до 1000 мс. Накачка лазера осуществляется путем разряда на газоразрядную трубку накопительного конденсатора, емкостью 1100 пФ, с ЧПИ от 10 до 20 кГц. В большинстве случаев можно выделить два характерных времени  $t_1$  и  $t_2$  выхода на режим (рис 2).

Время выхода на режим прямо пропорционально длительности вводимой паузы примерно до середины указанного временного диапазона. Такой характер поведения кривой связан, прежде всего, с тем, что за большее время паузы в активной среде лазера повышается концентрация молекул CuBr, диссоциация которых также требует время и является обязательным условием для возбуждения атомов меди и создания инверсной населенности [4]. Определение количества необходимой энергии для осуществления процесса диссоциации является одним из важнейших научных вопросов.

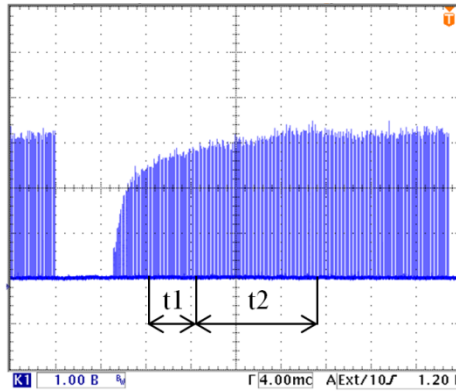


Рис.2. Осциллограмма изменения мощности генерации при выходе лазера на режим с выделенными характерными интервалами времени  $t_1$  и  $t_2$ .

При достижении времени паузы в 500 мс большинство кривых начинает монотонно уменьшаться. С ростом частоты повторения импульсов характерное время  $t_2$  становится менее выраженным, и при существенном увеличении времени паузы выделить его практически не представляется возможным. В остальном экспериментальные данные показали, что зависимость указанных временных интервалов от частоты носит скорее стохастический, чем закономерный характер.

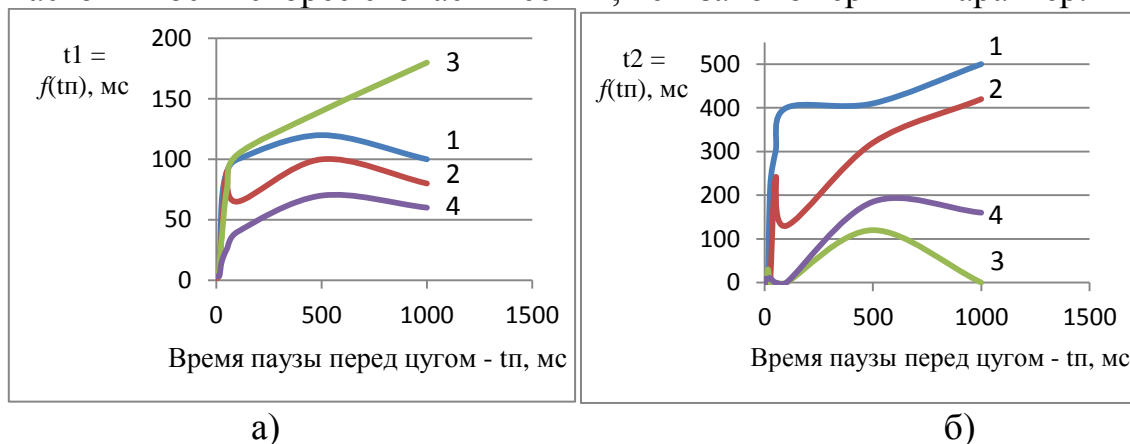


Рис.3 а,б: зависимости  $t_1 = f(t_p)$  и  $t_2 = f(t_p)$  при различных значениях частоты повторения импульсов: 1 –  $f=10$  кГц, 2 –  $f=11$  кГц, 3 –  $f=14$  кГц, 4 –  $f=16$  кГц.

Также было исследовано, как изменяется мощность генерации при выходе лазера на режим работы после длительных пауз. С увеличением времени паузы процесс выхода на режим требует больше времени, однако, в конечном счете, мощность генерации достигает своего исходного значения. Использование плоскопараллельного резонатора обеспечивает положительную обратную связь, которая позволяет



достичь 90 % от исходной мощности за существенно меньшее время, которое составляет единицы секунд.

Были проведены серии экспериментов с использованием плоскопараллельного и неустойчивого оптического резонатора. Первый вид резонатора существенно снижает время выхода лазера на режим по сравнению с неустойчивым резонатором (рис.4).

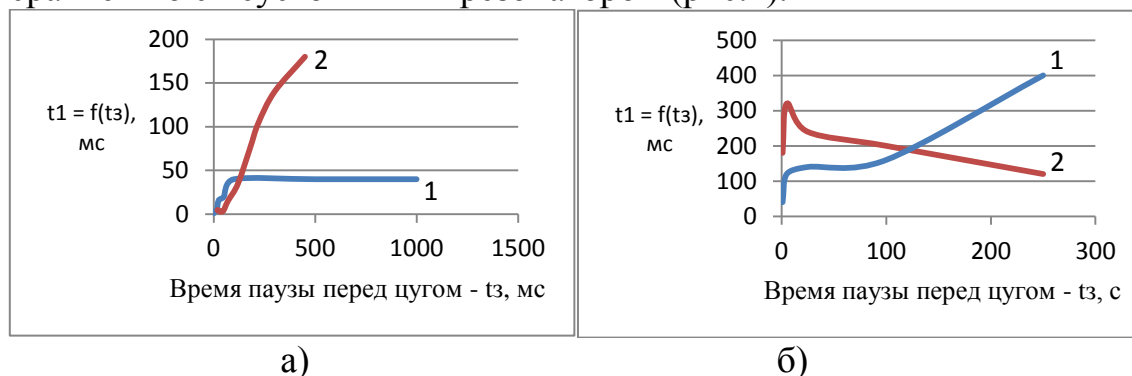


Рис.4. Графики зависимостей времени выхода на режим от длительности паузы: 1 – с плоскопараллельным резонатором, 2 – с неустойчивым резонатором.

Однако, при дальнейшем увеличении длительности паузы до десятков и сотен секунд время выхода на режим для схемы с плоскопараллельным резонатором существенно возрастает. Это также связано с повышением концентрации молекул CuBr. В случае с неустойчивым резонатором характер поведения кривой времени выхода на режим обусловлен искривлением разряда за счет нестационарности активной среды и неустойчивости проходящих в ней процессах.

В результате проведенных исследований можно заключить, что при введении в импульсно-периодический режим работы лазера паузы порядка 1-ой секунды и ниже по ее истечению наблюдается эффективный выход на режим. На практике же требуется вводить паузы порядка нескольких минут. За это время в активной среде лазера начинает преобладать концентрация молекул галогенидов металлов, на диссоциацию которых требуется затратить дополнительную энергию. Следовательно, для отладки оптической схемы возможен вариант реализации цугового режим работы лазера, при котором будет вводиться пауза порядка одной секунды, по истечению которой следует импульс длительностью порядка нескольких миллисекунд, после чего процессы повторяются. Таким образом, вводимые паузы позволяют сократить время, когда лазер работает вхолостую. При этом за время, равное периоду, активной среде сообщается такое количество энергии,

которое требуется для поддержания в ней необходимой концентрации чистой меди, для ее эффективного возбуждения и генерации индуцированного излучения.

### **Список информационных источников**

1. М.В. Тригуб, Г.С. Евтушенко, А.И. Кирдяшкин. Визуализация процесса СВС, с использованием активных сред CuBr-лазеров // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/1. – С. 181-184;
2. Trigub M. V. , Evtushenko G. S. , Gubarev F. A. , Torgaev S. N. High-speed Process Visualization Using CuBr-laser // Proc. Of XIII-th International Conference Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices: proceedings, Altai, July 2-6, 2012. - Novosibirsk: IEEE Russia Siberia Section, 2012 - p. 260-263.
3. Nikolay Vuchkov, Krassimir Temelkov. New High-Power Metal Halide Vapour Lasers: Gas-Discharge Plasma Physics and Lasers' Applications. 2015. – 194 p.
4. В.М. Батенин. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. В.М. Батенин, В.В. Бучанов, М.А. Казарян. – М.: «ФИЗМАТЛИТ», 2011. – 616 с.;

### **СТРУКТУРА НАСТРОЙКИ ПРОГРАММИРУЕМОГО СЛУХОВОГО АППАРАТА**

*Васькина О.В.*

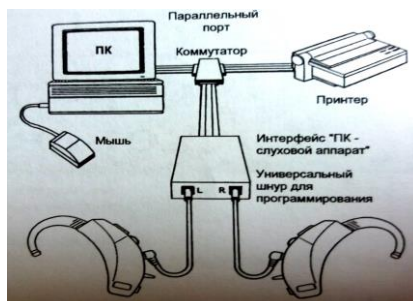
*Соавторы: Молдабеков А.С, Кыров И.В*

*Научный руководитель: Васенькин А.И., старший преподаватель  
кафедры промышленной и медицинской электроники*

Актуальностью темы в том, что один из надежных способов коррекции слуха, на сегодняшний день – коррекция слуха при помощи слухового аппарата. Программируемый слуховой аппарат наиболее подходящий способ для индивидуальных настроек. За последние годы технология слухопротезирования претерпела огромные изменения. Миниатюризация отдельных компонентов привела к появлению косметически привлекательных слуховых аппаратов, обладающих улучшенными акустическими характеристиками. Технологические достижения позволили создать совершенно новые классы аппаратов. К одному из таких новых классов устройств относятся программируемые слуховые аппараты. Основным их

преимуществом является более точное соответствие настраиваемых параметров аудиологическим потребностям пользователя. [1]

Система для программирования, состоящая из слуховых аппаратов, персонального компьютера, программного интерфейса и шнуров.



Персональный компьютер (ПК) – оптимальное решение для настройки слухового аппарата. У ПК нет недостатков, свойственных программаторам. К его неоспоримым преимуществам относятся : практически неограниченные возможности отображения информации; достаточный объем памяти; высокая вычислительная мощность; возможность обновления версии программного обеспечения; возможность работы с программным обеспечением различных производителей слуховых аппаратов.

### Программный интерфейс: HI-PRO



HI-PRO – универсальный интерфейс для программирования слуховых аппаратов любого типа.

Он создавался в качестве стандартного аппаратного интерфейса между ПК и слуховым аппаратом. Он позволяет специалистам настраивать любые программируемые слуховые аппараты различных производителей с помощью одного интерфейса. HI-PRO автоматически подстраивается под необходимое для программирования каждого аппарата напряжение и требуемую структуру передачи информации. В результате ПК и слуховой аппарат могут обмениваться данными. [4]

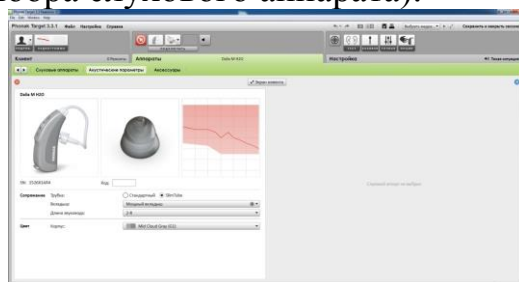
Программное обеспечение: появление программируемых и полностью цифровых слуховых аппаратов придало огромную важность программному обеспечению. Оно используется в двух основных

областях: настройка слуховых аппаратов и цифровая обработка сигналов.

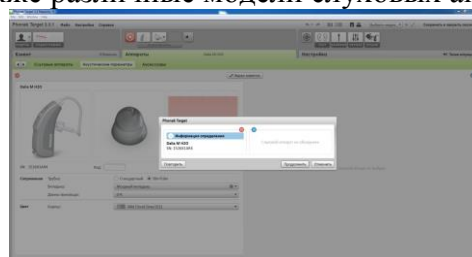
### Структура программ настройки

Организационная структура идеальной программы настройки должна включать следующие элементы:

- Сведения о пациенте: личные данные и информация об образе жизни.
- Диагностические данные: аудиограмма и тп (на рис. Пример окна выбора слухового аппарата).



Пример окна выбора слухового аппарата. На экране отображаются аудиограммы для уха, а также различные модели слуховых аппаратов.



Пример окна настройки слуховых аппаратов.

•Предварительные расчеты: характеристики, вычисленные на основании расчетной формулы и скорректированы в соответствии с индивидуальными значениями резонанса слухового прохода и разницы между реальным ухом и куплером.

•Первичная и точная настройка (на рис. Пример окна настройки.)

•Результаты подбора и их верификация : показатели разборчивости речи, моделирование звуковых ситуаций, вопросники COSI, APHAB и др.

Преимущества и недостатки программируемых слуховых аппаратов: Хотя программируемые слуховые аппараты открывают совершенно новую эру возможности, их внедрение в современную практику проходило не столь гладко. Новые технологии потребовали колоссальных изменений в работе производителей слуховых аппаратов и аудиологов. Производителям пришлось бороться со свойственными любому программному продукту ошибками и сбоями, а аудиологии

вынуждены были отказаться от проведенных временем стратегий подбором и стратегий. Однако, несмотря на относительно недавний коммерческий дебют, программируемые слуховые аппараты успели убедительно продемонстрировать свои преимущества.

#### Высокая степень технологичности

- Программируемые слуховые аппараты построены на гораздо более сложных электронных схемах. Это означает, среди прочего, более совершенный контроль перегрузки слухового аппарата, ведущие к уменьшению искажений.

- Данные аппараты обладают более совершенными фильтрами, позволяющим точнее учитывать индивидуальные особенности аудиометрического профиля.

- В одном аппарате могут использоваться различные системы ограничения уровня выходного сигнала, что позволяет выбрать наиболее подходящий пользователю вариант.[4]

### **Преимущества для аудиологов**

#### Настройка

- Простота программирования (отсутствие миниатюрных настроечных потенциометров)

- «режим сравнения», позволяющий пользователю оценить одновременное изменение многих параметров.

- Возможности одновременной настройки двух слуховых аппаратов.

#### Компьютер

- Возможность автоматического расчета заданного набора параметров, включая акустические характеристики (винты, звуководы, демпферы и тп.)

- Хранение параметров настройки в клиентской базе данных. [2]

### **Список информационных источников**

1. Интернет-источник: <http://www.formula-sluha.ru/abouthear.htm>
2. Заушные слуховые аппараты (С. А.) 3. Внутриушные С. А.
3. Отоларингология. Учебник/Под ред. И.Б. Солдатов, В.Р. Гофмана – Спб., 200 – с. 153-167
4. Слуховые аппараты /А. Фонлантен, Х. Арндт – Ростов н/Д; Феникс, 2009.-304 с.

## **АКУСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БРОНХОФОНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЧЕЛОВЕКА**

*Гатауллин А.А.<sup>1</sup>, Киселева Е.Ю.<sup>2</sup>, Жданов Д.С.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Томский политехнический университет, г. Томск*

*<sup>2</sup>ООО «Диагностика+».*

*Научный руководитель: Киселева Е.Ю., к.т.н., зам. директора по  
проектной работе ООО «Диагностика+»*

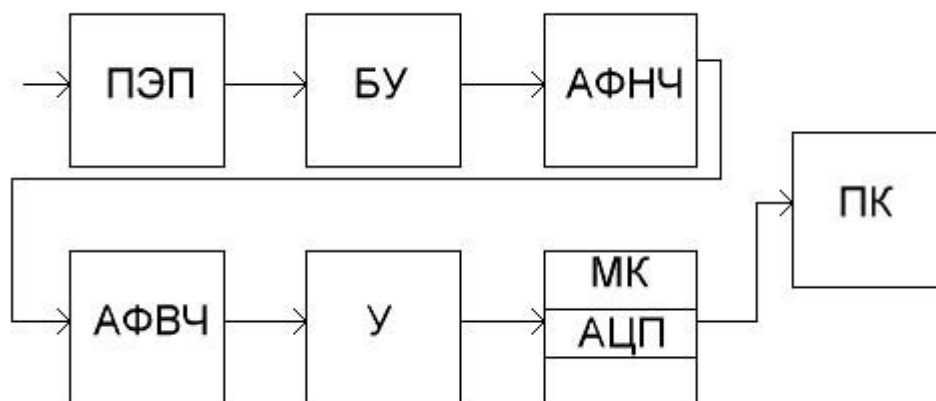
Поражение легких является одной из значимых причин ухудшения здоровья во всем мире. В Европе, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), а так же астма, вызываемая плохими экологическими условиями, курением и так далее, по некоторым оценкам может наблюдаться у 10-25 % населения. ХОБЛ занимает 4 место в мире и 3 место в Европе среди причин смерти [1]. Различные виды легочных инфекций, таких, как острый бронхит, пневмония и туберкулез, так же вносят значительный вклад в статистику легочных заболеваний и требуют срочной и качественной диагностики.

Долгое время основным способом диагностики являлась перкуссия и аускультации легких врачом с помощью стетоскопа. Основным недостатком метода являются субъективность мнения врача при анализе шумов на слух: результаты аускультации зависят и от того кто проводит процедуру, и от типа используемого стетоскопа. Кроме того частотная характеристика стетоскопа ослабляет сигналы лежащие в полосе частот выше 120 Гц, а человеческое ухо имеет слабую чувствительность на низких частотах.[2]

Для диагностики бронхо-легочных заболеваний в настоящее время ООО «Диагностика+» разрабатывает бронхофонограф.

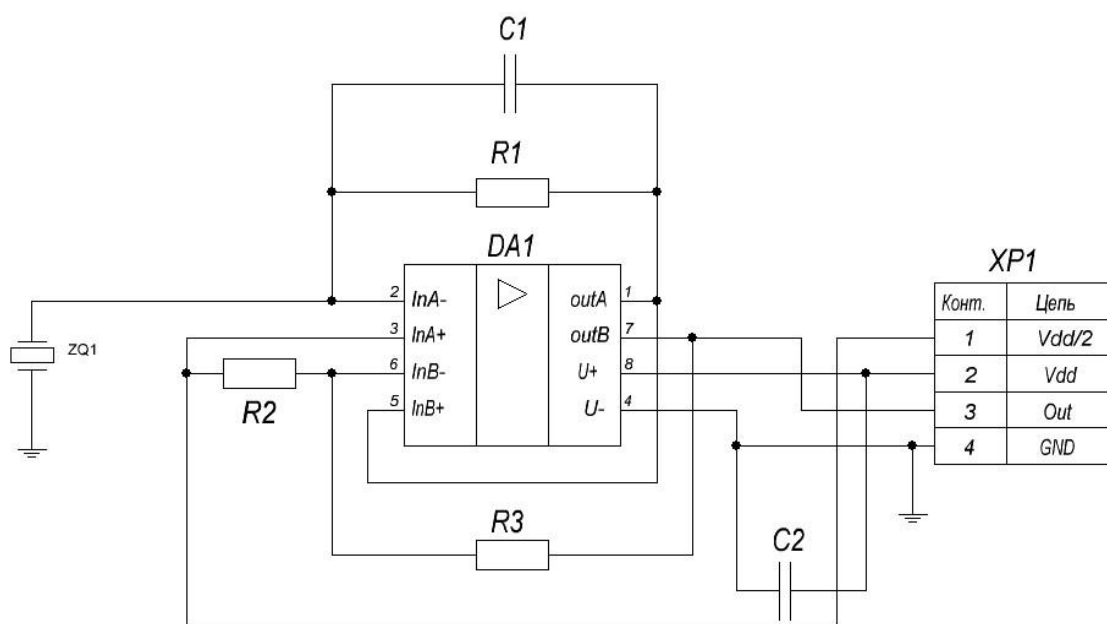
Бронхофонограф - инструментальный комплекс для сбора и обработки акустических легочных шумов. Данное устройство состоит из следующих основных блоков (Рис.1): пьезоэлектрический преобразователь (датчик для регистрации данных), блоки усиления и фильтрации, микроконтроллер для оцифровки сигнала и ПК для дальнейшего математического анализа.

Целью данной работы была разработка акустического датчика, предназначенного для качественного получения бронхофонографических данных.



*Рис1. Структурная схема устройства*

На рис. 2 представлена принципиальная схема такого датчика  
буферного усилителя.

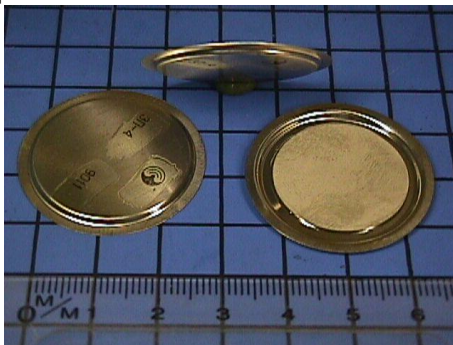


*Рисунок 2. Схема электрическая принципиальная акустического  
бронхофонографического датчика*

Электрическая принципиальная схема акустического датчика представляет собой буферный усилитель, собранный на микросхеме TL062D. Для корректной работы от основного блока бронхофонографа поступают два напряжения: напряжение питания ( $V_{dd}$  и  $V_{dd}/2$ ).

В качестве регистратора дыхательных шумов выступает пьезоэлектрический преобразователь ЗП-4 (Рис.3), на который

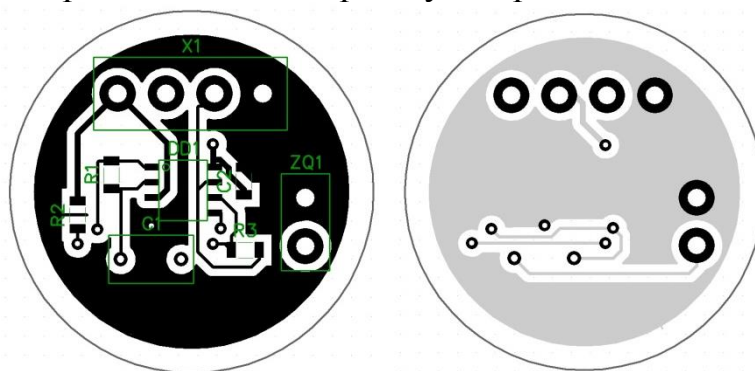
воздействуют звуковые волны (либо непосредственно, либо через мембрану), в результате чего на нем возникают напряжения, изменяющиеся в такт изменениям звукового давления. Он характеризуется простотой конструкции достаточно хорошей частотной характеристикой, однако чувствителен к воздействию температуры и влаги [3].



*Рисунок 3. Внешний вид звукоизлучателя ЗП-4*

Используемые в медицине пьезоэлектрические микрофоны имеют мембранную конструкцию. Микрофон состоит из диффузора, выполненного из бумаги или тонкой алюминиевой фольги, скрепленной с пьезоэлементом. Звуковое давление воздействует на диффузор, а через него – на пьезоэлемент. Такие микрофоны обладают необычайно высокой чувствительностью, достигающей до 50 мВ/Па [4].

Следующим этапом была разработка печатной платы акустического датчика. Трассировка схемы электрической принципиальной (рис.4) была произведена в программе Р-CAD. Был выбран односторонний монтаж при двухстороннем печатном рисунке.

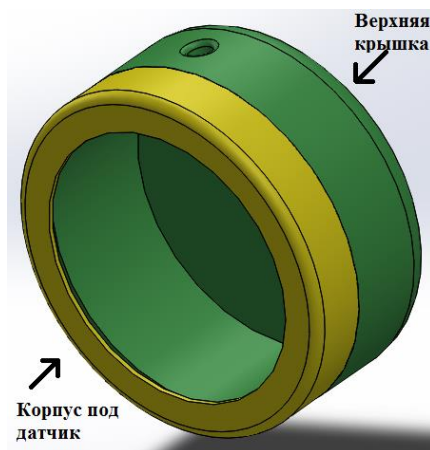


*а)б)*

*Рисунок 4. Трассированная печатная плата (а – верхний слой, б - нижний слой печатной платы)*



После разработки печатной платы была произведена разработка корпуса акустического датчика для последующего 3Д-прототипирования на 3Д-принтере. Корпус устройства (рис.4) разрабатывался в программе SolidWorks. Корпус состоит из 2 частей: корпуса и крышки. Пьезоэлектрический преобразователь помещается в крышку акустического датчика и закрепляется термоклеем, после этого в корпус датчика крепится печатная плата, которая соединяется 4х жильным проводом с основным блоком бронхофонографа.



*Рис. 5 Корпус датчика*

В дальнейшем планируется проведение исследований работоспособности разработанного датчика.

Работы проводились в рамках государственного контракта от «20» июня 2013 г. № 14.514.11.4087, заключенного между ООО Диагностика+» и Минобрнаука.

### **Список информационных источников**

1. Ицкович А. И., Шумарова Е. Ю., Коренбаум В. И. Современные проблемы анализа дыхательных шумов. // Тиохоокеан. мед.жур., 2005, №2. С.11-13.
2. Джеральд Л. Чувствительность микрофона – что это значит? // Компоненты и технологии, 2012, №9.
3. Чернецкий М. Контрольно-измерительное оборудование. // Звукорежиссер, 2006, №3. – С. 36-42.
4. Ананьев П.В., Папернов Л.З., Смирнов А.Н. Мембранный пьезоэлектрический микрофон с низкоомным выходным сопротивлением // А.с. SU 82937 А1, МПК H04R17/02. / Заяв. 375318, 25.02.1948; опубл. 01.01.1950. – 4 с.

# ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ПК ПО СРЕДСТВАМ БЕСПРОВОДНОГО ИНТЕРФЕЙСА.

*Гибадулина Т.А.*

*Томский государственный университет систем управления и  
радиотехники, г. Томск*

*Научный руководитель: Солдатов А.И., д.т. наук, профессор кафедры  
промышленной и медицинской электроники ТПУ*

Неразрушающий контроль стал методом испытаний и важной частью промышленной безопасности, а также оценкой надежности параметров объекта, и способом получения информации об исследуемом объекте.

Неразрушающий контроль, можно назвать одной из составляющей дефектоскопии. Например, при помощи ультразвукового датчика контроля можно распознать дефекты в металле. В нашем случае мы применяем его на сварном шве трубопровода.

У нас имеется мобильный робот, который перемещается вдоль сварного шва по поверхности трубопровода. Ультразвуковой датчик находится прямо над сварным швом, данные с датчика поступают на микроконтроллер, который в свою очередь должен передать полученные данные на персональный компьютер, для дальнейшей обработки информации. Как устроен робот, можем увидеть на рисунке 1.

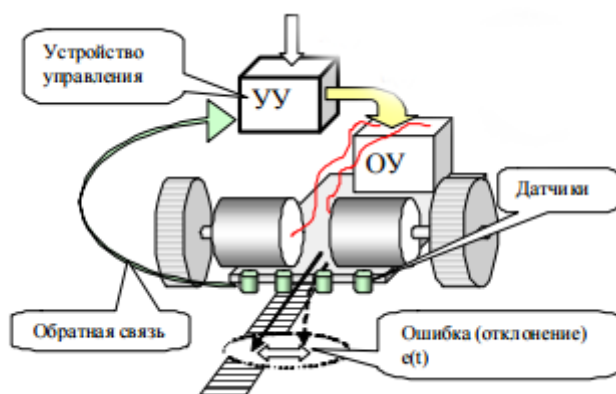


Рисунок 1. Устройство мобильного робота.

Нам необходимо подобрать такие интерфейсы, которые могли бы соединить все устройства между собой и своевременно и корректно передать данные на ПК. Для этого был произведен обзор современных интерфейсов.

Были рассмотрены такие интерфейсы, как:

1) Проводные интерфейсы современных микроконтроллеров:

- SPI— способ связи с использованием приёмопередающих устройств, предназначенный для обеспечения простого и недорогого сопряжения микроконтроллеров с другими устройствами.

- UART — интерфейс, предназначенный для организации связи с другими устройствами. Преобразует передаваемые данные в последовательный вид так, чтобы было возможно передать их по цифровой линии другому аналогичному устройству

2) Интерфейсы для связи отдельных устройств:

- RS-485 - обеспечивает обмен данными между несколькими устройствами по одной двухпроводной линии связи.

- CAN - это последовательный протокол связи с эффективной поддержкой распределения контроля в реальном времени и очень высоким уровнем безопасности. Основное назначение: организация передачи информации в сложных условиях, таких как среды с высоким уровнем различного рода помех.

3) Беспроводные интерфейсы передачи данных:

- Wi-Fi - протокол и стандарт на оборудование для широкополосной радиосвязи, предназначенной для организации локальных беспроводных сетей.

- Bluetooth — представляет собой беспроводной интерфейс, характеризующийся малым радиусом действия, а также не требует больших ресурсов в плане потребления энергии.

- Модуль Bluetooth RN-42 предназначен для замены кабельного соединения между двумя устройствами, связанными по последовательному асинхронному интерфейсу (UART). Он позволяет организовать передачу данных по беспроводной технологии Bluetooth на расстояние до 10-20 метров (в зависимости от подключенной антенны).

В ходе обзора интерфейсов, было решено остановиться на беспроводной передаче данных, а именно при помощи интерфейса Bluetooth, так как нам не нужен большой радиус действия, а также удобно соединить мобильный робот и ПК по средствам именно этого интерфейса, при условии, что к микроконтроллеру будет подключен модуль Bluetooth RN-42 через интерфейс UART. Схему взаимодействия представлена на рисунке 2.

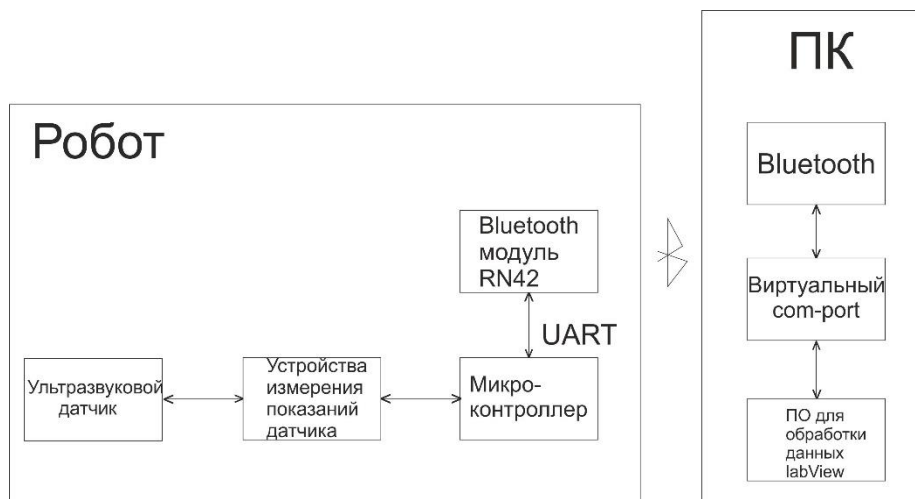


Рисунок 2. Схема взаимодействия робота с ПК.

Мы знаем, что наш датчик контроля сварного шва состоит из 64 элементов, каждый элемент в свою очередь передает 8 бит информации за одно измерение датчика.

Отсюда можем сказать, что с 64 элементов, за одно измерение передается 512 Кбит информации или 524288 бит.

Нам необходимо рассчитать, за какое время датчик передает информацию по интерфейсу UART и интерфейсу Bluetooth.

1)Модуль Bluetooth RN-42 подключен к микроконтроллеру по интерфейсу UART, скорость передачи данных по данному интерфейсу установлена в 115200 бод или 92160 бит/с.

Отсюда,

$$t = \frac{V}{\vartheta}$$

$$t = \frac{524288}{92160} = 5,7 \text{ (сек)}$$

*Время передачи данных одного измерения датчика составит 5, 7 секунд по каналу UART.*

2)Максимальная скорость передачи данных по интерфейсу Bluetooth, составляет 1 Мбит/с или 8388608 бит/с. Необходимо рассчитать время передачи данных по данному интерфейсу.

Отсюда,

$$t = \frac{V}{\vartheta}$$

$$t = \frac{524288}{8388608} = 0,0625 \text{ (сек)}$$

*Время передачи данных одного измерения датчика составит 0,0625 секунд по каналу Bluetooth.*

Это значит, что нам необходимо установить для работа такую скорость движения, чтобы данные успевали передаваться без перерывов и пропусков некоторых зон на сварном шве.

### **Список информационных источников**

1. Инструмент поиска датчиков для инженеров [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru>, свободный
2. Подбор сетевого оборудования CISCO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ciscoequipment.ru/sredy-peredachi-dannyh/besprovodnye-sredy-peredachi-dannyh/>, свободный.
3. Рынок микроэлектроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gaw.ru/>, свободный.
4. RS-485 для чайников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2007/fvti/arutyunyan/library/art7.htm>, свободный.

## **СОПРОВОЖДЕНИЕ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМ/САД ТЕХНОЛОГИЙ**

*Гончарова Н.В., Толмачев И.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Толмачев И.В., старший преподаватель кафедры ПМЭ ТПУ/ канд. мед. наук, доцент кафедры медицинской и биологической кибернетики СибГМУ*

Не так давно в различные области медицины началось внедрение 3D-моделирования. Благодаря таким технологиям стало возможным предоставлять лечащему врачу дополнительную диагностическую информацию, 3D-модели также начали использовать для планирования операций, что значительно облегчило работу хирургов и увеличило оперативность их действий во время хирургического вмешательства. За счёт детального планирования с использованием современных САМ/САД (Computer-aided manufacturing/Computer-Aided Design) технологий можно значительно уменьшить негативное воздействие на пациента, за счёт уменьшения инвазивности, сокращения времени операции, а также времени восстановления после операции.

Предоставляемые хирургу медицинские изображения и компьютерные модели позволяют правильно определить последовательность действий и учесть индивидуальные анатомические особенности пациента в процессе операции. Данные объекты компьютерной графики предварительно создаются при помощи специализированного программного обеспечения на основании обработки медицинских изображений пациента[1].

Цель работы – разработка информационной системы для планирования и сопровождения хирургических операций.

Задачи:

- 1.Описание процесса информационного сопровождения хирургической операции.
- 2.Разработка и компоновка пакетных модулей для среды Unity для составления плана операции.
- 3.Формирование системы жестов для управления планом операции.

Процесс диагностики, лечения, хирургического вмешательства, с использованием 3D-визуализации, в настоящее время состоит из следующих этапов:

1. Исследование пациента – клинические анализы и начальная диагностика;
2. Уточненная диагностика на базе методов лучевой диагностики;
3. Визуализация патологии и создание 3D-моделей анатомических структур пациента;
4. Планирование лечения, акушерской тактики, оперативного вмешательства, изготовление инструмента и оснастки для выполнения операций;
5. Выполнение операции, интраоперационное сопровождение и фиксация хода операции;
6. Оценка результатов и принятие решения о дальнейших действиях по реабилитации пациента.

3D - визуализация обычно используется для решения задач со второго до пятого этапа. В основе 3D – визуализации лежит инженерный анализ (reverse engineering). Инженерный анализ – это способ получения трехмерных данных в компьютеризированной форме из физических моделей или продуктов. Он имеет явные преимущества в смысле сокращения времени прохождения продукта от стадии проектирования до конечного результата. Процесс инженерного анализа состоит из 2х фаз: оцифровка, или измерение объекта, и трехмерное моделирование объекта на основе данных оцифровки.

Поверхности, определенные по данным оцифровки, обрабатываются и превращаются в твердотельную модель, которую необходимо экспортировать в STL, либо OBJ файл.

До конца не решенной остается задача управления базой данных медицинских изображений и компьютерных моделей с учетом того, что в операционной соблюдаются условия асептики. В большинстве случаев используются стандартные устройства ввода - клавиатура и мышь. В мировой практике известен подход, когда для управления базой данных использовалась обычная оптическая мышь, помещенная в стерильный бумажном мешке [1]. Решение довольно простое и эффективное, однако, с ним связан ряд проблем: существует вероятность нарушения целостности бумажной оболочки. Вторая проблема связана с тем, что с техническим устройством может контактировать несколько человек, что не допустимо в условиях асептики.

С точки зрения управления планом операции, основной интерес представляют способы, основанные на бесконтактном взаимодействии с компьютером. Х. Уочс и соавт. в 2008 г.[1] реализовали систему управления рентгеновскими изображениями с использованием видеозахвата. Представленная система позволяет хирургу в реальном времени осуществлять взаимодействие с DICOM-сервером. К сожалению использование камеры Canon VC-C4, несмотря на высокое качество регистрируемого изображения, часто приводит к ошибкам распознавания жестов и не позволяет реализовать достаточное количество команд для управления снимками.

## **Материалы и методы**

Появление технологии безмаркерного видеозахвата позволяет реализовать недорогие системы управления изображениями. Наиболее часто для этой цели используется сенсор Microsoft Kinect - бесконтактный сенсорный игровой контроллер, разработанный фирмой Microsoft для игровой консоли Xbox 360, позднее был адаптирован для компьютеров под управлением ОС Windows. Состоит из аппаратной и программной части.

Аппаратная часть представляет собой горизонтально вытянутую коробку размером 23x4см, которая соединяется с компьютером с помощью USB 2.0 кабеля. Kinect включает в себя инфракрасный проектор, инфракрасный приемник, цветную камеру и набор микрофонов. Инфракрасный проектор (IR Emitter) – излучает лучи в инфракрасном диапазоне, которые отражаясь от объектов попадают в

инфракрасный приемник (IR Depth Sensor); Инфракрасный приемник (IR Depth Sensor) – регистрирует отраженные инфракрасные лучи и определяет расстояние от датчика до объектов создавая матрицу расстояний. Максимальное разрешение 640x480 при 30 кадрах в секунду; Цветная камера (Color Sensor) – захватывает видео с разрешением 1280x960 при 12 кадрах в секунду. Вертикальный угол обзора 43°, горизонтальный -- 57°. Формат картинки может быть RGB или YUV. Набор микрофонов (Microphone Array) – четыре микрофона которые могут производить локализацию звука (т.е. определять его источник) и подавление шумов. Привод наклона (Tilt Motor) – механический привод, который дает возможность программно корректировать наклон устройства по вертикальной оси в диапазоне  $\pm 27^\circ$

Программная часть позволяет полностью распознавать трехмерные движения тела (Skeletal Tracking), мимику лица (Face Tracking) и речь (Speech Recognition). Для доступа к возможностям устройства используется специальный инструментарий разработчика Kinect for Windows SDK. [2]

Информационное сопровождение хирургической операции осуществляется поэтапно (Рис. 1.):

- 1.Обследование пациента при помощи визуализирующих методов диагностики
- 2.Реконструкция анатомических моделей с использованием исходных диагностических данных
- 3.Разработка плана операции, создание интерфейса пользователя

Разрабатываемый подход к управлению планом операции должен работать, как единая система интегрирующая возможность переключения между различными этапами плана, а также изменения отображения информации с использованием безмаркерного захвата движений

Сформулируем требования, которым должен отвечать пакет компоновки сцен:

- 1.Возможность с нуля создать трехмерную модель любой сложности и возможность импорта готовой модели;
- 2.Возможность создать трехмерную сцену используя модели пакета Blender, 3DSlicer;
- 3.Поддержка устройства ввода Microsoft Kinect;

На момент начала этой работы всем этим требованиям отвечал только пакет Unity3d – игровой движок и редактор трехмерных сцен. Unity3d позволяет нам создавать трехмерные сцены достаточной



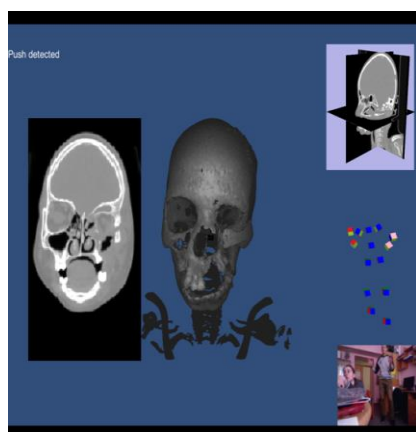
сложности, используя модели в формате пакета Blender и 3DSlicer и создавать исполняемые файлы.



Рисунок 1 Информационное сопровождение хирургической операции

## Результаты

Разработаны и скомпонованы пакетные модули для среды Unity3d, позволяющие составлять план операции. Определен набор жестов для управления планом операции.



Команды	Жесты
(a) вращение по часовой стрелке	
(b) вращение против часовой стрелки	
(c) пролистывание влево	
(d) пролистывание вправо	

(e) вверх	
(f) вниз	
(g) увеличение яркости	
(h) уменьшение яркости	
(i) увеличение	
(j) уменьшение	

## Список информационных источников

1.3D-Визуализация для планирования операций и выполнения хирургического вмешательства (CAS-технологии) URL: <http://old.ssmu.ru/bull/14/04/25.pdf> (дата обращения: 08.05.2016).

2.Kinect hardware <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/hardware> (дата обращения: 10.05.2016).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА И ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЕГО МОДЕЛИ

*Дмитриев Д.В., Коновалов Д.А, Ярославцев Е.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель Ярославцев Е.В., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

В настоящее время для питания различных электрофизических установок широко применяются высокочастотные преобразователи постоянного напряжения (ППН), выполненные на основе мостовой схемы последовательного резонансного инвертора [1]. Благодаря «мягкой» коммутации ключей силовой части, производимой в моменты перехода квазисинусоидального тока, потребляемого от первичного источника, через нулевое значение, такие устройства обладают пониженными динамическими потерями и малым уровнем помех, генерируемых в питающую сеть. Принцип действия и схемотехника последовательных резонансных инверторов относительно просты, однако при практической реализации устройства зачастую возникают проблемы с выбором оптимальных значений параметров компонентов силового колебательного контура, обеспечением устойчивой работы преобразователя и высокого качества выходного напряжения, особенно при большом диапазоне изменения питающего напряжения и сопротивления нагрузки.

Известно, что для снижения материальных и временных затрат на разработку и настройку реальных устройств силовой электроники целесообразно предварительно провести исследования модели выбранной схемы путем имитационного моделирования в хорошо зарекомендовавшем себя пакете PSpice.

Цель работы: разработка модели высокочастотного ППН на основе последовательного резонансного инвертора и оценка её адекватности путём сравнения результатов моделирования с результатами аналитических расчётов и данными, полученными при проведении экспериментальных исследований.

В ходе работы были проведены аналитические расчёты для определения основных параметров схемы (см. таблицу 1) с учетом следующих исходных данных:

$U_{\Pi}=10-200\text{ В}$  – напряжение питания инвертора;

$U_{\text{н}}=1250\text{ В}$  –напряжение на выходе выпрямителя (на нагрузке);

$R_{\text{н}}=2600\text{ Ом}$  – сопротивление нагрузки;

$f_0=25$  кГц – резонансная частота контура (рабочая частота инвертора);

По известной методике [2] были рассчитаны параметры элементов последовательного резонансного контура и коэффициент трансформации трансформатора  $n$ :

$C_k=0,231$  мкФ – ёмкость конденсатора резонансного контура;

$L_k=155$  мкГн – индуктивность дросселя резонансного контура;

$n=W_2/W_1=6,6$ .

Моделирование. В среде PSpice была разработана модель проектируемого источника питания, представленная на рис. 1.

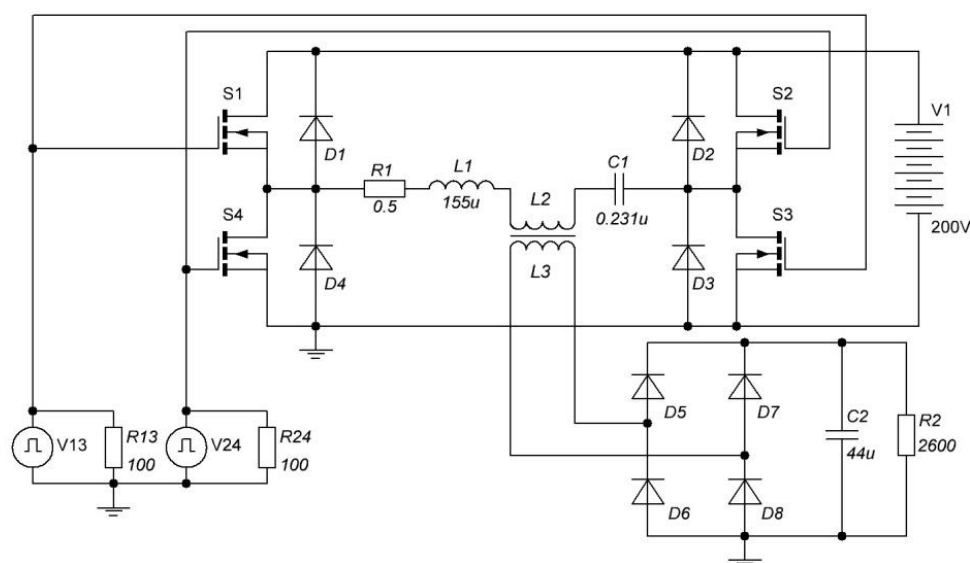


Рис. 1. Схема модели резонансного преобразователя в программе PSpice

Все элементы модели являются стандартными компонентами программы PSpice. Инвертор питается постоянным напряжением 10-200 В. В качестве силовых ключей использованы модели MOSFET-транзисторов, которые переключаются прямоугольными импульсами управления с частотой 25 кГц, поступающими от источников V13 и V24. Между выключением одной пары транзисторов (S1–S3) и включением другой (S2–S4) для исключения сквозных токов введена временная задержка  $t_3=0,5$  мкс. Трансформатор представлен двумя катушками индуктивности  $L_2$  и  $L_3$ , связанными между собой коэффициентом трансформации, равным 6,6. Выходное напряжение трансформатора выпрямляется диодным мостом D5–D8, фильтруется конденсатором C2 и поступает на нагрузку R2.

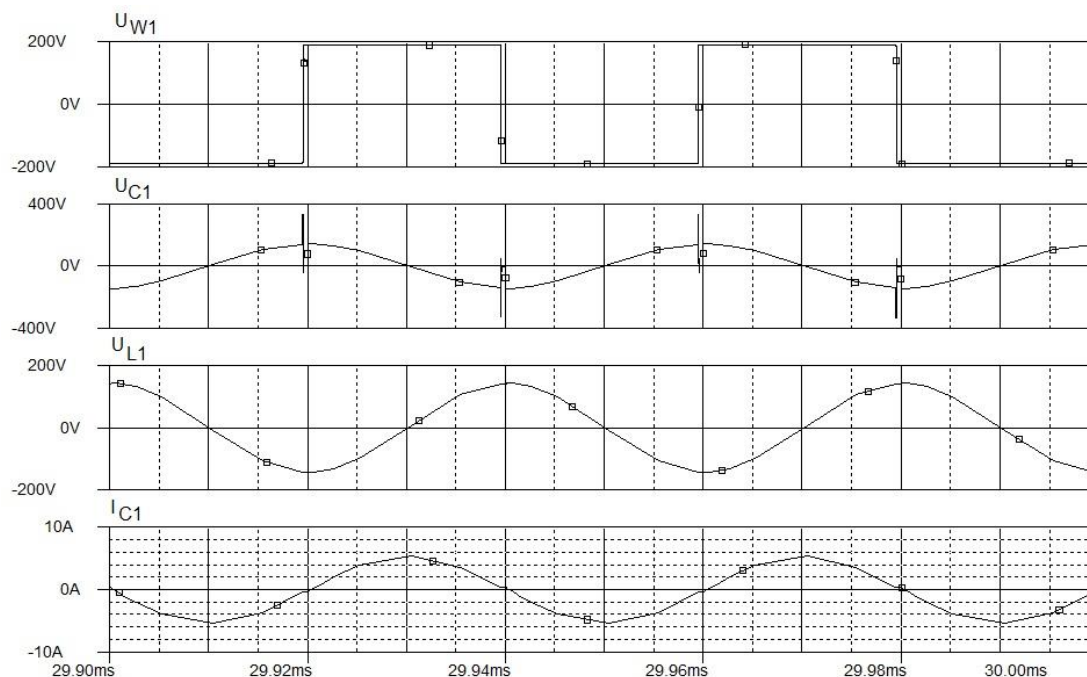


Рис. 2. Диаграммы токов и напряжений на элементах модели

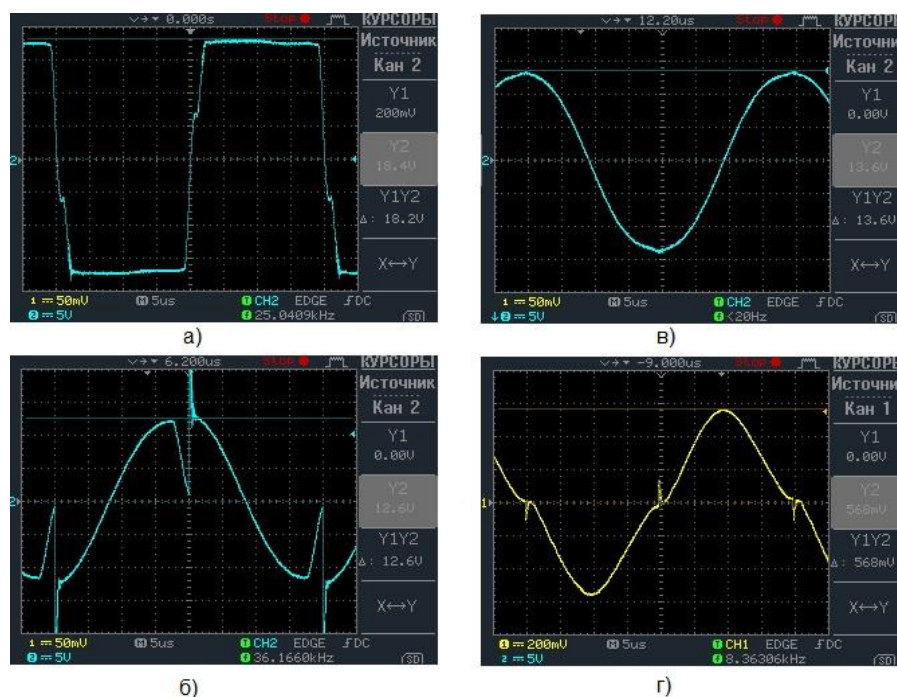


Рис. 3. Осциллограммы токов и напряжений на компонентах инвертора

Для экспериментальной проверки результатов аналитического расчёта и результатов моделирования была собрана и исследована реальная установка источника питания с параметрами, соответствующими техническому заданию. Формирование импульсов управления транзисторами осуществлялось с помощью

микроконтроллера *STM32F103*, питание инвертора производилось от лабораторного источника питания с регулируемым выходным напряжением. Силовые транзисторы – *IRG4PH50UD*, контурный конденсатор – К78-2, 0.231 мкФ. Дроссель контура выполнен на кольце КП 36x25x7.5 из МО-пермаллоя типа МП-140, число витков  $W=49$ , провод 2 мм. Силовой трансформатор намотан на кольце из феррита М2000НМ1-36, обмотки:  $W_1=46$  витков, провод 2 мм,  $W_2=293$  витка, провод 0.5 мм. В качестве нагрузки были использованы последовательно включенные бытовые лампы накаливания (6 шт.×90 Вт). Измерения параметров переходных процессов проводились с помощью цифрового вольтметра В7-38 и осциллографа Tektronix TDS 3012В (погрешность измерений – не более 2%).

Результаты расчётов, моделирования и экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значение параметра в установившемся режиме	Результат моделирования	Результат эксперимента	Погрешность моделирования, %
Входное напряжение инвертора, В	200	202	1
Средний ток инвертора, А	3,3	3,27	1
Максимальное напряжение на вторичной обмотке, В	1250	1245	0,8
Максимальный ток нагрузки, А	0,48	0.49	2
Амплитудное напряжение на конденсаторе резонансного контура, В	145	140	3,5
Выходное напряжение, В	1250	1240	0,8
Мощность установки, Вт	600	620	3,2

## Выводы

1. Результаты моделирования отличаются от результатов эксперимента не более чем на 3,5% для всех оцениваемых параметров, что свидетельствует об адекватности разработанной модели инвертора.

2. Модель правомерно использовать для проведения углубленных исследований по усовершенствованию созданного ППН.

## Список информационных источников

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.

2. Белов Г.А. Высокочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи постоянного напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.: ил.

## ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ЛЬДА

*Журавлев А.Е.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Пестунов Д.А., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

При изучении углеродного цикла во внутренних водоемах в зимний период была замечена связь между эмиссией метана и углекислого газа из озера в атмосферу с образованием и вертикальными перемещениями ледового покрова. Вероятно, ледообразование, которое изменяет химический состав воды у нижней стенки, а также то, что при шевелении льда в его структуре образуются поры, сказывается на газообмене между озером и атмосферой.

Для параметризации интенсивности потоков газов необходимо следить за вертикальными перемещениями ледового покрова. Для этого необходимо создать устройство, которое позволит следить за изменениями толщины ледяного покрова.

На практике измерение поступательных перемещений коим и является изменение толщины льда можно проводить различными способами. Изначально был выбран метод оптического измерения, но при лабораторных испытаниях выяснилось, что данный метод не подходит для измерения расстояния до оптически-прозрачных поверхностей (стекло, лед), т.к. лазерный луч в некоторых случаях проходил через объект контроля и показывал значение расстояния до объекта, находящегося за объектом контроля.

Результаты измерений с помощью средств радиолокационного зондирования, которые измеряют энергию отраженного радиолокационного сигнала, определяемую отражательной способностью объектов или эффективной площадью рассеяния, сильно зависят от комплексной диэлектрической проницаемости льда, рельефа поверхности и влажности, а так же от параметров аппаратуры наблюдения[1].

Применение метода эхолокации, где в качестве носителя используется ультразвуковая волна, нам показалось наиболее доступным в изготовлении, при этом обеспечивающим требуемую чувствительность и точностные характеристики.

На рис.1. схематически изображен прибор. Микроконтроллер генерирует пачку импульсов для раскачки УЗ передатчика. Для увеличения мощности импульса используется драйвер. Сигнал, излучаемый передатчиком, отражается от нижней границы льда и возвращается на приемник. Принятый сигнал необходимо усилить и подать на вход компаратора. Скорость распространения импульса измеряется аппаратно. Вывод результата измерения будет отображаться на ПК. Датчик температуры необходим для учета температурного коэффициента воды, который влияет на скорость распространения звука в воде.

Установка прибора на поверхности льда влечет за собой проблему неточности измерений, в связи с тем, что через некоторое время работы прибор от нагрева растапливает под собой часть ледяного покрова и находится в воде, поэтому было решено расположить прибор на дне водоема.

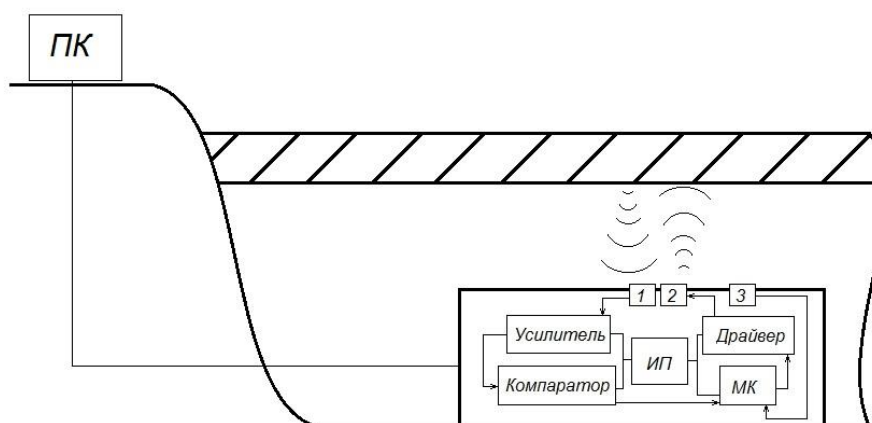


Рис.1. Схема измерителя скорости нарастания льда

В качестве приемника\излучателя ультразвуковой волны используются ультразвуковые датчики серии МА40, рабочая частота которого составляет 40 кГц. При проведении эксперимента мы столкнулись с тем, что в водной среде амплитуда и частота распространения импульсов затухает и не равняется 40 кГц. Чтобы

добиться максимальной амплитуды необходима автоматическая подстройка частоты на генераторе импульсов.

При испытании прибора в лабораторных условиях было замечено, что в начальный момент времени прихода сигнала его форма является нестабильной, что не позволяет с высокой точностью измерять расстояние по моменту прихода сигнала. Амплитуда полученного сигнала в процессе его распространения изменялась за счет потерь в среде, что не позволяет использовать импульсный метод измерения расстояния для поставленной цели, поэтому было решено использовать фазовый метод. Предлагается отслеживать момент прохождения сигнала на выходе компаратора через «0» и следить за его перемещениями по оси «Х» в определенном окне, когда форма сигнала стабильна. Это позволит повысить точность измерений по сравнению с традиционным методом фиксации прихода акустического сигнала, т.к. результат измерений не зависит от времени прихода сигнала.

### **Список информационных источников**

1. Лебедев Г.А., Парамонов А.И. Способ определения высоты снежного покрова на льду. Патент на изобретение № 2460968 от 10.09.2012

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДИКАМЕНТОЗНОГО РАСТВОРЕНИЯ КОНКРЕМЕНТОВ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА**

*Казазаев А.Ф., Дикман Е.Ю.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Солдатов А.И., профессор кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Желчнокаменная болезнь (ЖКБ) — это заболевание, при котором происходит образование камней (конкрементов) в желчном пузыре и желчных протоках [1].

Существует множество факторов, способствующих образованию желчных камней. Наиболее частыми из них являются:

- наследственный фактор;
- прием препаратов, нарушающих обмен холестерина и билирубина;
- неправильное питание, диеты;



- избыточный вес;
- повышенный уровень холестерина в крови;
- последствия заболеваний обмена веществ (сахарный диабет, метаболический синдром);
- последствия заболеваний желудочно-кишечного тракта;
- перенесенные операции на желудке.

Образование камней в желчном пузыре происходит в результате осаждения плотных частичек желчи. Большая часть камней состоит из холестерина, билирубина (пигмента желчи) и солей кальция. 80% из этих камней встречаются в смешанном виде. Они мешают нормальной работе желчного пузыря, служащего резервуаром желчи [7].

Все способы лечения ЖКБ можно разделить на 2 вида: инвазивные, т.е. оперативные, и неинвазивные.

Оперативные методы в свою очередь можно разделить на полостную и лапароскопическую операции.

Главным недостатком инвазивных методов лечения является необходимость нарушения целостности организма и могут вести к серьезным последствиям при использовании анестезии во время хирургического вмешательства.

Существующие в настоящее время неинвазивные способы лечения можно разделить на ультразвуковую ударно-волновую литотрипсию и медикаментозное (консервативное лечение).

Недостатком литотрипсии является возможность закупорки желчевыводящих путей осколками конкремента, а также очень высокую стоимость данного оборудования [2].

Медикаментозное лечение происходит путем перорального приема препаратов, содержащих урсодезоксихолевую кислоту в течении нескольких месяцев или лет. Таким образом, стоимость такого лечения достаточно высоко, а также происходит накопление препарата и к появлению побочных эффектов [3].

Поэтому возникла идея о модификации метода медикаментозного лечения путем добавления ультразвукового воздействия терапевтических интенсивностей и частот, приводящего к улучшению диффузии между конкрементом и желчью, с растворенной в ней препаратом.

Данный способ имеет такие преимущества, как неинвазивность и безопасность.

Широкое применение ультразвуковой терапии объясняется такими факторами как тепловой, физико-химический и механический, которые являются основой терапевтического воздействия ультразвука.

Механический фактор действия ультразвука обусловлен переменным акустическим давлением. Суть данного фактора заключается в микромассаже тканей на клеточном уровне.

Физико-химическое действие основывается на механическом резонансе, который оказывает влияние на скорость движения молекул (ускоряет ее), усиление их распада на ионы, изменение изоэлектрического состояния, образование новых электрических полей.

Тепловой эффект ультразвука проявляется в результате преобразования механической энергии в тепловую, при этом температура тканей увеличивается на  $1^{\circ}\text{C}$ . Все тепло концентрируется на границе раздела тканей с отличным друг от друга акустическим импедансом, то есть на границах различных сред; в тканях, которые больше всего поглощают ультразвуковую энергию (костных, нервных, богатых коллагеном фасциях), также, так как кровь отводит тепло, в местах, обладающих недостаточным кровоснабжением [6].

Для проведения исследований ультразвуковой интенсификации медикаментозного растворения конкрементов желчного пузыря необходимо было разработать генератор ультразвуковых колебаний с возможностью перестройки частоты (150 – 950 МГц) и интенсивности (0.1-0.5 Вт/см<sup>2</sup>). Поскольку каждый пьезоэлемент имеет свою резонансную частоту, то плавной настройки частоты невозможно предусмотреть. Таким образом, для подстройки частоты необходимо использовать мультивибратор с дискретной частотой, у которого бы частота изменялась с помощью одного элемента. После этого сигнал необходимо усилить и подать на пьезоэлектрический излучатель [4,5].

На рисунке 1 представлена структурная схема генератора ультразвуковых колебаний.



Рисунок 1. Структурная схема ультразвукового генератора

Работа схемы заключается в следующем. Высокочастотный генератор создает немодулированные электрические колебания с частотой 0.88 МГц. В усилителе происходит усиление мощности колебаний. К усилителю подключен ультразвуковой излучатель, который преобразует электрические колебания в механические. Блок

питания предназначен для питания цепей модулятора и генератора постоянным напряжением.

### Список информационных источников

1. Камни в желчном пузыре. Современная медицинская энциклопедия. <http://doktorland.ru/puz-25.html> – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.;

2. Сиухов Р.Ш. Желчнокаменная болезнь (ЖКБ). Клиника 23 Ru. <http://www.klinika23.ru/gastroent/GKB.html> – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.;

3. Маев ИВ. Диагностика и лечение заболеваний желчевыводящих путей. Под ред. И.В. Маева. – М., 2003. – 96 с.

4. Катона З. Электроника в медицине: Пер. с венг./Под ред. М.К. Размахнина. – М.: Сов.радио, 1980. – 144 с., ил.

5. Электромедицинская аппаратура. А.Р. Ливенсон. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1981. – 344 с., ил.

6. Применение ультразвука в медицине: Физические основы: Пер. с англ./Под ред. К.Хилла. – М.: Мир, 1989. – 568 с., ил.

7. Болезни печени и желчевыводящих путей: В 2 т. – 2-е изд. / Под ред. В.Т. Ивашкина. – М.: ООО «Изд. дом «М\_Вести», 2005.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОЛОКНЕ

*Казезов А. О.*

*Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г.  
Астана*

*Научный руководитель: Жантлесова А.Б., ст. преподаватель  
кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации*

**Введение.** В связи с большим количеством передаваемой информации непрерывно растет потребность в передачи информации на дальние расстояния с большой скоростью и высокой достоверностью.

Ведущую роль по решению задачи передачи информации на дальние расстояния с большой скоростью и высокой достоверностью занимают волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), у которых технические характеристики превосходят другие системы передачи информации.

**Основная часть.** Например, волоконно-оптические кабели, по сравнению с медными кабелями имеют ряд преимуществ:

– у оптических кабелей (ОК) нет электропроводности и индуктивности, это говорит о том, что ОК не подвергаются электромагнитным воздействиям;

– очень маленькие перекрестные помехи;

– высокая скрытность связи;

– возможность усовершенствования системы при полном сохранении совместимости с другими системами передачи;

– широкая полоса пропускания, которая позволяет работать в высокочастотном диапазоне и обеспечивает большое число каналов и большую пропускную способность;

– отсутствуют помехи в отдельных волокнах в кабеле и высокая помехозащищенность к внешним воздействиям;

– небольшие габариты и масса кабеля, что упрощает его прокладку;

– возможности получения световодов с малым затуханием и дисперсией. Это позволяет увеличить дальность связи, уменьшить потери, увеличить длину регенерационного участка;

– отсутствуют короткие замыкания, что предоставляет возможность использовать кабель в опасных зонах;

– строительная длина ОК больше, за счет чего можно уменьшить число соединительных муфт, увеличить надёжность и дальность связи.

Но существуют также некоторые недостатки волоконно-оптических технологий:

-подверженность волоконных световодов радиации, за счёт которой появляются пятна затемнения, и возрастает затухание;

-при проникновении влаги в кабель появляется водородная коррозия стекла, приводящая к микротрещинам световода и ухудшению его свойств;

-для монтажа оптоволокну (ОВ) требуется дорогое технологическое оборудование. Как следствие, при аварии (обрыве) ОК затраты на восстановление выше, чем при работе с медными кабелями.

Целью статьи является рассмотрение физических процессов в ВОЛС.

**Дисперсия в волокне.** С увеличением скоростей передачи информационных потоков необходимо учитывать то влияние, которое оказывает на эти потоки среда передачи [1].

Дисперсия не только ограничивает частотный диапазон использования световодов, но и снижает дальность передачи по ОК, так как чем длиннее линия, тем больше проявляется дисперсия и больше уширение импульса [2].

Дисперсия накладывает ограничения на дальность передачи и верхнюю частоту передаваемых сигналов в оптическом волокне. Наряду с затуханием, влияние дисперсии ограничивает длину регенерационного участка ВОЛС. Среди факторов, вызывающих искажение оптического сигнала, основными являются различие скоростей, с которыми распространяются в волокне разные лучи, направляющие свойства оптического волокна и физические параметры материала волокна [1].

**Затухание.** По мере распространения света в оптической среде он ослабевает, что носит название затухания среды - затухания ОВ. Затухание зависит от длины волны излучения, вводимого в волокно. В настоящее время передача сигналов по волокну осуществляется в трех диапазонах: 850 нм, 1300 нм, 1550 нм, так как именно в этих диапазонах кварц имеет повышенную прозрачность.

Собственные потери волоконных световодов состоят в первую очередь из потерь поглощения и потерь рассеивания. Часть мощности, поступающей на вход световодов, рассеивается вследствие изменения направления распространяемых лучей на нерегулярностях и их высвечивания в окружающее пространство. Другая часть мощности поглощается посторонними примесями, выделяясь в виде тепла. Поэтому, если изготовить оптическое волокно из обычного стекла, то за счёт наличия примесей затухание будет велико.

Кроме собственных потерь, учитывают также дополнительные кабели потери, обусловленные деформацией ОВ в процессе изготовления кабеля (скруткой, изгибами, отклонениями от прямолинейности), а также термомеханические воздействия на волокна при наложении оболочек и покрытий и другие факторы, обусловленные технологией производства.

Затухание в первую очередь определяет длину регенерационного участка (расстояние между генераторами)[3].

**Расчет параметров поляризационной модовой дисперсии (ПМД).** В настоящее время лидерами в области производства волокна являются такие компании как: американская – «Корнинг», японская – «Сумитомо». Данные производители относятся со всей ответственностью к методам производства волокна. ПМД у данных волокон минимально.

Рассмотрим данные таблицы 1:

Таблица 1 – Максимальное значение ПМД для данной скорости

Битовая скорость (Гбит/с)	Максимальная задержка ПМД (пс)	Коэффициент ПМД для волокна длиной 400 км (пс/км <sup>1/2</sup> )	L – длина участка регенерации (км) при разном D <sub>pmd</sub>	L – длина участка регенерации (км) при D <sub>pmd</sub> =0,1
2,5	40	2,0	400	1111
10	10	0,5	400	493
20	5	0,25	400	156
40	2,5	0,125	400	100

Примечание: Рекомендуемый коэффициент ПМД обеспечивающий с вероятностью 99,994% дифференциальную задержку менее 0,1 длительности бита при запасе мощности не превышающем 1дБ

Используя данные значения и подставляя их в формулу вычислим участки регенерации:

$$L = \left( \frac{E}{B_{MAX} D_{pmd}} \right)^2 \quad (1)$$

где B<sub>max</sub> – битовая скорость (Гбит/с), D<sub>pmd</sub> – коэффициент ПМД (пс/км<sup>1/2</sup>), E – доля битового интервала (0,1),

Расчет длины участка регенерации L предоставлен в таблице 1.

Из данных выражений мы видим, что с увеличением скорости и изменением значения D<sub>pmd</sub> участок регенерации не изменяется.

Теперь рассмотрим условие при котором мы не будем изменять значение D<sub>pmd</sub>, но будем увеличивать скорость передачи и получим данные на рис. 1.

Из рисунка 1 видно, что при увеличении скорости передачи B<sub>max</sub>, длина регенерационного участка уменьшается.

**Заключение.** Развитие современных телекоммуникационных сетей неизменно идет по пути увеличения их информационной емкости, определяемой произведением скорости на дальность передачи информации. В данной статье – рассмотрен вопрос влияния физических процессов на высокоскоростные системы передачи. Данная проблема является актуальной в волоконно-оптических линиях связи, она уменьшает пропускную способность магистрали и понижает качество передаваемой информации, Дан расчет параметров ПМД, где видно, что при высоких скоростях передачи информации эффект ПМД проявляется все ярче. На пороге новых технологий скорость передачи информации будет только расти и актуальность борьбы с ПМД проявляется все больше.

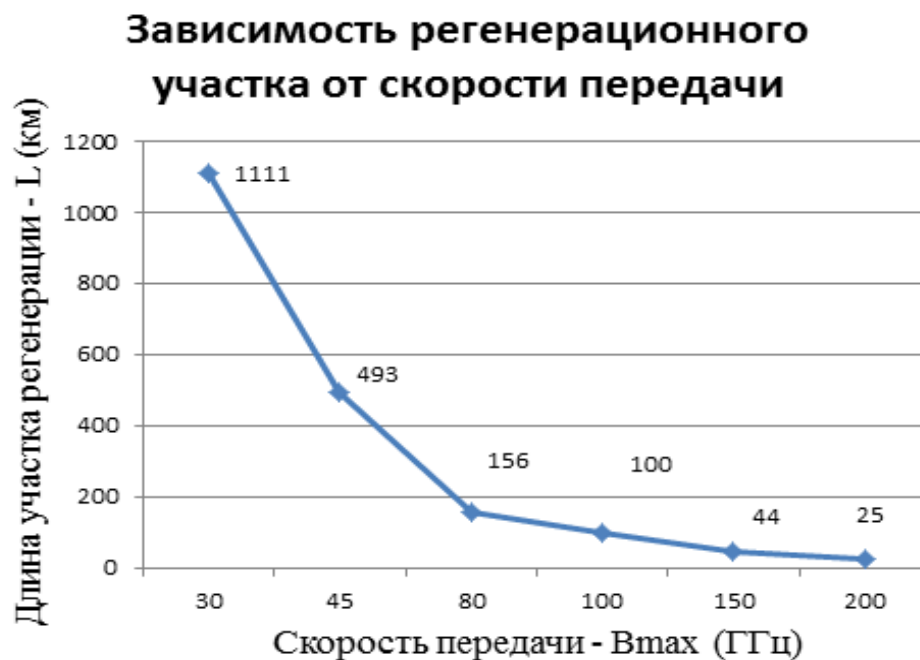


Рисунок 1 – Регенерационный участок

### Список информационных источников

1. Дисперсия. // URL: [ru.wikipedia.org/wiki/дисперсия](http://ru.wikipedia.org/wiki/дисперсия) (Дата обращения: 05.03.16)
2. Мандель А.Е., Методы и средства измерения в волоконно-оптических телекоммуникационных системах: Учебное пособие. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.
3. Виноградов В. В., Котов В. К., Нуприк В. Н. Волоконно оптические линии связи: Учебное пособие для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. – М.: ИПК «Желдориздат», 2002.

# ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

*Киселева В.А., Брагина А.Д.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Торгаев С.Н., доцент кафедры промышленной и медицинской электроники*

**Аннотация** – В данной работе представлены результаты разработки программно-аппаратного комплекса для изучения принципов работы цифровой фильтрации аналоговых сигналов. Приведено подробное описание разработанной программы по расчёту различных типов цифровых фильтров. В статье приведены примеры реализации цифровых полосового и режекторного фильтров.

**Ключевые слова** – цифровая обработка сигналов, цифровой фильтр, свертка, микроконтроллер.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время цифровая обработка сигналов находит широкое применение в различных отраслях техники и науки. К данным отраслям можно отнести цифровое телевидение, биомедицинские технологии, обработка звука и видео и т.д. Следовательно, на данный момент инженерам – электронщикам необходимо обладать принципами цифровой обработки сигналов.

Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного комплекса по изучению и реализации различных цифровых фильтров. Разработанный комплекс содержит программу по расчету цифровых фильтров, отладочный макет на основе микроконтроллера STM32F407VG, а также плату с набором нескольких тестовых сигналов. С помощью данного комплекса студенты смогут получить практические навыки, связанные с цифровой обработкой сигналов.

## ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Программа по расчету цифровых фильтров разработана с помощью среды программирования Delphi. Внешний вид программы представлен на рис. 1.



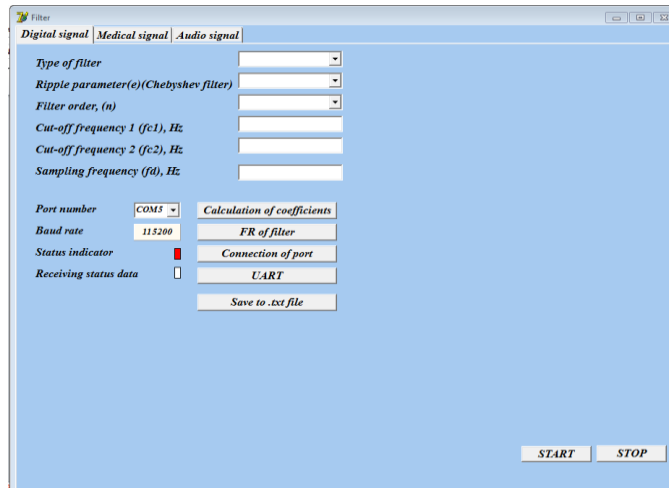


Рис. 1. Программа расчета цифровых фильтров

Программа, изображенная на рис.1, содержит в себе вкладку, позволяющую производить расчет цифровых полосовых и заградительных фильтров различного порядка (от 1 до 3). Вторая вкладка необходима для реализации алгоритмов обработки биомедицинских сигналов.

Расчет фильтра производится посредством определения его коэффициентов и отправки их в микроконтроллер. Исходными данными для определения коэффициентов являются: тип фильтра, порядок фильтра, частота дискретизации, частоты среза, а также коэффициент неравномерности для фильтров Чебышева. После расчета коэффициентов требуемого фильтра, программа реализует построение графика амплитудно-частотной характеристики. Для того, чтобы проверить и реализовать необходимый фильтр, на вкладке находится блок асинхронной передачи данных по UART в микроконтроллер. При нажатии кнопки UART осуществляется передача в микроконтроллер (с использованием виртуального COM-порта) коэффициентов фильтра, а также частоты дискретизации. Кроме того, на вкладке существует индикатор, позволяющий отследить, принял ли микроконтроллер данные по UART или нет. Для того, чтобы запустить или остановить процесс фильтрации на вкладке располагаются соответственно кнопки «Старт» и «Стоп». При нажатии клавиши «Старт», микроконтроллер начинает принимать коэффициенты фильтра и производить фильтрацию, а по нажатию на «Стоп» прекращает работу таймера, ЦАП и АЦП, что приводит к остановке процесса фильтрации.

На рис. 2 представлен внешний вид программы расчета для заградительного фильтра Чебышева 2-го порядка (рис. 2а) и полосового

фильтра Чебышева 2-го порядка (рис. 2б) с неравномерностью передачи 0.509 и частотами среза 5кГц и 8кГц.

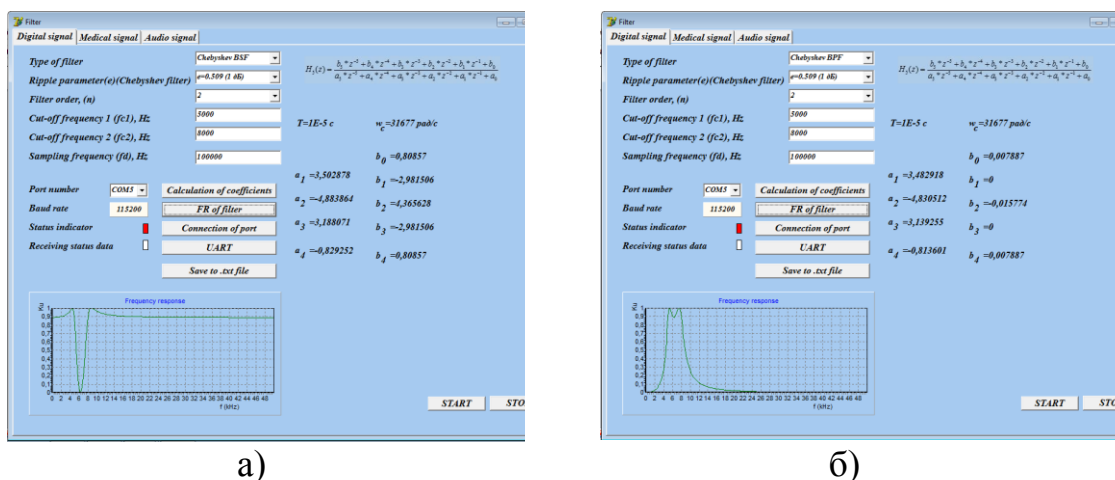


Рис. 2. Внешний вид программы расчета для заградительного фильтра Чебышева 2-го порядка (а) и полосового фильтра Чебышева 2-го порядка (б) с неравномерностью передачи 0.509 и частотами среза 5кГц и 8кГц.

Как видно на рис.2. программа рассчитала коэффициенты фильтра, а уже затем по полученным данным построила амплитудно-частотную характеристику, соответствующую выбранному фильтру.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Для проверки работы цифровых фильтров была использована плата расширения с различным набором тестовых сигналов

На рис. 3 (а, б) представлены осциллограммы напряжения на выходе цифро-аналогового преобразователя микроконтроллера при входном синусоидальном сигнале с частотами 7.3 и 20 кГц и параметрах цифрового заградительного фильтра, отображенного на рис.2а. Видно, что при данной полосе пропускания от 5-8 кГц, входной сигнал с частотой 7.3 кГц подавляется, а сигнал с частотой 20 кГц пропускается.

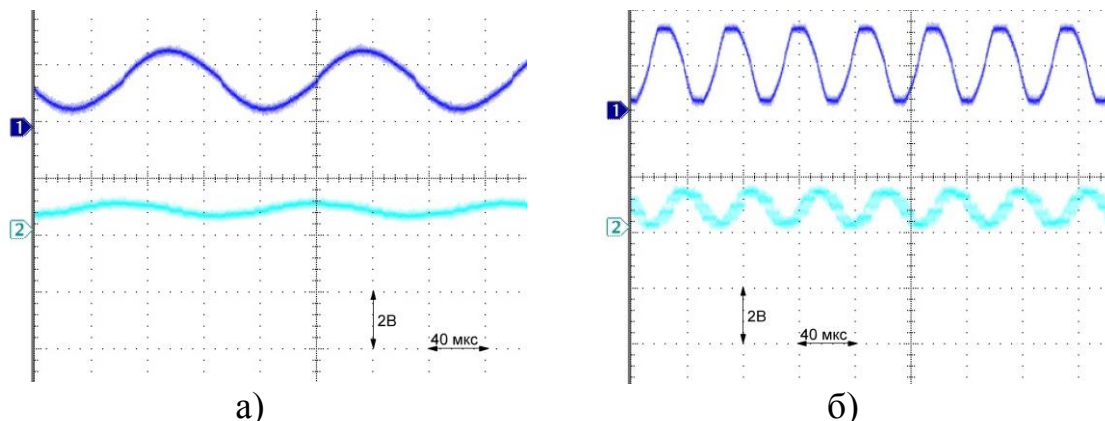


Рис. 3. Осциллограммы синусоидального сигнала: а) частота входного сигнала 7.3 кГц, б) частота входного сигнала 20 кГц.

На рис. 4 (а, б) представлены осциллограммы напряжения на выходе цифро-аналогового преобразователя микроконтроллера при входном синусоидальном сигнале с частотами 7.3 и 20 кГц и параметрах цифрового полосового фильтра, отображенного на рис.2б. Видно, что при данной полосе пропускания от 5-8 кГц, входной сигнал с частотой 7.3 кГц пропускается, а сигнал с частотой 20 кГц заграждается.

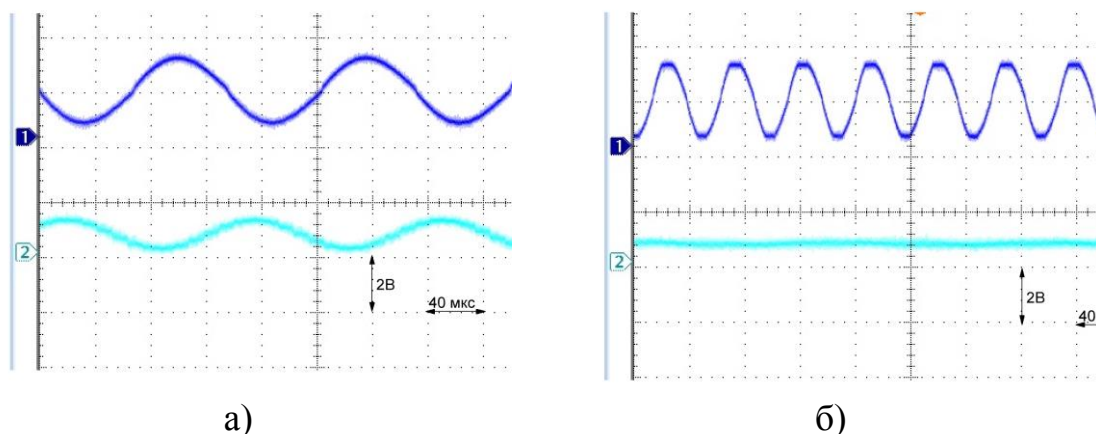


Рис. 5 Осциллограммы синусоидального сигнала: а) частота входного сигнала 7.3 кГц, б) частота входного сигнала 20 кГц.

Таким образом, представленный алгоритм работы микроконтроллера позволяет реализовывать цифровые фильтры различных типов с возможностью автоматической подстройки параметров фильтра.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет рассчитывать коэффициенты различных цифровых фильтров, а так же

позволяет реализовать отправку данных расчета в микроконтроллер посредством виртуального СОМ-порта.

Таким образом, существует возможность создания систем цифровой фильтрации с автоматической перестройкой параметров.

### **Список информационных источников**

1. Математические основы обработки сигналов: учебное пособие / О.С. Вадутов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.

2. Основы программирования в Delphi 7 / Н. Б. Культин. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 598 с.: ил. + CD-ROM. — Самоучитель. — Предметный указатель: с. 595-598. — ISBN 978-5-94157-269-4.

3. Delphi 7 : Справочное пособие / А. Я. Архангельский. — Москва: Бином-Пресс, 2003. — 1024 с.: ил. — Предм. указ.: с. 1005-1022. — ISBN 5-9518-0027-7.

### **РАЗРАБОТКА ШИНЫ-ВОРОТНИКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕДУРЫ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ**

*Комюстюрова А.С.<sup>1</sup>, Киселева Е.Ю.<sup>2</sup>, Куцов М.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Томский политехнический университет, г. Томск,*

<sup>2</sup>*Томский государственный университет, г. Томск*

*Научный руководитель Жданов Д.С.<sup>2</sup>, к.т.н., м.н.с.*

Одной из основных стратегических задач системы здравоохранения Российской Федерации является снижение смертности населения [1]. Достижение этой цели немыслимо без участия службы скорой медицинской помощи. В 2013 году вышел приказ Минздрава РФ [2], согласно которому станции скорой помощи, отделения скорой помощи поликлиник и больниц должны иметь как минимум одно «устройство контроля качества непрямого массажа сердца с голосовыми подсказками».

Существующие аналоги [3-7] оценивают правильность проводимых реанимационных мероприятий лишь по косвенным признакам – оценивается степень компрессии грудной клетки по силе нажатия на нее. В то время как анализ состояния реанимируемого во время СЛР не производит ни одно из вышеперечисленных устройств.

Коллективом авторов было разработано устройство для контроля процедуры СЛР, позволяющее оценивать действия реаниматора по

анализу акустических сигналов кровотока с области бифуркации сонных артерий и анализу эффективности действий реаниматора за счет поиска самостоятельных сердцебиений и дыхания реанимируемого.

Были рассмотрены три варианта конструктивного исполнения, которые можно увидеть на рисунке 1. В качестве основы будет использоваться шина-воротник Шанца, который позволит выполнить тройной прием Сафара и быстро зафиксировать устройство на теле реанимируемого.

Недостатками первого варианта исполнения, который изображен на рисунке 1 а), является крепление пульта управления к воротнику – возможно попадание рвотных масс, что затруднит получение информации о ходе реанимационных процедур реаниматором.

Второй вариант исполнения (рисунок 1 б) лишен недостатка непосредственного крепления пульта управления к воротнику устройства, однако применение шины-воротника не позволяет произвести индивидуальную подстройку под каждого реанимируемого.

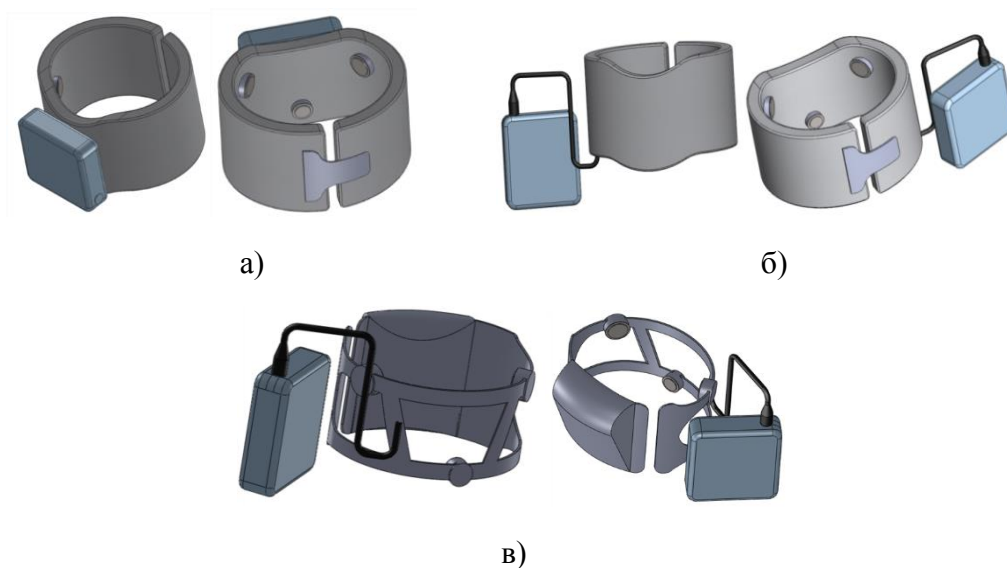


Рисунок 1 – Варианты исполнения устройства контроля процедуры СЛР: а) первый вариант, б) второй вариант, в) третий вариант

Использование третьего варианта (рисунок 1 в) конструктивного исполнения представляется наиболее перспективным, поскольку в данном случае достигается максимальная индивидуальная подстройка под антропометрические особенности реанимируемого.

Для проверки выполнения тройного приема Сафара с использованием третьего варианта исполнения шины-воротника было

проведено исследование на предмет самостоятельного запрокидывания головы.

Было изготовлено три варианта валика (рисунок 2).

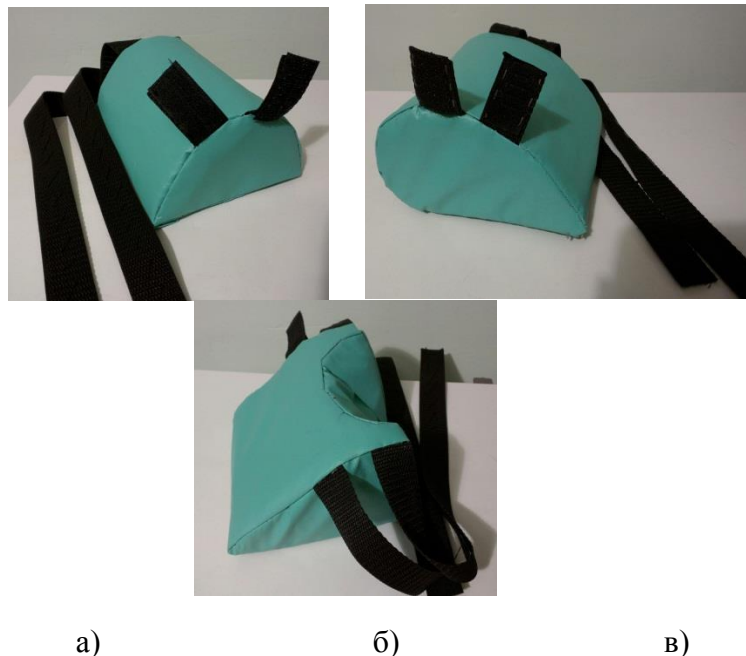


Рисунок 2 – Изготовленные валики для шины-воротника: а) первый вариант; б) второй вариант; в) третий вариант.

Было приглашено 15 человек для испытания трех смонтированных валиков шины-воротника устройства, обхват шеи у которых варьировался от 30 до 41 сантиметра, а длина шеи – от 7 до 11 сантиметров. К каждому испытуемому подкладывался валик под шею, и фиксировался факт запрокидывания головы для освобождения дыхательных путей.

В результате исследования выяснилось, что третий вариант воротника (рисунок 3) имеет наиболее удобную форму и выполняет тройной прием Сафара, так как у всех 15 испытуемых наблюдалось запрокидывание головы.

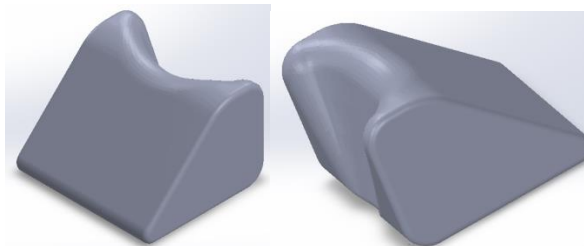


Рисунок 3 – Валик шины-воротника экспериментального образца устройства контроля процедуры СЛР

Работы выполнялись в рамках соглашения № 14.578.21.0078 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0078) по теме «Устройство для контроля процедуры сердечно-легочной реанимации человека», заключенного между Минобрнауки РФ и Национальным исследовательским Томским государственным университетом.

### **Список информационных источников**

1.Г. Улумбекова. Здравоохранение России. Что надо делать. Научное обоснование «Стратегии развития здравоохранения РФ до 2020 года». Краткая версия. М: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 96с.

2.Приказ Минздравсоцразвития России от 04.05.2012 N 477н (ред. от 07.11.2012) «Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи»

3.C. Buléon, J.-J. Parienti, L. Halbout, X. Arrot, H. De Facq Régent, D. Chelarescu, J.-L. Fellahi, J.-L. Gérard, J.-L. Hanouz. Improvement in chest compression quality using a feedback device (CPRmeter): a simulation randomized crossover study // The American Journal of Emergency Medicine. 2013; 31(10): 1457–1461.

4.S.K. Beckers, M.H. Skorning, M. Fries, J. Bickenbach, S. Beuerlein, M. Derwall, R. Kuhlen, R. Rossainta. CPREzy™ improves performance of external chest compressions in simulated cardiac arrest // Resuscitation. 2007; 72 (1): 100–107.

5.B. Zapletal, R. Greif, D. Stumpf, F.J. Nierscher, S. Frantal, M. Haugk, K. Ruetzler, Ch. Schlimp, H. Fischer. Comparing three CPR feedback devices and standard BLS in a single rescuer scenario: A randomised simulation study // Resuscitation. 2014; 85(4): 560–566.

6.<http://factor-mt.ru/shop/pr01>

7.H. Krep, M. Mamier, M. Breil, U. Heister, M. Fischer, A. Hoeft. Out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with the AutoPulse™ system: A prospective observational study with a new load-distributing band chest compression device // Resuscitation. 2007; 73(1): 86–95.

# **ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ И УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

*Манан Т.К.*

*Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г.  
Астана*

*Научный руководитель: Жантлесова А.Б., ст. преподаватель  
кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации*

**Введение.** В настоящее время в портативных электронных устройствах применяются источники питания нескольких различных типов. Такое разнообразие продиктовано требованием пользователей и имеет вполне логичное объяснение. Например, для мобильных устройств - таких как смартфоны, планшеты или ноутбуки - приоритетное значение имеет удельная энергоемкость (то есть количество запасаемой электроэнергии на единицу объема аккумуляторной батареи). Чем выше этот показатель, тем больше будет емкость батареи при тех же физических габаритах. Таким образом, установка батареи с более высокой удельной энергоемкостью позволит продлить время автономной работы мобильного устройства, не увеличивая его размеры — что крайне важно, учитывая нынешнюю моду на гаджеты в максимально тонких корпусах. Именно поэтому в современных смартфонах и планшетах применяются литий-ионные и литий-полимерные аккумуляторные батареи, которые на данный момент лидируют в категории малогабаритных перезаряжаемых источников питания по удельной энергоемкости.

Однако при разработке беспроводных периферийных устройств уровень энергопотребления беспроводных мышей и клавиатур по сравнению с теми же смартфонами невелик. В то же время острой необходимости в использовании источников питания с рекордно высокой энергоемкостью нет. Ограничения по массо-габаритным показателям определяют стоимость и покупательную способность у пользователей. Таким образом, во многих случаях разработчики делают выбор в пользу пусть не самого компактного, но зато более легкого или менее дорогого источника питания.

Не случайно на протяжении уже многих лет наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли беспроводных периферийных устройств, рассчитанных на питание от стандартных батареек формата АА либо ААА. Наиболее очевидными преимуществами данного решения являются доступность и



максимальная простота использования. Стандартные элементы питания востребованы на сегодняшний момент. Кроме того, при полном разряде батарейки достаточно установить вместо нее новую, и можно сразу же продолжить работу или же подключить универсальное зарядное устройство.

**Содержание.** С этих позиций использование аккумуляторных батарей в беспроводных периферийных устройствах выглядит менее удобным. Для подзарядки требуется определенное время (обычно 2-3 часа). Пользователю необходимо следить за индикатором уровня заряда для продолжения работы.

Еще одним фактором, ускорившим процесс перехода производителей, стал значительный прогресс в области снижения уровня энергопотребления электронных компонентов, которого удалось достичь разработчикам в последние годы.

Естественно, имеет значение и цена. Установка весьма недешевых литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов неизбежно приводит к удорожанию устройства. А это крайне важно, когда речь идет о моделях стоимостью порядка 30-40 долл. Кроме того, аккумуляторные батареи упомянутых типов имеют ограниченный ресурс — обычно от 500 до 1000 циклов заряда-разряда. Таким образом, при интенсивном использовании именно ресурс аккумулятора становится критичным фактором, ограничивающим жизненный цикл устройства.

Одним из наиболее перспективных вариантов являются суперконденсаторы или, как их правильнее называть, ионисторы (англоязычные авторы для обозначения этих элементов часто используют аббревиатуру EDLC, которая расшифровывается как Electric double-layer capacitor). Первые образцы суперконденсаторов были созданы более 50 лет тому назад. В настоящее время они применяются в ряде электроприборов (в частности, в карманных фонариках, фотовспышках и пр.) в качестве основных и резервных источников питания. Кроме того, благодаря своим свойствам суперконденсаторы являются идеальным накопителем электроэнергии для систем рекуперации кинетической энергии, которыми оснащаются многие выпускаемые сейчас транспортные средства с электрическими и гибридными силовыми установками.

Важнейшими достоинствами суперконденсаторов в сравнении с литий-ионными и литий-полимерными аккумуляторами являются высокая скорость заряда, эффективность и огромный ресурс.

Суперконденсаторы способны запасать большое количество энергии в течение короткого промежутка времени, что позволяет

сократить время подзарядки до минимума. Кроме того, ионисторы характеризуются высокой эффективностью. Если современные литий-ионные аккумуляторы способны отдать лишь порядка 60% электроэнергии, затраченной на их зарядку, то у суперконденсаторов этот показатель превышает 90%.

Еще одно важное преимущество – огромный ресурс. У литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов существенная деградация (снижение емкости относительно первоначального значения) наблюдается уже после нескольких сотен циклов заряда-разряда. А суперконденсаторы способны выдержать без заметной деградации порядка нескольких десятков тысяч циклов.

В числе прочих преимуществ можно отметить малый удельный вес и экологичность. Благодаря низкой токсичности материалов, из которых изготавливаются ионисторы, их гораздо проще и безопаснее утилизировать, чем литиевые, никель-кадмиевые, никель-металлгидридные и свинцово-кислотные аккумуляторы.

Подзаряжать беспроводное устройство, оснащенное ионистором, приходится ежедневно (а возможно, даже чаще при интенсивном использовании). Однако, данная процедура занимает всего несколько минут. А поскольку суперконденсаторы обладают огромным ресурсом и даже при условии нескольких ежедневных подзарядок срок службы устройства составит не менее десяти лет.

Важным преимуществом суперконденсаторов в сравнении с литиевыми аккумуляторами и обычными батарейками является заметно меньший вес. А это значит, что та же беспроводная мышь, оборудованная ионистором, будет лишь немногим тяжелее проводного аналога.

Суперконденсаторы обладают высокой скоростью заряда и энергоэффективностью, а также огромным ресурсом. Благодаря низкой токсичности материалов их гораздо проще и дешевле утилизировать, чем литиевые аккумуляторы. Такое сочетание свойств делает суперконденсаторы весьма перспективным вариантом для использования в качестве перезаряжаемых источников автономного питания беспроводных периферийных устройств. А что касается необходимости часто подключать кабель для подзарядки, то эту проблему нетрудно решить, применив беспроводное зарядное устройство — тем более, что подобные решения сейчас уже начинают появляться на массовом рынке.

**Выводы.** Благодаря внедрению новых материалов в будущем станет возможным создание суперконденсаторов с гораздо более высокой (по сравнению с ныне выпускаемыми) удельной плотностью

запасаемой энергии. Большие надежды специалисты возлагают на разработку графеновых суперконденсаторов. Использование этого инновационного материала позволит уже в ближайшее время создать образцы с удельной плотностью запасаемой энергии порядка 60 Вт•ч на литр. Конечно, это значительно меньше по сравнению с современными литий-ионными и литий-полимерными аккумуляторами, но уже вполне сопоставимо с характеристиками свинцово-кислотных батарей. И можно не сомневаться в том, что развертывание серийного выпуска графеновых суперконденсаторов позволит значительно расширить сферу применения этих источников питания. Ими можно будет оснащать не только беспроводные манипуляторы и клавиатуры, но и портативные акустические системы, а также источники бесперебойного питания небольшой мощности.

### **Список информационных источников:**

1. Принципы работы аккумуляторных батарей. <http://eclipse-club.ru/page82/pos90>.
2. Harsharaj S. Jadhava, Ramchandra S. Kalubarme, Arvind H. Jadhav, Jeong Gil Seob. Iron-nickel spinel oxide as an electrocatalyst for non-aqueous rechargeable lithium-oxygen batteries. *Journal of Alloys and Compounds*. Volume 666, 5 May 2016, Pages 476–481.
3. Xing Xin, Kimihiko Ito, Yoshimi Kubo, Graphene/activated carbon composite material for oxygen electrodes in lithium–oxygen rechargeable batteries. *Carbon*. Volume 99, April 2016, Pages 167–173

# **ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПРИ ОЦЕНКЕ И РЕАБИЛИТАЦИИ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ.**

*Мнайдаров С. И.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Толмачев И.В., к.м.н, старший  
преподаватель кафедры промышленной и медицинской электроники/  
доцент кафедры медицинской и биологической кибернетики СибГМУ*

Вестибулярные расстройства – распространенная патология людей разного возраста, с которой сталкиваются врачи. Перенесенные заболевания, травмы, инфекции, интоксикации – наиболее частые причины, приводящие к нарушению функций вестибулярного аппарата, вследствие чего пациент теряет способность к поддержанию вертикальной позы в пространстве и устойчивой ходьбе.

В зависимости от характера патологии, проявления вестибулярного нарушения могут иметь различный характер. При некоторых заболеваниях нервной системы, например, вестибулярном нейроните, можно наблюдать не только нарушение равновесия, но и появление внезапного приступа головокружения обычно с тошнотой, спонтанный нистагм, тревожное состояние из-за боязни падения и получения травмы [1]. Несомненно, такое состояние здоровья ухудшает качество жизни пациента. Кроме того, неспособность поддерживать равновесие в повседневной жизни становится проблемой при трудоустройстве, поскольку многие профессии (летчики, водители, строители и др.) предъявляют довольно жесткие требования к вестибулярному аппарату.

Целью данной работы является разработка системы для тренировок с биологической обратной связью для реабилитации двигательных нарушений. Задачи:

- 1) изучение методов оценки состояния вестибулярного аппарата;
- 2) разработка системы управления углом наклона стабилоплатформы предназначенной для создания заданий выполняемых пациентом.

В настоящее время существует несколько методик и систем, позволяющих производить объективную оценку возможности человека поддерживать равновесие в вертикальном положении. Золотым стандартом таких систем является компьютеризированная стабилметрия, позволяющая регистрировать проекцию общего центра масс тела стоящего на платформе человека. Метод стабилметрии является достаточно объективным в случае диагностирования

двигательных расстройств. Однако он имеет свои недостатки. Во-первых, это большой размер оборудования, требующее специальной установки и тщательной калибровки перед каждым его использованием. Во-вторых, это его высокая стоимость. За последние годы методы анализа движения быстро развиваются под действием технологического прогресса, который повышает точность измерений и дает возможность фиксировать новые параметры, которые до этого момента были не доступны. Одним из значительных прорывов последних лет стало развитие видеосистем, а именно, увеличение частоты смены кадров и их разрешение. Альтернативным современным методом анализа движения человека в процессе поддержания равновесия с использованием видеосистем является безмаркерный захват движения. Однако для анализа выходной информации такой системы и соответственно получения наглядных результатов необходима обработка многомерных коррелирующих между собой данных. Также, проблема заключается в том, что информация о траектории движения точек может различаться между отдельными людьми и колебаться в разное время при разных условиях.

### **Материалы и методы**

Для того, чтобы произошло успешное погружение пользователя в виртуальную реальность, необходимо произвести подмену информации, генерируемой компьютером и поступающей на органы чувств. Таким образом, средства вывода являются неотъемлемой частью аппаратного комплекса. Существуют так называемые очки дополненной реальности, работающие по принципу наложения картинки на реальное изображение, однако погрузить человека в виртуальное пространство они не способны. В настоящее время одним из основных средств визуализации являются виртуальные очки, характеризующиеся двухэкранном способом построения изображения. То есть, для каждого глаза в шлем встроен отдельный дисплей, при этом каждый глаз видит только свой кадр стереопары. Всевозможные ошибки практически исключены, что максимально повышает эффект погружения в виртуальный мир. В процессе работы были использованы очки виртуальной реальности Oculus Rift dk2, поскольку они занимают выигрышное положение по соотношению цена – качество [3].

В системе используется метод безмаркерного захвата движения. Для этих целей используется Microsoft Kinect. Kinect – бесконтактный сенсорный игровой контроллер, разработанный фирмой Microsoft для

игровой консоли Xbox 360, позднее был адаптирован для компьютеров под управлением ОС Windows [2] .

Также в системе необходимо использование компьютерной стабилометрии. К сожалению, сертифицированные и разрешенные для медицинского использования в Российской Федерации стабиллоплатформы не могут осуществлять регистрацию траектории перемещения центра давления в условиях наклонной плоскости и при движении самой платформы. В связи с этим на кафедре медицинской и биологической кибернетики разрабатывается динамическая стабиллоплатформа с возможностью регистрации поведения центра давления на опору в условиях наклона и движения самой платформы.

### Результаты

Разработана среда виртуальной реальности и интегрирована с устройством безмаркерного захвата движений (рисунок 1).

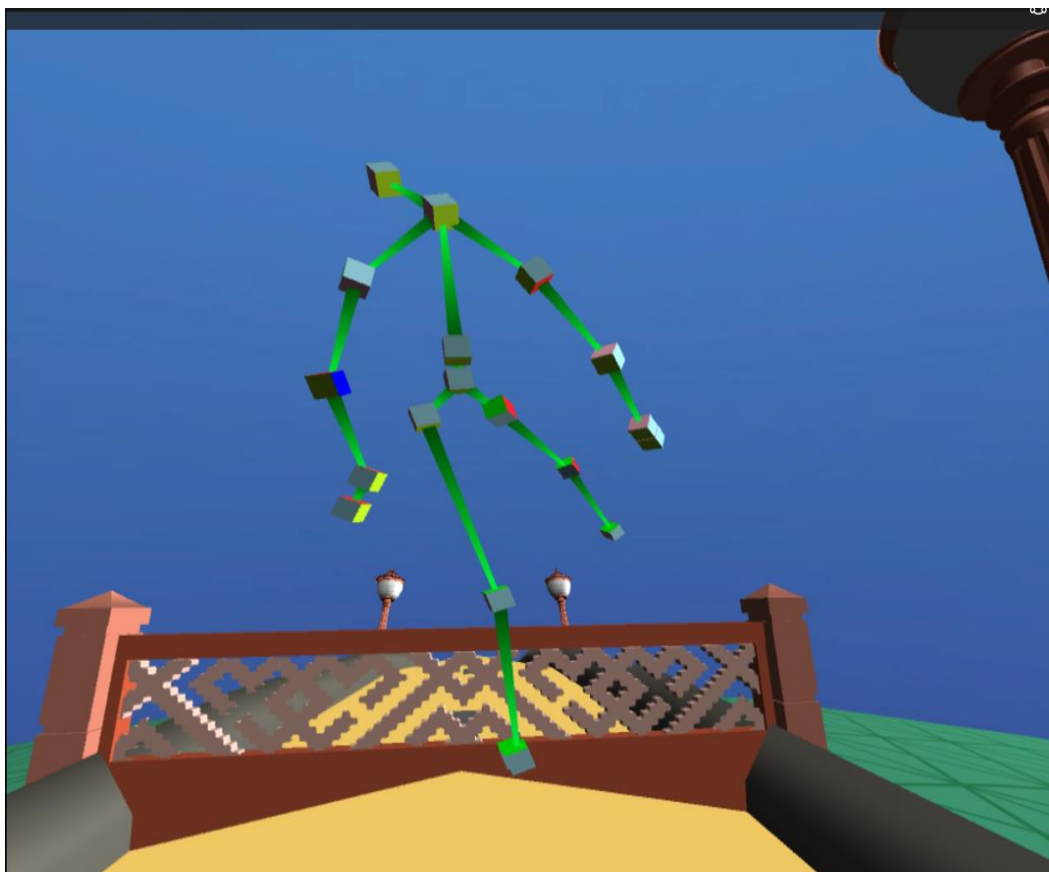


Рисунок 1 – Виртуальное окружение.

Также разработан скетч для управления динамической стабиллоплатформой на базе Arduino Uno.

## Список информационных источников

1.Г .Покровский В.М. Физиология человека: Учебник. Т.1. / под редакцией Покровского В.М., Коротько Г.Ф., Кобрин В.И. – М: Медицина, 1997. – 448с.

2.Kinect hardware URL: <https://developer.microsoft.com/en us/windows/kinect/hardware> (дата обращения: 10.05.2016).

3. Обзор Oculus Rift URL: <http://zoom.cnews.ru/publication/item/45980> (дата обращения 12.05.2016).

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОМ НАКАЧКИ ДЛЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕТАЛЛА

*Мусоров И.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Торгаев С.Н., к.ф.-м.н. доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Лазеры на парах бромида меди – это импульсные газоразрядные лазеры, генерирующие на переходах с резонансных уровней на метастабильные. Данные лазеры относятся к классу лазеров на самоограниченных переходах, вероятность распада нижнего уровня которых, меньше чем вероятность рабочего перехода. Таким образом, работа таких лазеров возможно только в импульсном режиме.

Типичная частота генерации лазеров на парах CuBr составляет 10-30кГц. Для исследования возможности генерации на более высоких частотах, необходимо разработать источник накачки. В 2015 году был разработан высокочастотный источник накачки для CuBr лазера. Источник накачки основан на модуляторной лампе ГМИ-27Б, включенной по схеме с заземленной сеткой, что позволяет источнику работать на больших частотах [1]. Максимальная частота работы источника составляет – 1.1МГц. Для получения высокочастотных импульсов генерации в усилителях яркости на парах бромида меди необходимо обеспечить работу усилителя в режиме пониженного энерговклада в разряд [2]. В данной схеме накачки данный режим обеспечивается за счет уменьшения длительности импульсов накачки, в частности, разработанный генератор формирует импульсы накачки с длительностями порядка 20-40 нс по полувысоте (при типичных

длительностях накачки усилителей яркости на парах металлов 100-200нс).

В 2015 была разработана схема запускающего генератора с использованием высокоскоростной логики. Высокочастотный генератор наносекундных импульсов на логических элементах строился по структурной схеме, представленной на рис. 1.

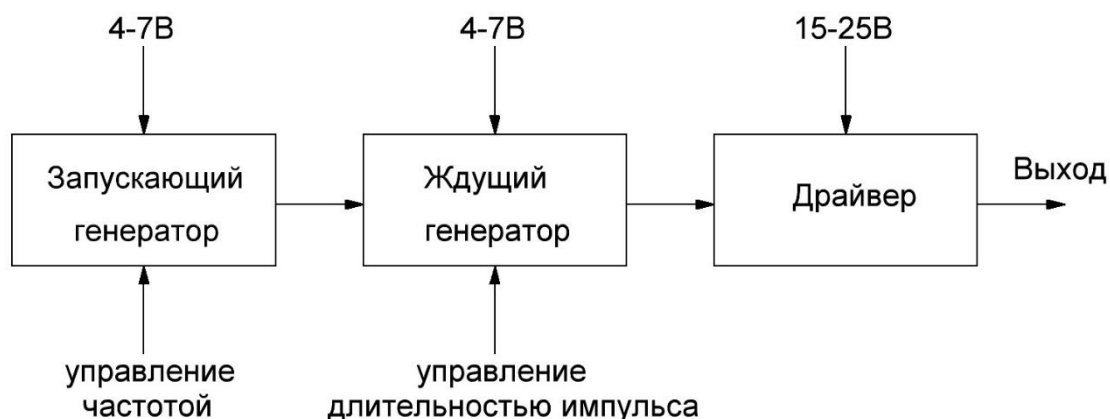


Рис. 1. Структурная схема высокочастотного запускающего генератора.

Задающий и ждущий генераторы строились с использованием стандартных схем генераторов на логических элементах. В схемах использовались высокочастотные логические элементы - SN74LVC1G00DBVR, имеющие КМОП структуру с максимальным напряжением питания 5 В. Задание необходимой частоты следования импульсов и их длительности осуществлялась с помощью подстроечных резисторов серии «3296W». Невозможность изменять частоту и длительность импульсов на определенную величину, внесли затруднения в экспериментальное исследование источника накачки для лазеров на парах меди (бромида меди).

Для устранения данной проблемы было решено разработать новую систему управления, основанную на высокоскоростном микроконтроллере STM32F407VGT6 фирмы STMicroelectronics. Тактовая частота данного микроконтроллера достигает 168МГц [3], что позволяет добиться генерации прямоугольных импульсов, с помощью ШИМ, с частотой следования свыше 1МГц, а главное с малыми длительностями импульсов – от 6нс по полуширине.

Структурная схема системы управления представлена на рис. 2. Микроконтроллер, используя таймер в режиме ШИМ, на одном из своих выходов генерирует прямоугольные импульсы, которые с помощью высокоскоростной микросхемы логики SN74LVC1G00DBVR



увеличиваются по амплитуде с 3.3В до 5В. Далее импульсы поступают на высокоскоростной драйвер фирмы IXYS IXDN630, для MOSFET транзисторов. При помощи данного драйвера происходит увеличение амплитуды импульсов до 20В, драйвер так же выполняет усиление по току.

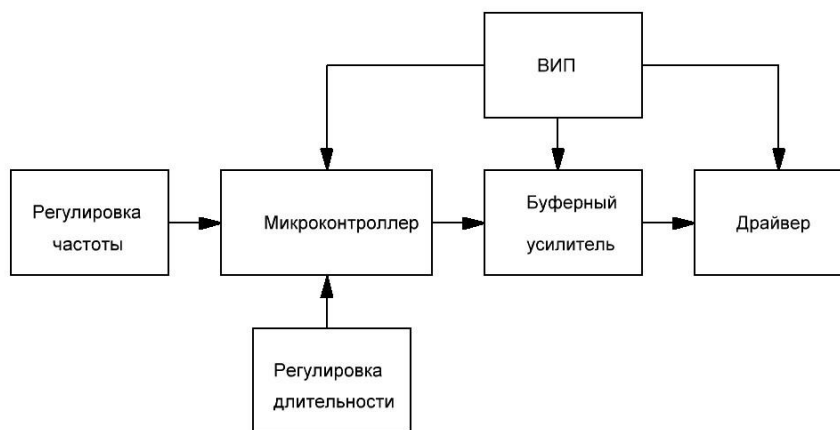


Рис. 2. Структурная схема системы управления источника накачки

Регулировка частоты следования и времени импульса осуществляется программно, по внешнему прерыванию. Во избежание ложного ухода в прерывание и изменения параметров генерируемых импульсов, введены добавочные кнопки. Таким образом для регулировки частоты предусмотрены три кнопки: увеличение частоты, уменьшение частоты и кнопка подтверждения изменения. Регулировка длительности импульса осуществляется по такой же схеме.

Для данной системы управления разработана отдельная плата питания, на которой присутствуют два регулируемых источника питания: 4В – 7В для питания логических микросхем и микроконтроллера, 15В – 25В для питания драйвера, а также один источник не регулируемого питания 12В для системы охлаждения. Регулируемые источники питания позволяют плавно регулировать параметры открытия силового транзистора на различных частотах.

Для обеспечения электромагнитной совместимости системы управления с силовой частью источника накачки, корпус для плат системы управления и питания выполнен из оцинкованного листа. Корпус устройства соединен с землей.

Основные осциллограммы системы управления приведены на рис.

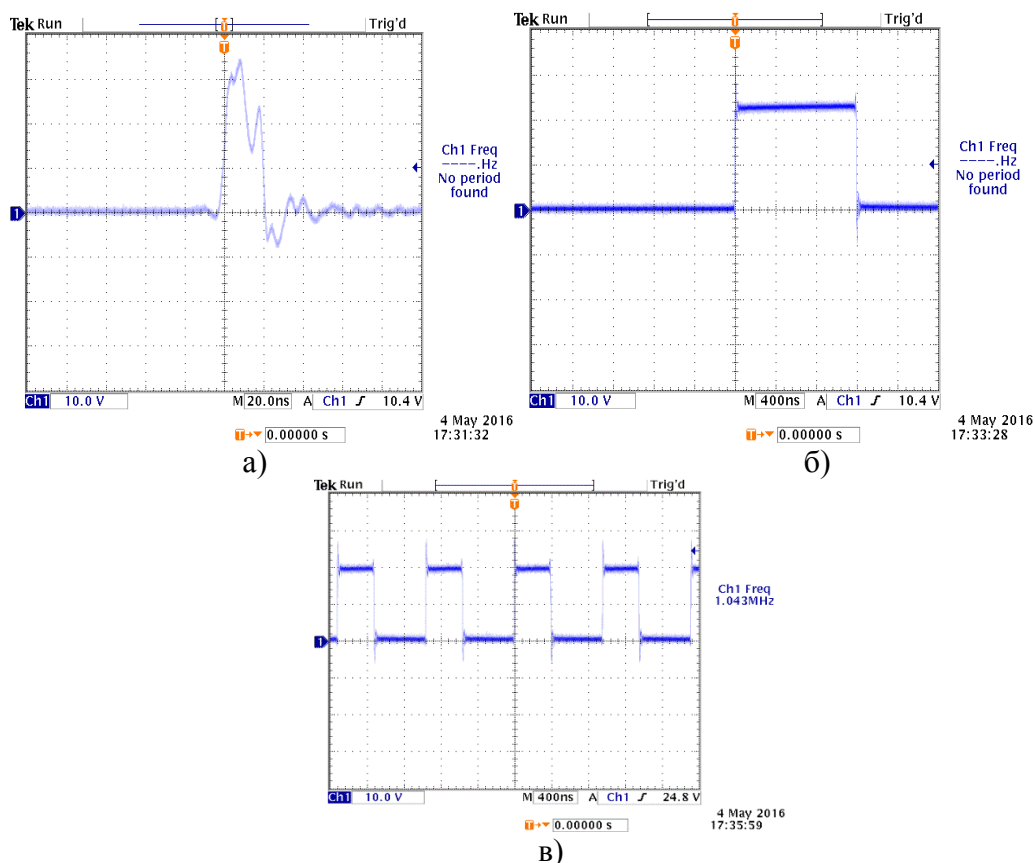


Рис. 3. Осциллограммы импульсов системы управления: а) минимальная длительность импульса; б) максимальная длительность импульса; в) максимальная частота следования импульсов

Таким образом, разработанная система управления позволяет генерировать импульсы амплитудой от 15В до 25В, с частотой следования импульсов от 20 кГц до 1.1МГц и длительностью от 20нс и выше. Так же разработанная система управления обеспечивает защиту от ложных срабатываний от элементов управления и является надежно защищенной от ЭМ наводок/помех.

### Список информационных источников

1. Квантовая электроника
2. Boychenko A. M. , Evtushenko G. S. , Nekhoroshev V. O. , Shiyarov D. V. , Torgaev S. N. CuBr-Ne-HBr laser with a high repetition frequency of the lasing pulses at a reduced energy deposition in the discharge // Physics of Wave Phenomena. - 2015 - Vol. 23. - Issue 1. - p. 1-13.
3. STlife.augmented [Электронный ресурс] / User manual – Режим доступа:[http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/technical\\_note/DM00039768](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/technical_note/DM00039768)

.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 11/03/20165).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Непорожняя Т.Г.*

*Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники, г. Томск*

*Научный руководитель: Солдатов А.И., д. т. н. кафедры  
промышленной и медицинской электроники, профессор Томского  
политехнического университета*

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что одной из важных и сложных проблем современного неразрушающего контроля качества сварных соединений разных типов является поиск и определение в них дефектов в единой комплексной системе факторов. Структурно–механическая неоднородность – дефекты сварного шва – конструктивный и технологический концентратор напряжений, т.е. зон с высокой неоднородностью напряженно–деформированного состояния или зон концентрации напряжений (ЗКН). Это важно, как при изготовлении сварных соединений, т.е. непосредственно после сварки, для оптимизации технологического процесса, так и при их эксплуатации.

Одним из решений проблемы неразрушающего контроля сварного шва является мобильный робот, который двигаясь по шву способен, с помощью определенных датчиков, сканировать сварной шов на наличие дефектов и осуществляющий передачу данных по беспроводному каналу на ПК.

Главной целью является исследование алгоритмов управления движением мобильного робота перемещающегося вдоль траектории сварного шва.

Рассматривались различные алгоритмы управления перемещением мобильного робота по линии: алгоритм с использованием одного и двух датчиков освещенности, алгоритм с использованием  $n$  датчиков освещенности расположенных в одну линию, алгоритм пропорционально-интегрально-дифференциального управления (ПИД-управление).

Достоинства алгоритма с использованием одного или двух датчиков освещенности – это простота расположения датчиков на

роботе и достижение более высокой скорости передвижения. Однако этот алгоритм имеет существенные недостатки. Во-первых, количество датчиков должно быть больше, для более точного измерения отклонения робота относительно исследуемого сварного шва. Во-вторых, скорость перемещения не должна быть слишком высокой, так как роботу необходимо успевать осуществлять передачу определенного объема данных о просканированном участке шва. Поэтому был выбран алгоритм с ПИД-управлением.

Каждый из элементов регулятора (пропорциональное, интегральное и дифференциальное звенья) выполняет свою задачу и оказывает свое специфическое воздействие на функционирование системы. Пропорциональный закон отвечает за настоящее (реагирует на текущую ошибку), дифференциальный – за будущее (реагирует на тенденцию изменения ошибки), а интегральный – за прошлое (накапливая предыдущие ошибки и сглаживая высокочастотные шумы). Выходы этих элементов складываются между собой и формируют управляющий сигнал для устройства. На Рис. 1 представлена схема полученного ПИД-регулятора.

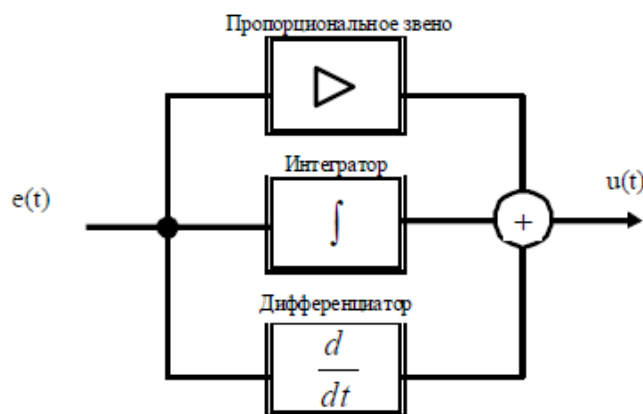


Рисунок 2. ПИД-регулятор

Закон ПИД-управления выглядит как сумма входящих в состав ПИД-регулятора управляющих компонент:

$$U_{pid}(t) = U_p(t) + U_i(t) + U_d(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d (y(t) - y(t-1))$$

где  $U(t)$  – управляющий сигнал,  $k$  – постоянный коэффициент,  $e(t)$  – сигнал ошибки (отклонение),  $y(t)$  – текущее значение выходного сигнала в момент времени  $t$ ,  $y(t-1)$  – предыдущее значение выходного сигнала в момент времени  $t-1$ .

Итоговая структурная схема системы, использующей ПИД-регулятор, изображена на Рис. 2.

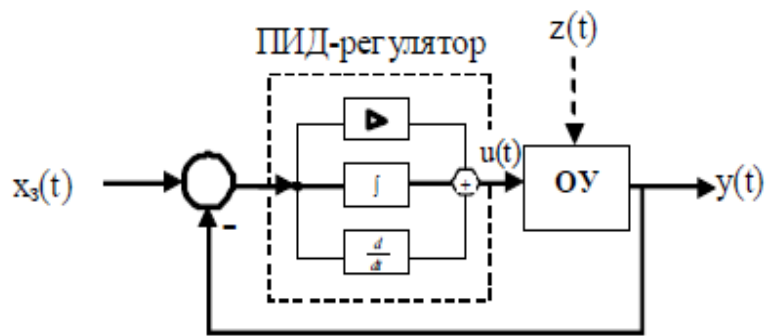


Рисунок 3. Система с ПИД-регулятором.

$x_3(t)$  – задающее воздействие,  $z(t)$  – помехи,  $y(t)$  – выходной сигнал,  $e(t)$  – ошибка (отклонение), ОУ – объект управления

За основу робота был взят существующий прототип, который создан компанией Freescale corp. Робот построен на базе двухосевого шасси. Он имеет два механизма управления:

а) управление двигателями ведущих колёс (в нашем случае задний привод) т.е. управление скоростью вращения колёс;

б) управление углом поворота передних колёс, и соответственно траекторией движения робота. Управление углом поворота осуществляется с помощью сервопривода.

Также на роботе установлен энкодер с двумя прорезями (10 сигналов = 10,5 см), отсчитывающий расстояние, пройденное роботом и его скорость. Робот распознает линию, по которой перемещается, с помощью установленной камеры (128 фоточувствительных элементов; 2,3 элемента на одно измерение). Сканирование шва на наличие дефектов осуществляется ультразвуковым датчиком (УД) размером 10x10 мм. (матрица 8x8 элементов).

Учитывая размеры УД необходимо, чтобы робот осуществлял перемещение с шагом  $\approx 4,5$  мм., чтобы не было неконтролируемых зон между соседними сканируемыми участками. Также необходимо учесть, что скорость перемещения робота должна коррелировать со скоростью передачи данных, чтобы не было непроконтролируемых участков. Также для данной задачи не подходит энкодер, установленный на данном роботе и имеющий всего два импульса на одно вращение. Необходим более точный энкодер, с большим числом импульсов, для увеличения точности измерения. При этом лучше использовать абсолютный энкодер, который показывает текущую координату сразу при включении, без необходимости предварительной установки в исходное положение. Камера, отвечающая за положение робота

относительно шва, должна быть расположена ближе к сварному шву, чтобы угол обзора был меньше.

### **Список информационных источников**

- 1) Википедия  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковая\\_дефектоскопия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковая_дефектоскопия)
- 2) Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/ПИД-регулятор>
- 3) Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – 3-е изд., стереотип. – СПб.: Политехника, 2015 – 302с.
- 4) IKA Logic <https://www.ikalogic.com/line-tracking-sensors-and-algorithms/>

## **ИЗУЧЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

*Обач И.И., Абуеллаиль А.А., Солдатов А.А., Солдатов А.И.  
Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Солдатов А.И., д.т.н., профессор  
кафедры промышленной и медицинской электроники*

### **Введение**

В контроле металлов и сплавов часто используют термоэлектрический метод. Но на результат контроля влияет неоднородность и шероховатость исследуемой поверхности, вследствие чего контакт получается многоточечным. Влияние качества исследуемой поверхности на результат контроля отражено в работе [1]. В эквивалентной схеме многоточечный контакт можно изобразить как параллельное соединение нескольких термопар, имеющих различные характеристики за счет локальных колебаний химического состава исследуемого металла или сплава. Для того, чтобы учитывать влияние термопар на результаты контроля, нужно изучить их характеристики.

### **Исследование**

В данной работе были исследованы характеристики нескольких термопар в диапазоне  $(160^{\circ} - 400)^{\circ}\text{C}$ . Были исследованы характеристики термопар хромель-алюмель, нихром-константан и их параллельное соединение.

Экспериментальная установка, представлена на Рис.1.

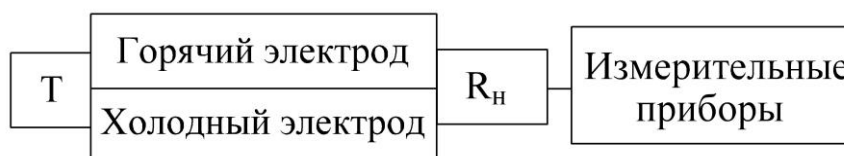


Рис.1. Структурная схема эксперимента

В ходе исследований измерялось падение напряжения на сопротивлении нагрузки  $R_n$ . Измерения производились в одиночном и в параллельном включении термопар, с сопротивлением нагрузки  $R_n$  разным номиналом. Затем проводился расчет термоЭДС, внутреннего сопротивления  $R_{вн}$ , тока в цепи  $I$ , максимальной мощности  $P$ .

### Результат внутреннего сопротивления источника термоЭДС $R_{вн}$

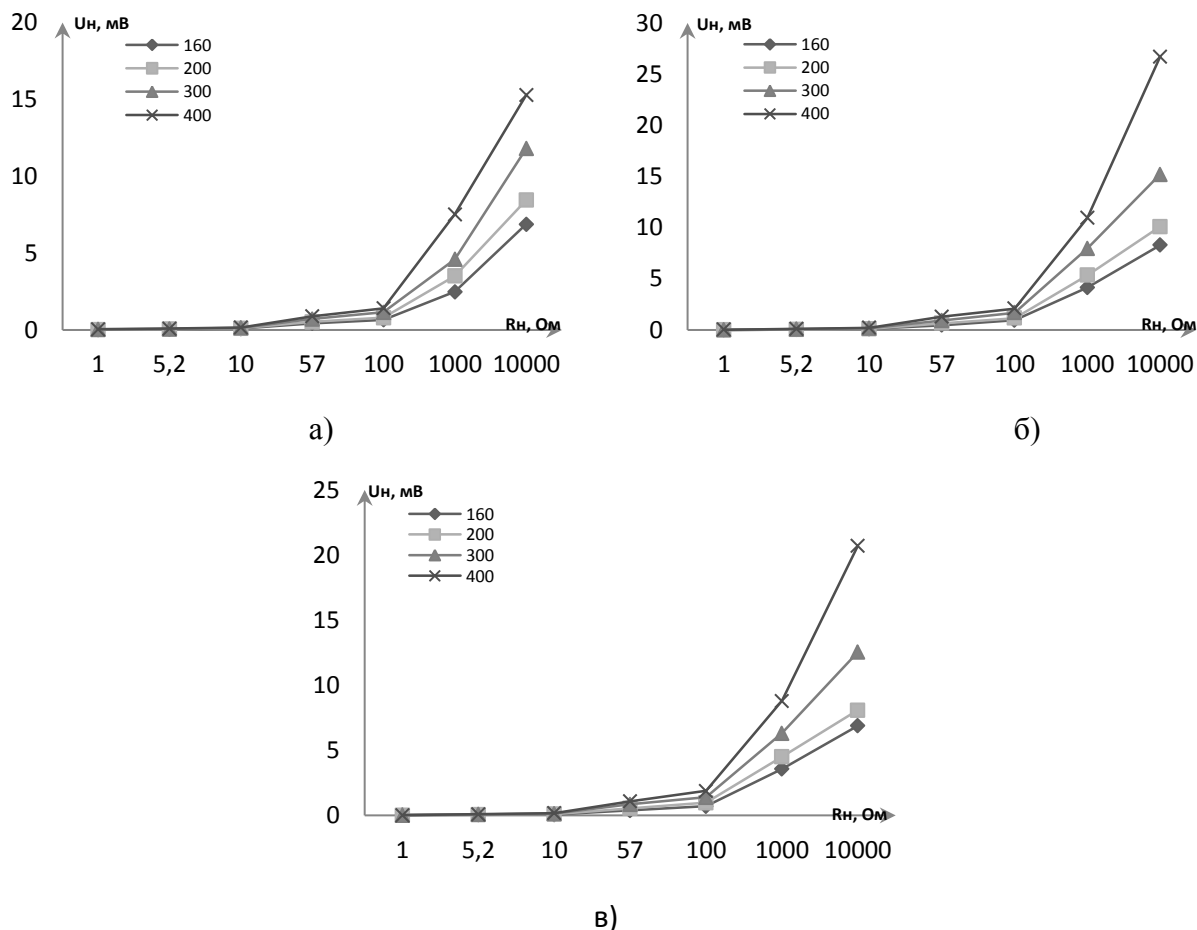


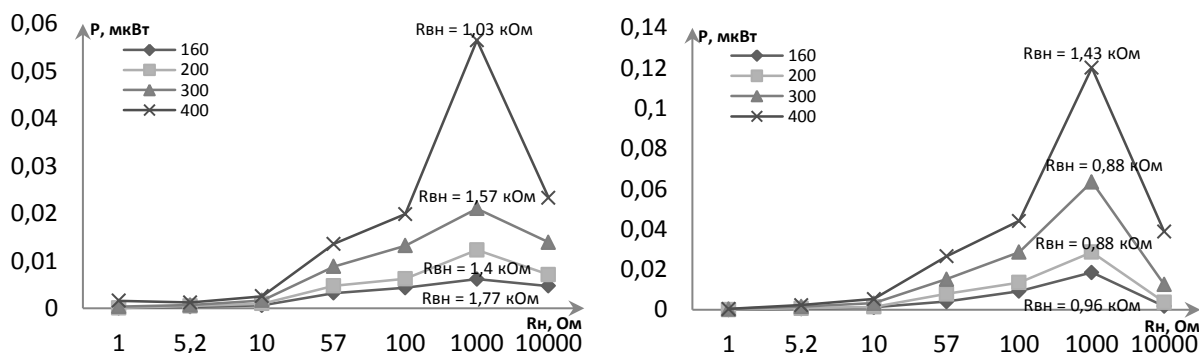
Рис.2. Зависимость напряжения на нагрузке от сопротивления нагрузки для различных термопар при температуре (160– 400)°С градусов: а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

Результаты измерения напряжения на нагрузке для четырех значений температуры представлены на Рис.2. Рис.2.а отображает результаты исследования термопары хромель-алюмель. Рис.2.б отображает результаты исследования термопары нихром-константан. А на Рис.2.в показан случай их параллельного соединения.

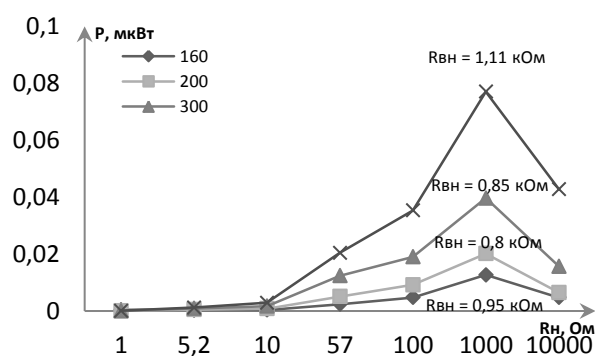
Как видно из графиков с увеличением  $R_n$  напряжение на нагрузке увеличивается приближаясь к значению термоЭДС при холостом ходе. С увеличением температуры значение  $U_n$  увеличивается вследствие увеличения термоЭДС, которое пропорционально температуре.

### Результат мощности источника термоЭДС $P_{\max}$

Максимальная мощность была рассчитана и как можно видеть на Рис. 3 максимальная мощность была проверена экспериментально. Максимальная мощность наблюдается, когда внутреннее сопротивление равно сопротивлению нагрузки



а) б)



в)

Рис.3. Зависимость мощности источников термоЭДС от сопротивления нагрузки при температуре (160 – 400)°С градусов а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

### Заключение

В рамках данной статьи были проведены исследования электрических характеристик двух источников термоЭДС и их параллельного соединения, для изучения влияния многоточечного контакта электрода с контролируемым образцом в приборах термоэлектрического контроля.

Было проведено исследование параллельного включения термопар. Благодаря, которому стало понятно, что при параллельном соединении термопар, такие характеристики как внутреннее



сопротивление, мощность и термоЭДС эквивалентны средним значениям термопар, хромель-алюмель и нихром-константан при одиночном включении.

Также было выяснено из эксперимента, что самое оптимальное сопротивление нагрузки для источников термоЭДС равно 1 кОм. Когда внутреннее сопротивление равно сопротивлению нагрузке, то мощность источника термоЭДС самая большая. Выбор этого сопротивления позволит улучшить точность измерения приборов термоэлектрического контроля.

### **Список информационных источников**

1.Солдатов А.А. Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом. дис. канд. техн. наук / А.А. Солдатов. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 155с.

2.Oldham, Kalil T. Swain (2008).The doctrine of description: Gustav Kirchhoff, classical physics, and the "purpose of all science" in 19th-century Germany(Ph. D.). University of California, Berkeley. p.52. Docket 3331743.

3.Croft, Terrell; Summers, Wilford I. (1987).American Electricians' Handbook(Eleventh ed.). New York: McGraw Hill.ISBN 0-07-013932-6.

## **УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ В УПРАВЛЯЮЩИХ ДВИГАТЕЛЯХ-МАХОВИКАХ**

*Пасько В.А.*

*АО «НПЦ «Полюс», г. Томск,*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Завьялова О.Ю., к.т.н., начальник лаборатории  
АО «НПЦ «Полюс», доцент кафедры промышленной и медицинской  
электроники*

На современных космических аппаратах (КА) широко применяется активная трехосная система ориентации и стабилизации на основе комплекса управляющих двигателей-маховиков (УДМ). Управление ориентацией осуществляется перераспределением кинетического момента между исполнительным органом и корпусом КА. Основными обобщенными характеристиками УДМ являются область требуемого кинетического момента  $H(t)$ , пропорционального угловой скорости, и область требуемого динамического момента  $M_d(t)$ , определяемые динамикой КА [1].

УДМ должен обеспечивать динамический момент, пропорциональный сигналу управления  $N_y$ , который вырабатывается устройствами системы ориентации и стабилизации в процессе отработки заданного положения КА и может изменяться в широких пределах от  $-N_{y \max}$  до  $+N_{y \max}$ , проходя через нулевое значение. Значение динамического момента определяется согласно выражению

$$M_d(t) = k_m N_y(t),$$

где  $k_m$  – коэффициент пропорциональности.

Свободному вращению УДМ препятствует момент сопротивления  $M_c(t)$ , представляющий собой сложную функцию угловой скорости. Электродвигатель УДМ физически создает электромагнитный момент  $M_{эм}(t)$ , поэтому принудительное вращение определяется двумя моментами:

$$M_d(t) = M_{эм}(t) - M_c(t). \quad (1)$$

Момент сопротивления  $M_c(t)$  относится к числу основных характеристик УДМ, нелинейно зависит от частоты вращения и содержит две составляющие:

$$M_c(t) = M_T(t) + k_c \Omega(t),$$

где  $M_T(t)$  – момент трогания;  $k_c$  – коэффициент момента сопротивления.

Особенно сильное влияние на динамику КА оказывает момент трогания УДМ, так как при нулевых и малых угловых скоростях он является основной составляющей момента сопротивления. Момент трогания обусловлен наличием трения в шарикоподшипниковых опорах, контактными и общими деформациями соприкасающихся тел, макро- и микрогеометрией поверхностей качения, свойствами смазки, окружающей рабочие элементы подшипника, и физическими свойствами материалов контактирующих пар.

Его влияние наиболее сильно выражено при остановке УДМ. В момент начала вращения маховика момент трогания значительно превышает момент сопротивления на малых скоростях и сильно зависит от длительности остановки. Согласно экспериментальным данным, при смене направления вращения УДМ и переходе через нуль момент трогания становится меньше, но по-прежнему превышает момент сопротивления при малых угловых скоростях.

Можно выделить два подхода к снижению момента трогания УДМ: конструктивными мерами и с помощью формирования закона управления [2].

Конструктивные меры включают в себя дополнительные виброшумовые испытания и контроль геометрии подшипников, контроль вязкости закладываемой смазки, снижение давления на опоры

подшипникового узла. Однако подобный подход не может полностью исключить момент трогания, что приводит к необходимости применения законов управления, учитывающих поведение маховика возле нуля.

Из выражения (1) видно, что если формировать сигнал управления, используя в качестве обратной связи измеренный динамический момент (прямой способ управления моментом), влияние момента сопротивления, в том числе и момента трогания, полностью компенсируется. Однако такое управление моментом трудно технически реализуемо.

Более прост косвенный способ, при котором регулирование динамического момента осуществляется изменением электромагнитного момента в соответствии с выражением  $M_{\text{эм}}(t) = k_m N_y$  с учетом измеренного значения момента сопротивления. Предлагается компенсировать момент трогания УДМ косвенным способом управления.

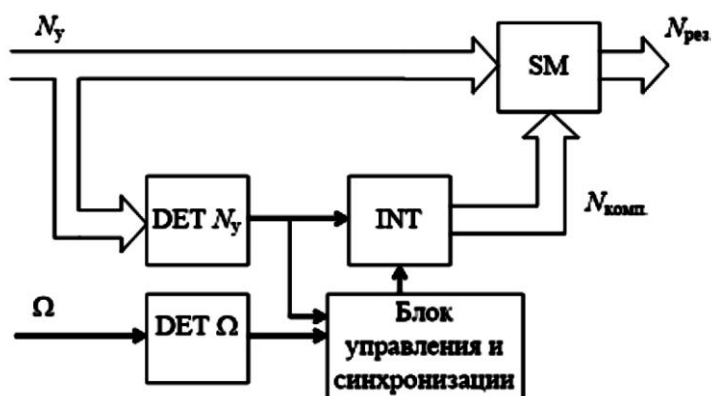


Рис. 1. Функциональная схема устройства компенсации момента трогания

Устройство компенсации момента трогания (рис. 1) состоит из следующих функциональных блоков: DET  $N_y$  — детектор наличия управляющего кодового сигнала ( $N_y$ ); DET  $\Omega$  — детектор, отслеживающий угловую скорость маховика; INT — счетчик-интегратор; SM — блок сумматоров.

Принцип работы устройства (рис. 2) состоит в следующем. В каждый момент времени оно отслеживает угловую скорость УДМ и значение управляющего сигнала. При угловой скорости  $\Omega$ , отличной от нулевой, и наличии кодового сигнала управления  $N_y$  схема пропускает его без изменений. В случае остановки УДМ на входе блока DET  $\Omega$  появляется информация о нулевой угловой скорости, при этом с его выхода выдается разрешающий импульс, который поступает в блок управления и синхронизации. При появлении на входе блока DET  $N_y$

управляющего сигнала на выходе появляется импульс, по которому разрешается работа счетчика-интегратора INT и устанавливается соответствующее время счета.

На выходе счетчика-интегратора INT через равные промежутки времени появляется сигнал компенсации  $N_{\text{комп}}$ , который в блоке сумматоров складывается с исходным сигналом управления  $N_y$ , и результат сложения  $N_{\text{рез}}$  поступает в регулятор электромагнитного момента УДМ. Если результирующего сигнала недостаточно для начала вращения, то через время, определяемое значением исходного сигнала  $N_y$ , происходит приращение сигнала  $N_{\text{комп}}$ .

Последовательное приращение результирующего сигнала  $N_{\text{рез}}$  будет происходить до момента появления сигнала угловой скорости  $\Omega$  и начала движения, т.е. до момента, когда результирующий сигнал  $N_{\text{рез}}$  и соответствующий ему динамический момент становятся равны моменту трогания. Затем происходит снижение сигнала  $N_{\text{комп}}$  до нуля и блокировка его прохождения на вход блока сумматоров. Время  $t_1$  между подачей исходного сигнала  $N_y$  и началом вращения обусловлено приращением сигнала компенсации до нужного уровня и временем, необходимым для фиксирования начала движения с помощью сигнала обратной связи по скорости.

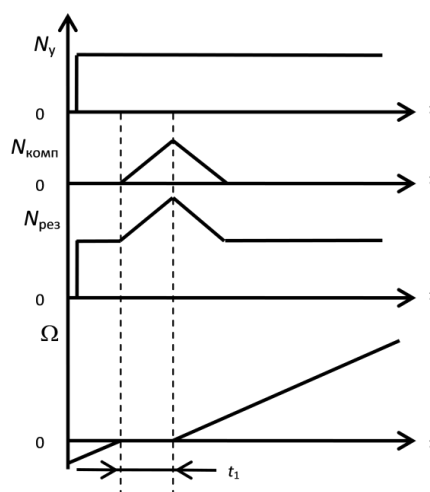


Рис. 2. Входные и выходные сигналы устройства компенсации момента трогания при малом сигнале управления

Поскольку момент трогания больше, чем момент сопротивления при низких значениях кинетического момента, т.е. при низких угловых скоростях, разработанное устройство позволит преодолеть момент трогания и отключится, а УДМ будет продолжать вращение при текущем значении кодового сигнала управления. В УДМ без компенсации момента трогания в этом случае происходит полная остановка до того момента, пока устройства системы ориентации и

стабилизации не выдадут на вход УДМ сигнал управления, больший, чем момент трогания. Таким образом, введение устройства компенсации момента трогания исключает зону нечувствительности к малым сигналам управления, т.е. снижает момент трогания УДМ. При этом оно достаточно просто в реализации.

### **Список информационных источников**

1.Завьялова О.Ю. Разработка и исследование высокоточных регуляторов электромеханических исполнительных органов систем ориентации и стабилизации космического аппарата : дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2013.

2.Завьялова О.Ю., Казанцев Ю.М. Синтез регулятора маховичного электромеханического исполнительного органа // Изв. Том. политехн. ун-та. 2012. Т. 320, № 4. С. 162–166.

## **МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

*Пасько В.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Сорокин П.В., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Достаточно частые обрушения домов, мостовых конструкций, дорог и отдельных элементов, о чем свидетельствуют многочисленные публикации в открытой печати, требуют разработки методов и средств их контроля. Для того чтобы своевременно принять необходимые меры и избежать серьезного ущерба, приходится регулярно вызывать дорогостоящих специалистов для проведения измерений, которые требуют больших затрат времени и средств и не обеспечивают достаточную регулярность обследований. Решением проблемы могла бы стать автоматизированная система мониторинга здания.

Внедрение такой системы позволит своевременно определять реальное состояние строительных конструкций и фундамента, что обеспечит безопасность и надежность строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений.[1]

Для реализации данной задачи хорошо подходят методы неразрушающего контроля.

Использование одного метода может привести к необходимости применения достаточно серьезных аппаратных и технических средств,

которые сделают устройство дорогим и труднореализуемым. С другой стороны, если использовать большое количество методов неразрушающего контроля, можно столкнуться с проблемой необходимости больших вычислительных мощностей что также приведет к удорожанию устройства.

Выходом из этой ситуации может оказаться система, использующая один метод неразрушающего контроля, в качестве основного, и два-три метода, информация от которых будет вспомогательной. В таком случае устройство может получиться простым в исполнении и не потребует больших вычислительных мощностей и тяжелого программного обеспечения.

Предложенное устройство основывается на методе акустической эмиссии, как основном, а так же расширена 3D-акселерометром, которые используются при вибродиагностике и в инклинометрах.

Первоочередной задачей разрабатываемого устройства является преобразование упругих волн в электрический сигнал. Для этого используется АЭ резонансные датчики, основой которого является пьезокристалл.

Так же имеет смысл ограничить частотный диапазон работы устройства, для того, чтобы не приходилось обрабатывать лишнюю информацию. Большинство современных бетоноскопов, например описанные в [2, 3], используют рабочие частоты от 50 до 200 кГц, поэтому ориентироваться следует непосредственно на этот диапазон. Для этого можно использовать полосовой фильтр, выполненный на активных или пассивных элементах.

В измерении акустической эмиссии основной проблемой является большой динамический диапазон энергий. Уровни сигналов различаются на несколько порядков, в десятки-сотни тысяч раз. Динамический диапазон сигналов оценивается в 80дБ – 100дБ. Предлагаются следующие пути решения проблемы оцифровки входных сигналов:

1. Использовать логарифмический усилитель, что позволит расширить динамический диапазон фиксируемых входных сигналов. Недостаток данного схемотехнического решения, большой потребляемый ток логарифмическим усилителем, что не позволяет сделать мало потребляющее устройство.

2. Интегрирование входного сигнала и его оцифровка только при превышении порогового уровня. Таким образом, появляется возможность значительно расширить диапазон входных значений. Одновременно с интегрированием входных сигналов необходимо

использовать амплитудный детектор, с тем, чтобы не пропустить отдельные высокоэнергетические импульсы.

Следующим шагом является обработка полученных сигналов. Для этих целей можно использовать микропроцессор с дополнительными периферийными устройствами, либо выбрать микроконтроллер, который подойдет под поставленные задачи.

Для введения вспомогательных методов неразрушающего контроля, можно использовать 3D-акселерометр, который используется в вибродиагностике, а так же входит в состав инклинометров [4].

С учетом вышеизложенного была разработана автоматизированная система мониторинга здания, структурная схема которой представлена на рис. 1. Кроме вышеперечисленных блоков система снабжена модулем связи с дистанционным пультом управления, в котором сохраняются данные предыдущих результатов контроля. Это позволяет при постобработке наблюдать динамику поведения несущих конструкций здания и делать прогнозную оценку его долговечности.

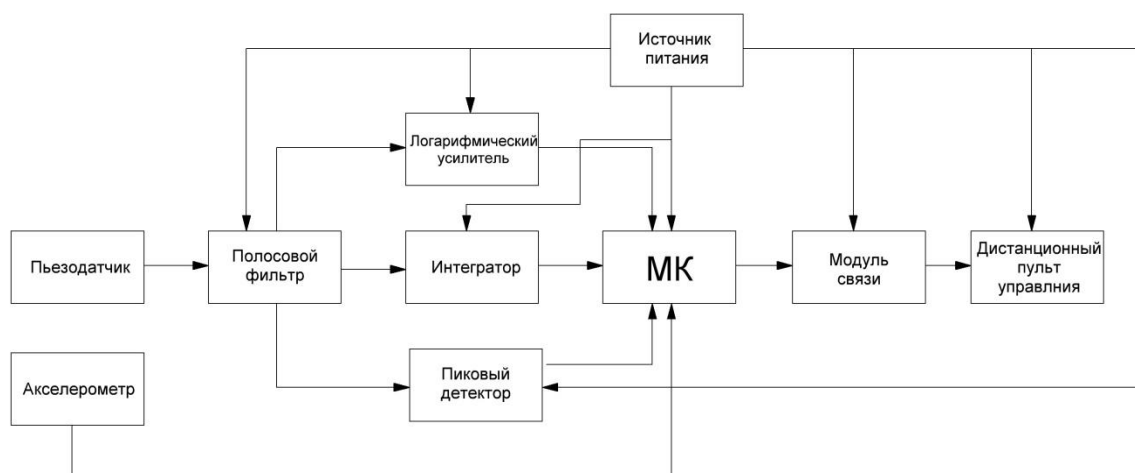


Рис.1. Структурна схема устройства мониторинга зданий

### **Список информационных источников**

1.Бондаренко И.Н., Мартынов А.В., Мокасеев А.В. Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации // Предотвращение аварий зданий и сооружений. ПАМАГ, 2010.

2.Ультразвуковой дефектоскоп для бетона А1220 Монолит // ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ URL: [http://www.gsi.ru/catalog/testing/a1220\\_monolit](http://www.gsi.ru/catalog/testing/a1220_monolit) (дата обращения: 5.05.2015).

3.Ультразвуковой прибор с визуализацией (дефектоскоп) ПУЛЬСАР-2.2 // Интерприбор. Приборы неразрушающего контроля. URL: <http://www.interpribor.ru/pulsar12.php> (дата обращения: 5.05.2015).

4.Джафер Меджахед МЭМС-датчики движения от STMicroelectronics: акселерометры и гироскопы // Электронные компоненты. 2009. №12.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНА ЕМКОСТНЫМ СПОСОБОМ**

*Попугаев С.И.<sup>1</sup>, Солдатов А.А.<sup>1</sup>*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Солдатов А.А., к.т.н., старший преподаватель кафедры промышленной и медицинской электроники*

Целью данной работы является разработка измерителя октанового числа (ОЧ) бензина. Способ измерения ОЧ включает в себя измерение диэлектрической проницаемости бензина и его температуры. Зависимость ОЧ от диэлектрической проницаемости при разных температурах изображена на следующих графиках [2]:



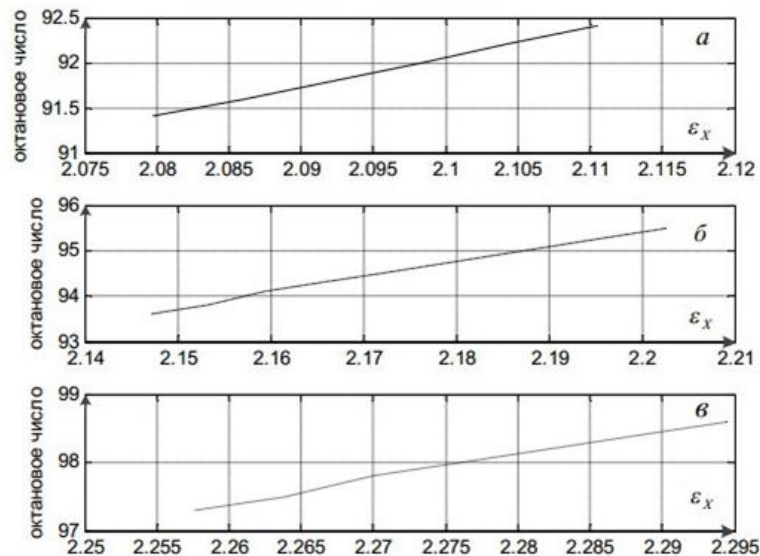


Рис.1: графики зависимости ОЧ бензина от диэлектрической проницаемости для: а) 92 бензина, б) 95 бензина, в) 98 бензина.

Как видно из выше указанной таблицы диэлектрическая проницаемость увеличивается с 2.075 до 2.3 в зависимости от ОЧ бензина 91-100. Диэлектрическая проницаемость связана с электрической емкостью конденсатора. Метод измерения ОЧ основан на измерении емкости самодельного конденсатора и расчета диэлектрической проницаемости бензина. Так же устройство должно учитывать температуру бензина во избежание ошибочных измерений, вследствие пересечения графиков на рис.1.. Т.к. устройство должно быть портативным, потребовалось разработать небольшой по размер измеритель емкости и конденсатор должен быть погружаемым, небольшим, и с возможностью заполнения пространства между обкладками исследуемым бензином.

### Обоснование структурной схемы устройства.

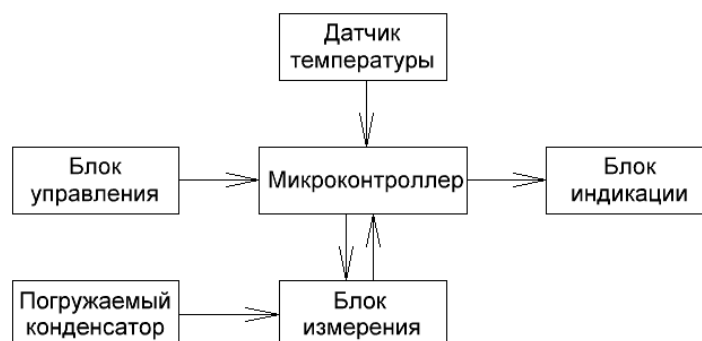


Рис.2: структурная схема устройства.

- Микроконтроллер получает данные с датчика температуры, управляет блоком измерения и выводит информацию на блок индикации.
- Блок измерения содержит элементы, необходимые для измерения емкости погружаемого конденсатора.
- Датчик температуры измеряет температуру исследуемого бензина.

### Разработка измерителя емкости.

Измерение емкости и вычисление диэлектрической проницаемости должно происходить в автоматическом режиме, вычисления должны быть наиболее точными, поэтому, схема основывается на микроконтроллере.

Для измерения емкости используется метод интегрирования. Метод основан на измерении временных интервалов, полученных при сравнении напряжения на конденсаторе, при его заряде, с величиной напряжения питания. Для измерения временных интервалов используется явление переходного процесса:

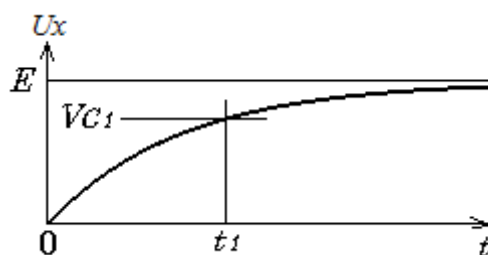


Рис.3: явление переходного процесса при заряде конденсатора.

### Аппаратная часть.

Для реализации схемы необходимо наличие компаратора и таймера в микроконтроллере. Используется режим захвата состояния таймера в момент поступления фронта сигнала от аналогового компаратора. Компаратор сравнивает значение напряжения на измеряемом конденсаторе с опорными напряжениями. Используются два опорных напряжения ( $0.17 U_{\text{пит}}$  и  $0.5 U_{\text{пит}}$ ) и измеряется разность временных интервалов  $t_2 - t_1$ . Задача микроконтроллера состоит в измерении емкости, путем сравнения временных интервалов для искомого и калибровочного конденсаторов. Процесс измерения запускается с интервалом 500 миллисекунд, с момента подключения измеряемой емкости. Микроконтроллер проводит измерение емкости за два шага. В первую очередь, определяется время заряда конденсатора

через резистор сопротивлением 3.3 МОм (нижний предел). Если необходимое напряжение не достигнуто в течение определенного, заряд конденсатора повторяется через резистор 3.3 кОм (средний предел) и 100 Ом (нижний предел). При этом микроконтроллер сперва разряжает конденсатор через резистор 100 Ом, а затем заряжает его до напряжения 0.17 В. После этого, замеряется время заряда до напряжения 2.5 В.

### **Разработка конденсатора.**

Для измерения диэлектрической проницаемости был собран конденсатор из трех пластин фольгированного текстолита, а, затем, был рассчитан и проверен на разработанном измерителе емкости.

Изменяя изолятор между обкладками конденсатора, можно рассчитать диэлектрическую проницаемость изолятора при прочих известных параметрах. Измерив емкость созданного конденсатора сначала с воздухом между обкладками, а затем с бензином между обкладками, составим пропорцию для расчёта искомой диэлектрической проницаемости:  $\frac{C_{\text{возд}}}{C_{\text{бенз}}} = \frac{\epsilon_{\text{возд}}}{\epsilon_{\text{бенз}}}$ . Рассчитав по пропорции диэлектрическую проницаемость бензина  $\epsilon_{\text{бенз}}$ , и, опираясь на графики, можно рассчитать ОЧ измеренного бензина.

### **Калибровка прибора.**

Т.к. принцип работы схемы носит измерительный характер, то необходима калибровка устройства по эталонным емкостям. Для калибровки в схеме имеет 3 конденсатора: 100 пФ, 100 нФ, 100 мкФ. Значения временных интервалов для калибровочных емкостей записываются в энергонезависимую память. В любой момент может быть произведена калибровка.

### **Список информационных источников**

1. Забрянский Г.И., Зарубин А.П., Детонационная стойкость и воспламеняемость моторных топлив.// Изд. «Химия», 1965.
2. Гуреев А.А. Применение автомобильных бензинов.// «Химия», 1972г. С – 98.
3. Меерсон А.М. Радиоизмерительная техника.// Москва-Ленинград, Госэнергоиздат, 1957.
4. Баранов В.Н. Применение Микроконтроллеров AVR: схемы алгоритмы программы.
5. Журнал "Радио" 2010 №6.

# **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ИСТОЧНИКОМ НАПРЯЖЕНИЯ**

*Сазонов А.Г., Мусоров И.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Огородников Д.Н., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

## **Введение**

При конструировании большинства приборов производителю приходится решать ряд схемотехнических вопросов и на определённом этапе конструирования прибегает к такому схемотехническому решению как преобразование постоянного напряжения.

Различные типы преобразователей напряжения из постоянного в постоянное или из постоянного в переменное сочетаются с такими типами источников первичного электропитания, как солнечные батареи, топливные элементы, термоэлектрические генераторы, системы непрерывного электроснабжения и др.

Для создания полноценной системы электропитания одной схемы ППН недостаточно, так как система должна содержать входные и выходные фильтры для подавления электромагнитных помех и ряд дополнительных функциональных узлов [1].

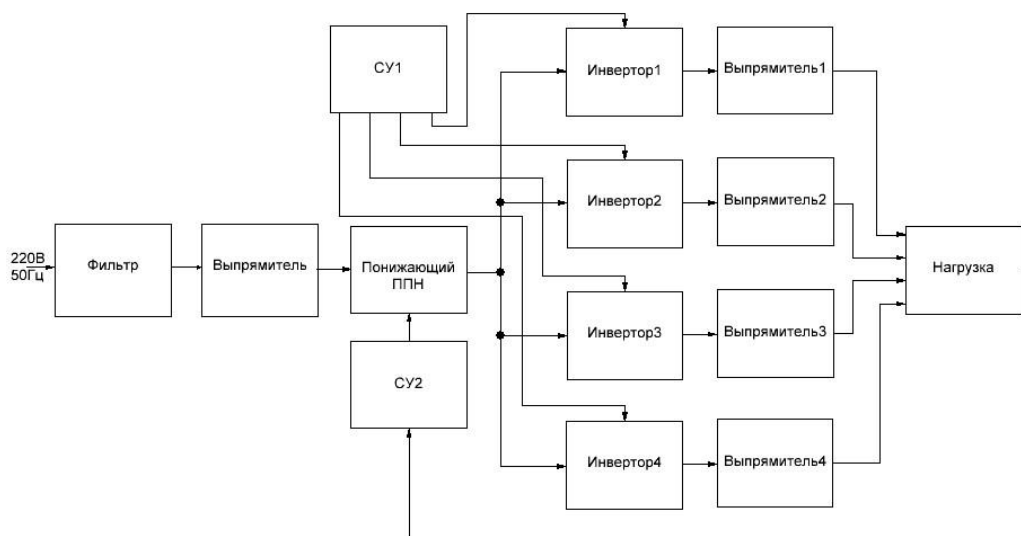
Одним из таких узлов в данной работе является мостовой инвертор, этот преобразователь можно классифицировать как преобразователь из постоянного тока в переменный. Применяется в большинстве источников питания из-за ряда преимуществ в схемотехническом плане.

## **Структурная схема устройства**

Входной фильтр защищает схему от перегрузки по току, импульсных помех и перенапряжением сети [2]. Следующий блок представляет собой двух полупериоды выпрямитель, таким образом формируется постоянное напряжение в 310В. Далее это напряжение подаётся на вход понижающего преобразователя постоянного напряжения (ППН). На выходе ППН формируется регулируемое напряжение 50-250В, благодаря непрерывных циклов проводимости и запираания транзистора (входящего в ППН) регулируется величина выходного напряжения согласно линейному закону:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} * \gamma,$$

где  $\gamma$  коэффициент заполнения для управляющих импульсов [3]. Далее постоянное напряжение приходит на входа инверторов. В качестве нагрузки каждого инвертора используется последовательный колебательный контур, после напряжение подается на соответствующий выпрямитель инвертора (рис.1 четыре отдельных блока «Выпрямитель 1–4»), формируется постоянное напряжение с максимумом 1250В. В боке нагрузка формируется последовательное соединение выходов выпрямителей соответствующих инверторов, то есть формируется максимальное напряжение 5кВ.



**Рисунок 4 Структурная схема прибора**

В качестве систему управления для инверторов, в составе СУ1, было принято схемотехническое решение использовать микроконтроллер STM32F100 (подробнее в разделе Алгоритм управления инверторов). С параметрами: частота импульсов управления  $f=25\text{кГц}$ ; «Мёртвое время»  $t_{dt}=1.2\text{мкс}$  с возможностью регулирования; коэффициент заполнения  $\gamma=0.5$ ; Время запаздывания между управляющими сигналами ячеек  $t_{zap}=10\text{мкс}$ .

В качестве систему управления для ППН, в составе СУ2, использован микроконтроллер STM32F407(подробнее в разделе Алгоритм управления ППН). На выходе микроконтроллера формируются управляющие импульсы с параметрами: максимальный коэффициент заполнения 0.5; частота импульсов 25кГц.

Стабилизация выходного напряжения производится за счёт введение в цепь обратной связи, и считывание этого сигнала встроенным АЦП STM32F407. При приходе сигнала обратной связи

программно происходит сравнение с опорным, вычисляется сигнал ошибки и за счёт знака приращения определяются критерии для следующего управляющего импульса ППН, таким образом происходит стабилизация напряжения ППН, а как следствие инверторов и всей схемы в целом.

Регулирование выходного напряжения происходит посредством представления нагрузки в качестве резистивного делителя с переменным резистором, задумка в том, чтобы сформировать на одном плече делителя напряжение до 3В, что является максимумом для входного напряжения для АЦП STM32F407 используемого как выход обратной связи.

### **Алгоритм управления инверторами**

В данной алгоритме предусмотрена работа с четырьмя внутренними таймерами STM32F100, таймеры в свою очередь настроены в режиме ШИМ, что позволяет иметь на выходе с каждого таймера по два сигнала инверсных относительно друг друга, что решает задачу быстрого запираания (активного запираания) транзисторов инвертора, и позволяет осуществить более удобную регулировку «мёртвого времени».

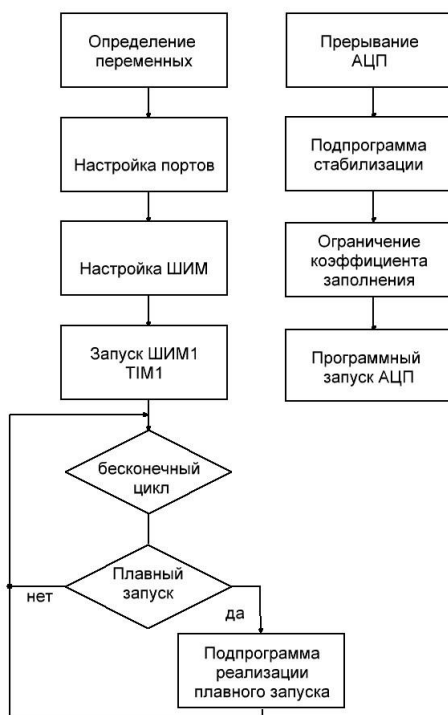


**Рисунок 5 Алгоритм управления инверторами**

### **Алгоритм управления ППН**

В начале алгоритма происходит настройка необходимых портов, таймера и переменных, которые необходимы для сложных вычисления при формировании управляющих импульсов. Программа плавного запуска реализует нарастание коэффициента заполнения от

импульса к импульсу, что позволяет уберечь схему от перенапряжения в момент включения. Подпрограмма стабилизации реализует вычисления сигнала ошибки, после сравнения сигнала обратной связи и опорным напряжением (заданным в программе), исходя из полученных результатов выполняются инструкции на увеличение коэффициента заполнения или на его уменьшение от импульса к импульсу, таким образом происходит стабилизация.



**Рисунок 6 Алгоритм управления ППН**

## Заключение

Благодаря регулированию входного напряжения инверторов, а не их управляющих импульсов (как в классических схемах), появляется возможность встраивания в схему резонансного контура и как следствие удалось обойтись меньшим количеством элементов и увеличить устойчивость схемы. Так же вследствие такого исполнения удалось упростить настройку всего прибора.

## Список информационных источников

1. Севернс Р., Блум Г. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 295 с.
2. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – Ч. 2 – 197 с.
3. Буркин Е.Ю. Лабораторный практикум по силовой электронике: учебное пособие/ Е.Ю.Буркин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 80 с

## ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДДОНОВ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Костина М.А., Солдатов Д.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Любая компания или предприятие, которые занимаются производством и поставкой массовой продукции и товаров, нуждается в различных видах тары, с помощью которой можно обеспечить сохранность и удобство перемещения любых грузов. Деревянные поддоны при перемещении на складе неизбежно повреждаются в большей или меньшей степени. [1] Нарушенная геометрия поддона может привести к ошибке в работе автоматического устройства укладки продукции на поддон, при этом приходится тратить много времени на устранение аварийной ситуации, увеличиваются простои и издержки производства, что приводит к росту себестоимости продукции.

Деревянные поддоны обычно проектируются самим поставщиком продукции так, чтобы их габариты в наибольшей степени соответствовали размерам стопы отгружаемых изделий. Поэтому габариты деревянных поддонов не регламентируются и их нужно контролировать. Так же нужно контролировать качество поддонов: целостность досок, отсутствие трещин, сколов до гвоздя, отсутствие торчащих гвоздей.

Визуальная оценка качества поддонов осуществляется оператором при их прохождении по транспортеру. Основными критериями такой сортировки являются пороки и дефекты древесины, которые могут быть выявлены при внешнем осмотре поддонов. У визуального метода контроля поддонов есть ряд недостатков:



невысокая скорость, низкая точность, необходимость активного участия человека, невозможность оценки внутренней структуры древесины. Этот метод сортировки может использоваться на малых предприятиях, поскольку не требует дополнительного места для размещения оборудования и затрат на покупку специальных автоматизированных систем контроля. [2] Такие системы позволяют отказаться от участия человека в оценке качества предмета труда. Комплексная оценка продукта труда с целью выявления всех пороков и дефектов и незамедлительное принятие правильного решения для их устранения представляют собой сложность для человека, не вооруженного необходимыми приборами или средствами. Автоматизированные системы контроля позволяют с высокой скоростью проводить оценку разных характеристик древесины, выявлять разного рода дефекты и контролировать габариты поддонов. [3]

Авторами была разработана система автоматической сортировки паллет, структурная схема которой представлена на рис.1.

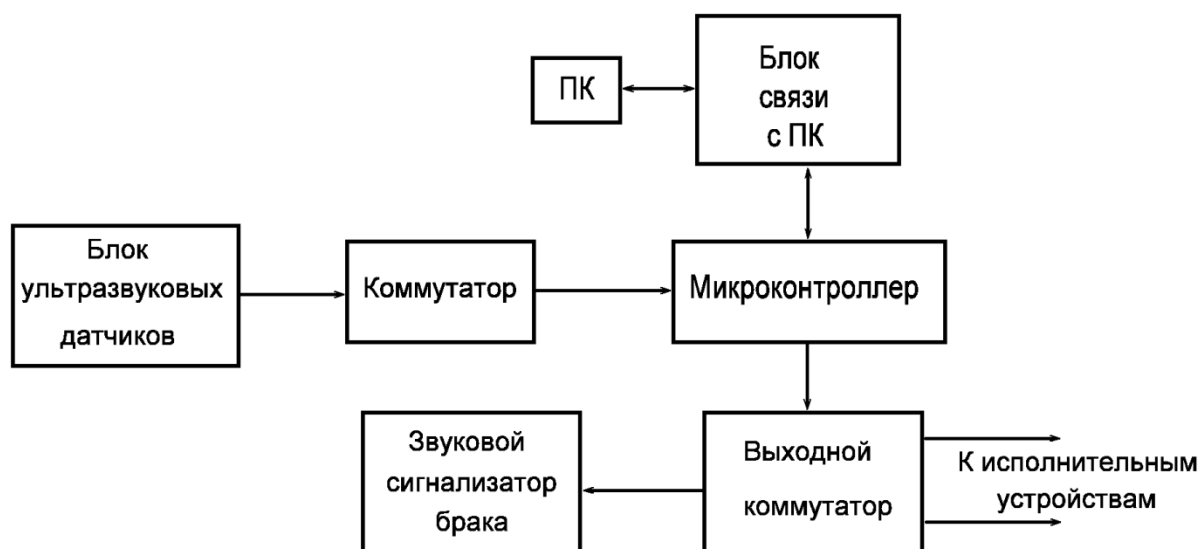


Рис.1. Структурная схема автоматической сортировки паллет

Информация о высоте паллеты поступает с блока ультразвуковых датчиков через коммутатор в микроконтроллер. Блок ультразвуковых датчиков закреплен неподвижно, а сканирование осуществляется путем перемещения паллеты относительно блока ультразвуковых датчиков. Из полученных данных микроконтроллер формирует пакет и пересылает его в персональный компьютер. Персональный компьютер производит обработку данных, определяет высоту поддона в первом положении паллеты. Затем ПК выдает команду на передвижение

паллеты на один шаг, который может варьироваться в пределах от 10 мм до 10 см в зависимости от требуемой точности и выполняемой задачи. После этого новая информация поступает с блока ультразвуковых датчиков через коммутатор в микроконтроллер и затем в ПК. После окончания сканирования паллеты, ПК проводит анализ полученных данных и выдает сообщение на экран монитора о годности или негодности паллеты для информирования оператора. Кроме того ПК формирует пакет данных для управления исполнительными устройствами перемещением паллеты. В зависимости от результата контроля это может быть механизм №1 (для паллет имеющих высоту в пределах допуска) или механизм №2 (для паллет имеющих высоту за пределами допуска). Бракованные паллеты отправляются на ремонт или утилизацию в зависимости от состояния. Обработка и отображение результатов контроля, а также установка параметров контроля производится через интерфейс оператора.

Алгоритм сортировки паллет включает расчет высоты паллеты в 15 точках поперек паллеты и от 12 до 120 точек (в зависимости от выбранного шага сканирования) вдоль паллеты за счет передвижения паллеты по конвейеру. Высота паллеты определяется из выражения [4]:

$$h = \frac{t \cdot v}{2}, \quad (1)$$

где  $h$  – измеряемое расстояние,  $t$  – время, затраченное акустическим сигналом и  $v$  скорость акустического сигнала в данной среде.

Так как ультразвуковая волна проходит путь от излучателя до отражателя и обратно, т.е. двойное расстояние, то в знаменателе появилась двойка. [5] С учетом того, что скорость распространения акустического сигнала в воздухе зависит от влажности, давления и температуры, то сначала в отсутствии паллеты, полученные данные о времени распространения акустического сигнала до конвейерной ленты используются для определения скорости распространения ультразвуковых колебаний, а затем рассчитанная скорость используется в формуле (1) для определения расстояния. По найденному расстоянию до паллеты вычисляем ее высоту:

$$h_{\pi} = h_{\text{полн}} - h \quad (2)$$

где  $h_{\pi}$  – высота паллеты,  $h_{\text{полн}}$  – расстояние до конвейерной ленты, в отсутствии паллеты,  $h$  – расстояние до паллеты.

В соответствии с результатами оценки качества паллеты и данными измерений геометрических параметров, паллеты при обнаружении брака или при обнаружении перекоса, сбрасываются в сортировочные карманы, а оператор услышит звуковой сигнал.

Паллеты, которые соответствуют нормам, движутся дальше по конвейеру для дальнейшей укладки на него груза. [6]

Использование подобных автоматизированных систем контроля качества и габаритов поддонов позволяет увеличить выход годовой продукции и уменьшить число занятых на этой операции людей. Такие системы могут быть интегрированы в любую линию сортировки поддонов.

### **Список информационных источников**

1. ГОСТ 9078-84 Поддоны плоские. Общие технические условия.
2. ГОСТ Р ЕН 13018-2014. Контроль визуальный. Общие положения
3. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. М.: Машиностроение, 2003, 656 с.
4. Soldatov A.I., Seleznev A.I., Soldatov A.A., Sorokin P.V., Makarov V.S. Estimation of the error when calculating the arrival time of a detected echo-signal // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2012. Т. 48. № 5. С. 268-271.
5. Kvasnikov K.G., Soldatov A.I., Bolotina I.O., Krening K.M., Potapenko A.A. The use of geometrical acoustics for the solution of visualization problems // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2013. Т. 49. № 11. С. 625-630.
6. Sorokin, P.V., Soldatov, A.A., Soldatova, M.A., Shulgina, U.V., Abouellail, A.A. Influence of the echo shapes on the result of tomographic image // International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings

### **ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПОРТАТИВНОЙ ИНГАЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДОЗИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ИНСУЛИНА**

*Спиридонова А.К., Жук В.В.*

*Научный руководитель: Нам И.Ф., к.т.н. доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники.*

#### ***Введение***

Сахарный диабет – это тяжелое хроническое заболевание, которое уменьшает срок жизни человека в среднем на 13 лет. Диабет в 2-4 раза увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний, таких как инфаркт миокарда, инсульт и др. Кроме того, он приводит к развитию

слепоты, хронической почечной недостаточности, ампутациям конечностей. 1,4]

Все вышеперечисленное объясняет важность разработки современного эффективного и безболезненного метода доставки инсулина в организм пациента больного сахарным диабетом. Данная технология направлена на снижения смертности больных, повышения качества их жизни и уменьшения затрат системы здравоохранения. Ингаляционное введение инсулина В настоящее время система ингаляционного введения инсулина, является инновационным методом, в котором заинтересованы как врачи, так и сами пациенты, больные сахарным диабетом. Все это обусловлено тем, что при всей эффективности инъекционных способов введения инсулина, пациенты испытывают дискомфорт от необходимости постоянных инъекций. Таким образом, применение инсулина неинъекционными способами – востребованный в клинической практике выход из данной ситуации. [3,5]

### ***Ингаляционный метод введения инсулина***

Ингаляция инсулина – неинъекционный способ введения инсулина, который, как следует ожидать, резко повысит приверженность больных к своевременному назначению инсулина. Помимо ингаляционного метода, изучают пероральные и назальные способы введения инсулина в организм, однако на них не возлагают таких больших надежд, как на ингаляцию.

В июне этого 2014 года FDA одобрило ингаляционный инсулин, известный как Afrezza. Порошковый инсулин вводят через ингалятор размером с обычный свисток под названием «Dreamboat» (Рис.1) . Порошок сразу растворяется при вдыхании, и инсулин быстро всасывается в кровь. Пик активности нового инсулина наступает в течение 12 - 15 минут и прекращает своё действие достаточно быстро. Для сравнения, пик действия некоторых коротких инсулинов наступает не менее, чем через 20 минут.

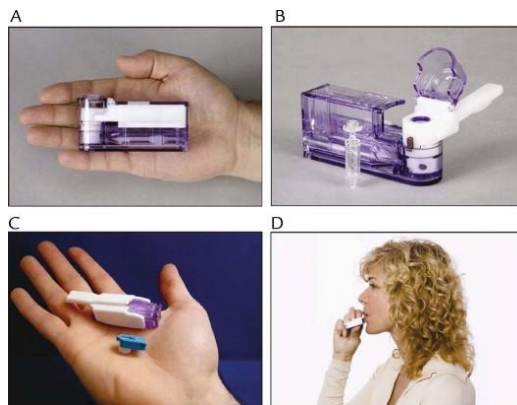


Рисунок 1. Ингалятор «Dreamboat»

### **Преимущества ингаляционного способа введения инсулина:**

- Данная технология обеспечивает равномерное распределение и одномоментное всасывание всей дозы инсулина в кровь за счет большой всасывающей поверхности альвеол.
- Ингаляционный инсулин обладает ультрабыстрой усвояемостью организмом, что ускоряет начало его действия после введения.
- Снижение потребности в инъекциях, т.е. отсутствие инвазивного вмешательства и других неприятных манипуляций.
- Порошковый инсулин можно хранить при комнатной температуре.

### **Недостатки существующей технологии ингаляционного способа введения инсулина:**

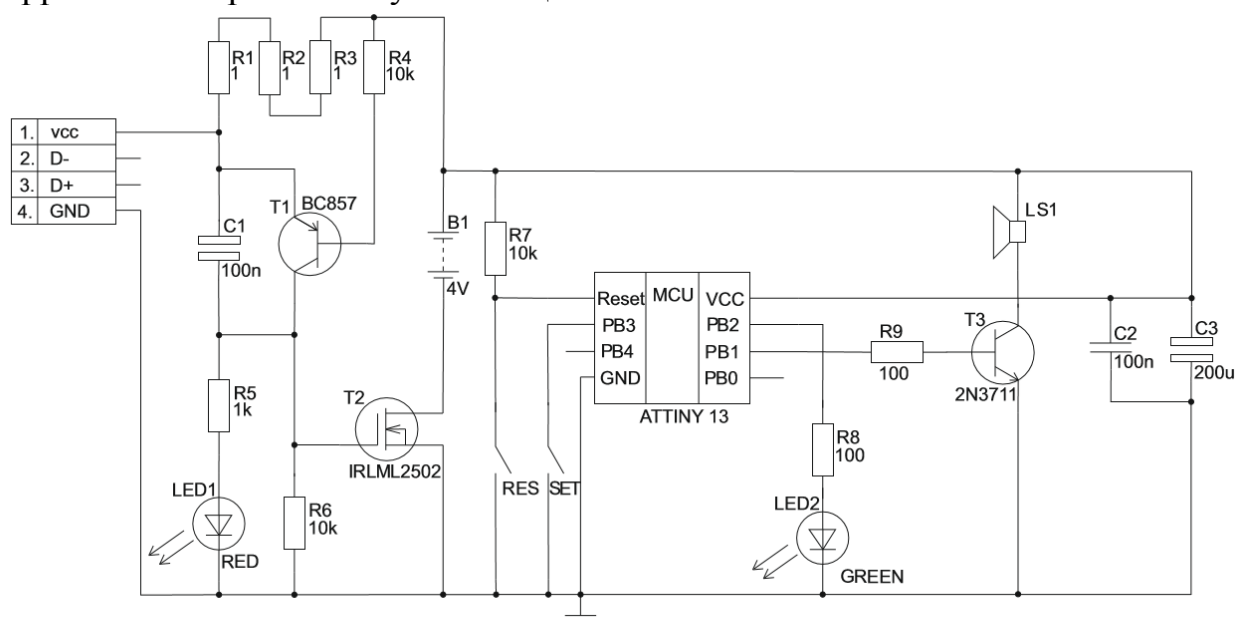
- Невозможно применения препарата при хронических заболеваниях легких, бронхиальной астме и других обструктивных заболеваниях легких, а также у курильщиков, при пневмонии и хроническом кашле.
- Прогнозируемая цена инсулина 270\$ в месяц при учете, что пациенту необходимо 30 единиц в сутки.
- Сложность создания частиц инсулина размера необходимого для прохождения воздушно-легочного барьера (оптимальным размером считается от 1 до 5 микрон). От этого зависит, как глубоко инсулин попадет в легкие, и какая его часть попадет в альвеолы и диффундирует в кровь.
- Проблема определения точной дозировки действующего вещества.
- Возможность использовать существующий пластиковый ингалятор не более 15 дней, т.к. в дальнейшем устройство может засориться.

- Необходимость обучения технологии использования ингаляционного инсулина.

- Отсутствия контроля правильного приема ингаляционного инсулина.

### ***Принципиальная схема портативной ингаляционной системы для дозированной доставки инсулина***

Данная ингаляционная система (Рис.2) позволит контролировать корректность приема инсулина пациентом.



*Рисунок 2. Принципиальная схема портативной ингаляционной системы для дозированной доставки инсулина.*

Терапевтическая доза кристаллического инсулина нанесена внутрь пористого материала методом электроформования. При вдохе с необходимой силой у включенного прибора срабатывает светодиодный индикатор и через 10 секунд вдоха издается звуковой сигнал об окончании операции приема лекарства.

Алгоритм работы микроконтроллера ATTINY 13 представлен на рисунке 3. Для управления таймером имеется кнопка "RESET" для сброса в любой момент. После отпускания кнопки начинается запуск прибора. При срабатывании датчика тяги загорается индикатор и начинается обратный отсчёт, особенность таймера - звуковая индикация. При окончании отсчета срабатывает звуковой сигнал, оповещающий о окончании приема инсулина. После этого, таймер переходит в режим ожидания, перейдя по команде sleep в

энергосберегающий режим Power down, где потребляемый ток составит меньше микроампера в программе задействован, внутренний RC-генератор тактовая частота которого выбрана 128 / 8 кГц.

При подключении к USB порту происходит старт зарядки и загорается светодиод. Ток заряда ограничен портом компьютера и резисторами на плате. По достижении напряжения на аккумуляторе 4,25В срабатывает компаратор платы защиты и разрывает цепь заряда. Светодиод погаснет, достаточно конденсатора на 100нФ для первоначального открывания полевого транзистора. Схема начинает работать без наладки.

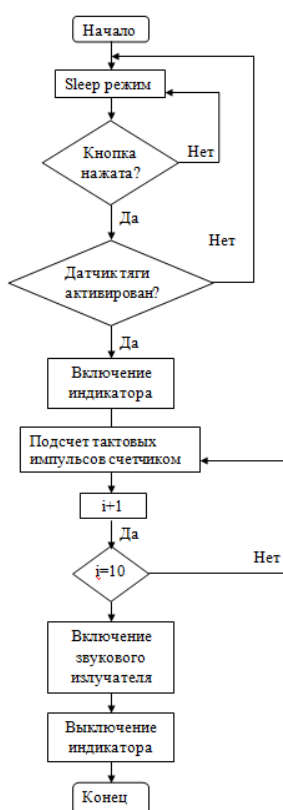


Рисунок 3. Алгоритм работы программы микроконтроллера ATTINY 13

## Заключение

Создание ингаляционной системы дозированной доставки инсулина является востребованным в клинической практике методом. Данная технология введения идеально подходит для больных сахарным диабетом первого и второго типа. Ингаляционный инсулин может во многом улучшить качество жизни пациента. Это связано с тем, что нет необходимости соблюдать температурные режимы препарата, его можно всегда носить с собой и в случае необходимости приема препарата, при данном методе введения инсулин обладает

особо быстрым воздействием на организм и улучшению самочувствия пациента.

### **Список информационных источников**

1. Как научиться жить с диабетом / Пер. с англ. О. Лифсон / Е. Аметов, [и др.] - М.: Интерпракс, - 2009 - 109 с.
2. Каминский А.В. Сахарный диабет и ожирение: клиническое руководство по диагностике и лечению / А.В. Каминский, А.Н. Коваленко; 1. - Киев: Изд., 2010. - 256 с.
3. Зубаерова Д.Х. Биомедицинская химия / Д.Х. Зубаерова, Н.И. Ларионова; МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, М.: 2009, том 54, вып. 3
4. Ефимов А.С. Клиническая диабетология / А.С. Ефимов, Н.А. Скробонская; К.: Здоровья, 2009. - 320с.
5. Смирнова М.Н. Инсулиноterapia: пособие для врачей / М.Н. Смирнова [и др.] - ГУ ЭНЦ РАМН, 2009. - 30 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МУЛЬТИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯТОРОВ**

*Стадниченко А.А.*

*Соавторы: Бейсембаева Ж.Б, Леонова Ю.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Васенькин А.И., старший преподаватель  
кафедры промышленной и медицинской электроники*

В последние десятилетия можно было наблюдать заметный прогресс в развитии медицины и медицинской электроники, все достижения становились более доступными. Сейчас они практически незаменимы.

Одно из достижений двадцатого века – имплантируемые электрокардиостимуляторы (ЭКС). Сегодня ЭКС один из незаменимых медицинских приборов, который спасает жизни сотням пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы. Имплантируемые стимуляторы позволяют поддерживать ритм сердца в повседневной жизни, не прибегая к постоянной помощи врачей. [1]

Актуальность проблем лечения пациентов с сердечными патологиями путем имплантации электрокардиостимуляторов, ее медицинское и социальное значение общепризнаны кардиохирургами во всем мире. Электрическая стимуляция сердца



является наиболее эффективным и перспективным методом лечения различных нарушений проводимости и ритма. [2]

Целью данной работы является изучение работы однокамерного мультипрограммируемого ЭКС, техническая разработка.

Кардиостимулятор - это электронный прибор, состоящий из электронной схемы, генерирующей импульсы, специальных проводников-электродов и батареи, поддерживающей прибор в рабочем состоянии длительное время. Другое название кардиостимулятора - искусственный водитель ритма. [3]

Все имплантируемые ЭКС в соответствии с принципом функционирования делятся на два класса – биоуправляемые и не биоуправляемые .

Для биоуправляемых ЭКС характерны два режима работы: автоколебательный, стимулирующий работу желудочков (предсердий) сердца с установленной базовой частотой при отсутствии естественной электрической активности сердца, и запрещающий (ждущий), при котором блокируется формирование выходного стимулирующего импульса при восстановлении естественной электрической активности желудочков (предсердий) сердца.

В зависимости от точек установки электродов, ЭКС подразделяют на: однокамерные, двухкамерные и трехкамерные.

Однокамерные ЭКС представляют собой специальные приборы, которые воспринимают и стимулируют только одну камеру сердца (это может быть либо предсердие, либо желудочек).

Сегодня однокамерные ЭКС используют только для стимуляции работы правого желудочка, когда у пациента наблюдается постоянная форма мерцательной аритмии. Во всех других случаях лучше всего использовать 2-камерный кардиостимулятор. [4]

При проектировании ЭКС приходится исходить из того, что прибор, имплантируемый в тело должен длительно работать в агрессивной среде с ограниченными энергетическими ресурсами источника питания, обладать высокой надежностью и иметь минимальные массогабаритные показатели. Успехи в области микроэлектроники позволили практически полностью снять требования к минимизации количества компонентов в них. Благодаря этому обстоятельству имеется возможность использовать достаточно сложные схемотехнические решения. [5]

Мульти программируемость обеспечивает адаптацию имплантируемого устройства к тому виду лечения, которое оптимально при данных показаниях. Она дает преимущество постоперационной неинвазивной настройки ЭКС, а кроме того снижает число

разновидностей конструкции, принося тем самым экономический выигрыш. [6]

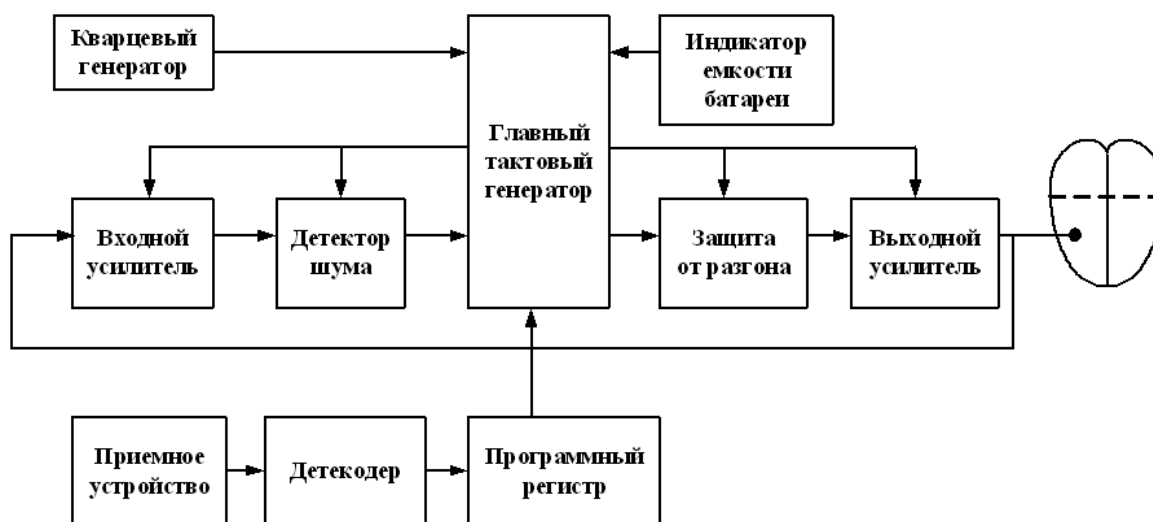


Рис-1 Схема мультипрограммируемого однокамерного ЭКС

Центральным элементом мультипрограммируемого однокамерного стимулятора является блок управляющей логики. В нём заданы величины всех программируемых параметров. Он же устанавливает связь между электрическими потенциалами, поступающими по электроду от сердца, и запрограммированными параметрами. Схема на рис.1 дает общее представление о принципе работы стимулятора.

Электрический потенциал сердца через электрод поступает на входной усилитель, где в соответствии с чувствительностью происходит усиление принятого сигнала. Далее сигнал поступает на детектор шума, в котором происходит фильтрация посторонних шумов и помех, а затем подаётся на главный тактовый генератор. Если при анализе принятых сигналов и запрограммированных параметров частота потенциалов сердца меньше на определённую величину, чем запрограммировано, главный тактовый генератор примет решение начать стимуляцию сердца. Главный тактовый генератор формирует стимулирующий импульс, требуемой частоты, который поступает на блок защиты от разгона, где происходит дополнительный контроль стимулирующих импульсов. Далее стимулирующие импульсы поступают на выходной усилитель, в котором усиливаются до необходимой амплитуды. С помощью главного тактового генератора проводят диагностический режим по измерению фактического порога стимуляции не инвазивным методом. Стабильность всех временных соотношений, необходимых для работы главного тактового генератора,

обеспечивается кварцевым генератором, характеристики которого настолько стабильны, что практически не изменяются в течение всего срока службы стимулятора.

При возникновении необходимости изменить режимы работы ЭКС, производится программирование стимулятора. Изменение режимов работы ЭКС осуществляется посредством подачи управляемого воздействия через катушку индуктивности на приемное устройство. Далее происходит дешифровка команд в декодере. Поступившие команды изменяют параметры программного регистра. Программный регистр, в свою очередь, изменяет режимы работы главного тактового генератора. В том случае, если код настройки был передан без ошибки, вырабатывается сообщение о приёме кода, и только после этого происходит изменение программируемого параметра. [7]

### **Список информационных источников**

1. Имплантируемые стимуляторы история, современное состояние, тенденции [Электронный ресурс]/ URL: <http://www.medintention.ru/>
2. История развития электрокардиостимуляции [Электронный ресурс]/ URL: <http://aritmia.doktora.by/istoriya-razvitiya-elektrokardiostimulyacii>
3. Классификация кардиостимуляторов [Электронный ресурс]/ URL:[http://medic.social/kardiologiya\\_730/klassifikatsiya-kardiostimulyatorov.html](http://medic.social/kardiologiya_730/klassifikatsiya-kardiostimulyatorov.html)
4. Электрокардиостимуляторы. [Электронный ресурс]/ URL : [http://studopedia.ru/11\\_10196\\_elektrokardiostimulyatorov.html](http://studopedia.ru/11_10196_elektrokardiostimulyatorov.html)
5. Получение информации о параметрах и характеристиках организма и физические методы воздействия на него: Учебное пособие / В.Г.Гусев. – М.: Машиностроение, 2004. – 597 с.
6. Mont, L. Цифровые технологии в электрокардиостимуляторах / Вестник аритмологии. – 2005. - №40. – С. 73.
7. Электрокардиостимуляторы как биотехническая система для коррекции нарушений работы сердца: Учебное пособие / Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)» — М., 2008. — 56 с.

# **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ СИГНАЛА ОДНИМ КОМПАРАТОРОМ**

Терентьева О.Ю., Шульгина Ю.В.

*Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет», г.Томск*

Научный руководитель: Шульгина Ю.В., ассистент каф. ПМЭ ИНК ТПУ

Повышение точности акустических измерений является очень актуальной задачей для большого количества устройств. Значительная часть погрешности измерения связано с ошибкой определения момента прихода импульса. Это связано с изменением формы акустического сигнала при прохождении через объект контроля.

В ряде устройств время прихода импульса определяется по достижению сигнала определенного уровня. При этом, в случае затянутого фронта сигнала погрешность может составлять несколько периодов несущей частоты, что является существенным недостатком данного метода определения временного интервала. Введение поправочных коэффициентов, учитывающих форму нарастания сигнала, в расчетную формулу, позволит увеличить точность определения расстояния.

Для определения точности определения, рассматривается случай, когда передний фронт огибающей сигнала можно с достаточной точностью аппроксимировать прямой линией, тогда принятый сигнал можно описать уравнением:

$$U(t) = A(t) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

где  $A(t)$  - прямая, описывающая крутизну нарастания переднего фронта сигнала.

При прямом определении времени прихода импульса получим нарастающую с каждым периодом погрешность измерения. В этом случае точность измерений будет определяться уровнем срабатывания компаратора. Для большого количества акустических приборов погрешность в несколько периодов является недопустимой. Для этих случаев вводят поправочный коэффициент, позволяющий увеличить точность определения момента прихода акустического сигнала. С целью повышения точности измерения задаются крутизной нарастания переднего фронта сигнала. Через точку, в которой произошло срабатывание компаратора достраивается прямая, имеющая такой же

наклон, как выбранная крутизна нарастания переднего фронта сигнала. Момент пересечения этой прямой с временной осью и считается моментом прихода импульса.

На рис. 1 изображена синусоидальная форма сигнала, момент времени  $t_0$  определяет погрешность измерения.

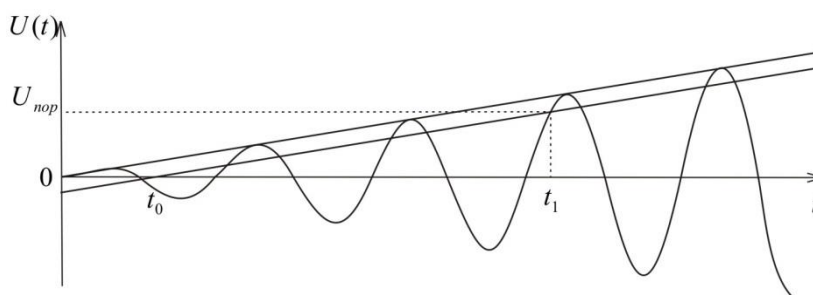


Рис.1. Определение момента прихода акустического сигнала.

Для численного определения погрешности измерения необходимо решить уравнение:

$$U_{\text{пор}} = k \cdot t \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

где  $k$  – предполагаемый коэффициент наклона огибающей переднего фронта сигнала.

График зависимости ошибки измерения от уровня порога срабатывания компаратора изображен на Рис. 2.

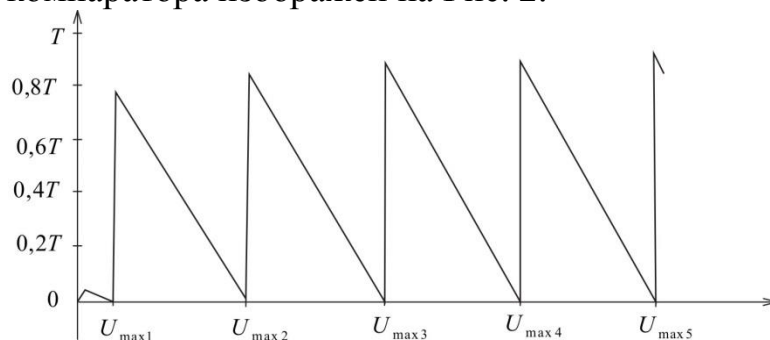


Рис. 2. Зависимость ошибки измерения от уровня порога срабатывания компаратора.

По графику видно, что тем ближе пороговое напряжение компаратора к значению амплитуды напряжения для данного периода, тем меньше погрешность измерения  $t_0$ .

Так как зачастую предсказать форму огибающей переднего фронта невозможно, то необходимо рассмотреть ситуацию для случая, когда крутизна нарастания сигнала не совпадает с заданной в алгоритме вычислительного процесса крутизной.

Построим в одной плоскости графики ошибки измерения в случае ошибочного определения наклона на  $\pm 5\%$  относительно истинного наклона Рис.3.

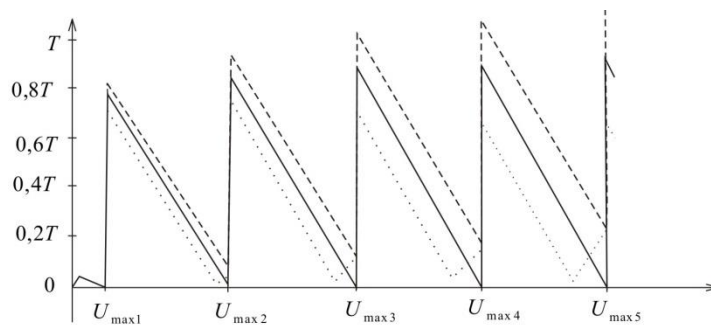


Рис.3

Достоинство описанного метода – простота реализации. В общем случае, не требует процессорного блока для проведения вычислений.

Недостатки: наличие высокого уровня погрешности измерения при неправильно выбранной крутизне нарастания переднего фронта.

### **Заключение.**

В случае, если передний фронт сигнала можно аппроксимировать прямой линией, то предложенный метод расчета момента прихода акустического сигнала позволит получить ошибку в пределах одного периода, что является существенным. Однако, зачастую крутизну переднего фронта невозможно предугадать и заложить алгоритмически, например, для приборов, имеющих дело с распространением сигналов по волноводу, для них следует применять другие методы обработки сигналов, например, «метод двух компараторов» [1], который позволяет определить с определенной точностью крутизну переднего фронта огибающей.

### **Список информационных источников**

1.Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов. // Шульгина Ю.В., Солдатов А.И. Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. – № 9 (110). – С. 102-106.

2.Пат. № 2013146205 РФ. Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового лоатора/А. И. Солдатов, Ю. В. Шульгина, А. А. Солдатов, Н. В. Дичев. – Заявлено 17.10 2014.

3.Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера // Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В. // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315, № 4. – С. 85-89.

# **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ СИГНАЛА ОДНИМ КОМПАРАТОРОМ**

*Терентьева О.Ю., Шульгина Ю.В.*

*Томский политехнический университет, г.Томск*

*Научный руководитель: Шульгина Ю.В., ассистент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Повышение точности акустических измерений является очень актуальной задачей для большого количества устройств. Значительная часть погрешности измерения связано с ошибкой определения момента прихода импульса. Это связано с изменением формы акустического сигнала при прохождении через объект контроля.

В ряде устройств время прихода импульса определяется по достижению сигнала определенного уровня. При этом, в случае затянутого фронта сигнала погрешность может составлять несколько периодов несущей частоты, что является существенным недостатком данного метода определения временного интервала. Введение поправочных коэффициентов, учитывающих форму нарастания сигнала, в расчетную формулу, позволит увеличить точность определения расстояния.

Для определения точности определения, рассматривается случай, когда передний фронт огибающей сигнала можно с достаточной точностью аппроксимировать прямой линией, тогда принятый сигнал можно описать уравнением:

$$U(t) = A(t) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

где  $A(t)$  - прямая, описывающая крутизну нарастания переднего фронта сигнала.

При прямом определении времени прихода импульса получим нарастающую с каждым периодом погрешность измерения. В этом случае точность измерений будет определяться уровнем срабатывания компаратора. Для большого количества акустических приборов погрешность в несколько периодов является недопустимой. Для этих случаев вводят поправочный коэффициент, позволяющий увеличить точность определения момента прихода акустического сигнала. С целью повышения точности измерения задаются крутизной нарастания переднего фронта сигнала. Через точку, в которой произошло срабатывание компаратора достраивается прямая, имеющая такой же наклон, как выбранная крутизна нарастания переднего фронта сигнала.

Момент пересечения этой прямой с временной осью и считается моментом прихода импульса.

На рис. 1 изображена синусоидальная форма сигнала, момент времени  $t_0$  определяет погрешность измерения.

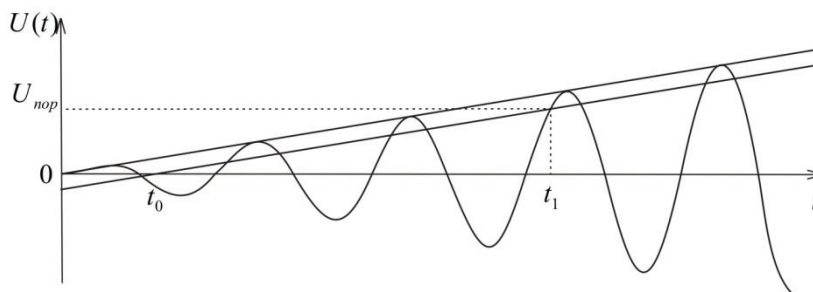


Рис.1. Определение момента прихода акустического сигнала.

Для численного определения погрешности измерения необходимо решить уравнение:

$$U_{\text{пор}} = k \cdot t \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

где  $k$  – предполагаемый коэффициент наклона огибающей переднего фронта сигнала.

График зависимости ошибки измерения от уровня порога срабатывания компаратора изображен на рис. 2.

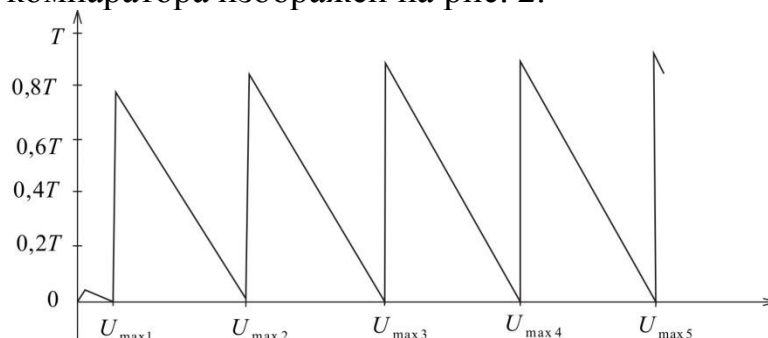


Рис. 2. Зависимость ошибки измерения от уровня порога срабатывания компаратора.

По графику видно, что тем ближе пороговое напряжение компаратора к значению амплитуды напряжения для данного периода, тем меньше погрешность измерения  $t_0$ .

Так как зачастую предсказать форму огибающей переднего фронта невозможно, то необходимо рассмотреть ситуацию для случая, когда крутизна нарастания сигнала не совпадает с заданной в алгоритме вычислительного процесса крутизной.

Построим в одной плоскости графики ошибки измерения в случае ошибочного определения наклона на  $\pm 5\%$  относительно истинного наклона (рис. 3).



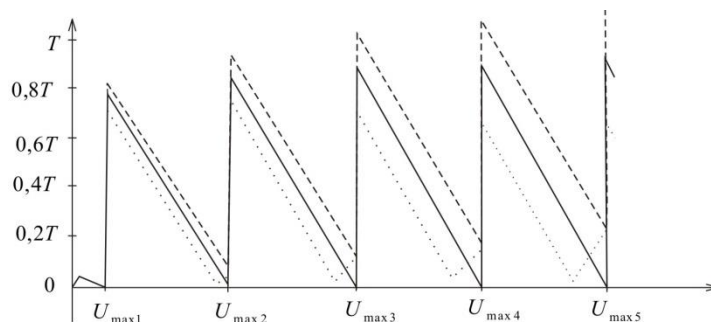


Рис.3

Достоинство описанного метода – простота реализации. В общем случае, не требует процессорного блока для проведения вычислений.

Недостатки: наличие высокого уровня погрешности измерения при неправильно выбранной крутизне нарастания переднего фронта.

### Заключение

В случае, если передний фронт сигнала можно аппроксимировать прямой линией, то предложенный метод расчета момента прихода акустического сигнала позволит получить ошибку в пределах одного периода, что является существенным. Однако, зачастую крутизну переднего фронта невозможно предугадать и заложить алгоритмически, например, для приборов, имеющих дело с распространением сигналов по волноводу, для них следует применять другие методы обработки сигналов, например, «метод двух компараторов» [1], который позволяет определить с определенной точностью крутизну переднего фронта огибающей.

### Список информационных источников

1. Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов. // Шульгина Ю.В., Солдатов А.И. Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. – № 9 (110). – С. 102-106.
2. Пат. № 2013146205 РФ. Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового локатора/А. И. Солдатов, Ю. В. Шульгина, А. А. Солдатов, Н. В. Дичев. – Заявлено 17.10 2014.
3. Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера // Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В. // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315, № 4. – С. 85-89.

## ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА

*Торгаева Д.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск.*

*Научный руководитель: Тригуб М.В., к.т.н., доцент кафедры  
высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники*

В настоящее время практически все отрасли науки и техники стремятся к автоматизации различных процессов, в том числе и контроля качества. Поскольку возможности человеческого глаза ограничены, разрабатываются автоматизированные или автоматические системы, необходимые для наблюдения за различными параметрами объекта. Большая часть оптических методов контроля основано на свойствах лазерного излучения.

Например, в работе [1] применяют интерференционные оптического контроля для регистрации перемещения объекта на дистанцию меньше диаметра лазерного пучка, поскольку в этом случае спекл-изображение не изменится, а все его компоненты будут перемещаться на расстояние пропорциональное смещению самого объекта. Свойства лазерного излучения также применяются в LIF-, PIV-, PTV-методах и других. Все эти методы применяются в различных системах визуализации, в основе которых лежит блок цифровой обработки изображений. Однако нельзя получить достоверную информацию об объекте исследования без настройки самой системы визуализации. В современном мире многие оптико-электронные устройства обладают функциями автофокусировки.

В частности, при разработке системы автофокусировки оптической системы на основе лазера на парах бромида меди учитывались не только помехи, вносимые самой регистрирующей аппаратурой (высокочастотный шум) и оптической системой (блики), но и искажения, вносимые усилителем яркости (пульсации коэффициента усиления, радиальная неоднородность пучка).

Определение точности фокусировки проводилось двумя методами:

- безэталонным (пространственным), данный метод предполагает нахождение степени резкости, исходя из разности яркости изображений, полученных из исходного путем свертки их с усредняющими масками разных размеров:

$$C = \sum_i^M \sum_j^N \frac{B1(i,j) - B2(i,j)}{M * N}$$

где M и N – ширина и высота изображения соответственно,

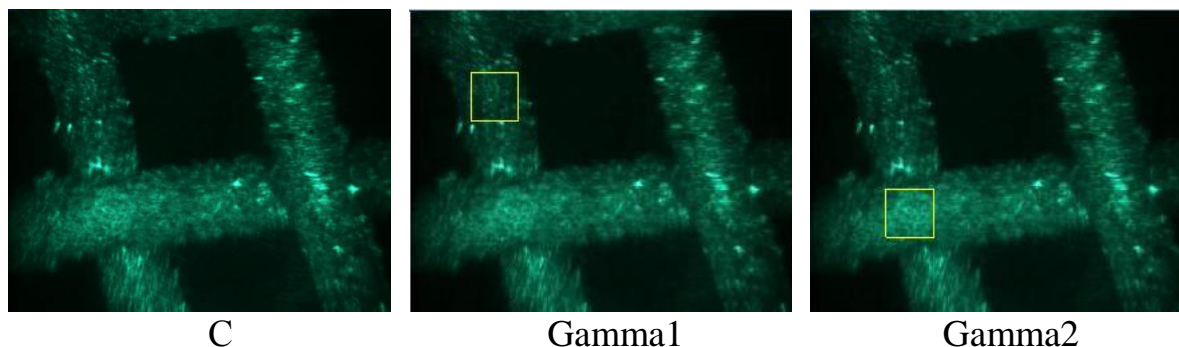
$B1(i,j), B2(i,j)$  – яркости пикселей изображений, полученных путем свертки исходного с масками фильтров  $k1$  и  $k2$ , соответственно, причем  $k1 > k2$ . [2]

•методом определения эксцесса двумерного спектра Фурье изображения (частотный). Данный коэффициент отражает степень сглаженности плотности вероятности в окрестности главного максимума, и определяется по формуле:

$$E_k = \mu_4 / \sigma_4 - 3,$$

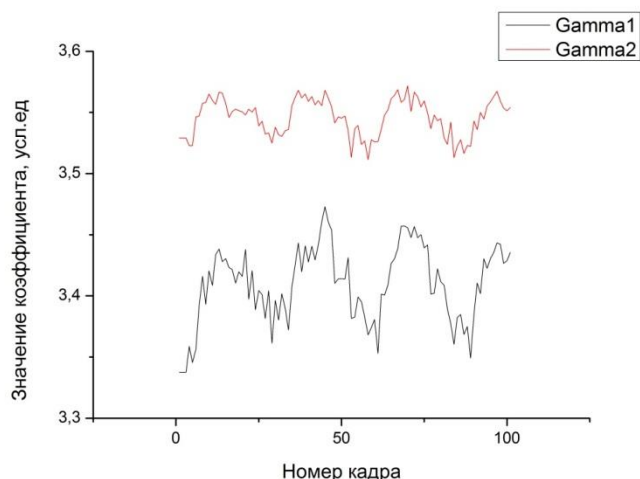
где  $\mu_4$  - четвертый центральный момент,  $\sigma_4$  – стандартное отклонение. [3, 4]

Поскольку для расчета коэффициентов используется только область изображения, задаваемая вручную, большую погрешность в результаты измерений вносят пульсация коэффициента усиления лазерной среды, выражающаяся в изменении средней яркости изображения, и высокочастотный шум. На рис. 1 представлены изображения, полученные в лазерном мониторе, желтым выделена область интереса, по которой производились расчеты. На рис. 2-3 представлены графики зависимости рассчитываемых коэффициентов от номера кадра. При проведении данного эксперимента положение объекта не менялось, следовательно, на результаты расчетов влияют только искажения, вносимые усилителем яркости.

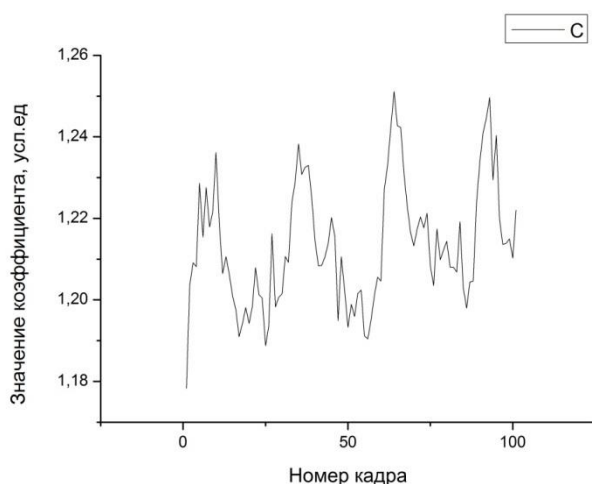


*Рис. 1 Области интересов, выбранные при расчетах коэффициентов резкости*

Пульсации коэффициентов резкости в значительной степени могут усложнить автоматизацию процесса фокусировки, для уменьшения влияния искажений, вносимых оптической средой, необходимо усреднение нескольких изображений, что позволит устранить шум и уменьшить диапазон изменения средней яркости, получаемых изображений.



*Рис. 2.11 Зависимость меры эксцесса от номера кадра при изменении коэффициента усиления лазерной среды.*



*Рис. 2.12 Зависимость коэффициента резкости, рассчитанного безэталонным методом, от номера кадра при изменении коэффициента усиления лазерной среды.*

На рис. 4 представлены изображения, полученные при движении объекта вдоль оптической оси лазерного микроскопа в направлении к фокусу, под номером кадра подразумевается номер кадра в последовательности, снятой при движении объекта с шагом 2 мм. По графикам зависимости (рис. 5-6) можно судить о том, что усреднение производит положительный эффект, однако при использовании пространственного метода этого недостаточно, следовательно, он не может быть использован в дальнейших исследованиях.

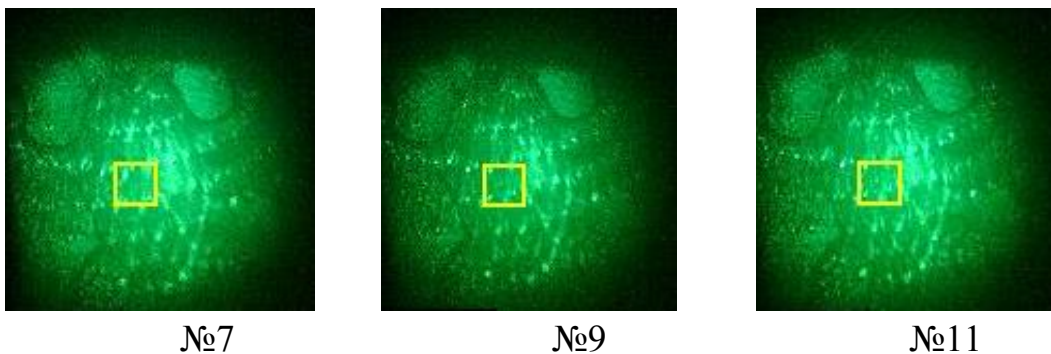


Рис. 4 Области интереса на изображениях тестовых объектов, выбранные для расчетов коэффициентов резкости

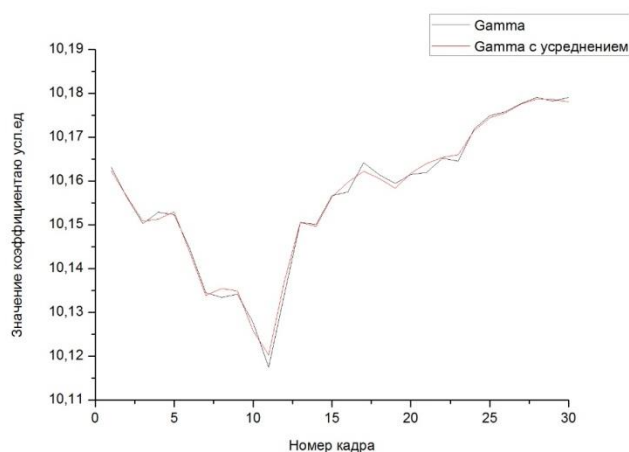


Рис. 5 Зависимость меры эксцесса от номера кадра

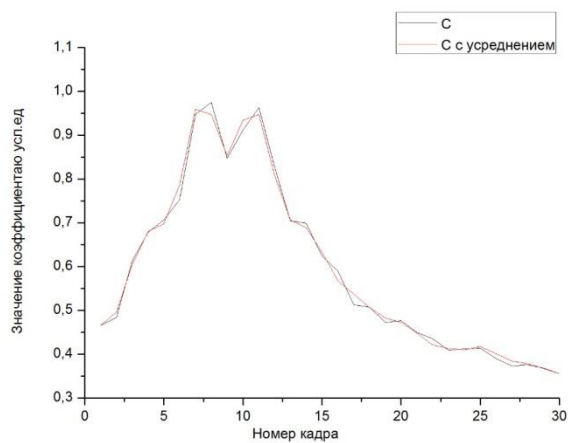


Рис. 6 Зависимость коэффициента резкости, рассчитанного безэталонным методом, от номера кадра

Таким образом, для построения системы автоматической фокусировки необходимо применение частотного метода определения резкости изображения, а также проектирование более сложной системы

проверки коэффициентов, которая позволит предотвратить ложное срабатывание системы фокусировки при пульсации коэффициентов

### **Список информационных источников**

1. Е.А. Аксенов, А.А. Шматко, В.И. Зворский, А.С. Кравчук Бесконтактный спекл-интерферометрический измеритель малых смещений // Радиоэлектронные системы. 2008, №1 (28). - С. 15-19.

2. Ю.И. Монич, В.В. Старовойтов Оценки качества для анализа цифровых изображений // Искусственный интеллект. - 2008. - №4. - С. 376-386.

3. Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity // IEEE transaction on Image Processing. –2004. –Vol. 13, № 4. –Р. 309-12.

4. Васильев Александр Сергеевич Исследование и разработка многоспектральной оптико-электронной системы комплексирования изображений для обнаружения и мониторинга лесных пожаров: дис. канд. тех. наук: 05.11.07. - Санкт-Петербург, 2015. - 162 с.

### **АНАЛИЗ ИСКУССТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ В ОБЩЕЖИТИИ ЮТИ ТПУ С ПОМОЩЬЮ ЛЮКСМЕТРА «ТКА-ЛЮКС»**

*Токтомушов Н.А., Садырбек уулу Ж.*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Томского политехнического университета, г. Юрга*

*Научный руководитель: Соболева Э.Г., к.ф.-м.н., доцент кафедры  
естественнонаучного образования*

Ежедневно возникает необходимость освещения жилого помещения как естественным, так и искусственным светом. В первом случае используется свет, испускаемый солнцем, во втором случае применяются соответствующие осветительные установки искусственного света. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же, наоборот, отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека. Это связано с тем, что суточные переходные режимы естественной освещенности имеют малую частоту при достаточно высокой (днем) или очень низкой (ночью) интенсивности потока, а искусственные – довольно большую частоту при недостаточной в целом освещенности. Поэтому при искусственном

освещении начинают возникать неустойчивые зрительные процессы, которые из-за большой сменяемости световых условий накладываются друг на друга, не давая глазу адаптироваться к новым условиям. От усиленной деятельности приспособительных механизмов глаза быстро утомляются, что вызывает физическую усталость организма. При 3-часовой зрительной работе и освещенности 30 – 50 лк устойчивость ясного видения снижается на 37%, а при освещенности 100-200 лк только на 10-15%. Поэтому создание достаточного уровня освещенности в жилом помещении имеет большое значение.

**Цель работы:** проведение анализа искусственной освещенности люксметром «ТКА-ЛЮКС» в здании общежития ЮТИ ТПУ.

**Задачи исследования:** изучить технические характеристики и принцип работы люксметра; измерить искусственную освещенность в общежитии ЮТИ ТПУ с помощью люксметра «ТКА-ЛЮКС»; выполнить анализ измеренных величин с предельно допустимыми нормами.

Прибор «ТКА-ЛЮКС», основные технические характеристики которого приведены в таблице 1, предназначен для измерения освещенности, создаваемой различными источниками, расположенными пространственно произвольно. Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемным устройством излучения в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности в лк.

Таблица 1

Основные технические характеристики люксметра «ТКА-ЛЮКС»

1	Диапазон измерений освещенности, лк	от 1,0 до 200000
2	Рабочий диапазон температур, (°C)	от -50 до 50
3	Относительная влажность при 25°C, %	до 95
4	Атмосферное давление, кПа	от 80 до 110
5	Напряжение питания, В	от 7,0 до 9,6
6	Потребляемый ток, не более, мА	25
7	Время непрерывной работы, ч, не менее	8
8	Масса прибора с источником питания, кг, не более	0,4

В нашем общежитии используются люминесцентные лампы, имеющие форму цилиндрической трубки, мощностью 40 Вт. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем люминофора, который служит для преобразования ультрафиолетового излучения,

возникающего при электрическом разряде в парах ртути, в видимый свет [1].

Для чистоты эксперимента во время замера освещенности окна всех выбранных для эксперимента помещений были затемнены шторами. Первые измерения были проведены в столовой нашего общежития, результаты эксперимента представлены в таблице 2 для выбранных 7 точек замера.

Таблица 2

Измерение искусственной освещенности в столовой

№ точек	1	2	3	4	5	6	7
Освещенность, лк	130	182	187	138	0,60	122	0,92

Обозначения: 1-плита 1; 2 – плита 2; 3 – стол для резки овощей; 4 – раковина; 5,7 – микроволновая печь; 6 – кухонный стол.

Из данной таблицы видно, что наименьшая освещенность была получена в местах расположения микроволновых печей, хотя согласно СНИП 23-05-95 [2] нормы освещенности в помещениях в условиях искусственной освещенности 150 лк.

Второй эксперимент проходил в комнате отдыха, где собирается большинство наших студентов для выполнения индивидуальных домашних заданий, просмотра телевизора и дружественного общения. Измерения, представленные в таблице 3, проходили уже в 5 точках замера. Наименьшая освещенность была получена в районе стола №2. Все измерения в комнате отдыха находятся в полном соответствии с предельно допустимыми нормами [2].

Таблица 3

Измерение искусственной освещенности в комнате отдыха

№ точек	1	2	3	4	5
Освещенность, лк	299	216	288	232	450

Обозначения: 1,2,5 – стол; 3 – диван; 4 – кресло.

Третий эксперимент проходил в комнатах, оклеенных с разными по цветовой гамме обоями. Мы решили лично убедиться, как влияет цвет стен на освещенность в комнатах. Во время замера люксметр был уставлен на расстоянии 5 м от стены, 1 м от пола. В таблице 4 приведены параметры искусственной освещенности для 5 точек замера.

Таблица 4

Измерение искусственной освещенности в комнатах с цветными стенами

Цвет стен	Освещенность, лк
-----------	------------------



	№ точек				
	1	2	3	4	5
Светлый	119	167	190	162	108
Красный	77	147	136	147	71
Желтый	134	162	158	160	94

Обозначения: 1 – обеденный стол; 2, 4 – кровать; 3 – письменный стол; 5 – зеркало.

Из таблицы следует, что в комнате со светлыми стенами освещенность во всех пять точках эксперимента выше, чем в других комнатах, однако имеется некоторое несоответствие с нормами искусственной освещенности.

На рис. 1 представлена диаграмма со средними результатами измерения искусственной освещенности на выбранной территории общежития.

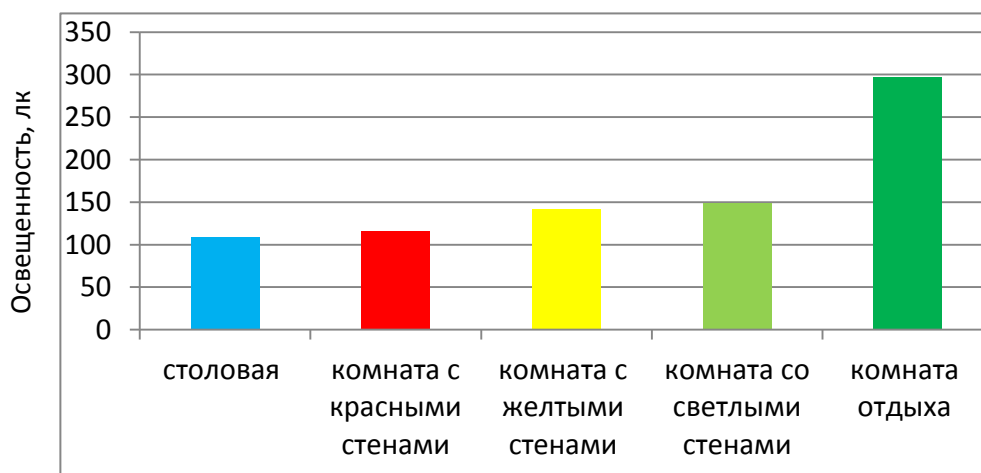


Рис. 1. Средние результаты измерения искусственной освещенности в общежитии ЮТИ ТПУ

Из диаграммы видно, что наибольшая средняя освещенность была измерена в комнате отдыха, а наименьшая – в столовой нашего общежития.

Таким образом, в ходе нашего эксперимента была измерена искусственная освещенность в столовой, комнате отдыха и в комнатах с цветными стенами с помощью люксметра. Для полного соблюдения норм освещенности согласно СНиП 23-05-95 [2] в помещениях в условиях искусственной освещенности рекомендуем использовать люминесцентные лампы большей мощности или использовать в случае необходимости дополнительное освещение.

### Список информационных источников

1. Токтомушов Н.А., Садырбек уулу Ж. Измерение искусственной освещенности в общежитии ЮТИ ТПУ// Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 7-9 Апреля 2016. - Томск: Изд-во ТПУ, 2016 - С. 231-232.

2. СНИП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

## **ГЕНЕРАЦИЯ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ОТЛАДКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОРРЕЛЯТОРОВ**

*Усольцев Д.В., Фаерман В.А.*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель Фаерман В.А., аспирант Института  
кибернетики*

В связи с колоссальной суммарной протяженностью и в целом неудовлетворительным техническим состоянием водопроводов [1], их обслуживание связано с большими финансовыми издержками. Последнее очасти обусловлено высокой аварийностью и преимущественным расположением коммунальных сетей под землей. Наиболее распространенным типом аварий на водопроводах является нарушение сплошности стенок трубы, сопровождающееся истечением жидкости. Опасность аварий подобного рода заключается в их малозаметности в силу, как правило, малых размеров отверстий. В тоже время, продолжительное присутствие утечек приводит к ряду негативных последствий [1] – размывтию грунта, заболачиванию местности, потерям воды и ухудшению ее качества.

Для обнаружения и определения местоположения утечек, коммунальными службами используются различные технические средства контроля и в их числе корреляционно-акустические течеискатели [2]. Преимуществами применения корреляционных течеискателей являются высокая точность и чувствительность [2], делающие возможными определение местоположения утечек с малыми расходами. Немаловажными достоинствами также являются присущие неразрушающим акустическим методам контроля возможности диагностики без остановки подачи жидкости и без обеспечения доступа к трубе по всей длине ее пролегания [3].

Принцип действия корреляционных течеискателей основывается на регистрации шума, возникающего при истечении жидкости,

посредством двух виброакустических датчиков, расположенных в двух отстоящих друг от друга точках на трубопроводе и определении смещения во времени между сигналами на выходе преобразователей [3]. Несмотря на то, что сигналы, производимые истекающей жидкостью слабы, корреляционная обработка делает возможным извлечение из них информации о местоположение течи [3]. Схематично принцип течеискания показан на рисунке далее.

Датчики расположены на обоих концах линейного участка трубопровода в точках **A** и **B** на расстоянии  $d$  друг от друга. В точке **C** находится утечка, являющаяся источником акустической эмиссии. Схема расположения датчиков приведена на верхнем рисунке. Далее приведены временные диаграммы акустических сигналов утечки в точках **A**, **B**, **C**. На нижнем рисунке представлена взаимнокорреляционная функция сигналов в точках **A** и **B**. Именно по положению ее пика определяется искомое временное смещение, на основании которого вычисляется расстояние до утечки [3].

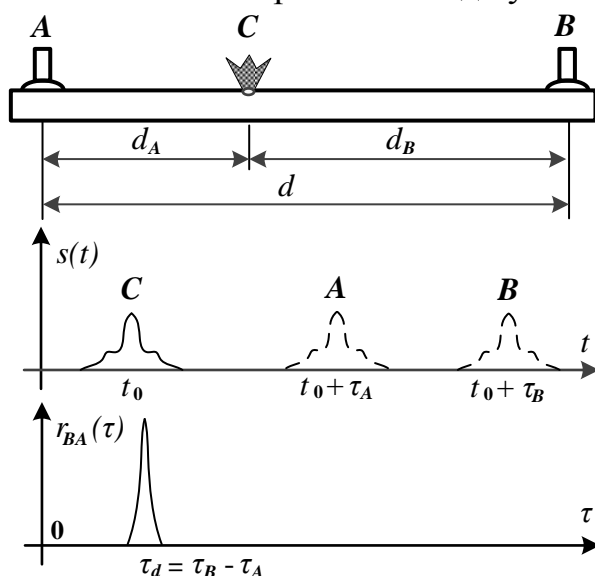


Рисунок - Принцип действия функции взаимной корреляции

Математически, описанное сводится к вычислению корреляционной функции, отыскания ее максимума и определения расстояния до утечки. Корреляционная функция определяется в соответствии с

$$r_{BA}(\tau) = \int_{t_1}^{t_2} s_B(\tau) \cdot s_A(t + \tau) dt,$$

где  $s_A(t), s_B(t)$  – сигналы с датчиков;  $t_1, t_2$  – значения определяющие время интегрирования. Расстояния до утечки от датчиков определяется как

$$d_{A,B} = \frac{d \mp \tau_d \cdot v}{2},$$

где  $\tau_d$  – смещение во времени (абсцисса максимум  $r_{BA}(\tau)$ );  $v$  – скорость распространения акустического сигнала вдоль трубопровода.

Описанные преобразования сигналов осуществляются в цифровом виде посредством специализированного программного обеспечения. При этом, качество реализованных алгоритмов оказывает существенное влияние на чувствительность, точность локации утечек и помехоустойчивость корреляторов, что определяет их эксплуатационные характеристики [4].

Для сравнения представленных на рынке программных средств корреляционной обработки сигналов, а также разрабатываемых программных средств могут производиться стендовые или полевые эксперименты [5]. Однако данный подход связан с рядом трудностей – эксперименты в полевых условиях не воспроизводимы в связи с неизбежным влиянием внешней среды, в то время как стендовые эксперименты позволяют варьировать значения факторов в ограниченных пределах [5]. Кроме того, проведение подобных экспериментов сопряжено с существенными финансовыми затратами на приобретение труб, оборудования и аренду полигона.

Альтернативным подходом, свободным от вышеперечисленных недостатков, является программная генерация временных рядов, воспроизводящих существенные особенности дискретизированных акустических сигналов утечек [5]. Трудности в использовании такого подхода заключаются в сложности и разнообразии математических моделей гидродинамических систем, которыми являются трубопроводы. В общем случае, на характер генерации и распространения акустических сигналов, следовательно, и на их свойства оказывают влияния следующие факторы [5] – геометрические размеры трубы, толщина и материал стенок трубы, плотность окружающего грунта, плотность транспортируемой среды.

Тем не менее, к настоящему моменту времени, предложены модели и аналитические соотношения, которые позволяют в определенной степени воспроизвести особенности акустических сигналов, применительно к некоторым классам задачам [5].

В рамках данной работы, с применением математического пакета Mathcad, были реализованы процедуры генерации тестовых сигналов, приближенных к реальным и предназначенных для отладки и оценки

эффективности программного обеспечения коррелятора. Разработанное решение обладает следующими функциональными возможностями:

1. Генерация полезного сигнала, имитирующего сигнал утечки, оцифрованного с заданной частотой дискретизации  $f_d$ . Получение данного сигнала сводится к фильтрации псевдослучайной последовательности в диапазоне частот  $[f_n, f_v]$  и нормирование ее энергии. Диапазон частот выбирается в соответствии с [6, 7]

$$f_n = 0,2 \frac{0,65 \sqrt{2 \cdot \frac{(P - P_{\text{атм}})}{\rho}}}{d}, f_v = 0,35 \frac{0,65 \sqrt{2 \cdot \frac{(P - P_{\text{атм}})}{\rho}}}{d},$$

где  $P$  – оценка давления в трубопроводе,  $P_{\text{атм}}$  – атмосферное давление,  $\rho$  – плотность жидкости,  $d$  – диаметр отверстия. Коэффициент в числителе – усредненное значение коэффициента расхода.

2. Имитация запаздывания «сигнала утечки», поступающего в измерительные каналы течеискателя.

3. Смешивание информативных сигналов с аддитивными шумами, имеющими заданную спектральную плотность мощности.

4. Сохранение сгенерированных сигналов в виде .wav файлов.

Реализованные алгоритмы находят применение для формирования тестовых сигналов, используемых при отладке математического ядра программной части корреляционного течепоискового комплекса разрабатываемой в рамках инициативного проекта. В дальнейшем планируется модифицировать алгоритмы таким образом, чтобы выбор скорости распространения сигнала осуществлялся в соответствии с формулой Кортвега, а также учитывалось затухание сигнала в соответствии с соотношениями, приведенными в [5].

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-37-00049  
мол\_а.*

## Список информационных источников

1. Добромыслов А.Я. Проблема долговечности и надёжности трубопроводных систем // Сантехника. – 2003. – № 5. – С. 2-6.
2. Кошкин С.Ю. Выбор корреляционного течеискателя // Megatech. – 2011. – № 2-3. – С. 52-56.
3. Аврамчук В.С., Гончаров В.И., Чан В.Т. Частотно-временной корреляционный анализ в задачах определения координат утечек в трубопроводах // Известия ТПУ. – 2010. – Т. 317. - № 2. – С. 70-73.
4. Fuchs H.V., Riehle R. Ten Years of Experience with Leak Detection by Acoustic Signal Analysis // Applied Acoustics. – 1991. – Vol. 33. – pp. 1-19.
5. Brennan M.J. A virtual pipe rig for testing acoustic leak detection correlators: Proof of concept / M.J. Brennan and others // Applied Acoustics. – 2016. – Vol. 102. – P. 137-145.
6. Патент РФ № 2249802. Способ определения места течи в трубопроводе и устройство для его реализации / Р.Ц. Гулиянц и другие // Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – 2005. - № 10.
7. РД 153-39.4-060-00. Методика расчета ущерба от криминальных врезок в нефтепродуктопроводы. – Введен с 01.06.2001. – Москва: [б.и.] – 2001.

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИБОР ДЛЯ ОМОЛОЖЕНИЯ ЛИЦА

*Феофанова О.М.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Болотина И.О. к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Современный ритм жизни научил нас успевать все. Только женщинам при этом хочется еще и хорошо выглядеть. Кожа — самый большой наш орган, со временем подвергается возрастным изменениям. Приостановить этот процесс поможет аппаратная косметология, воздействие на проблемные участки лица и тела специальной физиотерапевтической аппаратурой.

Неоспоримое преимущество такой терапии — возможность решения различных косметологических проблем без хирургического вмешательства.

Методы безоперационного омоложения с каждым годом становятся все совершеннее, растет и их число, новыми названиями пестрят и рекламные проспекты клиник эстетической медицины.

В основе большинства методик омоложения лежит тепловое воздействие на поверхностные слои кожного покрова. При этом в большинстве случаев направить энергию на заданную глубину тканей практически не удастся. Происходит потеря полезной и необходимой энергии, а результата достигнуть удастся не всегда.

Для комплексного омоложения лица необходимо воздействовать как на поверхностные слои кожи, так и на глубокие. Для этих целей наиболее эффективно использовать ультразвуковое воздействие. С помощью ультразвука можно осуществлять несколько процедур, которые будут способствовать омоложению лица, такие как: лифтинг, пилинг, фонофорез, микромассаж и т.д.

На современном рынке представлены самые различные ультразвуковые аппараты для лица, позволяющие осуществлять эффективный комплексный уход за ним на основе новейших технологий. Непосредственно от количества функций, которые будет выполнять тот или иной аппарат будет зависеть его стоимость.

В своей работе я спроектирую аппарат который будет в себе сочетать, на мой взгляд, три наиболее эффективные для омоложения функции, а именно фонофорез, микромассаж и пилинг.

Пилинг-это удаление ороговевших слоев кожи. На поверхности кожи (рогового слоя) есть много неровностей типа трещин. При заполнении их жидкостью в трещинах остается воздух. Кроме того, через поверхность жидкости за счет диффузии происходит растворение газов в ней, развивается кавитация. Наличие пузырьков приводит к тому, что жидкость становится сжимаемой. Последнее означает, что ее плотность зависит от давления. Таким образом, в результате взаимодействия клеток рогового слоя и микропузырьков последние схлопываются, поэтому в месте УЗ-воздействия создается избыточное давление, которое приводит к отшелушиванию ороговевших (мертвых) клеток.

Микромассаж. Действие механического фактора связано с акустическим давлением ультразвуковых волн. В результате чередования зон сжатия и разрежения в тканях возникает вибрационный «микромассаж» на клеточном уровне. Дополнительный импульсный режим работы создает микровибрацию, глубина и сила которой может быть различной, при воздействии на ультразвуком достигается эффект микромассажа клеток.

Фонофорез введения лекарственных препаратов в кожный покров. Применение ультрафонофареза вызывает сложные химические реакции в тканях, усиливает метаболизм, синтез коллагена фибробластами. Усиление метаболизма тканей стимулирует синтез коллагена и

регенерацию тканей. Деполимеризация гиалуроновой кислоты влечет за собой уменьшение отеков. Повышается проницаемость клеточных мембран, активизируются внутриклеточные процессы – синтез белка, ферментов, АТФ. Образующиеся под действием ультразвуковых колебаний, коллагеновые и эластиновые волокна обладают повышенной, в 2 и более раз, эластичностью и прочностью по сравнению с неозвученной тканью.

Косметологический аппарат ультразвуковой терапии предназначен для глубокой ультразвуковой очистки, микромассажа кожи, а также проведения фонофореза, введения лекарственных препаратов в кожный покров. Косметологический аппарат имеет 2 режима работы: постоянный и импульсный. Постоянный режим воздействия для проведения процедуры микромассажа и фонофореза при нормальном, сухом и жирном типе кожи. Импульсный режим воздействия подходит для чувствительной кожи лица, склонной к аллергическим реакциям, раздражению, покраснению, с признаками купероза (сеточка красных поверхностных сосудов), поскольку в данном режиме снижен тепловой эффект.

Ультразвуковой аппарат состоит из генератора электрических колебаний с блоком управления, излучательной головки с пьезопреобразователем и источника питания. Излучательная головка соединяется с генератором ультразвуковых колебаний соединительным кабелем. Он достаточно высоковольтный и высокочастотный. Генератор электрических колебаний обеспечивает работу излучателя в непрерывном или импульсном режимах. Переключение режимов происходит с помощью блока управления. Блок питания обеспечивает работу генератора и блока управления.

Основной частью излучательной головки является пьезоизлучатель. Основу его составляет пластина из пьезоэлектрического материала. Пластины совершают продольные колебания, при которых под влиянием приложенного напряжения меняется ее толщина. Колебания происходят в плоскости совпадающей с вектором электрического поля. Пластина пьезоэлемента размещена на массивном металлическом торце головки излучателя. Корпус, вместе с металлическим торцем являются одним проводом токоподвода.

Прибор имеет две насадки, одну в виде лопатки для ультразвукового пилинга и другую кругло формы для микромассажа и фонофореза.

Внешний вид прибора представлен на рис1.





Рис 1. Ультразвуковой прибор для омоложения лица.

### **Список информационных источников**

1. Применение ультразвука в медицине: Физические основы. Пер. с англ. / Под ред. К. Хилла. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
2. Утямышев Р.И. Электронная аппаратура для стимуляции органов и тканей. - М. Энергоатомиздат, 1983 г. - 384с.
3. Омоложение лица без операции// Электронный ресурс  
URL: <http://centr-molodosti.ru/omolozhenie-lica-bez-operacii.html>  
(20.11.2015)
4. Применение ультразвука в косметологии// Электронный ресурс  
URL: <http://www.dermatolog4you.ru/catalog/kosmetologija/metod/ultrazvuk-kosmetologija.html> (11.12.2015)

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРОМКОЙ МУЗЫКИ НА ОРГАНЫ СЛУХА СТУДЕНТА**

*Филипенко В.В.*

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета, г. Юрга*

*Научный руководитель: Соболева Э.Г., к.ф.-м.н., доцент кафедры  
естественнонаучного образования*

В последнее время большинство наших студентов не расстается с плеерами, слушая музыку, на недопустимой для слуха громкости. Громкая музыка рассеивает внимание, мешает сосредоточиться, понижает работоспособность. Между тем, музыка – это разновидность стимуляции нервной системы. В разумных пределах она полезна, но постоянная стимуляция истощает нервную систему, что приводит к астеническому или даже астено-невротическому синдрому. Музыка, пусть даже совсем тихая, снижает внимание – это следует учитывать при выполнении домашней работы в наушниках. Вставные наушники закупоривают слуховой канал. Если носить их достаточно долго каждый день, вентиляция в нем нарушается. В таких условиях хорошо чувствуют себя болезнетворные микроорганизмы – грибы и бактерии, следовательно, частые воспаления наружного или даже среднего уха обеспечены. Многие люди воспринимают наушники как возможность слушать музыку целыми днями.

**Цель исследования:** исследование влияния громкой музыки на органы слуха студента.

**Задачи исследования:** провести анкетирование среди студентов; исследовать влияние громкой музыки на физиологическое состояние студентов и работоспособность; определить остроту слуха у студентов.

Как известно человек способен воспринимать звуковые колебания от 16 Гц (16 колебаний в секунду) до 21 000 Гц. Наиболее высокая чувствительность обнаружена в области частот от 1000 до 3000 Гц. Эта область соответствует наиболее часто встречающимся частотам человеческой речи и музыки. Такая особенность восприятия звука связана с тем, что звуковая информация, необходимая для существования человека – речь или звуки природы – передаётся, в основном, в среднечастотном диапазоне. Таким образом, громкость – это не физический параметр, а интенсивность слухового ощущения, субъективная характеристика звука, связанная с особенностями нашего восприятия. Так, например, в таблице 1 представлены значения звукового давления для разных источников их воспроизведения.

Таблица 1

Значения звукового давления для разных источников их воспроизведения

Источники звукового давления	Звуковое давление
Болевой порог	160дб
Ракетный двигатель	140 дб
Громкая музыка	120 дб
Дробильная машина	110 дб
Пресс, метро	100 дб
Уровень шума, вредный для слуха	90 дб
Товарный поезд (на расстоянии 33 м)	80 дб
Пылесос (на расстоянии 3м)	70 дб
Автомобильное движение на автостраде	60 дб
Разговор	40 дб
Шелест листвы	10 дб
Разговор учеников во время перемены	40 дб
Хлопанье в ладоши во время представления	88 дб
«Ура» - всем группой	127 дб
Визг, особенно девушки	140 дб

В ходе нашей работы было проведено анкетирование среди студентов, живущих в общежитии ЮТИ ТПУ. Всего было опрошено 60 человек по вопросам, представленным в таблице 2.

Таблица 2

Анкета для студентов

№	Вопрос	Ваш ответ
1	Как вы считаете, хорошо ли вы слышите?	
2	Часто ли вы посещаете дискотеки/концерты?	
3	Ощущаете ли вы шум в ушах после продолжительного прослушивания громкой музыки?	
4	Часто ли вы слушаете музыку в плеере?	
5	Знаете ли вы, что прослушивание громкой музыки пагубно влияет на ваш слух?	
6	Как вы делаете уроки, под музыку, телевизор, в тишине?	
7	Какую музыку вы любите слушать? (поп, рок, металл, и т.д.)	

8	Сколько времени в сутки вы слушаете плеер?	
9	Какое состояние у вас бывает после дискотеки (агрессия, напряжение, раздражение, радость, спокойствие)?	

Ниже представлены в процентном соотношении результаты опроса среди студентов:

- 82% - уверены, что у них отличный слух;
- 18% - считают, что слышат не совсем хорошо;
- 63% - регулярно посещают дискотеки;
- 60% - испытывают шум в ушах после дискотеки;
- 66% - постоянно слушают музыку на высокой громкости;
- 91% - знают о пагубном влиянии громкой музыки;
- 33% - выполняют домашнее задание под музыку;
- 51% - слушают музыку всю подряд;
- 70% - слушают музыку 3 часа в день.

Как известно остроту слуха можно исследовать при помощи шепотной и громкой речи, а также особыми приборами – камертонами и аудиометрами. В нашем исследовании для определения остроты слуха у студентов использовали генератор звука и линейку. Эксперимент проводился среди студентов 1-3 курсов, живущих в общежитии. Для определения остроты слуха к уху подносили генератор звука LabQuest2, фото которого представлено на рис. 1.

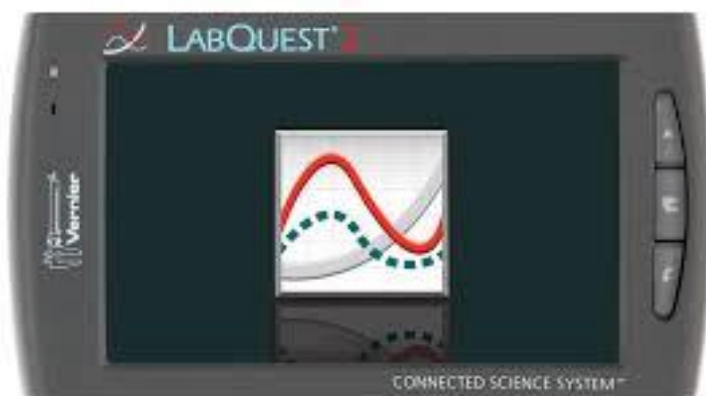


Рис.1. Фото прибора LabQuest2

LabQuest2 – специализированное портативное электронно-вычислительное устройство, обладающее широкими функциональными возможностями. В ходе эксперимента прибор был настроен на частоту 60 Гц, что соответствует шепоту 30дБ. Измерения проводили с помощью линейки, меняя расстояние от уха до генератора, таким

образом, определяя, как исследуемый слышит звук. Результаты исследования приведены в таблице 3.

Таблица 3

Определение остроты слуха

Курс	Количество испытуемых	100 см	50 см	25 см	Слышит одно ухо
1	19	15	2	2	-
2	24	20	3	1	-
3	17	16	1	-	-

Из нашего эксперимента следует, что некоторые студенты уже имеют притупленный слух. После прослушивания громкой музыки через наушники у многих повышается пульс и артериальное давление. К сожалению, многие не осознают этой опасности, бездумно губя свой организм в целом, и орган слуха в частности. Все вышесказанное не означает, что нужно раз и навсегда отказаться от наушников. Слушать музыку через наушники можно, но необходимо придерживаться следующих правил:

- громкость должна составлять не более 50% от максимальной;
- в шумных местах стараться не слушать плеер;
- необходимо делать перерывы, слушать более часа подряд нельзя;
- во время перерыва наушники следует вынимать из ушей;
- не рекомендуется пользоваться чужими вставными наушниками;
- если беспокоят головные боли, звон или шум в ушах, снижение слуха, необходимо перестать пользоваться наушниками и обратиться к специалисту.

### Список информационных источников

- 1.Мамаев А.Д. Слух человека и его особенности.- М.: Просвещение, 2005 г.
- 2.Самсуев Р.П., Селин Ю.М. Анатомия человека.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.:ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Мир и Образование», 2004. С. 555-564.
- 3.Филипенко В.В. Влияние громкой музыки на организм студента // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 7-9 Апреля 2016. - Томск: Изд-во ТПУ, 2016 - С. 235-237.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПОРТОВОЙ ПАМЯТИ, РЕАЛИЗОВАННОЙ НА ПЛИС**

*Фролов М.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Солдатов А.И., д.т.н., профессор кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Создание систем на кристалле является перспективной технологией реализации сложных проектов на СБИС. Применение специализированного инструментария позволяет осуществить проектирование сложных систем на кристалле в течение малого временного цикла. Концепция систем на кристалле основана на иерархической технологии проектирования, а также на применении готовых функциональных блоков. Всё это позволяет оптимизировать создаваемую систему и повысить производительность разработчиков [1].

Реализация систем для многопоточковой обработки информации требует наличия высокоскоростной энергозависимой памяти для временного хранения данных. Возможный вариант реализации такой памяти – применение микросхем ПЛИС.

Применение многопортовой памяти позволяет ускорить обмен информацией, повысить производительность системы в целом, однако реализация блоков многопортовой памяти на ПЛИС влечет за собой следующие проблемы:

- Требуется большое число логических элементов на кристалле ПЛИС для реализации проекта

- Возникновение временных задержек ввиду использования большого количества элементов кристалла ПЛИС

Использование большого количества логических блоков обуславливается тем, что каждый дополнительный порт вывода включает в себя «регистры-защелки», необходимые для фиксации данных. При этом «трассировка» проекта на кристалле выполняется автоматически по принципу оптимизации связей между логическими элементами. «Трассировку» проектов, включающих достаточно большое количество логических элементов, невозможно выполнить таким образом, чтобы полностью исключить возникновение временных задержек.

Для оценки возможности применения модулей многопортовой памяти, реализованных на ПЛИС, в системах с многопоточковой

обработкой информации были созданы поведенческие модели функциональных блоков памяти с различной конфигурацией портов и различным объемом данных.

Было проведено исследование временных параметров блоков памяти средствами САПР Quartus II. Данная САПР позволяет достаточно точно воспроизводить поведение логических блоков реальной ПЛИС с учетом задержки распространения сигналов.

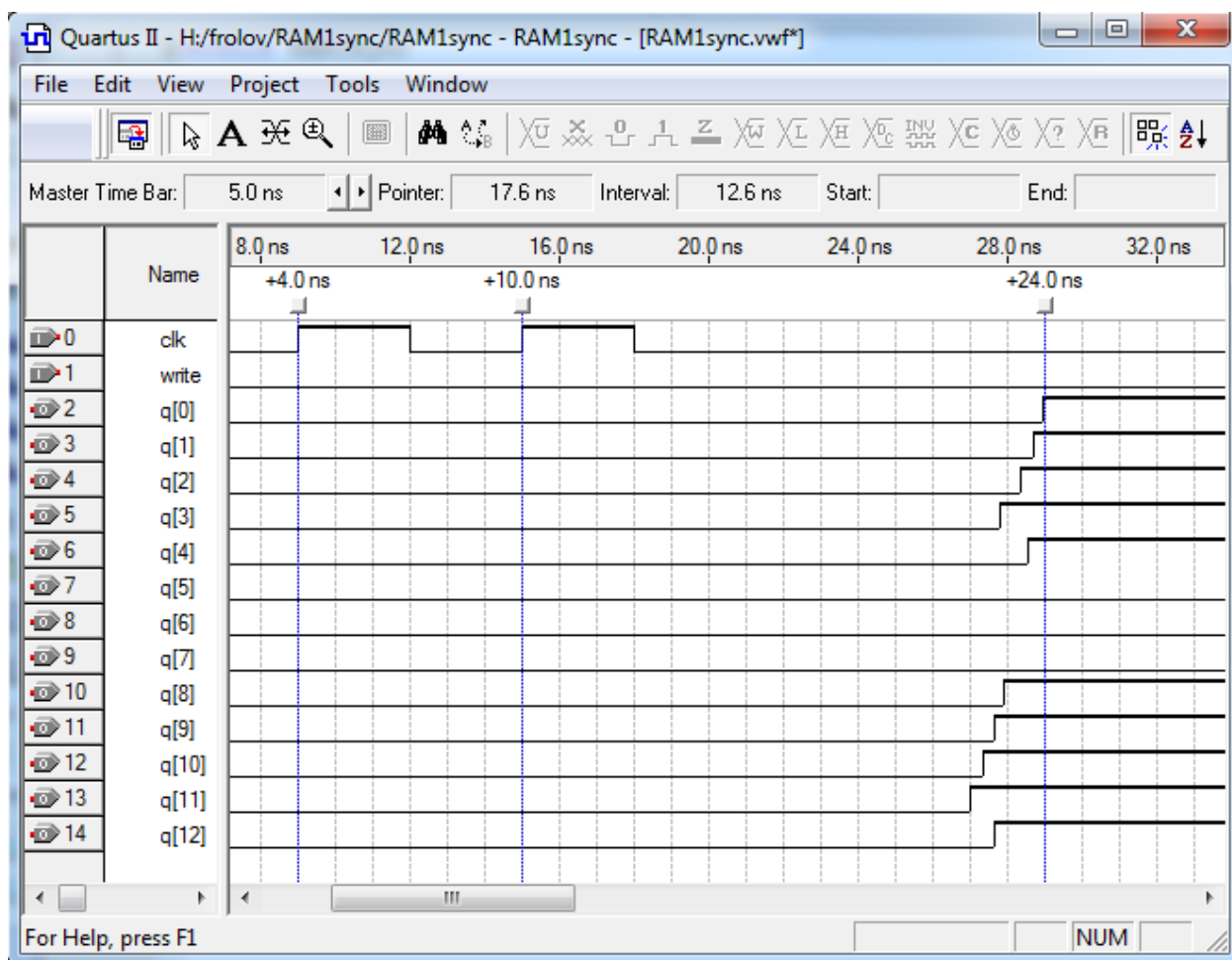


Рис. 1. Диаграммы работы 2-х портового модуля памяти

Data[0] – Data[15] – входные линии данных,

clk – тактовый импульс,

write – сигнал записи,

q[0] – q[15] – выходные линии данных. Время переднего фронта второго тактового импульса  $t_1 = 10\text{ нс}$ , время выборки данных  $t_2 = 24\text{ нс}$ . Быстродействие кристалла  $\tau = t_2 - t_1 = 24\text{ нс} - 10\text{ нс} = 14\text{ нс}$ .

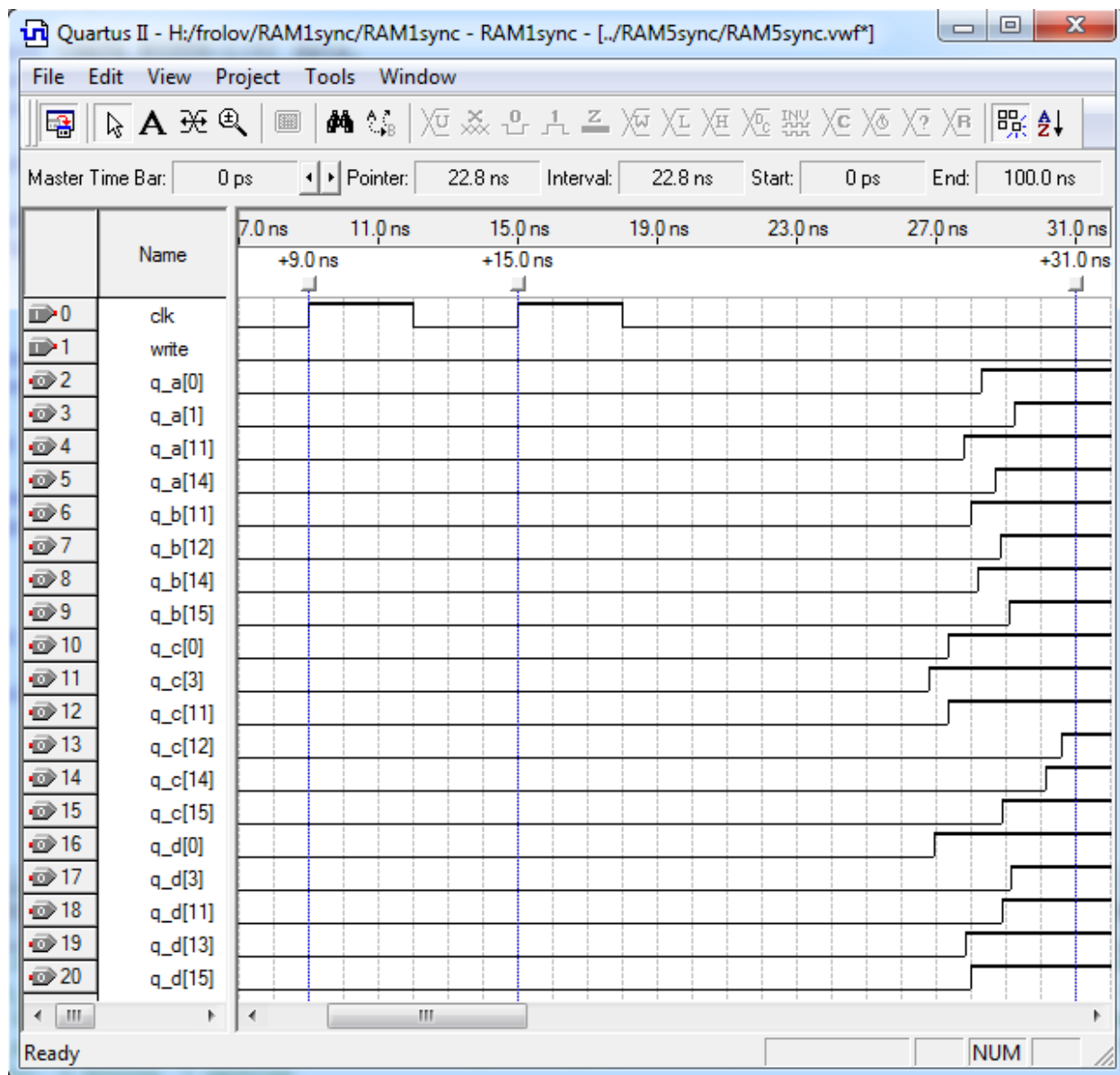


Рис. 2. Диаграммы работы 5-х портового модуля памяти

q\_b[0] – q\_b[15] – выходные линии данных порта В,  
q\_c[0] – q\_c[15] – выходные линии данных порта С,  
q\_d[0] – q\_d[15] – выходные линии данных порта D,  
clk – тактовый импульс,  
write – сигнал записи.

Время переднего фронта второго тактового импульса  $t_1 = 15\text{нс}$ , время выборки данных  $t_2 = 31\text{нс}$ . Быстродействие кристалла  $\tau = t_2 - t_1 = 31\text{нс} - 15\text{нс} = 16\text{нс}$ . На диаграммах видно, что при увеличении количества портов считывания данных быстродействие кристалла уменьшается незначительно.



Проведенное исследование показало, что при увеличении числа портов считывания данных существенно повышается объем используемых внутренних ресурсов кристалла ПЛИС, при этом быстродействие модуля ухудшается незначительно. Данные модули многопортовой памяти можно применять в системах, требующих высоких скоростей обработки и передачи большого объема данных, например в системах сбора данных с большим количеством датчиков или обработки изображений, поскольку временные задержки не превышают 16 нс.

### **Список информационных источников**

1.Суворова Е.А., Шейнин Ю.Е. Проектирование цифровых систем на VHDL. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 576 с.

2.Поляков А.К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 320 с.

3.Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 608.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЗГ – КОМПЬЮТЕР ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНАЯ ТОМОГРАФИИ**

*Фролова И.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Солдатов А. И., д.т.н., профессор  
кафедры промышленной и медицинской электроники*

Практическая необходимость в подобных интерфейсах назрела давно. Десятки тысяч больных уже сейчас нуждаются в подобном интерфейсе. В первую очередь – это полностью парализованные люди (с так называемым locked-in синдромом), пациенты с тяжелыми формами церебрального паралича, пациенты с тяжелыми инсультами и травмами. Современные разработки в этой области нацелены на широкий спектр применения интерфейс "мозг-компьютер" — от определения степени усталости водителей и летчиков до измерения умственной нагрузки и стрессоустойчивости учащихся. Не только вождение инвалидами колясок, но и коррекция утраченного зрения, эффективное управление биопротезированными конечностями, все это становится возможным по мере развития нейрокомпьютерного интерфейса.

Все проекты интерфейсов мозг-компьютер можно условно поделить на интерфейсы для ввода (восстановление или замена поврежденных органов чувств) и вывода (управление протезами и другими устройствами). Над двунаправленными системами взаимодействия с мозгом не работает пока никто. Еще один важный критерий, по которому можно разделить существующие разработки, - степень травматичности, то есть, необходимость хирургического вмешательства. Во всех случаях прямого ввода данных необходимо производить операцию по вживлению в мозг или нервы электродов. В случае вывода можно обойтись внешними датчиками для съема, на пример для съема электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Впрочем, ЭЭГ - инструмент достаточно ненадежный, поскольку череп сильно ослабляет мозговые токи и получить можно только очень сильно обобщенную информацию. В случае вживления электродов можно снимать данные непосредственно с нужных мозговых центров (например, двигательных). Но такая операция - дело нешуточное, так что пока эксперименты ведутся только на животных.

В настоящее время активно развиваются интерфейсы мозг-компьютер (BCI), так как существует необходимость повышения скоростей взаимодействия человека с компьютером, кроме того существование интерфейсов на нейрофизиологическом уровне может повлиять на жизнь людей с ограниченными возможностями. В университетах мира разрабатываются разные способы реализации BCI, основанные на разных методах снятия сигнала. От метода зависят пространственное и временное разрешения получаемой информации о состоянии мозга. К существующим методам измерения сигналов относятся: электроэнцефалография (EEG), магнитоэнцефалография (MEG), инфракрасная спектроскопия (NIRS), электрокортикография (ECOG), запись локальных потенциалов поля (LFP), запись с набора микроэлектродов (MEA), запись с микроэлектродов (ME), функциональная магниторезонансная томография (fMRI). Можно предположить, что изменения уровня концентрации кислорода крови в областях мозга с нейронной активностью должен привести к изменению сопротивления тканей в этих участках мозга. Так же при стимуляции головного мозга или мыслительной деятельности происходит увеличение кровенаполнения определенного участка в зависимости от вида стимуляции. Так как кровь имеет меньшее сопротивление, чем ткани мозга, то можно сделать вывод о возможности обнаружения областей мозговой активности. Существует метод, который позволяет проводить реконструирование изображения распределения сопротивления в биообъекте – Электроимпедансная

томография (EIT). Электроимпедансная томография (ЭИТ) это метод реконструкции распределения проводимости внутри объекта на основе результатов электрических измерений на поверхности. Если каждый электрод имеет площадь  $S$ , м<sup>2</sup>, контактное сопротивление  $R_c$ , Ом и через него проходит ток  $I$ , А, то полная модель измерения в электроимпедансной томографии выглядит следующим образом:

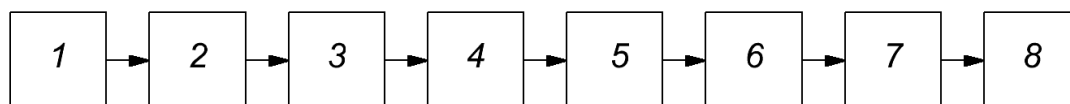
$$\begin{aligned}\nabla(\sigma \nabla \varphi) &= 0; \\ V_{e1} &= \varphi + R_{e1} + \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n}; \\ I_1 &= \int \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n} ds; \\ V_{e2} &= \varphi + R_{c2} + \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n}; \\ I_2 &= - \int \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n} ds; \\ I_1 + I_2 &= 0; 1)\end{aligned}$$

где  $\sigma$  – удельная проводимость, См/м,  $V_e$  – напряжение на электроде относительно нуля, вольт, потенциал электрического поля. Нижние индексы относятся к номеру электрода в паре. Для измерительных электродов модель будет такой же, но ток  $I$  будет равен нулю, соответственно, подинтегральные выражения в (1) тоже будут равны нулю.[1] Выражение (1) – это постановка прямой задачи электроимпедансной томографии – найти распределение потенциала электрического поля при заданном распределении проводимости и расположении электродов, подводящих ток. Несмотря на то, что фундаментальные соотношения, описывающие поведение электромагнитного поля в биологических объектах, в некоторых случаях имеют точное, аналитическое решение, для практической реализации метода ЭИТ необходимы численные методы нахождения решения прямой и обратной задач.

В основе всех численных методов лежит приближение, аппроксимация, пространственно непрерывного распределения проводимости, его дискретным представлением в пределах границ изучаемого объекта. Удельное сопротивление биологического объекта на макроскопическом уровне распределено непрерывно в зависимости от координат, но мы не можем точно описать его каким либо математическим выражением и потому вынуждены прибегнуть к определенному упрощению. Для этого необходимо создать модель исследуемой области. Основная цель создания математической модели состоит в том, чтобы максимально упростить реконструкцию изображения при минимальной потере точности.

Достоинствами метода являются его неинвазивность в отличие от ME, MAE, LPF и ECoG, что дает методу преимущество в применении в BCI, простота и дешевизна в отличие от fMRI и MEG, сигнал содержит информацию о местоположении активности в отличие от EEG. К недостатку метода следует отнести невысокую разрешающую способность ввиду очень малых изменений сопротивления тканей головного мозга. В цикл BCI входят следующие фазы: измерение, обработка, извлечение маркеров, прогнозирование, формирование выходного сигнала. Выходным сигналом может быть управление внешним устройством, набор символов, аудио сигнал и т.д. Технически для создания интерфейса на базе ЭИТ требуется разработка оборудования для снятия сигнала с возможностью подключения к персональному компьютеру и разработка программного обеспечения, производящего фазы обработки, извлечения маркеров, прогнозирования и формирования выходного сигнала.

Предварительные теоретические оценки позволяют сказать, что применение ЭИТ в создании BCI может быть эффективно. На основе теоретических данных была разработана структурная схема.



*рис.1. Структурная схема*

Структурная схема включает в себя:

- 1-Источник тока.
- 2-Электроды
- 3-Биологический объект
- 3-Электроды
- 4-Усилитель
- 5-Выпрямитель
- 6-Фильтр
- 7-Компьютер

Для воздействия на биологический объект требуется источник тока (частота 100кГц), электроды через которые подается ток, а также электроды которые принимают биологические импульсы усиливаются с помощью дифференциального усилителя. Усиленный сигнал поступает на выпрямитель. С выпрямителя сигнал поступает на фильтр. Фильтр нужен чтобы уменьшить уровень шума. Затем сигнал подается на компьютер. Была рассчитана часть принципиальной схемы и протестирована в программе ProteusProfessional для проверки расчетов. Основной проблемой является то что необходимо регистрировать очень

маленькие изменения сопротивления на фоне большого основного (базовое сопротивление около 1кОм, а изменение этого сопротивления может быть меньше 1 ома). Поэтому много факторов могут влиять на результат измерения, в том числе и различные помехи.

### **Список информационных источников**

1. Пеккер Я.С., Бразовский К.С., Усов В.Э., Плотников М.П., Уманский О.С. Электроимпедансная томография. Сибирский государственный университет, 2004г.

2. А.В. Фокин, К.С. Бразовский. Источник тока для электроимпедансной томографии. Томский политехнический университет, 2008г.

3. Griffiths H., Zhang Z. A dualfrequency electrical impedance tomography system // Phys. Med. Biol. – 1989. – V. 34. – No 10. – P. 1465–1476.

4. Корженевский А.В., Корниенко В.Н., Культиасов М.Ю. и др. Электроимпедансный компьютерный томограф для медицинских приложений. Приборы и техника эксперимента 1997; 3: 133.

### **ТЕПЛОВИЗОРЫ В МЕДИЦИНЕ**

*Хабаров А.Н.*

*Юргинский технологический институт*

*Томского политехнического университета, г. Юрга*

*Научный руководитель: Федосеев С.Н., ассистент кафедры  
металлургии черных металлов*

Тепловизор – оптико-электронный прибор, который предназначен для бесконтактного (дистанционного) наблюдения, измерения и регистрации пространственного/пространственно-временного распределения радиационной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора, благодаря формированию временной последовательности термограмм и определения температуры поверхности объекта по известным коэффициентам излучения и параметрам съемки (температура окружающей среды, пропускание атмосферы, дистанция наблюдения и т.п.). Первые тепловизионные системы были созданы в конце 30-х гг. 20 в.

Самую значимую информацию получают с термограмм тела человека, а именно распределение температур по поверхности тела.

Визуализированные температурные поля позволяют судить о состоянии периферийного кровотока и дают информацию о глубинных процессах, которые протекают в организме. Тепловизионные системы в настоящее время находят применение и опробованы в следующих направлениях медицинской диагностики [1] :

1. Неврология.
2. Онкология.
3. Травматология и ортопедия.
4. Ангиология.
5. Реконструктивно-восстановительная хирургия.
6. Общая хирургия , в том числе и у детей.
7. Эндокринология.
8. Артрология .
9. Оториноларингология. [1]

Развитие тепловизионной техники началось еще в начале 60-х гг. прошлого века разработкой и исследованиями приборов по 2 главным областям:

при помощи аппаратов не имеющих механического сканирования на основе двумерных ИК-приемников.

при помощи дискретных приемников излучения вместе с системами сканирования (развертки) изображения;

На данный момент выделяют 4 поколения развития такой техники [2,3].

**0 поколение** которое основывается на применении двумерной (строчной и кадровой) развертки с помощью сканирующей оптико-механической системы и единичных охлаждаемых приемников [4];

**1 поколение** - на применении строчных линеек приемников и упрощенной кадровой развертки [4];

**2 поколение** - на использовании сгруппированных нескольких линеек (с временной задержкой и накоплением) и низкоскоростной системой развертки. Ко второму поколению относят вакуумные приборы с электронным сканированием приемной мишени –пироконы [4].

**Принципиально новое 3 поколение** основано на применении «одновременно смотрящих» - фокально-плоскостных (FPA - Focal Plate Area) и двумерных твердотельных многоэлементных (матричных) приемников излучения (МПИ), то есть без использования оптико-механических систем развертки;.

Первые тепловизионные приборы для медицинской диагностики использовали одноэлементные или линейные матричные приёмники излучения.

Это потребовало разработки сканирующих тепловизоров, основанных на использовании метода разворачивающего преобразования, который предложил советский ученый Ф. Е. Темников.

Одной из главных характеристик таких систем сканирования является время, необходимое для анализа теплового поля. С этой точки зрения оптико-механические системы сканирования условно классифицируют на три вида: низкоскоростные (время анализа поля  $T_k > 20$  с), среднескоростные ( $0,5 \text{ с} < T_k < 20 \text{ с}$ ) и высокоскоростные ( $T_k < 0,5 \text{ с}$ ).

В ГОИ им С.И. Вавилова под научным руководством члена корреспондента РАН М.М. Мирошникова [2] с 60 годов прошлого столетия проводились последовательные разработки всех типов сканирующих тепловизоров. Результатом этих разработок для применения в народном хозяйстве и медицине в промышленность были внедрены разработки тепловизоров «Янтарь-МТ», «Статор-1», Вулкан, Тайга-2, «Рубин-1» («Рубин-МТ»), «Радуга-2», «Радуга-МТ» [5]

На современном этапе широко используются матричные тепловизоры. Из ряда иностранных тепловизионных систем выделяют:

- Новые тепловизоры TH9100MR/WR и TH9100SL которые разработали специально для применения в медицинской области. Уникальная лицензионная матрица пятого поколения совместного производства США/Япония позволяет добиться температурного разрешения в  $0,06^\circ\text{C}$  и  $0,02^\circ\text{C}$ , соответственно, при погрешности измерения в пределах  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

- Тепловизор IR235B, который позволяет высокоэффективно выделять объекты с повышенной температурой из движущейся толпы.

В связи с использованием принципа накопления информационного сигнала матричные тепловизоры при прочих равных условиях выигрывают у сканирующих систем по совокупности таких параметров, как надежность, чувствительность, быстродействие и пространственное разрешение.

С помощью современных тепловизоров можно обнаружить опухоли размерами в несколько миллиметров, чего не позволяет сделать никакой другой метод.

Однако дальнейшее совершенствование медицинских тепловизоров и тепловизоров для оперативного контроля и выявления инфицированных больных в аэропортах, на паромных причалах, железнодорожных станциях обусловлено следующими новыми

тенденциями в развитии тепловизионной техники для военных применений: так, в последние годы

- разработан унифицированный ряд многооконных модулей, предназначенных для использования в ОЭС различного назначения;

- созданы макетные образцы модулей матричных двухоконных устройств (ФПУ) на 3–5 и 8–12 мкм на основе структур с квантовыми ямами (КЯ) и матричных микроболометрических приемников излучения. В наибольшей степени требованиям на разработку многооконных систем удовлетворяют фотоприемники на основе квантово-размерных эффектов (КРЭ), физические структуры которых могут быть получены методами молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), позволяющей формировать на подложке монокристаллические п/п слои с необходимыми свойствами вплоть до моно атомной толщины. В 90-е годы XX века появились тепловизионные приборы на QWIP-матрицах с высокой технологичностью, воспроизводимостью, однородностью параметров по элементам с форматом 256x256, 320x240, 320x256, 640x512 и 1024x1024 элемента. Полученная чувствительность довольно высока: у лучших приборов NETD даже ниже 10 мК, типовых – 20 мК, средних – 35 мК. QWIP-матрицы обладают способностью управления спектральной чувствительностью и возможностью перейти в будущем от гибридных структур фокальных матриц к монолитным.

Расширение области чувствительности этих фокальных фотоприемных матриц, первоначально названных QD оптоэлектронными приборами (наноструктуры с так называемыми квантовыми точками - quantum dots), получившими в последствии название QWIP матрицы, - матрицы ИК-фотоприемников с множественными квантовыми ямами (структура AlGaAs/GaAs), осуществлялось постепенно.

Применение новых тепловизионных систем, чувствительных в области спектра длинноволнового ИК-диапазона (7,5...14 мкм) и ТГц- диапазона (30...300 мкм) может привести к существенному расширению возможностей и увеличению точности постановки медицинской диагностики и выявления инфекционных больных, т.к. тепловое излучение ТГц- диапазона (30...300 мкм) позволяет принимать информацию от областей тела человека, расположенных под кожным покровом.



# **ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ПАРАМЕТРАМ ДВИЖЕНИЯ**

*Хачатурян Д.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Пеккер Я.С., д.т.н., профессор кафедры  
промышленной медицинской электроники*

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время существует проблема создания недорогого, эффективного и удобного в использовании оборудования для оценки функционального состояния человека. Поскольку в управлении движениями принимают участие многие отделы ЦНС, результаты анализа нарушений координации движений могут быть использованы в целях диагностики. Патологические состояния могут проявляться нарушениями устойчивости при стоянии и ходьбе, асимметрией движений правой и левой стороны, нарушениями точности движений, снижением силы и уменьшением скорости. Регистрация пространственных и временных характеристик движений с их количественным представлением дает возможность оценить степень двигательных расстройств, при различных заболеваниях.

## **Цель работы**

Разработка виртуальной среды, интегрированной с безмаркерной системой видеозахвата движений, проведение неврологических тестов в условиях виртуальной реальности, и синхронизация аппаратов, работающих с движением человека, для оценки изменения движения в виртуальном пространстве, с использованием метода расчета интегрального критерия. В данном научном исследовании используются стабиллоплатформа-Стабилан01, видеозахват движения-Kinect и очки виртуальной реальности-Oculus Rift.

## **Методика исследования**

Для получения виртуального пространства создается комната в программе 3D-max. Комната, оформлена в нейтральном черном цвете с яркими оранжевыми линиями и границами перехода пол-стены-потолок.

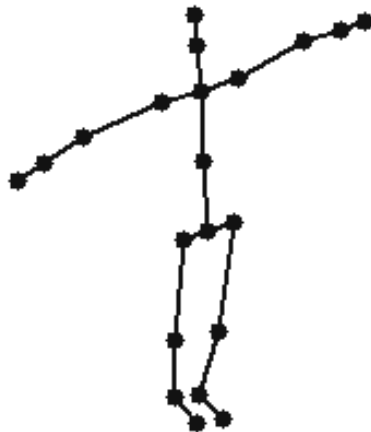


Рис.1. 20-сегментную модель человека.

Испытуемый помимо границ комнаты в виртуальной реальности видит также созданную нами, в программе Unity, 20-сегментную модель человека.

Движение данной модели синхронизированы с движениями испытуемого. Таким образом, в виртуальной реальности, человек может контролировать свои движение и это дает возможность более эффективно воздействовать на вестибулярный аппарат испытуемого.

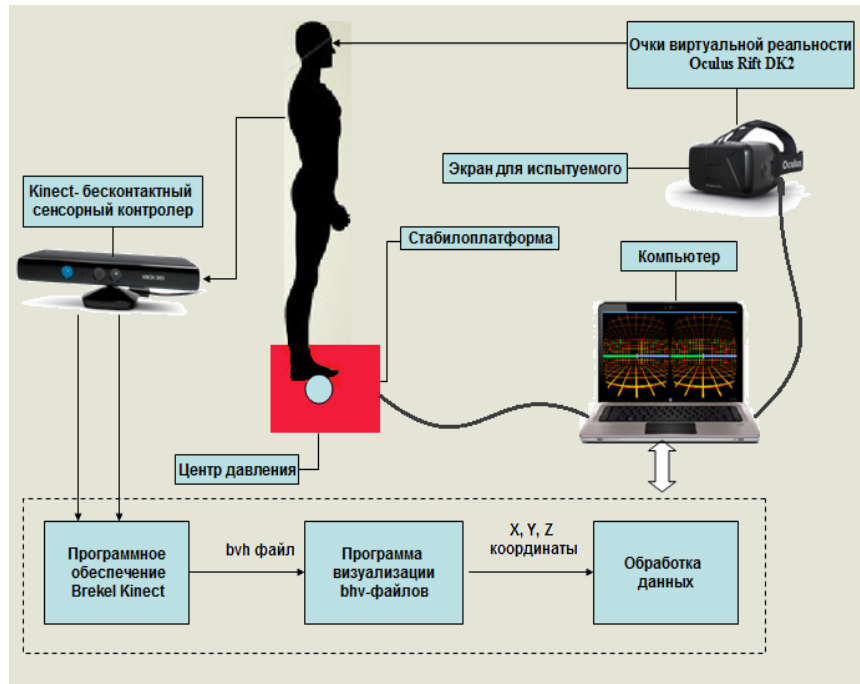
С помощью кольца, в центре которого находится созданная модель (испытуемый), мы можем изменять положение вертикально, горизонтально и вокруг своей оси. Кроме того есть возможность создавать определенный наклон комнаты и этим нарушая естественное равновесие человека.

Все воздействия на модель в виртуальной реальности осуществляются с помощью программы Unity.

Видеозахват последовательности движения испытуемого осуществляется контроллером Kinect .

С помощью контроллера возникает возможность контролировать изменения равновесия.

Стабилан 01, в свою очередь ,оценивает изменение центра тяжести объекта.



Для первичной оценки движения используются значения стабилоплатформы, полученные первичным исследованием без посторонних влияний на центр тяжести объекта. Данные показатели являются точкой отсчета до влияния изменения центра тяжести и равновесия очками Oculus Rift. Достижение синхронизации между аппаратами, даст возможность помочь людям, которые имеют серьезные нарушения равновесия и смещение центра тяжести. Более того, при отсутствии значимых нарушений есть возможность скорректировать движение, для достижения наилучших результатов в скорости, силе и эффективности.

Данная технология позволяет регистрировать трехмерные координаты положения 20 стандартных точек на теле пациента с частотой 15 отсчетов в секунду. Было обследовано 12 добровольцев без нарушения функции равновесия. Исследование каждого испытуемого включало в себя несколько этапов. Этап без очков: открытые глаза, закрытые глаза. Этап в очках виртуальной реальности: отслеживание метки взглядом влево на  $90^\circ$  за 10 с., отслеживание метки взглядом вправо на  $90^\circ$  за 10с.

Отслеживание метки взглядом вверх на 1.75 м. за 10 с., отслеживание метки взглядом вниз на 1.75 м. за 10 с., наклон комнаты вперед на  $30^\circ$ , наклон комнаты назад на  $30^\circ$ , наклон комнаты влево на  $30^\circ$ , наклон комнаты вправо на  $30^\circ$ . Оценка траекторий перемещения точек тела проводилась при помощи метода интегральных оценок .

## Результаты исследования

При выполнении теста Ромберга с открытыми глазами, в обоих случаях наблюдалось воздействие на зрительный анализатор. Только в первом случае это была виртуальная зрительная среда, а во втором – реальная комната. По сравнению с этапом тестирования с закрытыми глазами результаты этих исследований показали меньшее отклонение интегрального критерия. Результаты исследования применения неврологических функциональных проб с закрытыми глазами с использованием виртуальной реальности у группы здоровых людей показали, что колебания в точке, соответствующей центру масс были значительно меньше по сравнению с правой и левой руками.

### **Список информационных источников**

1. Андреев В.А. Видеозахват и анимация движений людей и роботов / В.А. Андреев, И.Е. Гуленко, А.В. Тимофеев Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
2. Гурфинкель В. С., Левик Ю. С. Система внутреннего представления и управление движениями. Вестник РАН, 1995, т. 65, с. 29-37.
3. Human postural responses to motion of real and virtual visual environments under different support base conditions / T. Mergner, G. Schweigart, C. Maurer, A. Blumle // Exp Brain Res. - 2005. – Т. 167, № 3. - С. 535-556.
4. Абдулкеримов Х.Т., Усачев В.И., Григорьев Г.М. Стабилометрическая оценка эффективности лечения постуральных нарушений Бетасерком // Материалы I Международного симпозиума «Клиническая постурология, поза и прикус». – Санкт-Петербург, 2004.
5. Слива С.С. Отечественная компьютерная стабیلοграфия: технический уровень, функциональные возможности и области применения. // Журнал «Медицинская техника». – вып.1, январь-февраль – М., Медицина, 2005г.
6. V.A. Fokin, Statistic data simulation at estimation of biological system state, Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, V.311 (5), 2007, pp. 120-122.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА АККУМУЛЯТОРА

Цао Цзюньмин

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Гребенников В. В., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники

Для стабильной работы аккумулятору необходимо пройти несколько циклов полного заряда-разряда. Для этого применяются как разрядные, так и зарядно-разрядные устройства. Кроме этого, с помощью разрядных устройств можно контролировать уровень заряда, напряжение, остаточную емкость аккумулятора [1]. В данной статье рассматривается моделирование преобразователя разрядного устройства аккумулятора с целью получения выражений для расчета переходных процессов и анализа преобразователя.

Рассмотрим принцип действия преобразователя разрядного устройства, схема которого приведена на рис. 1.

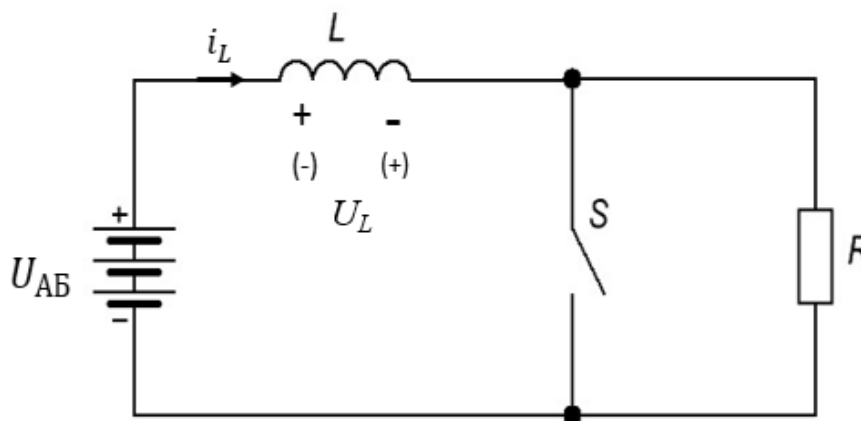


Рис. 1. Схема преобразователя

В момент времени  $t = 0$ , ключ  $S$  замыкается и к дросселю прикладывается напряжение аккумулятора с полярностью, показанной на рисунке без скобок. Ток дросселя  $i_L$  линейно возрастает, при этом дроссель накапливает энергию. Путь протекания тока дросселя в этом случае:  $+U_{AB} \rightarrow L \rightarrow S \rightarrow (-)U_{AB}$ . Данное состояние сохраняется до момента времени  $t_1$  соответствующего моменту, когда ток дросселя достигает максимального условия  $I_{Lmax}$ .

В момент времени  $t_1$  ключ  $S$  размыкается, напряжение на дросселе принимает полярность, указанную в скобках, и энергия, запасенная в

дросселе, передается в нагрузочный резистор  $R$ , при этом ток дросселя спадает. Этот процесс продолжается до тех пор, пока ток не снизится до уровня  $I_{Lmin}$ . Путь протекания тока дросселя на этапе спада:  $+U_{AB} \rightarrow L \rightarrow R \rightarrow (-)U_{AB}$ .

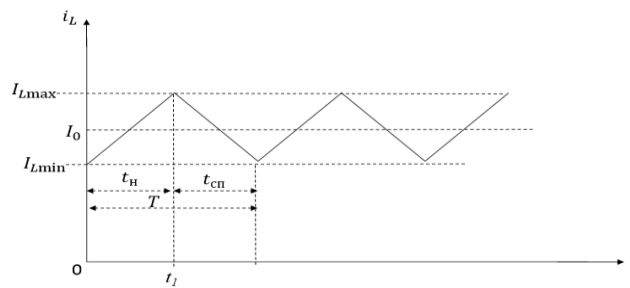


Рис. 2. Диаграмма тока дросселя

Для расчета временных параметров переходного процесса в преобразователе в установившемся режиме, получим соответствующие приближенные аналитические выражения. При выводе расчётных соотношений воспользуемся следующими допущениями и обозначениями:  $U_{AB}$  – напряжение аккумуляторной батареи; ключ  $S$  и аккумуляторная батарея (АБ) – идеальные; активные потери в элементах отсутствуют; дроссель  $L$  – линейный элемент;  $\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin}$  – заданный размах тока дросселя;  $K_{пл} = \Delta I_L / I_0$  – коэффициент пульсаций тока дросселя и нагрузки;  $I_0$  – значение постоянного разрядного тока;  $U^* = I_0 \cdot R / U_{AB}$  – относительное напряжение нагрузки.

Как известно, напряжение и ток дросселя связаны между собой соотношением

$$U_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}. \quad (1)$$

Из которого следует, что если напряжение, приложенное к дросселю постоянно, то ток дросселя меняется по линейному закону:

$$i_L(t) = I_L(0) + \frac{U_L}{L} \cdot t, \quad (2)$$

где  $I_L(0)$  – независимое начальное условие для переходного процесса.

$$I_{Lн}(0) = -\frac{\Delta I_L}{2} + I_0, \quad (3)$$

$$I_{Lсп}(0) = \frac{U_{AB}}{R}. \quad (4)$$

Используя выражения (2)–(4), после преобразований получаем:

– на этапе нарастания тока дросселя:

$$i_{Lн}(t) = I_{Lн}(0) + \frac{U_{Lнi}}{L} \cdot t = -\frac{\Delta I_L}{2} + I_0 + \frac{U_{AB}}{L} \cdot t_н; \quad (5)$$

– на этапе спада тока дросселя:

$$i_{L\text{сп}}(t) = \frac{U_{\text{АБ}}}{R} + \left( I_{L\text{max}} - \frac{U_{\text{АБ}}}{R} \right) \cdot e^{-t_{\text{сп}}/\tau}. \quad (6)$$

Индексы «н» и «с» в используемых обозначениях указывают на этапы, на которых рассматривается параметр: нарастания и спада, соответственно.

Используя формулы (5) и (6), выразим временные параметры переходных процессов.

Период работы ключа определяется:

$$T = t_{\text{н}} + t_{\text{сп}}.$$

Выразив из (5) и (6) время нарастания и время спада, с учетом последнего выражения получаем формулу для расчета периода переключения ключа

$$T = \frac{\Delta I_L \cdot L}{U_{\text{АБ}}} + \tau \cdot \ln \frac{\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}{-\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}. \quad (7)$$

Представим временные параметры в безразмерном виде:

– относительное время нарастания тока:

$$t_{\text{н}}^* = \frac{t_{\text{н}}}{T} = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_{\text{ПЛ}} \cdot U^*} \cdot \ln \frac{U^* \cdot (K_{\text{ПЛ}} + 2) - 2}{U^* \cdot (-K_{\text{ПЛ}} + 2) - 2}}; \quad (8)$$

– относительное время спада тока:

$$t_{\text{сп}}^* = \frac{t_{\text{сп}}}{T} = \frac{1}{1 + \frac{K_{\text{ПЛ}} \cdot U^*}{\ln \frac{U^* \cdot (K_{\text{ПЛ}} + 2) - 2}{U^* \cdot (-K_{\text{ПЛ}} + 2) - 2}}}. \quad (9)$$

Частота переключения ключа:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{\Delta I_L \cdot L}{U_{\text{АБ}}} + \tau \cdot \ln \frac{\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}{-\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}}. \quad (10)$$

Для оценки достоверности полученных приближенных выражений в пакете OrCAD разработана схемотехническая модель исследуемого преобразователя, изображенная рис. 5.

Результаты математического и схемотехнического моделирования сведены в таблице 1. Погрешность расчетов, приведенная в таблицах, рассчитывалась по формуле:

$$\delta X = \frac{|X_{\text{ММ}} - X_{\text{СМ}}|}{X_{\text{СМ}}} \cdot 100\%,$$

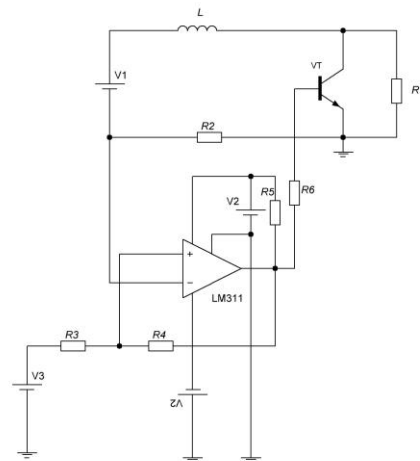


Рис.3. Схема преобразователя для моделирования в пакете OrCAD.  $R2$  – шунт;  $V1$  – источник, имитирующий аккумуляторную батарею; на LM311 организован двухпороговый компаратор;  $VT$  – транзистор, используемый в качестве ключа.

где  $X_{\text{мм}}$ - значение параметра, полученного при математическом моделировании (расчет);  $X_{\text{см}}$  - значение параметра, полученного при схемотехническом моделировании;

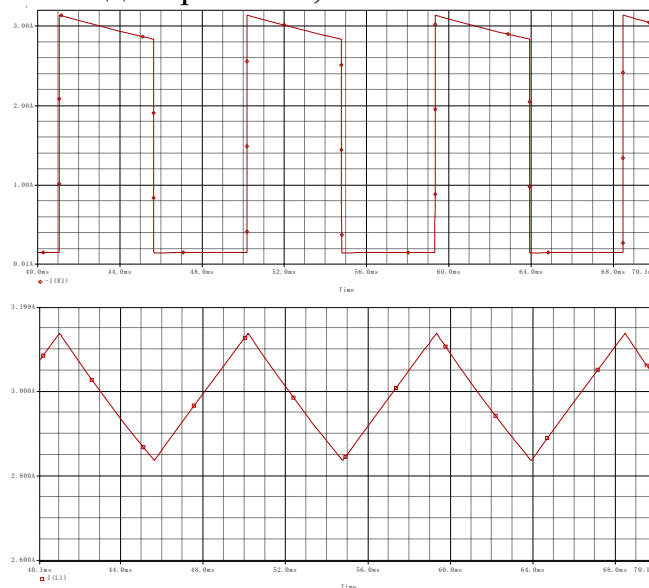


Рис. 4. Диаграммы тока на резисторе  $R1$ , дросселе  $L$ . Параметры элементов:  $L = 150 \text{ mH}$ ;  $R1 = 7 \text{ Ом}$ ;  $R2 = 1 \text{ Ом}$ ;  $R3 = 50 \text{ Ом}$ ;  $R4 = 2 \text{ кОм}$ ;  $R5 = 500 \text{ Ом}$ ;  $R6 = 1 \text{ кОм}$ ;  $V1 = 14 \text{ В}$ ;  $V2 = 15 \text{ В}$ ;  $V3 = 2.9 \text{ В}$

Таблица 1.

$U^*$	Математическое	Схемотехническое	Погрешность, %
-------	----------------	------------------	----------------



	моделирование			моделирование					
	$t_n^*$	$t_{сп}^*$	$f, \text{кГц}$	$t_n^*$	$t_{сп}^*$	$f, \text{кГц}$	$\delta t_n^*$	$\delta t_{сп}^*$	$\delta f$
2	0.5	0.5	3.58	0.55	0.47	3,56	9.3	6.2	0,5
4	0.75	0.25	3.06	0.82	0.24	3,14	8.3	5.8	2,6
8	0.88	0.13	2.34	0.92	0.12	2,43	4.9	9.1	3,8

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что результаты математического и схемотехнического моделирования хорошо согласуются между собой практически по всем параметрам (погрешность расчетов не превышает 10%). Полученные приближенные выражения позволяют производить расчет элементов схемы преобразователя разрядного устройства.

### Список информационных источников

1. Для чего применяется разрядное устройство – Режим доступа: <http://www.4akb.ru/stati/dlya-chego-primenyaetsya-razryadnoe-ustroystvo/>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА

*Царёва Т.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Огородников Д.Н., к.т.н., доцент кафедры промышленной и медицинской электроники*

На данный момент основная часть аппаратуры питается от сети переменного тока. Но могут возникать ситуации, когда отсутствует возможность подключения к промышленной сети. В таких случаях появляется необходимость использовать автономные источники питания и преобразователи напряжения. Для получения выходного напряжения с амплитудой больше, чем входное используются трансформаторные и резонансные инверторы [2]. Схемы с трансформаторами, работающие на частоте выходного напряжения, имеют большие массогабаритные размеры, поэтому удобно использовать схемы резонансного инвертора. Недостатком нерегулируемого резонансного инвертора является сильная зависимость величины выходного напряжения от добротности колебательного контура.

В статье предлагаются схемные решения стабилизации выходного напряжения [3]. Значение выходного напряжения составляет 200В с частотой 400 Гц, номинальная мощность 500 Вт. Значение входного напряжения 54 В. Инвертор предназначен для работы в источниках питания авиационной техники и наземного оборудования. На рис.1 представлена схема автономного однофазного резонансного инвертора, реализованная в среде OrCAD 16.6.

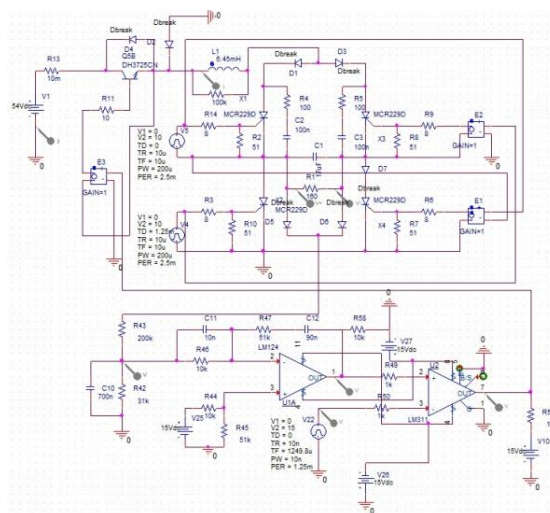


Рис.1 Схема автономного однофазного резонансного инвертора

Модель состоит из двух частей: мостовой схемы резонансного инвертора с ключом ввода энергии и системы управления. Ключевыми элементами задания выходной частоты инвертора являются тиристоры X1-X4, которые работают от импульсных источников питания. Транзистор Q1 исполняет роль ключа ввода энергии. Элементы L1 и C1 представляют собой резонансный контур, настроенный на частоту резонанса 480 Гц. Частота резонанса выбирается на 20% больше частоты управления, что обусловлено временем восстановления тиристоров [1]. Система управления состоит из ПИД-регулятора на ОУ и компаратор. Добротность данной схемы составляет 4.11. На рис.2 и 3, соответственно, представлены временные диаграммы выходного напряжения и потребляемого тока при номинальной нагрузке и нагрузке в два раза меньшей.

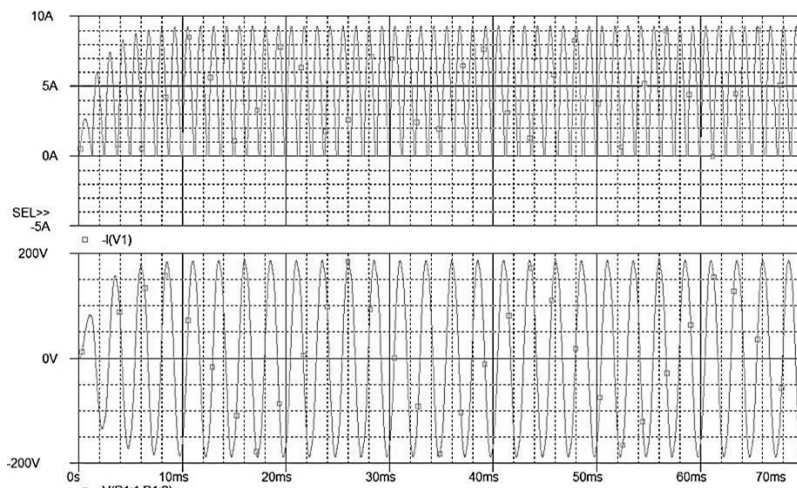


Рис.2 Диаграммы тока и напряжения при номинальной нагрузке

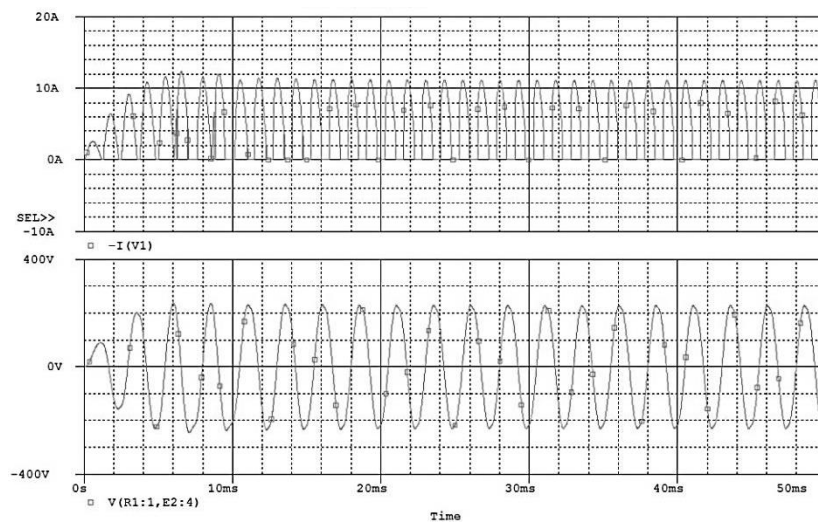


Рис.3 Диаграммы тока и напряжения при нагрузке в 2 раза меньше номинальной

Исходя из диаграмм видно, что, несмотря на отклонение нагрузки от номинальной, выходное напряжение продолжает оставаться стабильным. Это обусловлено меняющейся длительностью потребления тока от источника. Коэффициент гармоник выходного синусоидального напряжения составил 4,3%. Недостатком данной схемы является большой скачок потребляемого тока в момент замыкания ключа, следовательно, высокий коэффициент формы потребляемого тока. В реальной схеме это приведет к увеличению массы и габаритов входного помехоподавляющего фильтра. Для его оптимизации целесообразно потреблять ток по нескольким параллельным фазам.

На рис. 4 представлена модель автономного двухфазного резонансного инвертора.

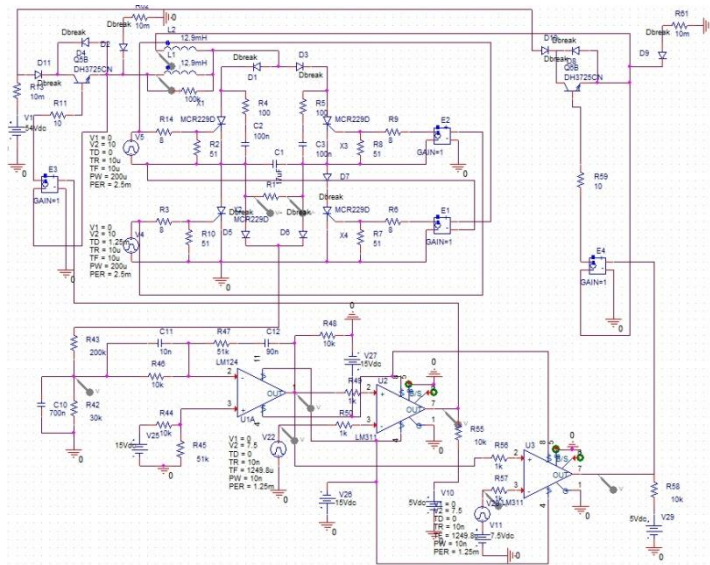


Рис.4 Схема автономного двухфазного резонансного инвертора

Работу данной схемы отображают диаграммы на рис.5 и 6.

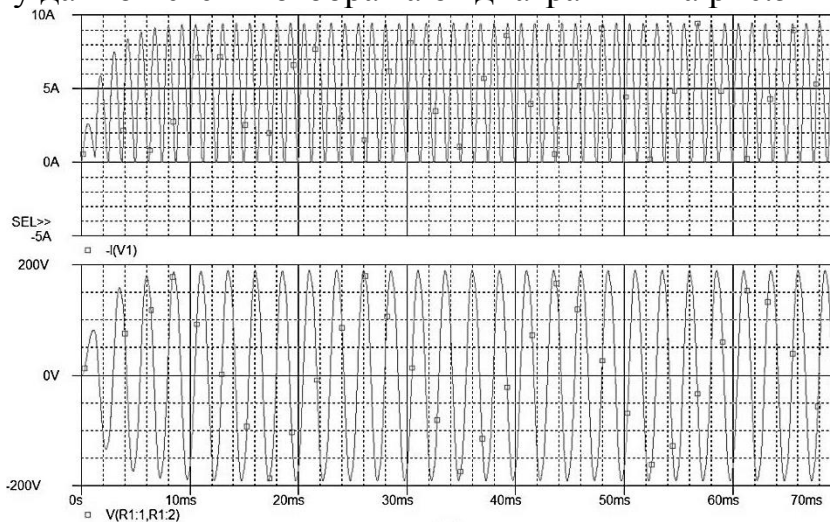


Рис.5 Диаграммы тока и напряжения при номинальной нагрузке

Потребления тока от источника в схеме идет по двум параллельно подключенным фазам. Такой способ способствует потреблению тока меньшей амплитудой и большей длительностью, благодаря чему уменьшается коэффициент формы тока и массогабаритные параметры входного фильтра. Коэффициент гармоник равен 4,2%.

Исследования модели схемы двухфазного резонансного инвертора показали, что система управления обеспечивает стабилизацию выходного напряжения в широком диапазоне изменения нагрузки. Коэффициент гармоник выходного напряжения при этом не превысил 5%.

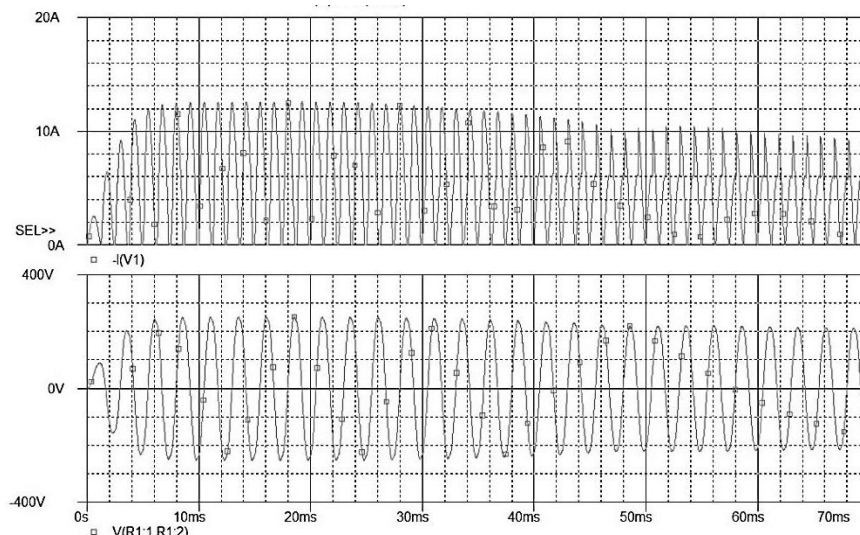


Рис.6 Диаграммы тока и напряжения при нагрузке в 2 раза меньше номинальной

### Список информационных источников

1. Горбачев Г. Н., Чаплыгин Е. Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Под ред. В. А. Лабунцова. — М.: Энергоатомиздат, 1988, — 320 с.

2. Донской А.В., Кулик В.Д. Теория и схемы тиристорных инверторов повышенной частоты с широтным регулированием напряжения. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. – 160 с.

3. Огородников Д.Н., Ярославцев Е.В. Формирователь синусоидального напряжения на основе параллельного резонансного инвертора с многоканальным входным звеном // X Юбилейная международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных “Современные техника и технологии”, посвященная 400-летию г. Томска, 29 марта – 2 апреля 2004 г. Труды. В 2-х т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2004. – Т. 1. – С. 110-112.

## АНТРОПОМОРФНАЯ РОБОКИСТЬ

*Шадрин Д.В., Арышева Г.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Арышева Г.В., к.т.н., старший преподаватель кафедры промышленной и медицинской электроники*

Механические манипуляторы давно закрепились в разных сферах науки и техники. В том числе и в сфере неразрушающего контроля. Например, они используются для равномерного перемещения детектирующего оборудования над поверхностью проверяемого объекта. Нашли они применение и в областях опасных для здоровья и жизни человека. Так, при работе с вредными химикатами или опасными бактериями и микроорганизмами используются герметичные боксы, оснащенные специальными перчатками, либо мехатронными системами, для проведения манипуляций с материалами. В таких системах обычно применяются механические захваты, которые могут иметь как клешнеобразный, так и более сложный вид, в том числе могут повторять форму и движения настоящей человеческой кисти. Постройка подобного манипулятора, по внешнему виду и функционалу соответствующего реальной человеческой кисти (роборуки), и является целью данной работы.

Одной из главных проблем при конструировании такого типа манипулятора является метод приведения механизма в движение. Наиболее популярной схемой механики манипулятора является система, разделённая на две части: первая часть – сами пальцы с механизмом передачи движения; вторая часть – это приводы, приводящие в движение всю конструкцию. И именно от второй части будут зависеть такие параметры манипулятора как скорость перемещения пальцев, максимальная нагрузка, его вес и габариты.

Для применения в подобных устройствах наиболее приемлемыми являются следующие виды приводов [1, 2, 3]:

1) Пневматический привод – основан на использовании пневматической, или воздушной, мышцы. Она является пневматическим устройством, способным линейно сокращаться при подаче сжатого воздуха в систему. Она имеет небольшой вес, обладает достаточной гибкостью и проста в применении.

2) Гидравлический привод – основан на использовании гидравлических цилиндров. Система с таким гидроприводом позволяет манипулировать достаточно большими и тяжёлыми объектами.



3) Червячная передача – преобразует вращательное движение электродвигателя в поступательное.

4) Сервопривод – устройство, используемое в моделизме для управления подвижными частями моделей, такими, как сочленения конечностей роботов, или поворотом колес автомоделей.

Анализируя параметры приводов (энергопотребление, скорость перемещения, сложность управления, шумность и др.) было принято решение использовать сервоприводы как наиболее оптимальный вариант [4].

Следующая важная часть проекта – электроника, подразделяемая на группы: датчики и управляющий микроконтроллер [5]. Для того, чтобы микроконтроллер знал, на какой угол нужно повернуть сервоприводы, ему необходимо знать, какое положение имеют пальцы реальной руки. Для этого на руку человека надевается перчатка с датчиками, определяющими, на какой угол согнуты пальцы. При данной специфике устройства могут быть использованы два типа датчиков: тензорезисторы и интегральные акселерометры-гироскопы.

Интегральные акселерометры-гироскопы (МЭМС акселерометры-гироскопы) – датчики, которые представляют собой специальные микросхемы, внутри которых содержится полноценная микроэлектромеханическая система. Основная проблема таких датчиков в том, что с течением времени накапливается погрешность измерения и координаты положения пальцев перестанут соответствовать реальности. Чтобы этого избежать, можно использовать другой тип датчиков – тензорезисторы. Эти устройства меняют своё сопротивление в зависимости от их деформации. С их помощью можно измерять деформации элементов, на которых они закреплены (в данном случае – пальцы человека).

Для первого прототипа были выбраны самодельные тензорезисторы, как наиболее дешёвый и простой вариант.

Таким образом, для вычислений перемещения элементов роборуки необходимо обрабатывать данные от 5 тензорезисторов в реальном времени. Поэтому стоит выбирать контроллер с хорошим соотношением цена-производительность. К таковым можно отнести микроконтроллер Atmega8. Он достаточно производителен, имеет большое количество портов ввода-вывода, 6-канальный АЦП

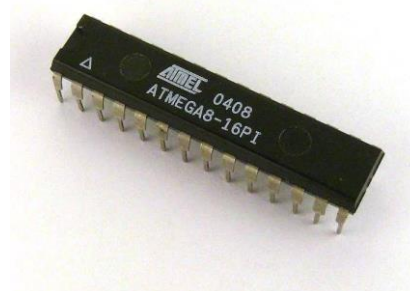
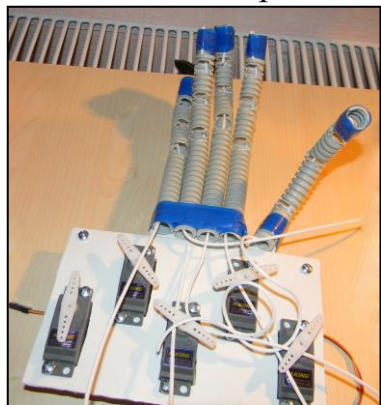


Рис.1. Внешний вид Atmega 8

(для DIP-корпуса), несколько таймеров-счётчиков, среди которых один 16-битный (Рис. 1).

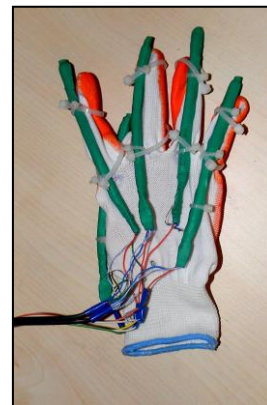
Вся механика также делится на две части: блок сервоприводов и "пальцы". Блок сервоприводов выполнен из двух пластиковых пластин толщиной 1,5 мм, в которых вырезаны отверстия для сервоприводов [6]. Приводы закреплены с помощью винтов и гаек М4. В специальных местах ввинчены дополнительные винты, предотвращающие перекручивание нитей, которые будут передавать движение «пальцам». Сами пальцы сделаны из гофрированного шланга. В каждом пальце в местах сгиба вырезаны выемки для лучшего сгибания. Сквозь весь палец проходит нейлоновая нить, которая закреплена изолирующей лентой на конце (аналог верхней фаланги). Сами пальцы установлены на пластиковой пластине, расположенной на блоке сервоприводов. Нить от каждого пальца идёт к своему собственному сервоприводу и закрепляется на насадке, насаженной на вал. Таким образом, когда вал сервопривода начинает вращаться, он натягивает нейлоновую нить, продетую сквозь пальцы. Длина нити внутри пальца сокращается и под действием силы натяжения ему приходится сгибаться на определённую величину, пропорциональную углу поворота вала сервопривода. Весь механизм в сборе показан на Рис. 2.



*Рис. 2. Механизм в сборе*



*Рис. 3. Самодельный тензодатчик*



*Рис. 4. Перчатка с датчиками*

Другая часть устройства – перчатка с датчиками. За основу взята обычная прорезиненная хлопчатобумажная перчатка. Датчики имеют самодельную конструкцию. В силиконовую трубку длиной 10-12 см вставляются с разных концов свето- и фотодиоды и закрепляются клеем или маленькими хомутами. Далее вся конструкция помещается в термоусадочную трубку и нагревается. После уменьшения диаметра термоусадочной трубки датчик готов, остаётся лишь припаять к нему провода. Внешний вид, самостоятельно изготовленного тензодатчика, показан на Рис. 3. Для установки датчиков на пальцы использовались



нейлоновые хомуты для непосредственного крепления датчиков к перчатке и создания кольцевых захватов для пальцев. Этот захват позволяет увеличить амплитуду сгиба датчика, улучшая работу всей системы.

После закрепления датчиков на перчатке их выводы были собраны в соответствующие шины: сигнальную шину и шину питания. Соответственно, контакты шины питания были присоединены непосредственно к блоку питания, а выводы сигнальной шины – к шлейфу, который оканчивался штыревой вилкой PLS. Эта вилка подключалась к контактам беспаячной макетной платы, на которой установлен управляющий микроконтроллер. Перчатка с установленными датчиками (первый изготовленный самостоятельно прототип антропоморфной робокисти) изображена на Рис. 4.

Как было упомянуто ранее, возможными сферами использования данного устройства являются работа с опасными материалами бактериологической, химической или ядерной природы. Однако в разных вариациях оно может применяться также на космических аппаратах, в экзоскелетах и антропоморфных роботах.

Необходимо отметить, что основной сложностью при сборке роборуки составляли самостоятельно изготовленные датчики изгиба, а также линейность и надёжность выходных показаний. Таким образом, улучшение получаемых параметров является следующей задачей данного исследования.

### **Список информационных источников**

1. Воздушные мышцы [Электронный ресурс]:/ Wikipedia.org. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Воздушные\\_мышцы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Воздушные_мышцы), свободный.
2. Гидравлический привод [Электронный ресурс]:/ Wikipedia.org. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Гидравлический\\_привод](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидравлический_привод), свободный.
3. Сервомашинка [Электронный ресурс]:/ Wikipedia.org. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Сервомашинка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервомашинка), свободный.
4. Шадрин, Д.В., Арышева, Г.В. Роботизированная рука с дистанционным управлением / Д.В. Шадрин, Г.В. Арышева // Инженерия для освоения космоса: сб. науч. тр. / ТПУ. – Томск, 2016. – С. 278-281.
5. Лебедев, М. Б. CodeVisionAVR: пособие для начинающих/ М. Б. Лебедев – Москва: Додэка-XXI, 2008. – 592 с.

6. Рука робота для анимотроники [Электронный ресурс]:/Myrobot.ru. – Режим доступа: [http://www.myrobot.ru/articles/sol\\_ani\\_arm.php](http://www.myrobot.ru/articles/sol_ani_arm.php), свободный.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА АККУМУЛЯТОРА

Цао Цзюньмин

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Гребенников В. В., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники

Для стабильной работы аккумулятора необходимо пройти несколько циклов полного заряда-разряда. Для этого применяются как разрядные, так и зарядно-разрядные устройства. Кроме этого, с помощью разрядных устройств можно контролировать уровень заряда, напряжение, остаточную емкость аккумулятора [1]. В данной статье рассматривается моделирование преобразователя разрядного устройства аккумулятора с целью получения выражений для расчета переходных процессов и анализа преобразователя.

Рассмотрим принцип действия преобразователя разрядного устройства, схема которого приведена на рис. 1.

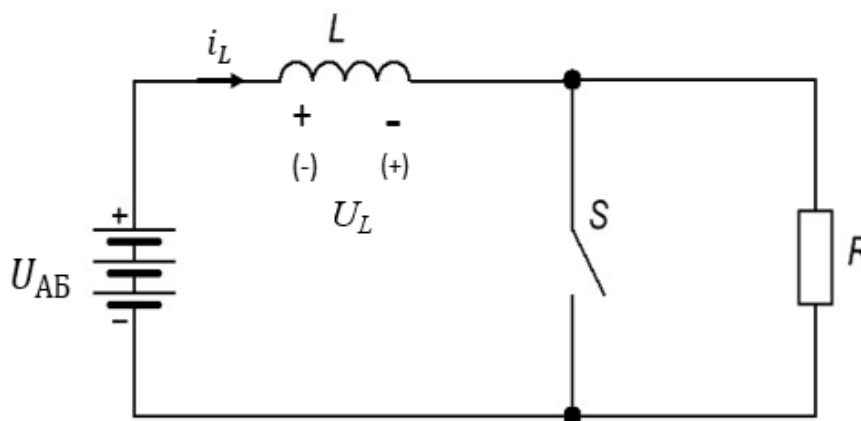


Рис. 1. Схема преобразователя

В момент времени  $t = 0$ , ключ  $S$  замыкается и к дросселю прикладывается напряжение аккумулятора с полярностью, показанной на рисунке без скобок. Ток дросселя  $i_L$  линейно возрастает, при этом дроссель накапливает энергию. Путь протекания тока дросселя в этом случае:  $+U_{AB} \rightarrow L \rightarrow S \rightarrow (-)U_{AB}$ . Данное состояние сохраняется до

момента времени  $t_1$  соответствующего моменту, когда ток дросселя достигает максимального условия  $I_{L\max}$ .

В момент времени  $t_1$  ключ  $S$  размыкается, напряжение на дросселе принимает полярность, указанную в скобках, и энергия, запасенная в дросселе, передается в нагрузочный резистор  $R$ , при этом ток дросселя спадает. Этот процесс продолжается до тех пор, пока ток не снизится до уровня  $I_{L\min}$ . Путь протекания тока дросселя на этапе спада:  $+U_{AB} \rightarrow L \rightarrow R \rightarrow (-)U_{AB}$ .

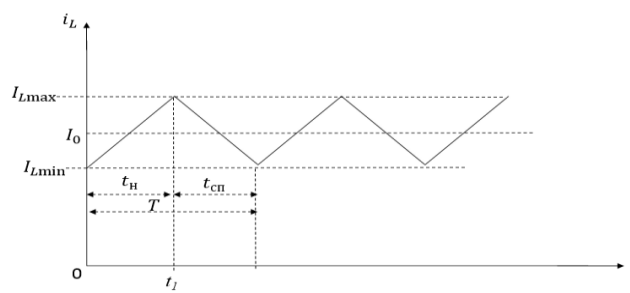


Рис. 2. Диаграмма тока дросселя

Для расчета временных параметров переходного процесса в преобразователе в установившемся режиме, получим соответствующие приближенные аналитические выражения. При выводе расчётных соотношений воспользуемся следующими допущениями и обозначениями:  $U_{AB}$  – напряжение аккумуляторной батареи; ключ  $S$  и аккумуляторная батарея (АБ) – идеальные; активные потери в элементах отсутствуют; дроссель  $L$  – линейный элемент;  $\Delta I_L = I_{L\max} - I_{L\min}$  – заданный размах тока дросселя;  $K_{пл} = \Delta I_L / I_0$  – коэффициент пульсаций тока дросселя и нагрузки;  $I_0$  – значение постоянного разрядного тока;  $U^* = I_0 \cdot R / U_{AB}$  – относительное напряжение нагрузки.

Как известно, напряжение и ток дросселя связаны между собой соотношением

$$U_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}. \quad (1)$$

Из которого следует, что если напряжение, приложенное к дросселю постоянно, то ток дросселя меняется по линейному закону:

$$i_L(t) = I_L(0) + \frac{U_L}{L} \cdot t, \quad (2)$$

где  $I_L(0)$  – независимое начальное условие для переходного процесса.

$$I_{Lн}(0) = -\frac{\Delta I_L}{2} + I_0, \quad (3)$$

$$I_{Lсп}(0) = \frac{U_{AB}}{R}. \quad (4)$$

Используя выражения (2)–(4), после преобразований получаем:

– на этапе нарастания тока дросселя:

$$i_{Lн}(t) = I_{Lн}(0) + \frac{U_{Lнi}}{L} \cdot t = -\frac{\Delta I_L}{2} + I_0 + \frac{U_{AB}}{L} \cdot t_n; \quad (5)$$

– на этапе спада тока дросселя:

$$i_{Lсп}(t) = \frac{U_{AB}}{R} + \left( I_{Lmax} - \frac{U_{AB}}{R} \right) \cdot e^{-t_{сп}/\tau}. \quad (6)$$

Индексы «н» и «с» в используемых обозначениях указывают на этапы, на которых рассматривается параметр: нарастания и спада, соответственно.

Используя формулы (5) и (6), выразим временные параметры переходных процессов.

Период работы ключа определяется:

$$T = t_n + t_{сп}.$$

Выразив из (5) и (6) время нарастания и время спада, с учетом последнего выражения получаем формулу для расчета периода переключения ключа

$$T = \frac{\Delta I_L \cdot L}{U_{AB}} + \tau \cdot \ln \frac{\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{AB})}{-\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{AB})}. \quad (7)$$

Представим временные параметры в безразмерном виде:

– относительное время нарастания тока:

$$t_n^* = \frac{t_n}{T} = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_{пл} \cdot U^*} \ln \frac{U^* \cdot (K_{пл} + 2) - 2}{U^* \cdot (-K_{пл} + 2) - 2}}; \quad (8)$$

– относительное время спада тока:

$$t_{сп}^* = \frac{t_{сп}}{T} = \frac{1}{1 + \frac{K_{пл} \cdot U^*}{\ln \frac{U^* \cdot (K_{пл} + 2) - 2}{U^* \cdot (-K_{пл} + 2) - 2}}}. \quad (9)$$

Частота переключения ключа:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{\Delta I_L \cdot L}{U_{AB}} + \tau \cdot \ln \frac{\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{AB})}{-\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{AB})}}. \quad (10)$$

Для оценки достоверности полученных приближенных выражений в пакете OrCAD разработана схемотехническая модель исследуемого преобразователя, изображенная рис. 5.

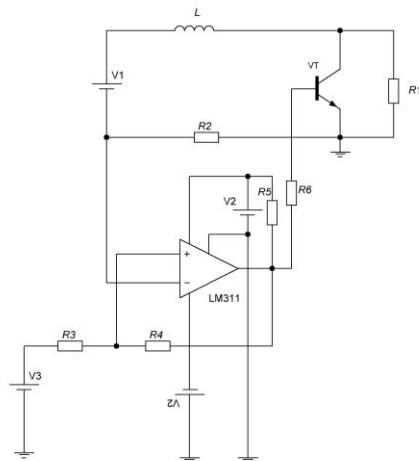


Рис.3. Схема преобразователя для моделирования в пакете OrCAD.  $R2$  – шунт;  $V1$  – источник, имитирующий аккумуляторную батарею; на LM311 организован двухпороговый компаратор; VT – транзистор, используемый в качестве ключа.

Результаты математического и схемотехнического моделирования сведены в таблице 1. Погрешность расчетов, приведенная в таблицах, рассчитывалась по формуле:

$$\delta X = \frac{|X_{\text{мм}} - X_{\text{см}}|}{X_{\text{см}}} \cdot 100\%,$$

где  $X_{\text{мм}}$  – значение параметра, полученного при математическом моделировании (расчет);  $X_{\text{см}}$  – значение параметра, полученного при схемотехническом моделировании.

Таблица 1.

$U^*$	Математическое моделирование			Схемотехническое моделирование			Погрешность, %		
	$t_{\text{н}}^*$	$t_{\text{сп}}^*$	$f$ , кГц	$t_{\text{н}}^*$	$t_{\text{сп}}^*$	$f$ , кГц	$\delta t_{\text{н}}^*$	$\delta t_{\text{сп}}^*$	$\delta f$
2	0.5	0.5	3.58	0.55	0.47	3,56	9.3	6.2	0,5
4	0.75	0.25	3.06	0.82	0.24	3,14	8.3	5.8	2,6
8	0.88	0.13	2.34	0.92	0.12	2,43	4.9	9.1	3,8

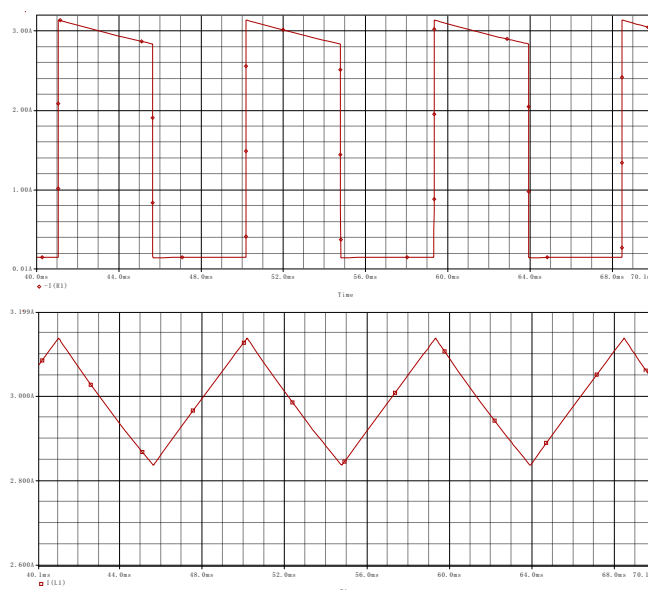


Рис. 4. Диаграммы тока на резисторе  $R1$ , дросселе  $L$ . Параметры элементов:  $L = 150 \text{ мН}$ ;  $R1 = 7 \text{ Ом}$ ;  $R2 = 1 \text{ Ом}$ ;  $R3 = 500 \text{ Ом}$ ;  $R4 = 2 \text{ кОм}$ ;  $R5 = 500 \text{ Ом}$ ;  $R6 = 1 \text{ кОм}$ ;  $V1 = 14 \text{ В}$ ;  $V2 = 15 \text{ В}$ ;  $V3 = 2.9 \text{ В}$

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что результаты математического и схемотехнического моделирования хорошо согласуются между собой практически по всем параметрам (погрешность расчетов не превышает 10%). Полученные приближенные выражения позволяют производить расчет элементов схемы преобразователя разрядного устройства.

### Список информационных источников

1. Для чего применяется разрядное устройство – Режим доступа: <http://www.4akb.ru/stati/dlya-chego-primenyaetsya-razryadnoe-ustroystvo/>

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ДВУХ КОМПАРАТОРОВ

*Юй Пэнчао, Шульгина Ю.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Шульгина Ю.В. ассистент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

Повышение точности акустических измерений – задача, охватывающая большой спектр приборов. В горнодобывающей промышленности с задачей измерения расстояний сталкиваются при необходимости узнать глубину залегания скважин или для определения

объема залегающей полости. В обоих случаях вопрос точности измерений является достаточно острым.

Вследствие волноводного распространения сигнала, многократных отражениях от стенок полости, существенно изменяется форма принятого сигнала. Зачастую погрешность, при детектировании по уровню, составляет несколько периодов несущей частоты, что связано с затягиванием переднего фронта огибающей переднего фронта принятого импульса.

Введение поправочного коэффициента в расчетную формулу позволит существенно повысить точность измерения.

Для математического моделирования погрешностей ультразвуковых измерений представим принятый сигнал в виде монотонно нарастающего сигнала. Функция, описывающая сигнал будет выглядеть следующим образом:

$$u(t) := k \cdot t \cdot \sin(\omega t)$$

На рисунке 1 представлен график линейно нарастающей огибающей.

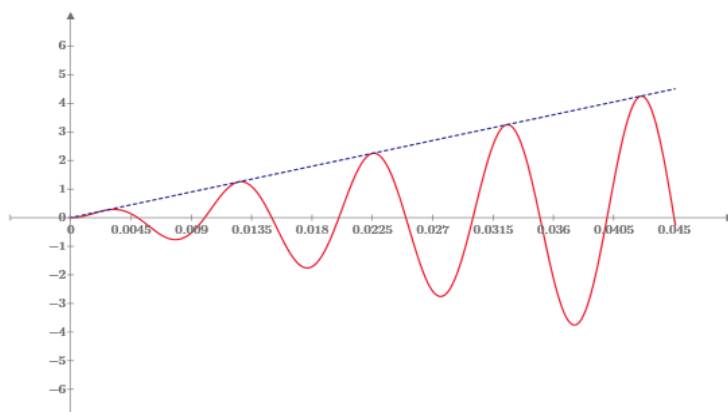


Рис. 1. Акустический сигнал с линейно нарастающей огибающей.

Для более точного определения момента прихода отраженного импульса широкое распространение получил метод двух компараторов. Для проведения измерений выбираются два пороговых уровня напряжения. Фиксируются времена, в которые сигнал достиг выбранных порогов. В результате имеем две точки, через которые численно достраивается прямая линия. Момент пересечения этой прямой с осью времени и считается моментом начала отраженного импульса. Именно относительно этого момента производится расчет расстояния.

Для определения точностных характеристик метода необходимо провести математический анализ для случая разного соотношения порога срабатывания компараторов. Рассмотрим три случая:

- пороговое напряжение первого компаратора совпадает с максимумом первого периода сигнала, но срабатывание происходит во втором периоде;
- пороговое напряжение первого компаратора лежит между максимумами первого и второго периодов сигнала;
- пороговое напряжение первого компаратора равно максимуму второго периода;

Используя встроенные функции программного пакета MathCad определим времена срабатывания компараторов для выбранного сигнала и построим графики погрешности измерений.

Построив все графики погрешности на одной координатной оси, получим рис. 2. Анализируя полученные графики, становится очевидно, что при правильном подборе соотношения пороговых напряжений можно добиться существенного уменьшения погрешности измерений.

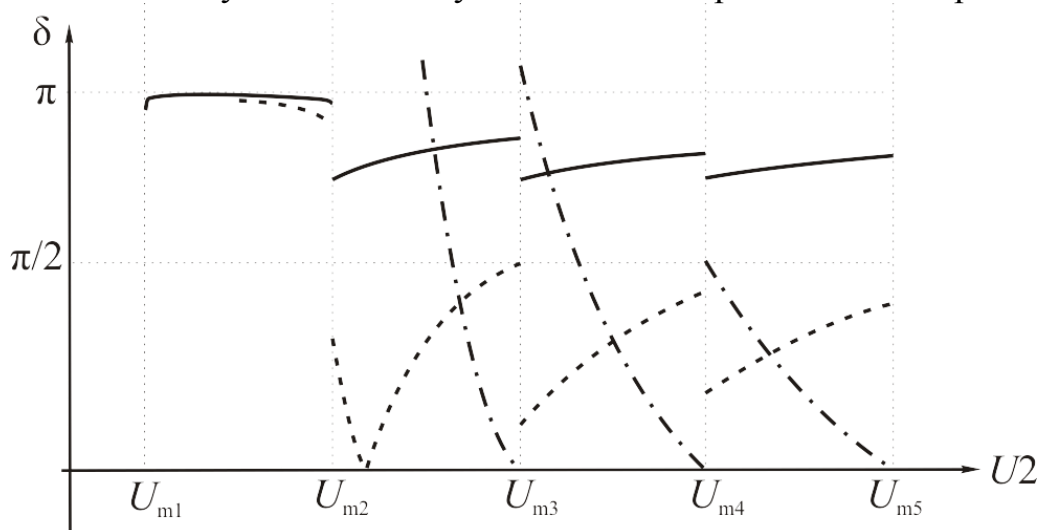


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения в зависимости от пороговых напряжений компараторов.

На рисунке 2 сплошной линией показан график зависимости погрешности от уровня порогового напряжения второго компаратора для случая, когда срабатывание первого компаратора происходит во втором периоде на уровне максимума первого периода. Из графика видно, что при срабатывании компараторов в одном периоде погрешность остается примерно на одном уровне и полностью зависит от номера периода, в который произошло срабатывание. Пунктирная линия характеризует случай, когда срабатывание первого компаратора



происходит во втором периоде, штрихпунктирная линия описывает случай, когда пороговое напряжение первого компаратора совпадает с максимумом второго периода.

Вследствие того, что заранее нельзя просчитать уровень максимумов принятого сигнала, можно выявить следующие положения для выбора уровней пороговых напряжений:

- большая разница между порогами срабатывания, что позволит избежать худшего случая – срабатывание обоих компараторов в одном периоде принятого сигнала.

- введение поправочного коэффициента для каждого измерения, что позволит снизить погрешность измерения и добиться случая, при котором погрешность будет лежать в диапазоне от 0 до  $\pi/2$ .

Определить поправочный коэффициент можно используя формулу усреднения погрешности, что позволит повысить точность акустических измерений.

### **Список использованной литературы**

1. Влияние уровня срабатывания компаратора на точность ультразвуковых измерений при двухчастотном методе зондирования / О. В. Булгакова, Ю. В. Шульгина // Электронные и электромеханические системы и устройства : XIX научно-техническая конференция, Томск, 16-17 апреля 2015 г. тезисы докладов. — Томск: Полнос, 2015. — С. 68-70. — В фонде НТБ ТПУ отсутствует.

2. Повышение точности определения временного положения эхо-импульса [Электронный ресурс] / Ю. В. Шульгина, А. И. Солдатов; науч. рук. А. И. Солдатов // Современная техника и технологии : сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 12-16 апреля 2010 г. в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2010. — Т. 1. — [С. 288-289].

3. Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов [Электронный ресурс] / Ю. В. Шульгина, А. И. Солдатов // Известия Южного федерального университета. Технические науки : научно-технический и прикладной журнал. — 2010. — Т. 110, № 9. — [С. 102-106].

### Секция 3: Проблемы космического приборостроения

# ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*Ананьева Е.С.*

*Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Бритова Ю.А., ассистент кафедры точного приборостроения*

*Электромеханические и электротехнические изделия должны сохранять свои параметры в пределах норм, установленных в техническом задании или стандартах, в процессе и после воздействия механических и климатических факторов.*

*Для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции различного назначения предприятия-разработчики проводят вибрационные испытания на воздействие механических факторов посредством современного испытательного оборудования – электродинамических вибростендов.*

На современном рынке испытательного оборудования представлен широкий выбор вибростендов как российского, так и зарубежного производства. Вибростенды бывают электромеханическими и электродинамическими.

Схема, отражающая принцип действия электродинамического вибростенда, представлена на рис 1.



Рис. 1. Схема принципа действия вибростенда

Сигнал, генерируемый системой управления, подается на усилитель. Затем усиленный сигнал передается на актюатор. В актюаторе электрический сигнал преобразуется в механическое перемещение стола вибростенда, обеспечивая необходимую частоту и амплитуду колебаний. Ускорение колебаний преобразуется снова в

электрический сигнал акселерометром и передается на входной канал системы управления в качестве сигнала обратной связи. С помощью данного сигнала минимизируется ошибка регулирования системы: выход системы управления, усилитель, актюатор, акселерометр, вход системы управления [1].

Существуют как одноосевые, так и многоосевые испытательные системы.

Для установки и фиксации изделий (объектов испытания) на столе вибростенда используются различные приспособления, функция которых – передача вибрации от стола вибростенда к изделию.

Приспособления могут быть как универсальными, так и специальными. Универсальное приспособление используется для испытаний изделий различного типа. Специальное приспособление используется для одного конкретного изделия.

Приспособление должно обеспечивать

- возможность закрепления изделия на вибростенде в соответствии с требованиями технических условий (по трем ортогональным осям изделия);

- значение собственной частоты приспособления должно быть больше минимально требуемого значения собственной частоты изделия;

- удобство монтажа, а также возможность контроля электрических параметров изделия (при необходимости).

Приспособление не должно повреждать места посадок и стыковок изделия. Крепление приспособления к столу вибростенда осуществляется при помощи болтов или винтов.

Центр тяжести изделия и приспособления следует размещать на одной оси (продольной) арматуры. В противном случае возможно перегрузка объекта испытаний и повреждение вибростенда.

Конструкция вибростенда обеспечивает передачу толкающего воздействия по данной оси арматуры, поэтому смещение изделия и приспособления от продольной оси вызывает "опрокидывание" арматуры. Опрокидывающий момент воспринимается направляющими арматуры, что, в крайнем случае, может привести к повреждению подшипников направляющих и подвижной катушки. Изделие также подвергается воздействию поперечных нагрузок, которые не предусмотрены режимами испытаний. Если приспособление обладает недостаточной жесткостью, то возможно возникновение резонанса в поперечном направлении, при котором на изделие действует значительная неконтролируемая вибрация [2].

Приспособления могут быть различны в зависимости от конструкций и габаритных размеров испытываемых изделий. В качестве примера на рис.2 представлены приспособления в виде а - плиты; б – уголка; в – основания.

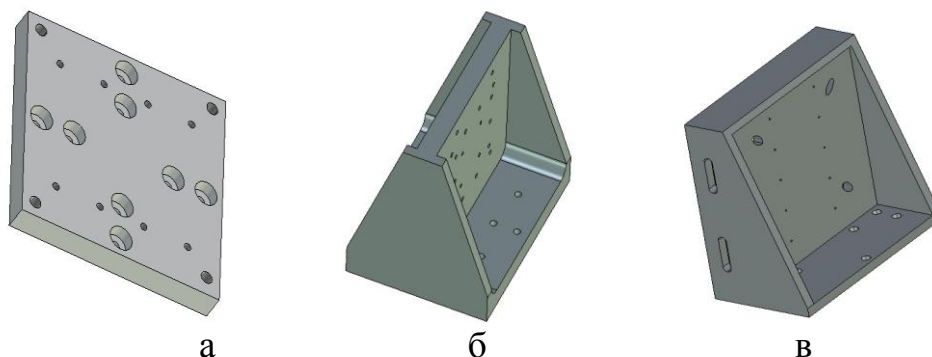


Рис. 2. Конструкции приспособлений

Посредством плиты осуществляется испытание изделия по оси Z, посредством уголка – по осям X и Y, основание позволяет испытывать изделие по всем трем ортогональным осям.

Для выполнения вышеуказанных требований на этапе проектирования приспособлений проводится анализ конструкций посредством современных CAD-систем, например, T-Flex CAD и модуля T-Flex Анализ. T-FLEX CAD предоставляет широкий спектр команд для проведения геометрического анализа 3D-моделей посредством метода конечных элементов. Суть метода конечных элементов заключается в замене исходной 3D-модели на математическую модель, отражающую физическую сущность и свойства исходного изделия.

Для проведения частотного анализа конструкции последовательно выполняются следующие действия [3]:

- создается 3D-модель;
- выбирается оптимальный материал для удовлетворения требований массогабаритных характеристик;
- накладывается конечно-элементная сетка;
- определяется вариант закрепления модели (полное или частичное);
- проводится расчет на собственные частоты и соответствующие им формы мод колебаний.

В системе T-Flex CAD также возможна оценка массоинерционных характеристик моделей.

По результатам проведенных расчетов, возможно, оптимизировать 3D-модель в части массогабаритных характеристик и выбора материала.

Оценив спектр собственных частот колебаний конструкции на стадии проектирования, можно оптимизировать конструкцию с целью достижения условия частотной виброустойчивости.

При анализе конструкций рассматриваемых приспособлений осуществлялся выбор материала, оценивались масса и собственные частоты при различных закреплениях по осям испытания изделия. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

*Таблица 1. Расчет при анализе конструкций приспособлений*

Плита			
параметр материал	чугун	алюминий	сталь
Масса, кг	36.4	13.1	37.9
Собственная частота, Гц по оси Z	767.4	1167	1339.6
Основание			
Масса (кг)	53	19.1	55.1
Собственная частота, Гц по осям X,Y	107.1	290.8	297.9
Собственная частота, Гц по оси Z	330	690.1	707.4
Уголок			
Масса (кг)	164.6	59.2	171.1
Собственная частота, Гц по осям X,Y (Гц)	207.5	354.1	363.1

Анализ полученных результатов позволяет выбрать оптимальное приспособление удовлетворяющее требованиям массогабаритных и жесткостных характеристик.

По представленному алгоритму в рамках научно-исследовательской работы проектируется приспособление для испытаний электротехнического устройства, предназначенного для питания систем космического аппарата.

Научная-исследовательская работа посвящена рассмотрению эксплуатационных факторов, которая действует на электротехнические

изделия ракетно-космической техники в условиях космического пространства. Особое внимание уделено механическим факторам, воздействующим на бортовые системы ракетно-космической техники на этапе жизненного цикла. Рассматриваются методы испытаний электротехнических изделий на механические внешние воздействующие факторы на этапе изготовления.

При проектировании приспособления необходимо руководствоваться рядом требований:

- приспособление должно обеспечивать возможность закрепления изделия на платформе вибростенда в соответствии с требованиями технических условий (по трем ортогональным осям изделия);
- значение собственной частоты колебаний приспособления должно быть больше минимально требуемого значения собственной частоты изделия;
- центры тяжести изделия и приспособления должны размещаться на одной оси (продольной оси вибростенда, оси действия силы).
- удобство монтажа, а также возможность контроля электрических параметров изделия;
- приспособление не должно повреждать места посадок и стыковок изделия;
- крепление приспособления к платформе вибростенда осуществлять при помощи болтов или винтов.

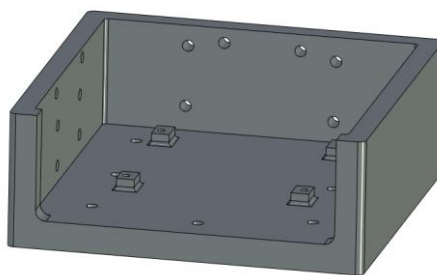


Рис. 3. Конструкция приспособления для преобразователя

На рис.3 представлена конструкция приспособление для преобразователя, позволяющая проводить испытания по трем ортогональным осям. Выполненная по алгоритму на примере рассмотренного выше.

### **Список информационных источников**

1. Маквецов Е.Н., Тартаковский А.М. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры – М.: Радио и связь, 1993.

2. Вибрация в технике. Справочник в 6 томах. – Т.3 Колебания машин, конструкций и их элементов. – М.: Машиностроение, 1980.

3. Все о T-FLEX CAD (<http://www.tflexcad.ru/t-flex-cad/functionality>).

## **КОМБИНИРОВАННАЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

*Бекасова А.Г., Фролов Р.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Дмитриев В.С., к. т. н., профессор  
кафедры точного приборостроения*

Принцип гравитационной стабилизации объекта, вызванный градиентом гравитационного поля Земли, стал известен после выхода в 1780 г. работы Лагранжа о либрациях Луны. В этой работе были определены условия устойчивых колебаний тела при вертикальной ориентации его продольной оси.

Таким образом, стабилизация искусственного спутника Земли относительно местной вертикали может осуществляться путём использования свойств градиента гравитационного поля Земли с одновременным демпфированием либраций космического аппарата без использования активных управляющих технических систем.

В общем виде гравитационные системы ориентации состоят из гравитационной штанги, на конце которой закреплен груз. Форму такого МКА можно приближенно считать гантелеобразной (штанга, на концах которой закреплены КА и груз). Такой КА при орбитальном полете установится осью минимального момента инерции по нормали к центру Земли (рисунок 1). Однако такой способ позволяет стабилизировать этот КА лишь по двум осям – тангажа и крена. По оси рыскания МКА остается свободным, имея возможность самопроизвольного поворота вокруг этой оси на любые углы. Это ограничивает в некоторых случаях выполнение целевых задач КА, например, ориентирование солнечных батарей по нормали к направлению солнечных лучей.



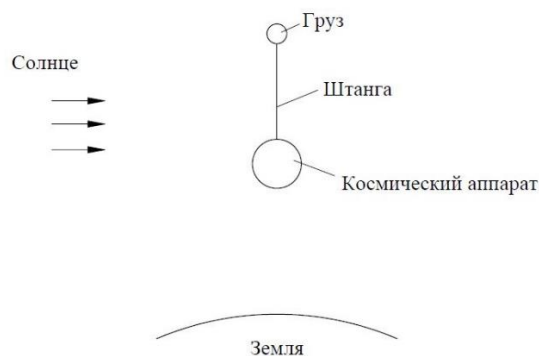


Рисунок 1 - Принцип гравитационной стабилизации.

Основной принципиальный недостаток всех пассивных гравитационных систем ориентации заключается в том, что они по определению являются стабилизирующими системами углового положения КА, а не управляющими.

В настоящей статье рассматривается комбинированная ГСО, где на конце гравитационной штанги МКА в качестве груза закреплен двухстепенный гироскоп (гиродин), кинетический момент которого направлен по нормали к плоскости орбиты, а ось подвеса находится в плоскости орбиты, как указано на рисунке 2. Данное усовершенствование превращает ГСО в управляющую систему по трём осям ориентации: крена, рыскания и тангажа.

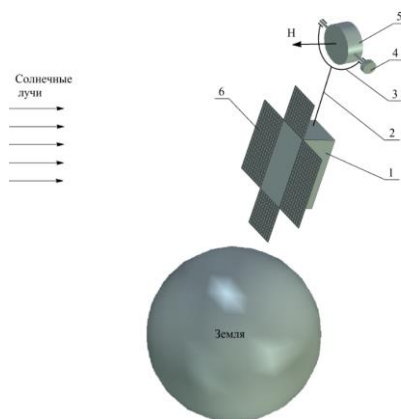


Рисунок 2 - Кинематическая схема механической системы «КА – штанга – гиродин».

К корпусу 1 КА (рисунок 2) крепится разворачивающаяся из транспортного положения в рабочее штанга 2, на конце которой установлен гиродин, состоящий из гиродвигателя 5, рамки 3 и датчика момента 4.

Сам гиродин (рисунок 3) состоит из прикрепленного к штанге 1 корпуса 2, в котором при помощи полуосей 4 крепится гиродвигатель 3, вектор кинетического момента которого в общем случае направлен

перпендикулярно плоскости орбиты. Полуоси 4 имеют возможность вращения в корпусе 2 через шарикоподшипниковые опоры 6. На полуосях подвеса гиродвигателя установлен датчик момента 5.

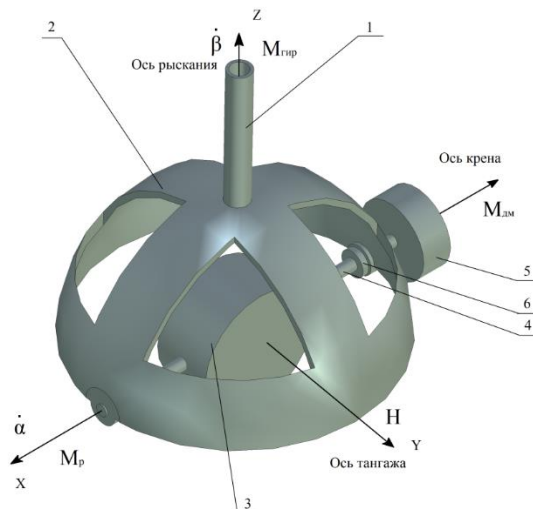


Рисунок 3 - Общий вид гиродина.

При подаче питания на обмотку статора датчика по закону прецессии гироскопа относительно оси гравитационной штанги возникает гироскопический момент  $M_{г}$  и, соответственно, происходит угловое движение механической системы «гиродвигатель – штанга - КА» относительно оси штанги с угловой скоростью  $\dot{\beta}$ .

Наличие угловой скорости  $\dot{\beta}$  относительно оси штанги вызывает появление момента  $M_p$ , равного по величине моменту  $M_{дм}$ , создаваемому датчиком момента, и направленному противоположно, т. е.  $M_{дм} = - M_p$ .

Отключение электропитания от датчика момента по команде с блока управления прекращает механическое воздействие на КА ( $\dot{\beta} = 0$ ), и стабилизация углового положения спутника осуществляется гравитационным моментом, создаваемым штангой, и кинетическим моментом  $N$  гироскопа. Таким образом осуществляется управление угловым положением КА по оси рыскания.

На рисунке 4 показана условно разделенная на четыре квадранта некоторая площадь земной поверхности, содержащая объекты, которые необходимо просканировать с МКА. Они расположены в точках 1 и 2. Аппарат сканирования, находящийся на МКА, с учетом точности гравитационной системы ориентации нацелен на точку 0.

Для нацеливания в точку 1 подключается датчик момента 5, который поворачивает МКА вокруг оси гравитационной штанги таким образом, что вектор кинетического момента  $N$  гиродина из положения

$H_0$  переводится в положение  $H_{I-III}$ . Таким образом, точка 1 оказывается на линии, перпендикулярной вектору кинетического момента, а далее включается управляемый по скорости двигатель-маховик, посредством изменения электромеханического момента которого аппаратура МКА нацеливается на положение, обозначенное точкой 1, либо на другую точку, находящуюся в квадрантах I и III.

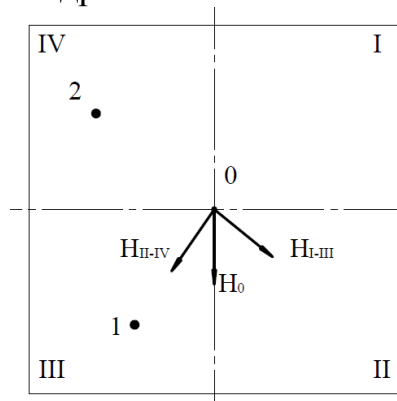


Рисунок 4 – Условно-графическое представление перемещения проекции оси гравитационной штанги по земной поверхности.

Аналогично производится и нацеливание МКА на точку 2 (вектор  $H_0$ , соответственно, переводится в положение  $H_{II-IV}$ ).

Такая гравитационная система ориентации существенно расширяет функциональные возможности гравитационной системы ориентации. Являясь активно-пассивной, она совмещает в себе достоинство пассивной в части минимизации потребления энергии во время пауз в работе целевой аппаратуры, и при этом остается постоянно нацелена на поверхность Земли.

В период штатной работы аппаратуры данная система ориентации имеет возможность программного наведения КА на заданную цель с требуемой точностью. Точность гравитационной системы ориентации составляет  $(5 - 10)^\circ$ , а комбинированная система ориентации в активном режиме в принципе может обеспечить точность до десятков угловых минут.

Ввиду того, что активная фаза штатной работы аппаратуры занимает какую-то часть общего времени эксплуатации КА, имеет место определенная экономия потребления электроэнергии, что является особенно актуальным для малых космических аппаратов.

### Список информационных источников

1. Попов В.И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. - М., «Машиностроение», 1986. - 184 с.

2.Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическими летательными аппаратами. - М., «Машиностроение», 1974. - 342 с.

3.Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н. Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. - Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 208 с.

## **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ DC-DC ДЛЯ ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Берёзкина Ю. А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Мартенюк Д. В., заведующий лабораторией  
101/1 АО «НИИПП»*

Современная аппаратура характеризуется достаточно высокой сложностью, и часто для питания её отдельных узлов требуются различные напряжения. В случае наличия одного источника питания для получения разных уровней необходимо использовать специальные преобразователи (регуляторы). Особенно остро проблема получения различных питающих напряжений стоит в портативной аппаратуре. Если в устройствах, питающихся от сети, можно построить блок питания с необходимыми напряжениями, то в портативных приборах, работающих от автономных источников энергии, требуемые уровни напряжений можно получить только с использованием DC/DC (direct current - direct current/ постоянный ток) преобразователей [1].

В настоящий момент на платформе АО «НИИПП» идет разработка передающего трехканального устройства. В этой статье описаны основные положения по разработке неотъемлемой части этого устройства - платы питания DC-DC. Важнейшим аспектом является выполнение технических требований, предъявленных заказчиком ОКР (опытной конструкторской работы).

1. Соответствие платы масштабам корпуса
2. Входное напряжение:  $12 \pm 0.5$  В
3. Выходное напряжение: 5 В; 4.25 В
4. Высокий КПД
5. Диапазон рабочих температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$
6. Устойчивость к воздействию синусоидальной вибрации частотой 20-30 Гц.

На рисунке 1а показана верхняя и нижняя часть корпуса устройства передающего. Плата питания должна располагаться в

нижней части и иметь соответствующие габариты, показанные на рисунке 1б.

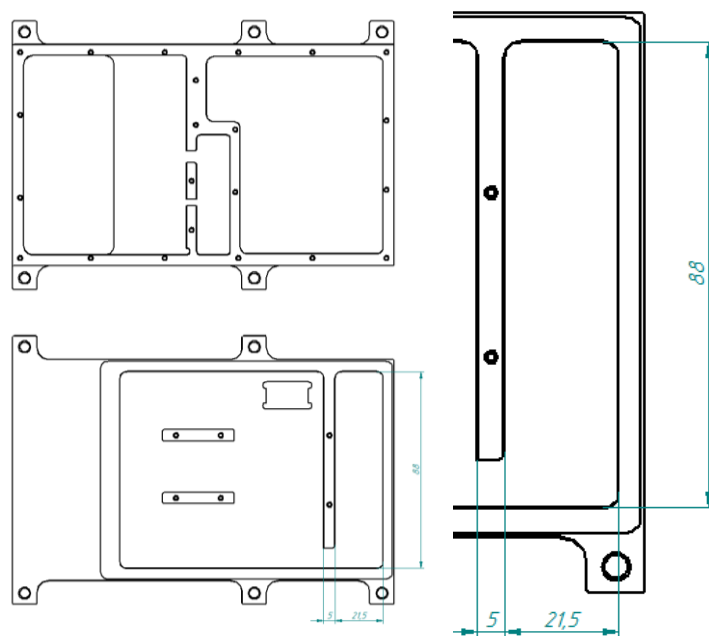


Рисунок 1а

1б

Для преобразования напряжения одного уровня в напряжение другого уровня часто применяют **импульсные преобразователи напряжения** с использованием индуктивных накопителей энергии. Такие преобразователи отличаются высоким КПД, иногда достигающим 95%. Общими для всех этих видов преобразователей являются пять элементов:

1. источник питания,
2. ключевой коммутирующий элемент,
3. индуктивный накопитель энергии (катушка индуктивности, дроссель),
4. блокировочный диод,
5. конденсатор фильтра, включённый параллельно сопротивлению нагрузки.

Понижающий преобразователь (рис. 2) содержит последовательно включенную цепочку из коммутирующего элемента S1, индуктивного накопителя энергии L1, сопротивления нагрузки RН и включенного параллельно ему конденсатора фильтра C1. Блокировочный диод VD1 подключен между точкой соединения ключа S1 с накопителем энергии

L1 и общим проводом. При открытом ключе диод закрыт, энергия от источника питания накапливается в индуктивном накопителе энергии. После того, как ключ S1 будет закрыт (разомкнут), запасенная индуктивным накопителем L1 энергия через диод VD1 передастся в сопротивление нагрузки  $R_H$ , конденсатор C1 сглаживает пульсации напряжения.[1]

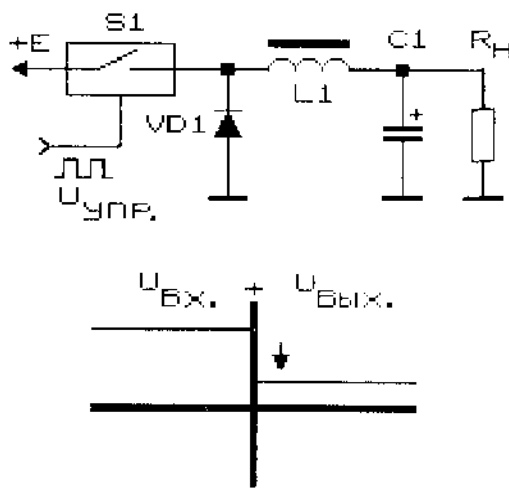


Рисунок 2 - Принцип действия понижающего преобразователя напряжения.

Рассмотрев отечественные и зарубежные комплектующие, основным элементом платы питания выбран импульсный преобразователь напряжения **LMZ22003TZ** фирмы «National Semiconductor». Имеющиеся аналоги не удовлетворяют требованиям по габаритам корпуса, а также требует большого количества вспомогательных электрорадиоизделия (ЭРИ). LMZ22003 представлен в инновационном корпус, что повышает тепловые характеристики и позволяет применять как ручную, так и машинную пайку. LMZ22003 требует для работы только два внешних резистора и три внешних конденсатора.

Основными элементами платы так же являются линейные стабилизаторы напряжения LP3856 и ADP3336. Их выбор основан на том, что комплектующие должны удовлетворять требованиям по значению тока потребления и значению падения напряжения при максимальном токе нагрузки, а так же габаритам корпуса. Вспомогательными элементами для вышеперечисленных микросхем являются конденсаторы и резисторы. Их расчёты приведены в моей магистерской работе.

Принцип работы схемы заключается в следующем. Напряжение питания 12 В поступает на импульсный преобразователь напряжения LMZ22003. На выходе формируется напряжение 6 В, эта величина задаётся делителем напряжения на внешних резисторах. Ток на выходе импульсного преобразователя может достигать 3А. Затем, напряжение



Для ориентации и стабилизации космического аппарата, на его борту требуются исполнительные устройства, создающие управляющие моменты относительно его оси управления. В системах ориентации и стабилизации, у которых длительный срок существования, в качестве исполнительных устройств используются инерционные двигатели-маховики.

В этих системах, управление поворотом аппарата вокруг заданной оси выполняется на основе вращательного движения маховика, установленного по этой оси. В силу реактивного эффекта, к корпусу космического аппарата приложен момент, который стремится вращать космический аппарат в противоположном направлении относительно направления вращения маховика.

Целью данной работы является разработка системы управления двигателем-маховиком, работающим на основе бесконтактного двигателя постоянного тока для осуществления углового движения малого космического аппарата относительно выбранной оси. Особенность данной работы заключается в использовании наличных (на кафедре Точного приборостроения) и покупных электроизделий для создания экспериментального образца.

В работы был применен бесконтактный двигатель постоянного тока флоппи-дисков персональных компьютеров в качестве двигателя-маховика, так как такой синхронный двигатель имеет плоскую инверсную конструкцию, подобную двигателям-маховикам космических аппаратов большой массы.

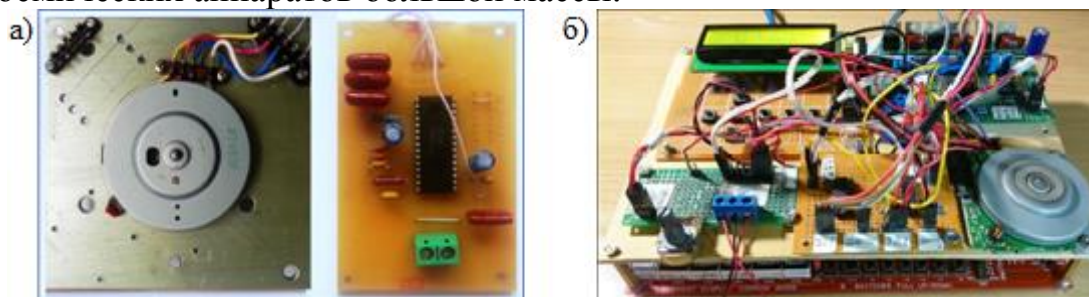


Рис. 1. Двигатель-маховик и плата управления.

Система управления такими двигателями могут быть построена с помощью специализированных микросхем (рис. 1а), либо микроконтроллеров (рис. 1б).



В процессе проверки работоспособности разработанной системы на основе специализированной микросхемы LB11880 были получены некоторые характеристики, графически представленные в рис 2, 3, 4 [1,2].

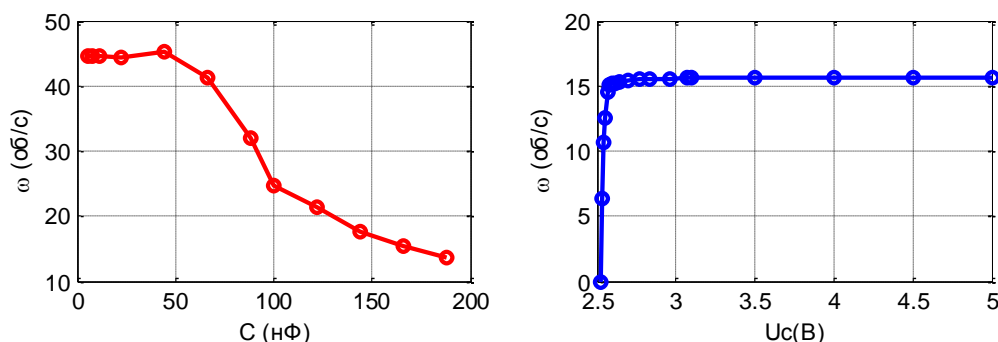


Рис. 2. Зависимости изменения скорости вращения ротора от задающей емкости и подстроечного напряжения.

Анализ полученных двух зависимостей показывает, что вариация задающей емкости в диапазоне 40 - 180 нФ изменяет установившуюся скорость вращения ротора приблизительно в 2,5 раза. Изменение подстроечного напряжения на управляющем электроде микросхемы показывает, что рост установившейся скорости вращения прекращается при напряжении 2,6В.

С помощью цифрового запоминающего осциллографа и разработанной в среде программирования Matlab программы, были получены графики переходных процессов угловой скорости и углового ускорения.

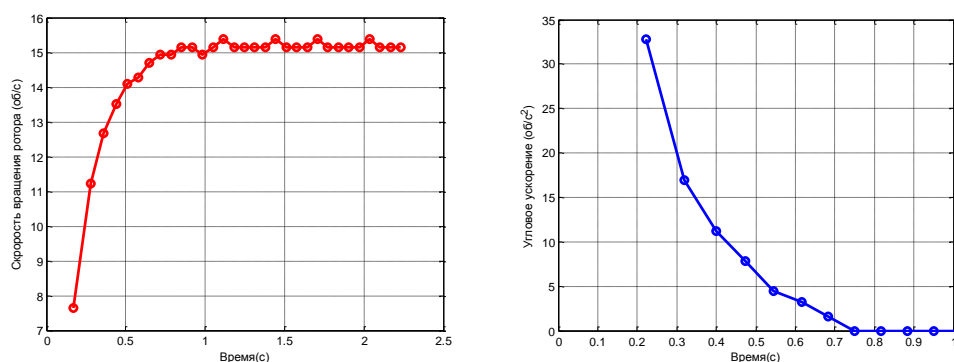


Рис. 3. Переходные процессы угловой скорости и углового ускорения.

При проведении экспериментов также получены зависимости нарастания скорости вращения ротора и углового ускорения двигателя-маховика от моментов инерции на валу. В данном случае момент инерции последовательно увеличивался на величину  $1,08 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>2</sup>.

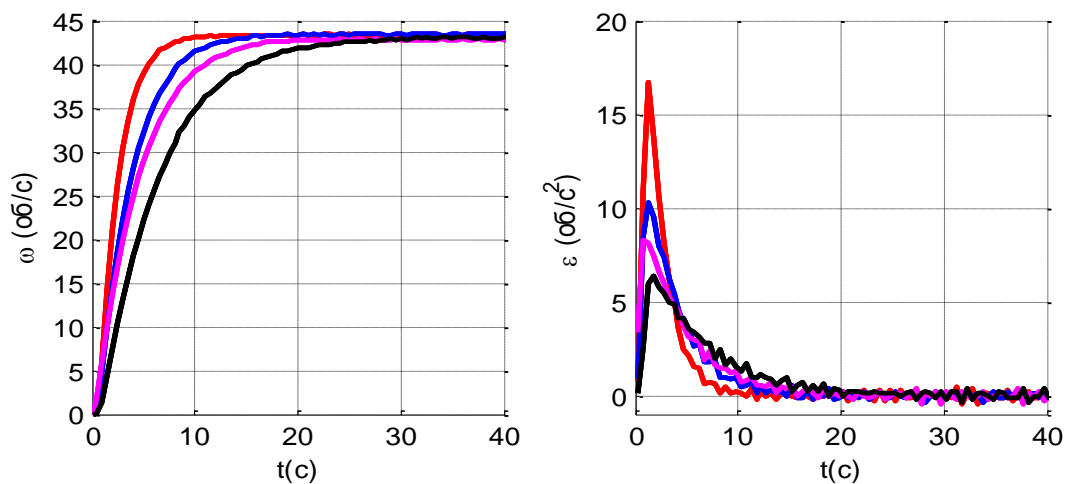


Рис. 4. Зависимости изменения скорости вращения ротора и углового ускорения от времени.

На основе полученных переходных процессов углового ускорения можно оценить величину момента, развиваемого двигателем-маховиком.

При проведении экспериментов для проверки работоспособности системы управления, построенного на основе микроконтроллера Atmega16, были получены характеристики, графически представленные на рис. 5, 6 [3,4].

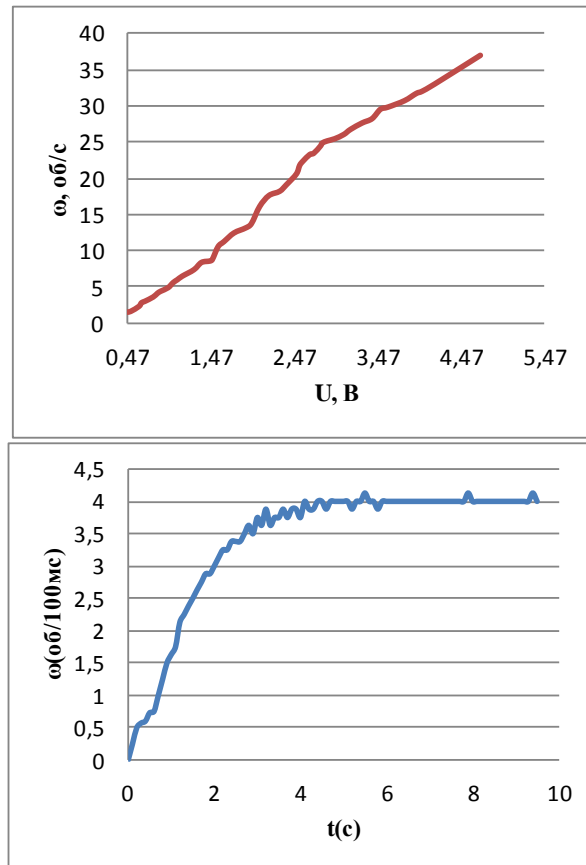


Рис. 5. Характер измерения установившейся скорости вращения при изменении напряжения на переменном резисторе и переходный процесс угловой скорости.

В системе был построен замкнутой контур для регулирования угловой скорости по ПИД-регулятору. Экспериментальные исследования были проведены на изготовленном макете при различных коэффициентах ПИД-регулятора, подобранных ручной настройкой.

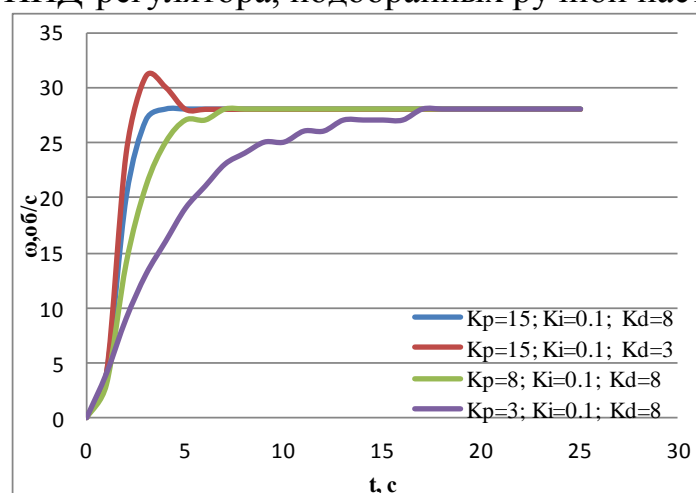


Рис. 6. Переходные процессы угловой скорости при различных коэффициентах ПИД-регулятора.

На основе полученного графика, можно прийти к выводу, что разработанная программа на микроконтроллерах Atmega16 можно применить для регулирования скорости вращения и позволять выбирать характер режима разгона бесконтактного двигателя постоянного тока.

### **Список информационных источников**

1. Буй Дык Бьен. Пусковой режим микродвигателя-маховика // Современные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 249-251

2. Буй Дык Бьен, Полюшко Д. А. Экспериментальное определение характеристик микродвигателя-маховика. // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. доц. Е.Г. Гуровой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – Часть 5. С. 80-82.

3. Буй Дык Бьен. Система управления бесконтактными двигателями постоянного тока. // Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум 2016» – режим доступа: <http://scienceforum.ru/2016/1552/22413>

3. Буй Дык Бьен. Реализация дискретного ПИД-регулятора на 8-разрядных микроконтроллерах Atmel AVR. // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016.

### **ОБ УМЕНЬШЕНИИ ПОГРЕШНОСТИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ MPU- 6050 И HMC5883L**

*Вьонг Суан Чьен*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гормаков А.Н., к. т. н., доцент кафедры точного приборостроения*

**Аннотация:** В данной работе рассмотрены пути уменьшения погрешностей инерциальных датчиков на базе модулей MPU- 6050 (акселерометр и гироскоп) и HMC5883L(магнитометр).

**Ключевые слова:** Погрешность измерения инерциальных датчиков, калибровка, метод уменьшения шумов.

Повышение точности и стабильности измерительных сигналов инерциальных датчиков является актуальной проблемой для приборов и систем ориентации, стабилизации и навигации. Для обеспечения точности измерений применяют различные методы обработки сигнала с датчиков.

Погрешность датчика составит из смещения нуля, ошибки коэффициента масштаба и шума (рис. 1) [1].

Для уменьшения ошибок нужна калибровка датчика и фильтрация измерительного сигнала.

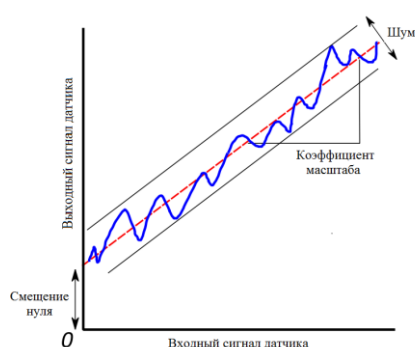


Рисунок 1. Общий вид выходного сигнала MPU-6050

В процессе экспериментальных исследований ИСО, она была выставлена в плоскость горизонта. За определенный интервал времени было получено по 100 значений сигналов с гироскопа и акселерометра датчика MPU-6050 и определены средние значения измерительных сигналов с этих датчиков. Вычитая среднее значение измерительного сигнала из фактического значения можно получить значение смещения нуля характеристики. Это значение является смещением нуля сигналов гироскопа и акселерометра модуля MPU. Для уменьшения шумов можно использовать фильтр низких частот. Результаты экспериментальных исследований датчиков модуля MPU-6050 показаны на рисунках 3 и 4.

Экспериментальный образец инерциальной системы ориентации (ИСО) (рис. 2) построен на базе модуля MPU- 6050 (1), модуля HMC5883L (2) и arduino uno R3.

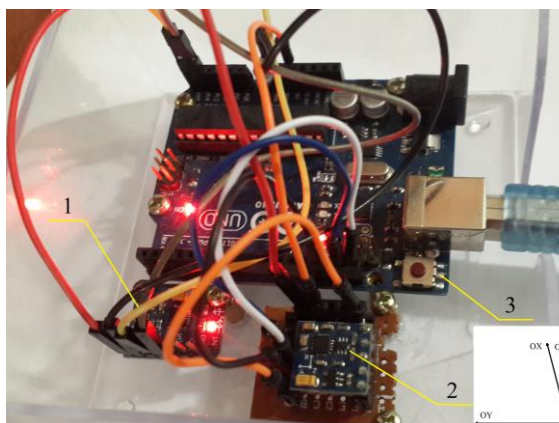


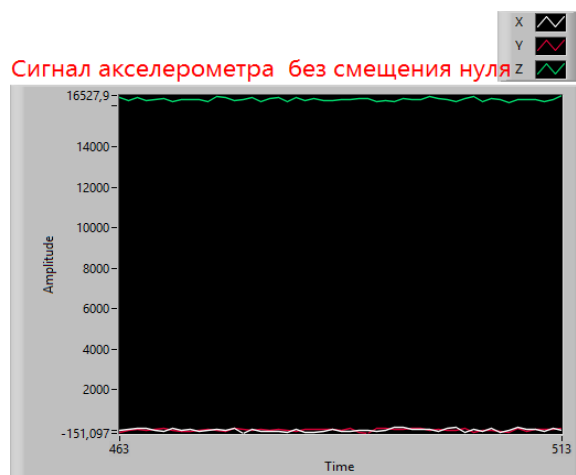
Рисунок 2. Экспериментальный образец инерциальной системы ориентации:  
1- модуль MPU- 6050 , 2- модуль HMC5883L и 3- arduino uno R3.

Первичный сигнал акселерометра



а)

Сигнал акселерометра без смещения нуля



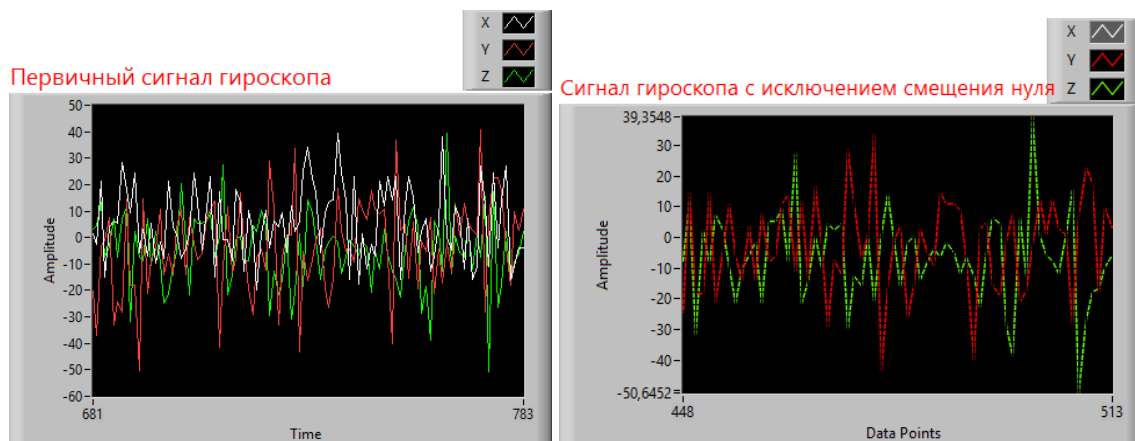
б)

Сигнал акселерометра без смещения нуля и шума



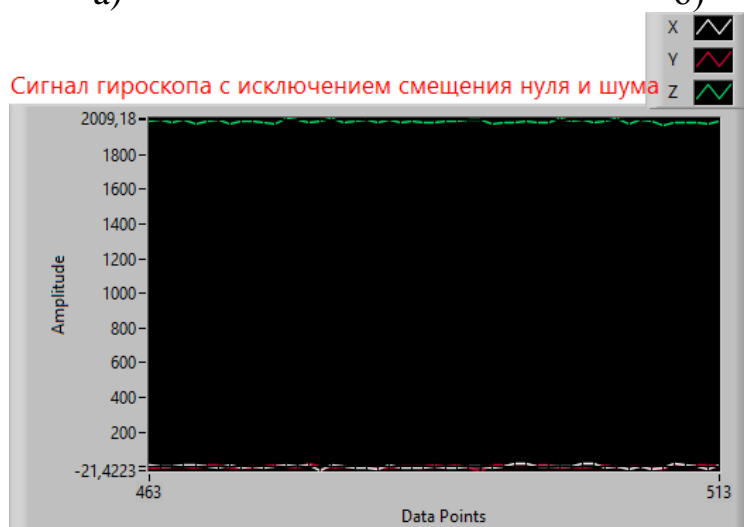
в)

Рисунок 3. Сигналы акселерометров модуля MPU- 6050:  
а) первичный сигнал; б) сигнал без смещения нуля;  
в) сигнал без смещения нуля и шума



а)

б)



в)

Рисунок 4. Сигналы с гироскопов модуля MPU- 6050:  
а) первичный сигнал; б) сигнал с исключением смещения нуля;  
в) сигнал с исключением смещения нуля и шума.

Для калибровки магнитометра применена программа мастера [2]. Магнитометр закреплен на грани куба. Грань куба с магнитометром может быть установлена перпендикулярно к каждой оси трехгранника OXYZ. (рис. 5). После установки магнитометра в позицию 1 нажать кнопку, соответствующую этому направлению на экране монитора (рис. 6). Прodelать эту операцию для всех остальных позиций до позиции 12 включительно. После заполнения всех окон таблицы нажать кнопку "Рассчитать преобразования" и получить требуемую матрицу и смещения (рис.6).

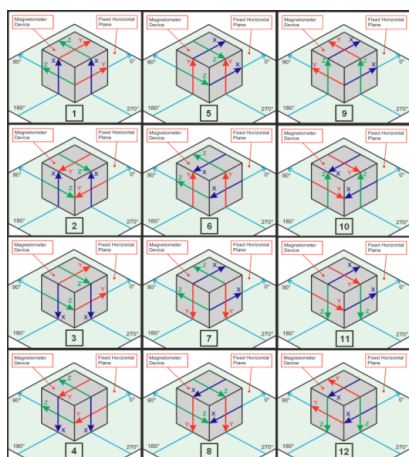


Рисунок 5. Ориентация магнитометра относительно опорной системы координат: 1,2,3....12 позиции ориентации

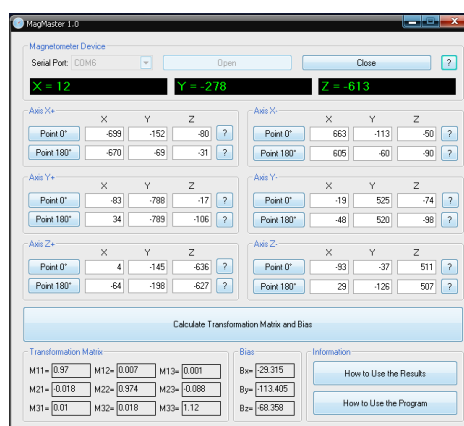


Рисунок 6. Таблица для определения значений матрицы и смещения нуля магнитометра

Обработка результатов измерений магнитометра осуществляется по выражению

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \times \left( \begin{bmatrix} X_{nc} \\ Y_{nc} \\ Z_{nc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} \right)$$

где  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$  - значение сигналов магнитометра по осям X, Y, Z после калибровки;

$M_{11} \dots M_{33}$  - значения элементов матрицы;

$X_{nc}$ ,  $Y_{nc}$ ,  $Z_{nc}$  - значение сигналов магнитометра без калибровки;

$B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  - значения смещения сигнала магнитометра;

Результаты расчета сигнала магнитометра показаны на рисунке 7.

**Вывод:** В результате проведенных исследований экспериментального образца инерциальной системы ориентации применены методики, которые позволили устранить смещение нуля и уменьшить шум измерительной характеристики модуля гироскопа и акселерометра MPU-6050 и устранить смещение нуля магнитометра HMC5883L.



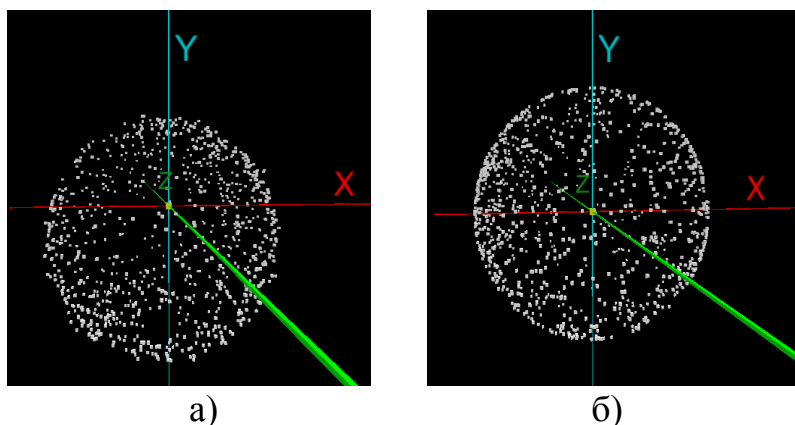


Рисунок 7. Результаты значения магнитометра:  
а) до калибровки; б) после калибровки

### Список информационных источников

1. М.А. Литвин, А.А. Малюгина, А.Б. Миллер, А.Н. Степанов, Д.Е. Чикрин. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации// Информационные процессы, Том 14, № 4, 2014, стр. 326–339.

2. DIY DRONES/ All Blog Posts/ My Blog/ Advanced hard and soft iron magnetometer calibration for dummies [Электронный ресурс] - URL: <http://diydrones.com/profiles/blogs/advanced-hard-and-soft-iron-magnetometer-calibration-for-dummies>.

### УПРАВЛЕНИЕ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ПОМОЩИ ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ

*Дамдинов Б.О.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

Прогресс современных науки и технологий достиг такого уровня, что выпускаемая аппаратура становится все более миниатюрной и компактной, не теряя при этом функционального назначения. В связи с этим начало XXI века ознаменовалось активным развитием отрасли производства малых космических аппаратов (МКА).

Уменьшение габаритов и массы, является большим преимуществом в области космического приборостроения, поскольку

это влечет за собой существенное снижение финансовых затрат на проектирование и вывод КА на орбиту.

Относительная дешевизна создания малых космических аппаратов привлекает внимание малых предприятий и ВУЗов многих стран.

На сегодняшний день вокруг Земли кружит огромное количество малых спутников, созданных в ведущих ВУЗах мира.

Одним из главных задач, в которой необходимо находить решение почти что в течение всего использования в космосе искусственных спутников, является обеспечение их определенного заданного углового движения. Космическому аппарату задается определенное угловое движение относительно заданных ориентиров поворотом вокруг центра масс. В качестве данных ориентиров используют видимые небесные и наземные объекты (такие как звёзды, Солнце, линия горизонта) или направления в пространстве (такие как местная вертикаль, вектор напряжённости геомагнитного поля, вектор скорости набегающего потока воздуха), которые возможно измерить приборами. При этом космический аппарат, к примеру, нижней частью корпуса, на котором закреплены антенна направленного действия и объектив видеокамеры, в течение всего использования должен быть направлен на центр Земли.

Для стабильного и правильного функционирования, малый космический аппарат на орбите должен иметь определенное угловое движение относительно Земли. Для стабилизации искусственного спутника Земли используются два типа систем ориентации: пассивная и активная. Поскольку к малым космическим аппаратам предъявляются достаточно жесткие требования к массе и компактности, то использование на них активной системы стабилизации приводит к значительному увеличению массы конструкции и габаритов самого спутника, а так же спутник придется оснащать дополнительными источниками энергии. Пассивные методы стабилизации различаются в том, что не требуют больших запасов дополнительной энергии на борту космического аппарата. В настоящее время самое широкое использование имеют следующие пассивные системы ориентации [1]: гравитационная, аэродинамическая, давлением солнечных лучей и вращением.

Поскольку спутник имеет малые габариты, влияние на него со стороны аэродинамических сил и давления солнечных лучей мало. Стабилизация вращением так же будет иметь малый эффект для таких размеров. В большинстве случаев она применяется вместе с активными методами. Оптимально будет использовать гравитационную систему стабилизации. Гравитационная система ориентации основана на использовании гравитационного момента и ориентирует одну из осей

космического аппарата по местной земной вертикали, причем, одновременно с этим можно ориентировать две другие оси.

В основном элементом гравитационной системы ориентации является гравитационная штанга. Материал, из которого лучше всего сделать гравитационную штангу, должен быть выполнен из магниевого сплава. Данный вид сплава имеет ряд преимуществ, которые необходимо учесть в создании гравитационной штанги для МКА. Как говорилось ранее, для малых космических аппаратов практически самым важным требованием является легкость самого спутника. В настоящее время магниевый сплав широко используется в современных оборудованьях, в первую очередь, за счет низкой плотности, которая дает существенно понизить вес изделий и конструкции. К особо отличительным физическим свойствам магниевого сплава относится их способность эффективно поглощать упругие колебания (демпфирующая способность), что обеспечивает большую устойчивость при ударных нагрузках и снижает чувствительность к возникновению резонансных явлений [2].

На конце ГШ расположена токовая катушка. Данное исполнение штанги предложено для микроспутника «HOSAT» и «SSTL» университета графства Суррей.



Рис. 1. Положение гравитационной штанги в рабочем режиме

Данное исполнение штанги предложено для микроспутника «HOSAT» и «SSTL» университета графства Суррей.

Габаритные размеры ГШ представлены на рисунке 2

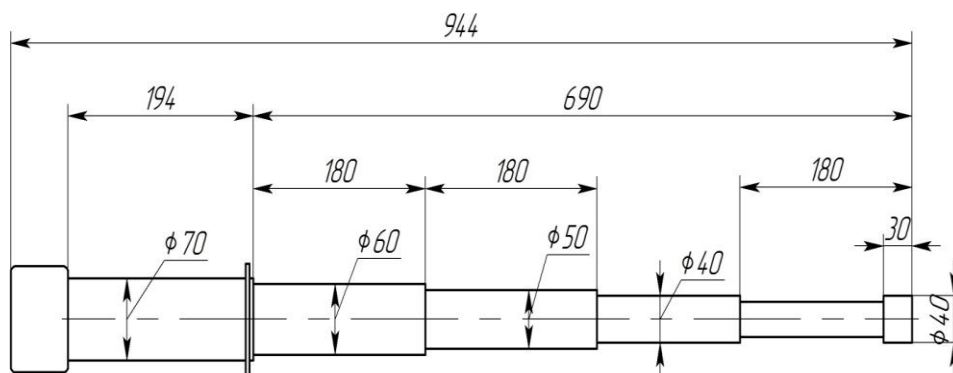


Рис. 2. Габаритные размеры ГШ

Принцип работы гравитационной системы ориентации довольно интересен: при выводе космического аппарата на солнечно-синхронную орбиту, механизм блокировочного замка (который удерживает гравитационную штангу в собранном положении) приводится в действие при помощи подачи на него электрического тока, тем самым расплавляется легкоплавкий элемент и замок разблокируется. Пружинный механизм выталкивает гравитационную штангу на заранее рассчитанную величину фокусировки (согласование с расстоянием фокусировки). На токовую катушку подается ток, в результате чего усиливается действие гравитационного момента взаимодействия тока с магнитным полем Земли создавая тем самым необходимый по величине управляющий момент, гравитационная штанга ориентирует аппаратуру зондирования на центр Земли [3].

Конструкция корпуса, в котором будут расположены все компоненты спутника, будет иметь форму куба. Габариты корпуса не должны превышать 400 мм (длина, ширина и высота). Солнечные батареи будут иметь форму цветка. Одна СБ будет находиться непосредственно на одной из граней МКА, остальные же СБ будут находиться по 4 сторонам грани, на которой будет установлена непосредственно одна из солнечных батарей. Датчик солнца будет установлен в центре грани, на которой будут установлены все СБ. Внешний вид данного спутника представлен на рисунке 3.

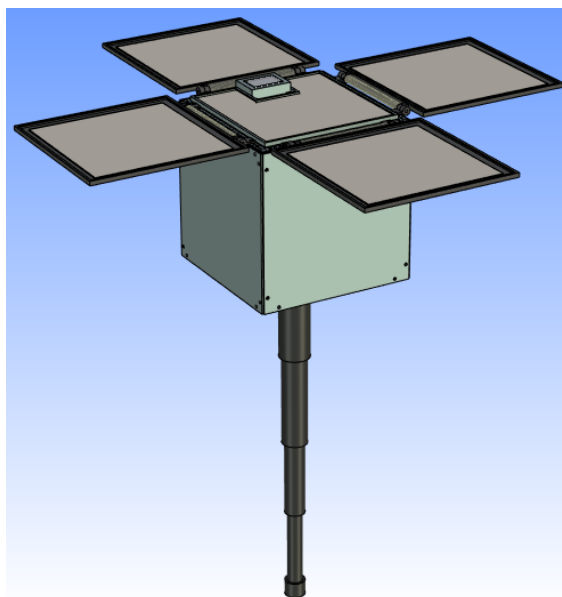


Рис.3. Конструкция корпуса спутника

### **Список информационных источников**

1. Раушенбах Б.В., Овчинников М.Ю. Лекции по динамике космического полета. М.: МФТИ, 1997. 188 с;
2. Малые космические аппараты – новые средства дистанционного зондирования Земли из космоса. Горбунов А.В. Изд-во Научно-производственное предприятие ВНИИЭМ с заводом им. А.Г. Иосифьяна. – 2001. – 18-41 с.
3. Малые космические аппараты. В 3 кн. Кн. 3. Миниспутники. Унифицированные космические платформы для малых космических аппаратов: справоч. пособие / В. Н. Блинов, Н. Н. Иванов, Ю. Н. Сеченов, В. В. Шалай. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 348 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МАГНИТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРИ БУРЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СКВАЖИН**

*Зубенко А.А., Прыгов А.Н.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г.Томск*

*Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

В настоящее время применяют различные способы искусственного отклонения скважин. Бурение таких скважин ускоряет освоение новых нефтяных и газовых месторождений, увеличивает нефтегазоотдачу пластов, снижает капиталовложения и уменьшает затраты дорогостоящих материалов.

Параллельное горизонтальное бурение применяются для увеличения нефте- и газоотдачи продуктивных горизонтов при первичном освоении месторождений с плохими коллекторами и при восстановлении малодебитного и бездействующего фонда скважин.

Для решения поставленной задачи разработан ряд запатентованных способов бурения двух или большего количества параллельных скважин. Техническим результатом является повышение эффективности процесса бурения за счет уменьшения времени, в течение которого буровые установки не производят бурение, или за счет устранения необходимости в наличии дополнительного оборудования, которое используют исключительно для перемещения инструмента, спускаемого в скважину на тросе, в обсаженной скважине.

Разработаны установка и способ для точного управления траекторией бурения второй скважины с обеспечением надлежащего выравнивания второй скважины относительно первой скважины. В одном варианте выполнения металлическая обсадная колонна в первой скважине проводит переменный ток, который создает переменное магнитное поле в земле, окружающей первую скважину.

В другом варианте выполнения данного изобретения предложен способ управления траекторией бурения второй скважины с ее прохождением вблизи первой скважины, включающий подачу изменяющегося во времени электрического тока к проводнику, расположенному в обсадной колонне первой скважины, измерение электромагнитного поля, созданного указанным током в проводнике, с траектории бурения второй скважины и управление траекторией

бурения второй скважины с использованием измеренного электромагнитного поля.

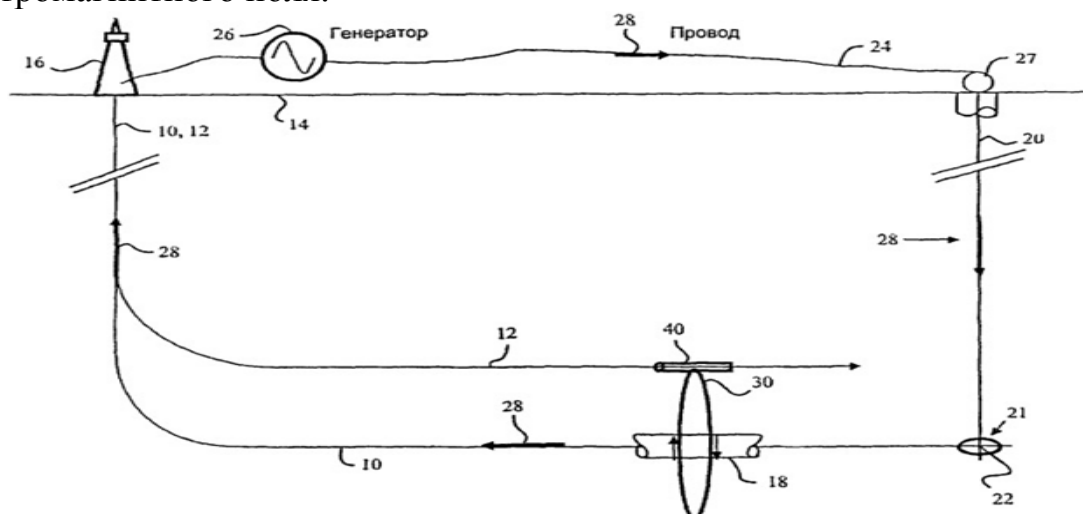


Рис.1 Схематический вид сбоку плана расположения скважин при бурении сдвоенных горизонтальных скважин

На рис.1 схематически изображен типичный план расположения скважин при бурении сдвоенных горизонтальных скважин 10, 12. Бурение указанных скважин может быть выполнено с одной буровой платформы 16, расположенной на поверхности 14 земли. Бурение и обсадку первой скважины 12 обычно выполняют до начала бурения второй горизонтальной скважины 10. Обсадная колонна скважины или обсадная труба со щелевидными отверстиями является металлической и проводит электрический ток.

Для определения местоположения траектории скважины и облегчения планирования поверхностного расположения вертикальной скважины 20, являющейся третьей скважиной, определяют искривление ствола первой скважины. Указанная скважина малого диаметра пересекает 21 первую скважину у ее дальнего завершающего конца. Скважина малого диаметра должна иметь размер, достаточный лишь для обеспечения вмещения специального электрода 22, опускаемого в положение вблизи дна и около обсадной колонны первой скважины.

В варианте выполнения, показанном на рис.1, токопроводящий путь между обсадной колонной 18 в первой скважине 10 и электродом в третьей скважине при необходимости может быть улучшен путем закачивания подходящей токопроводящей текучей среды в третью скважину 20. Электрод 22 опускают в вертикальный ствол скважины для обеспечения создания пути тока, проходящего через скважину малого диаметра. Электрод 22 электрически присоединяет обсадную колонну или обсадную трубу 18 первой скважины к токопроводящему

пути в скважине 20 малого диаметра. Указанный токопроводящий путь может проходить через землю между электродом 22, идущим от третьей скважины, и дальним концом обсадной колонны 18 первой скважины. При нагнетании токопроводящей текучей среды в землю, повышается электропроводность этого участка земли, что содействует прохождению тока между электродом 22 и обсадной колонной 18 первой скважины.

Наземный токопроводящий путь, например провода 24, присоединяет наземные концы третьей скважины 20 и обсадной колонны или обсадной трубы 18 первой скважины 10 к электрогенератору 26 переменного тока или другому источнику изменяющегося во времени электрического тока. Провод и электрод 22 в третьей скважине могут опускаться и подниматься с помощью лебедки 27 с глубиномером. Указанная лебедка присоединена к проводу 24 с изоляционным покрытием и содержит катушку изолированного провода, к которой присоединен электрод 22. Лебедка опускает электрод 22 предпочтительно до глубины обсадной колонны первой скважины. Электроэнергия, вырабатываемая генератором, обеспечивает поддержание тока 28, который течет через провод 24, третью скважину 20, электрод 22, обсадную колонну или обсадную трубу 18 первой скважины и возвращается к генератору.

Переменный ток 28 создает электромагнитное поле 30 в земле, окружающей обсадную колонну 18 первой скважины. Напряженность электромагнитного поля 30 пропорциональна переменному току, созданному генератором. Напряженность и направление магнитного поля указывают на расстояние до обсадной колонны первой скважины и направление к ней [1].

Второй способ. Один из вариантов осуществления изобретения показан на рис. 2. Эксплуатационная скважина № 1 снабжена КНБК (компоновка низа бурильной колонны) 3, состоящей из головки 4 бура, поворотного двигателя или поворотной системы 5 роторного бурения, инструмента 6 для СИПБ (скважинные измерения в процессе бурения), предназначенного для телеметрии и для измерений направления и угла наклона, возможно, каротажного устройства для каротажа во время бурения, КВБ (каротаж во время бурения) (на чертеже не показан), предназначенного для измерения свойств пласта, и соленоида 7, расположенного в воротнике бура. Источником электроэнергии для соленоида 7 могут служить аккумуляторы или турбина, приводимая в действие буровым раствором. Соленоид 7 может быть установлен в узле оправки внутри воротника бура, или может быть намотан вокруг наружной части воротника бура. КНБК 8 (размещенная в нагнетающей



скважине № 2) содержит головку 9 бура, поворотный двигатель или поворотную систему 10 роторного бурения, инструмент 11 для СИПБ, предназначенный для телеметрии и для измерений направления и угла наклона, и, возможно, каротажное устройство для каротажа во время бурения (КВБ) (на чертеже не показан), предназначенное для измерения свойств пласта. В варианте осуществления изобретения, показанном на рис.2, КНБК 8 в предпочтительном варианте содержит трехосный магнитометр, который может быть расположен в инструменте 11 для СИПБ или в ином переводнике[2].

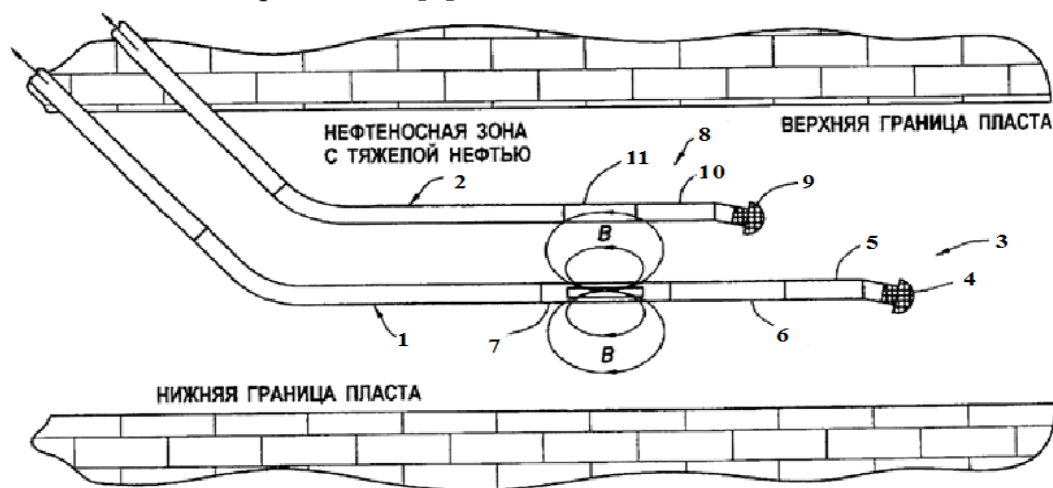


Рис.2 вариант осуществления магнитного инструмента определения расстояния, сконструированного в соответствии с раскрытием сущности настоящего изобретения.

Оба предложенных способа являются эффективным решением в области бурения скважин, однако, различаются с точки зрения реализации в настоящее время. Для использования наиболее предпочтителен второй способ, т.к. он позволяет регулировать направление нагнетающей скважины относительно эксплуатационной с помощью головки бура, содержащей поворотную и измерительную систему, инструмент для телеметрии и измерения угла. Это позволит наиболее точно и эффективно достичь требуемого положения.

## **Список информационных источников**

1.Способ управления траекторией бурения второй скважины с ее прохождением вблизи первой скважины : пат. 251930 Рос. Федерация: МПК E21B47/0228 E21B47/13 E21B7/04 / Уотерс Роберт Л, Мидор Эдвин; Заявитель и патентообладатель Дженерал Электрик Компани. - №2010100112/03; заявл. 11.01.2010; опубл. 20.05.2014

2.Определение расстояния магнитными средствами при бурении параллельных скважин : пат. 2436924 Рос. Федерация: МПК E21B7/04 E21B47/022 G01V3/00 / Кларк Брайан; заявитель и патентообладатель шлюмбергер текнолоджи Б.В. - №2007131192/03; заявл. 15.08.2007; опубл. 20.12.2011

## **РАЗРАБОТКА ТОМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ УУКМ**

*Ижсенбин И.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., ведущий эксперт  
кафедры физических методов и приборов контроля качества*

Детали из композиционных материалов (КМ) применяются во многих ответственных конструкциях аэрокосмической техники. Необходим качественный и быстрый неразрушающий метод контроля таких деталей на наличие дефектов.

Существующий метод рентгеновской компьютерной томографии (КТ) применяется для изучения внутренней структуры исследуемого объекта во многих отраслях, например, таких как медицины и промышленная дефектоскопия.

Исследуемые образцы углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ), волокна и матрицы, которого созданы из одной и той же фазы, обладают рядом уникальных свойств [1]: довольно низкой плотностью, стойкостью к окислению (для обеспечения этого свойства используются защитные покрытия), высокой прочностью (которая способна сохраняться при температурах до 3000 °С), низкой теплопроводностью и теплоемкостью.

Требуемые свойства композиционных материалов достигаются только в случае реализации оптимальной структуры и соотношения матрицы и наполнителя. Возникновение дефектов в микроструктуре УУКМ возможно на всех этапах изготовления образца. Для изучения

структуры и возможных дефектов и для получения объемной 3D – модели следует воспользоваться методом рентгеновской компьютерной томографии.

Образцы, представленные для исследования, состоят из углерод-углеродного композиционного материала и имеют сложную внутреннюю структуру. Основные ее элементы: армирующий каркас и матричный наполнитель. Для армирования в УУКМ используют углеродные волокна (УВ) на основе которых формируется пространственная структура конечного материала. Роль матрицы (матричного наполнителя) – передача усилий на волокна, изоляции волокон друг от друга и от внешней среды. Чаще всего используется пироуглерод, как матричный наполнитель. Для изготовления изделия из УУКМ обычно требуется от 6 до 9 месяцев, при этом стоимость материала для производства составляет несколько тысяч долларов за килограмм [1].

Таким образом, неразрушающий контроль изделий из УУКМ актуален, с учетом сложной внутренней структуры материала, из которого образцы изготавливаются и их высокой стоимостью.

Один из образцов контроля (образец №1) представляет собой усеченный конус с размерами: диаметр – 115, высота – 55.

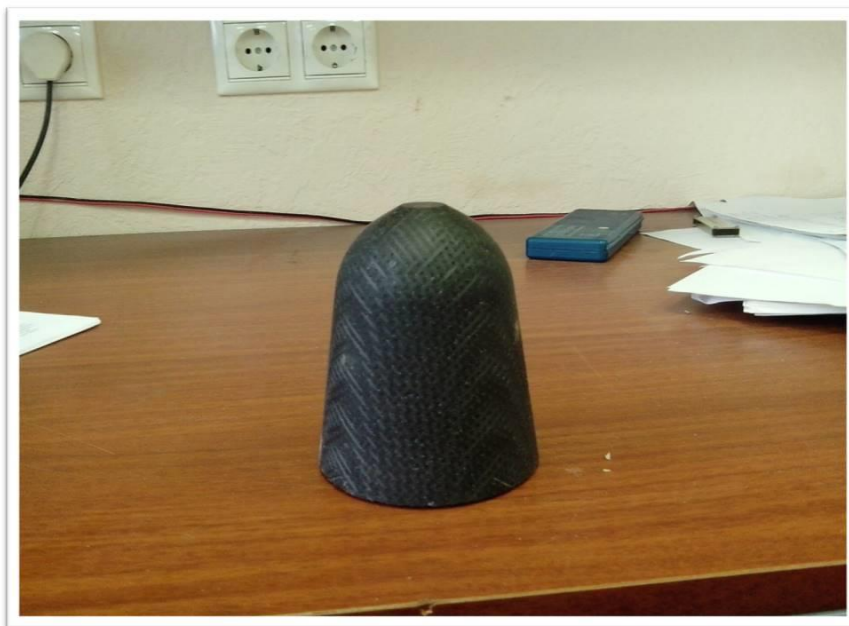


Рисунок 1. Образец контроля №1.

Требования к результатам эксперимента с образцом №1:

- Получить трехмерную модель с представлением результатов в виде срезов, проекций и видеофайлов для оценки внутренней структуры образцов;

- Должны быть хорошо различимы армирующие волокна (плотность  $(\rho) - 1,75 \text{ г/см}^3$ ), кокс ( $\rho - 1,55 \text{ г/см}^3$ ), пироуглерод ( $\rho \sim 2,1 \text{ г/см}^3$ ), поры.

Для решения данных задач используется рентгеновский микротомограф “Орел-МТ” со следующими параметрами:

Для контроля распределения плотности необходимо разбить весь объем объекта контроля на некоторые элементарные объемы. Принимаем за элементарный (первичный) объем «столбик» с размерами:  $V_i(r, \varphi)$  ( $0.2 \times 0.2 \times 8.0 \text{ мм}^3$ ).

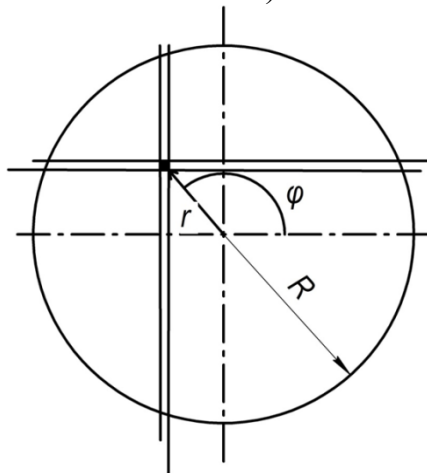


Рисунок 2 Координаты элементарного объема.

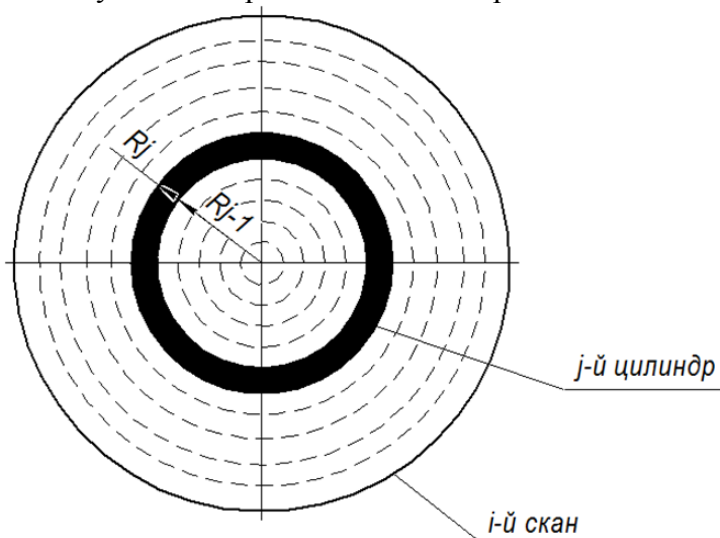


Рисунок 3. Осреднение в цилиндрическом объеме;  
Далее, посчитать осреднение в цилиндрическом объеме:

$$\bar{\Psi}_{i,j}[\Psi(i, r, \varphi)] = \int_0^{2\pi} \int_{R_{j-1}}^{R_j} \Psi(i, r, \varphi) d\varphi dr \quad (1)$$

И далее, осреднение в угловых секторах:

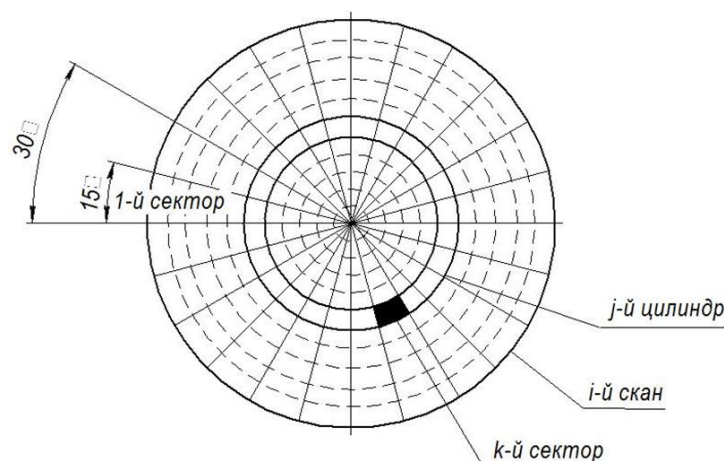


Рисунок 4. Осреднение в угловых секторах

Таблица 1 – Параметры микротомографа.

Основные технические характеристики:	
Простр. разрешение томограммы, мкм	до 5
толщина объекта, мм	0.5-150
масса объекта, кг	20
габариты рабочей области, мм	1150x600x550
Рентгеновский аппарат	<a href="#">XWT 160-TC (X-RAY WorX)</a>
Анодное напряжение, кВ	20 - 255
Анодный ток, мкА	0.05 - 1.0
Фокусное пятно, мкм	0.9
Детектор - панель	<a href="#">PaxScan-2520V (Varian)</a>
размер детектора, мкм	127
рабочая область детектора, мм	193x242
размер матрицы, пиксель	1900x1516

Действуя таким образом, получаем массив данных с распределением плотности в элементарном объеме, среднее значение в цилиндрическом объеме, и в угловых секторах.

### Список информационных источников

1. Докучаев А.Г., Бушуев В.М. Выбор технологических параметров процесса уплотнения пироуглеродом вакуумным изотермическим методом карбонизованного углепластика при разработке углеродной основы под силицирование // Перспективные материалы. – 2010. – № 9а. – С. 58–64.

## РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ МОДЕЛЬ ГИРОДИНА

*Индыгашева Н.С.*

*Томский политехнический университет. г. Томск  
Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент  
кафедры точного приборостроения*

Первые космические аппараты (спутники), предназначенные для исследования космоса, не имели систем ориентации. Необходимость последних возникла в связи с расширением и углублением космических исследований, проведением научных экспериментов и решением непрерывно расширяющегося круга практических задач в области связи, метеорологии, навигации наземных средств транспорта, геологии, а также задач техники применения космических аппаратов.

Основная задача системы управления космического аппарата – это компенсация возмущений, действующих на него в полете (или неточности выведения), а также программное наведение.

Одним из основных элементов систем управления является исполнительный орган. По типу исполнительного органа все эти системы можно разделить на следующие типы:

1. Гравитационные системы ориентации.
2. Системы ориентации и стабилизации, у которых исполнительными органами являются реактивные двигатели.
3. Системы ориентации с моментным магнитопроводом, создающим управляющий момент с помощью тока в электрическом контуре космического аппарата.
4. Аэродинамические системы ориентации.
5. Системы ориентации и стабилизации, у которых исполнительными органами являются двигатели-маховики.
6. Стабилизация вращением.
7. Комбинированные системы ориентации и стабилизации, в качестве исполнительного органа у которых используются с двигателем-маховиком либо моментные магнитопроводы в режиме грубой ориентации, либо реактивные двигатели.

Исполнительные органы перечисленных систем можно классифицировать на два основных типа:

- исполнительные органы, использующие внешние по отношению к космическому аппарату силы для создания управляющих моментов;
- исполнительные органы, основанные на реактивных принципах.

Отличительной особенностью и главным преимуществом последних является их способность работать при отсутствии какого бы то ни было полезного взаимодействия с внешней средой. Независимость от окружающей среды предоставляет большие возможности для удовлетворения самых разнообразных требований, необходимость выполнения которых может возникнуть при разработке конкретной системы ориентации.

В этом классе исполнительного органа можно выделить две разновидности: управляющие реактивные двигатели систем ориентации, создающие реактивные силы, и инерционные исполнительные органы, генерирующие реактивные моменты.

Инерционные исполнительные органы, выполненные в виде вращающихся осесимметричных тел называют силовыми гироскопами, гироскопическими силовыми стабилизаторами, электромеханическими исполнительными органами, гироскопами.

В зависимости от назначения космического аппарата (спутник связи, геодезический спутник и т.д.) системы ориентации могут быть различными, но задача у них одна – обеспечить требуемую ориентацию корпуса космического аппарата для выполнения необходимых технологических операций.

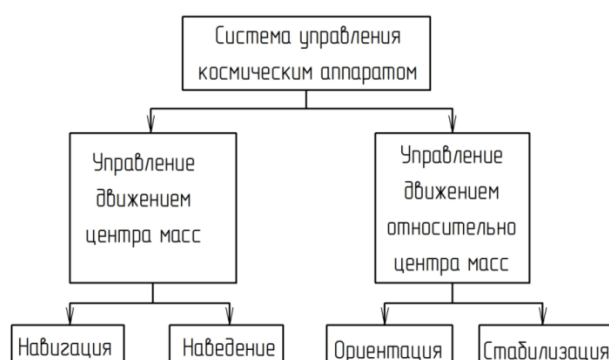


Рисунок 1. Схема системы управления космическим аппаратом

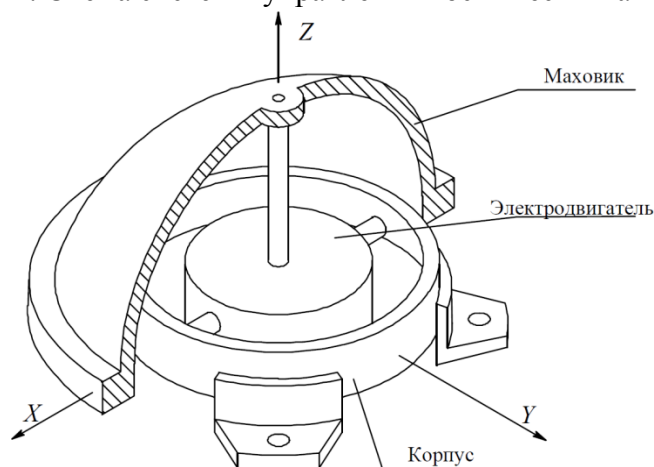


Рисунок 2. Исполнительный орган на основе двухстепенного силового гироскопа.

### Проектирование маховика гиродина

Для проектирования маховика должны быть заданы основные параметры гиродина:

- Кинетический момент – 5 Н·м·с;
- Ресурс – 5 лет минимум;
- Масса – 7 кг;
- Потребляемая мощность – максимум 20 Вт;
- Высота обода маховика – 40 мм;
- Скорость – 10000 об/мин.

На первом этапе проектирования гиродина мы рассчитаем и построим 3D модель маховика, так как маховик является основным элементом гиродина.

Для того чтобы рассчитать габаритные размеры маховика такие как внутренний и наружный радиус маховика гиродина в первую очередь необходимо найти момент инерции маховика.

Момент инерции маховика определяется по формуле:

$$J = \frac{H}{\Omega},$$

где  $H$  – кинетический момент,  $\Omega$  – скорость вращения маховика.

$$J = \frac{5H \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{1047 \text{с}^{-1}} = 0,048 \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

Определяем диаметр обода маховика по формуле:

$$D = 2 \cdot \left( \frac{2 \cdot J}{\pi \cdot \gamma \cdot h} \right)^{0,25},$$

где  $J$  – момент инерции маховика,  $\gamma = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – удельная масса стали,  $h$  – высота обода маховика

$$D = 2 \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,0048 \text{кг} \cdot \text{м}^2}{3,14 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,04 \text{м}} \right)^{0,25} = 0,14 \text{м}$$

Внутренний радиус маховика вычисляется по формуле:

$$r = R \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{J}{0,5 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot h \cdot R^4}},$$

где  $R$  – наружный радиус маховика и равен  $R = \frac{D}{2} = \frac{0,14}{2} = 0,07 \text{м}$

$$r = 0,07 \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{0,0048 H \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,04 \text{м} \cdot 0,07^2 \text{м}}} = 0,061 \text{м}$$



По полученным данным была построена 3D модель маховика в CAD-системе T-Flex CAD 2D/3D. На рисунке 3 приведена 3D модель маховика.

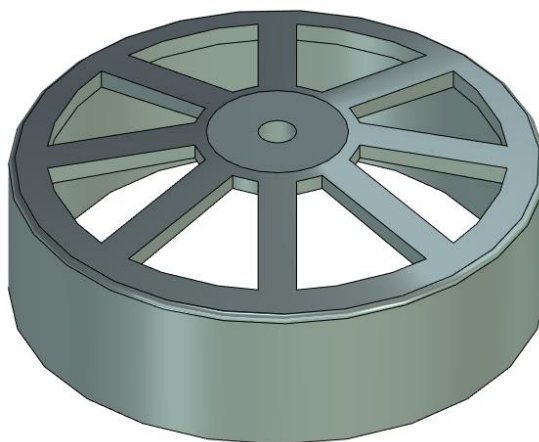


Рисунок 3. 3D модель маховика.

Масса обода маховика может быть рассчитана по формуле:

$$m = \pi \cdot \gamma \cdot (R - r) \cdot h$$

где  $\gamma = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – удельная масса стали,  $R$  – внешний радиус обода маховика,  $r$  – внутренний радиус обода маховика,  $h$  – высота обода.

$$m = 3,14 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot (0,07^2 \text{ м} - 0,061^2 \text{ м}) \cdot 0,04 \text{ м} = 1,155 \text{ кг}.$$

CAD-система T-Flex CAD 2D/3D позволяет рассчитать массу конструкции по ее 3D модели, при условии, что для 3D модели задан материал, из которого она будет изготовлена. На рисунке 4 приведены результаты расчета массы маховика.

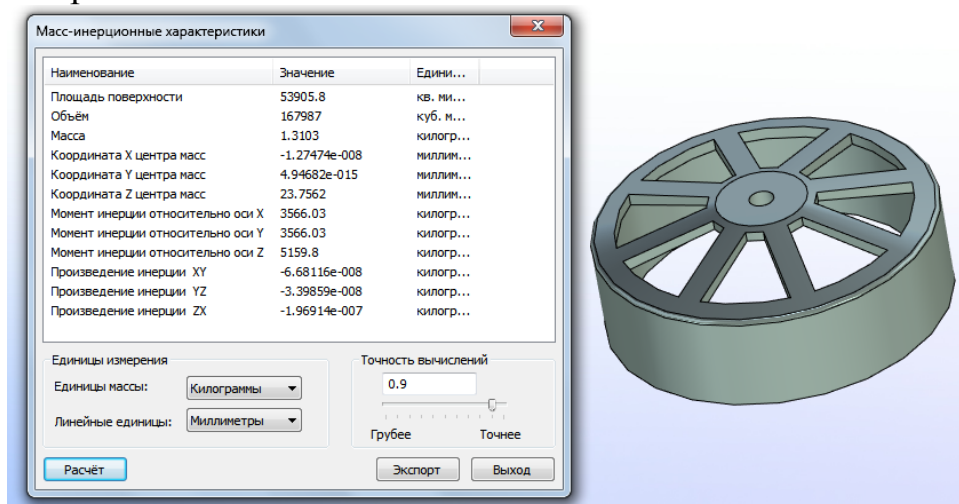


Рисунок 4. Результаты расчета массы маховика

Для того чтобы иметь возможность рассматривать большое количество вариантов конструкции маховика, 3D модель маховика

необходимо сделать параметрической. На рис. 5 редактор переменных, изменяя значение какого-нибудь параметра, идет пересчет всех остальных параметров и изменяется вся конструкция.

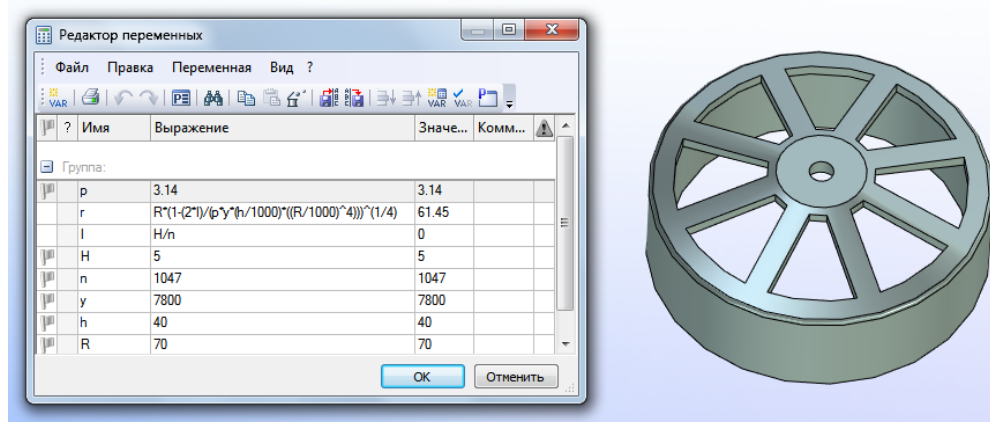


Рисунок 5. Редактор переменных

### Список информационных источников

1. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н. Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 208с.

## **ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА «ПРОГНОЗ-2»**

*Исайченко В. И., Владимиров А. М.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Зыков В. М., д. т. н., профессор*

В современном мире все больше информационных систем, систем связи и систем навигации используют космические аппараты (КА), находящиеся на околоземных орбитах. Вследствие этого возникает необходимость вывода на орбиту Земли все большего числа космических аппаратов. Из-за высокой стоимости КА и вывода его на орбиту Земли, разработчики стремятся максимально увеличить срок активного существования (САС) космического аппарата. Это очень сложная инженерная задача, поскольку на КА воздействуют такие факторы космического пространства (ФКП) как высокий вакуум (до  $3 \cdot 10^{-10}$  Торр), перепад температур (от  $+120^{\circ}\text{C}$  до  $-130^{\circ}\text{C}$  при заходе КА в тень Земли), потоки солнечной радиации (с плотностью энергии до  $1,38 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ ), а также ионизирующие излучения радиационных поясов Земли. Кроме этого, при движении КА в геомагнитной плазме происходит как поверхностное, так и объемное заряджение конструкционных материалов КА, приводящее к возникновению поверхностных и объемных электрических полей в конструкционных диэлектрических материалах. Результатом воздействия заряженных частиц геомагнитной плазмы (главным образом электронов) на конструкционные диэлектрические материалы являются электростатические разряды, приводящие к электромагнитным помехам и импульсным токовым наводкам в электрических цепях бортовой аппаратуры с амплитудой до 100 А и длительностью переднего фронта до 10 нс. При недостаточных мерах защиты бортовой аппаратуры эти электромагнитные помехи и токовые наводки могут приводить к отказу бортовой аппаратуры. Для оценки, эффективности средств защиты элементов бортовой аппаратуры КА от последствий радиационной электризации на специальных стендах проводятся наземные испытания в условиях имитации значимых факторов космического пространства. Испытательный стенд нового поколения для проведения наземных испытаний элементов и подсистем КА на устойчивость к факторам радиационной электризации под действием электронной компоненты геомагнитной плазмы должен обеспечивать: проведение исследования параметров радиационной электризации элементов КА в условиях воздействия факторов космического

пространства (вакуум, электронное излучение с имитацией энергетического спектра на геостационарной орбите, низкая температура, солнечное излучение); измерение помеховых сигналов в цепях управления испытуемых подсистем КА (таких как система коррекции КА), вызванных электростатическими разрядами; отработку методов и средств защиты от воздействия факторов радиационной электризации.

Примером такого стенда является испытательный стенд «Прогноз-2» Испытательного центра Института неразрушающего контроля Томского политехнического университета (ИЦ ИНК ТПУ), который предназначен для проведения наземных испытаний конструкционных материалов и отдельных подсистем КА в условиях, моделирующих важнейшие ФКП на разных орбитах. Стенд сконструирован, изготовлен и оснащен с учетом многолетнего опыта работы сотрудников лаборатории №52 Испытательного центра Института неразрушающего контроля ТПУ, занимающейся изучением радиационной электризации с 70-х годов прошлого века. В настоящей работе представлены результаты по разработке автоматизированной вакуумной системы стенда «Прогноз-2», которая обеспечивает длительную работу стенда в автономном режиме, что позволяет проводить непрерывные испытания длительностью до суток при имитации радиационных и температурных условий на заданной околоземной орбите.

Вакуумная камера испытательного стенда представляет собой цилиндр диаметром 1000 мм и длиной 1000 мм. Схема вакуумной системы стенда представлена на рисунке 2. Моделирование процессов взаимодействия электронного излучения с диэлектрическими конструкционными материалами КА накладывает ограничения на тип применяемого вакуумного оборудования. Все вакуумные насосы, используемые для откачки камеры стенда и остального оборудования, не должны применять масла или эфиры в качестве рабочего вещества. Такие насосы иногда называют «сухими».

К «сухим» насосам относятся криогенные, механические, турбомолекулярные и адсорбционные насосы. При проектировании системы вакуумной откачки, предусматривалась возможность напуска инертного газа в количестве до  $2 \text{ мл} \cdot \text{сек}^{-1}$ , что необходимо при испытаниях плазменных двигателей КА в активном режиме. Чтобы при этом обеспечить давление в вакуумной камере порядка  $3 \cdot 10^{-6}$  Торр скорость откачки вакуумной системы должна быть порядка  $8000 \text{ л} \cdot \text{сек}^{-1}$  по аргону. Такую скорость обеспечивают два криогенных

высоковакуумных насоса CRYO-TORR 400 работающие с гелиевыми компрессорами CRYO-TORR 9600.

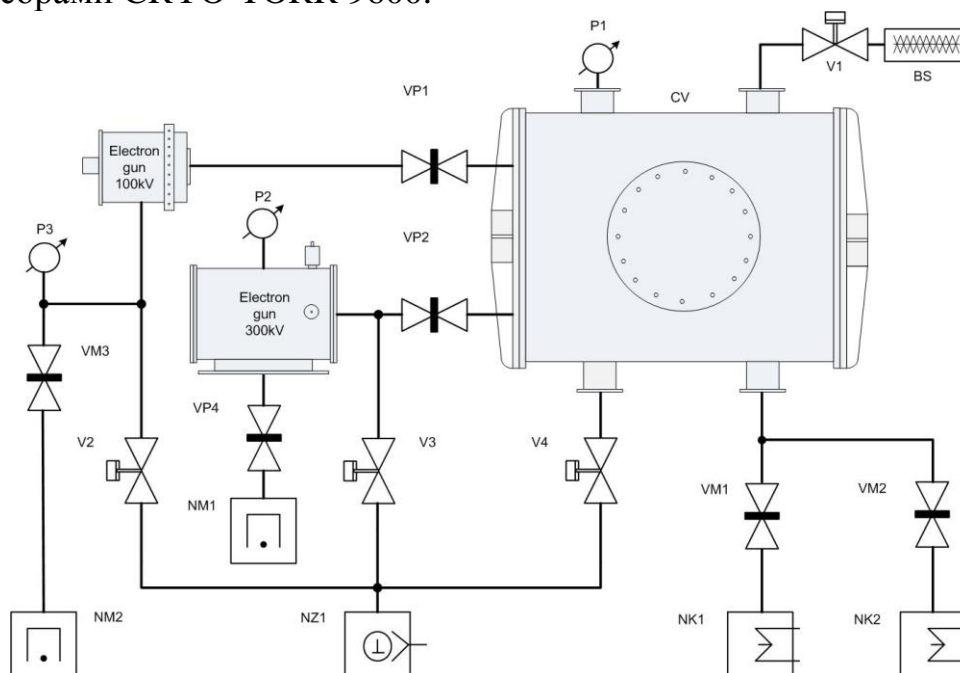


Рис. 2. Схема вакуумной системы стенда «Прогноз-2».

- VP1, VP2 – Затвор шиберный HTC 6VB-SS-KF50-P.  
 VM1, VM2 – Затвор шиберный BAKMA 23B7 – 400.  
 VP4 – Затвор шиберный HTC GVB-SS –ISO-160-P.  
 V1, V2, V3, V4 –Клапан вакуумный HEC GVB-SS-KF40-P.  
 NK1, NK2 – Насос высоковакуумный криогенный CRYO-TORR 400.  
 NZ1 – Форвакуумный насос Kashiya NeoDry 30E.  
 NM1, NM2 – Магнетронный охлаждаемый диодный вакуумный насос НМДО – 0,25 (НОРД – 250).  
 BS – Силикагелевый осушитель.  
 P1, P2, P3 – Вакуумметры Granville-Phillips 354 Micro-ION.

Автоматический режим работы вакуумной системы используется при ежедневной работе испытательного стенда и подразумевает, что после завершения цикла испытаний в вакуумной камере CV и в электронных пушках сохраняется остаточное давление не менее  $1 \cdot 10^{-2}$  Торр.

Таким образом, применяя автоматизацию работы, заметно повышается количество проводимых экспериментов, так как снижено время подготовки и проведения испытаний. Точность и однородность экспериментов становится стабильно-высокой, погрешность уменьшается из-за исключения вероятности ошибки по причине человеческого фактора почти на всех этапах проведения испытаний.

## Список информационных источников

1. Розанов Л. Н. Вакуумная техника. - 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк. 1990. — 320 с.
2. Нестеров С.Б., Васильев Ю.К., Андросов А.В. Методы расчета вакуумных систем. — М.: Издательство МЭИ, 2004. — 220 с.
3. Суранов А.Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. — М.: ДМК Пресс. — 536с.

## ЛЕНТОЧНЫЙ МОМЕНТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

*Полюшко Д.А., Долгих А.Г.*

*Томский политехнический университет, г. Томск,  
Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

В ряде источников приведены основы принципа работы и конструктивного исполнения моментных двигателей с активным элементом в виде ленточной намотки [1-5]. В общем случае зависимость развиваемого двигателем момента от угла поворота ротора-магнита относительно активного элемента, представлена графиком  $M(\alpha)$ , совмещенным с фрагментом активного элемента (рис. 1а).

Видно, что развиваемый момент имеет нулевые значения в тех точках, где центры полюсов ротора-магнита совпадают с боковыми вырезами на ленте. В этом случае магнитный поток полюсов взаимодействует с двумя равными, но противоположно направленными совокупностями поперечных токов. Отметим, что возможны две ситуации: неустойчивого положения ротора-магнита и устойчивого. В первом случае будет наблюдаться движение полюсов магнита от нулевого положения при их отклонении на некоторый угол  $\alpha_n$ , соответствующий пусковому моменту  $M_n$ , способному преодолеть действие моментов сопротивления; во втором (рис.1в) развиваемые моменты будут стремиться удержать ротор-магнит в исходном положении.

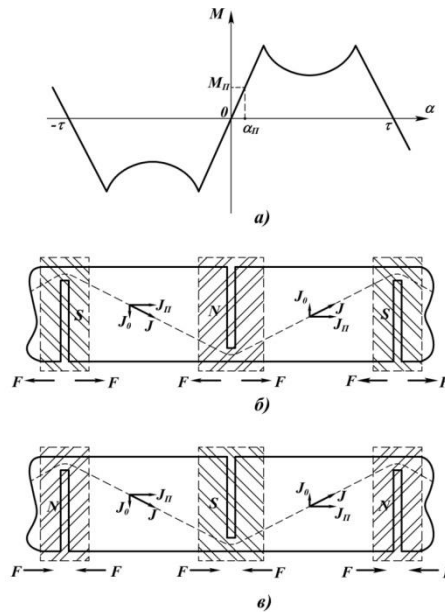


Рисунок 1. Зависимость развиваемого момента от угла поворота ротора

Из представленных рисунков видно, что условие неустойчивости определяется конкретным сочетанием полярности магнита, положением бокового выреза на ленте и направлением протекания тока по ленте намотки. На рис.1б условием неустойчивого положения является ситуация, когда полюс  $N$  совпадает с вырезом, направленным вверх; когда с таким вырезом будет совмещен полюс  $S$ , положение будет устойчивым. В последнем случае для задания вращения необходимо изменить направление протекания тока по ленте активного элемента. Приведенные соображения показывают, что вращение ротора при подаче на активный элемент питания будет происходить в диапазоне углов от  $\alpha_n$  до  $\tau$ , после чего (при достижении угла  $\tau$ ) питание необходимо отключить. Время подачи питания достаточно мало, поэтому можно утверждать что питание, а также работа двигателя, производятся в импульсном режиме. После отключения питания ротор вращается по инерции, постепенно замедляя свое вращение под действием моментов сопротивления. При необходимости стабилизации скорости вращения возможна подача коротких импульсов от источника питания в те промежутки времени, когда активный элемент, взаимодействуя с магнитами, может создать момент, поддерживающий вращение.

Взаимодействие элементов, входящих в состав такого двигателя можно пояснить, обращаясь к рис.2.

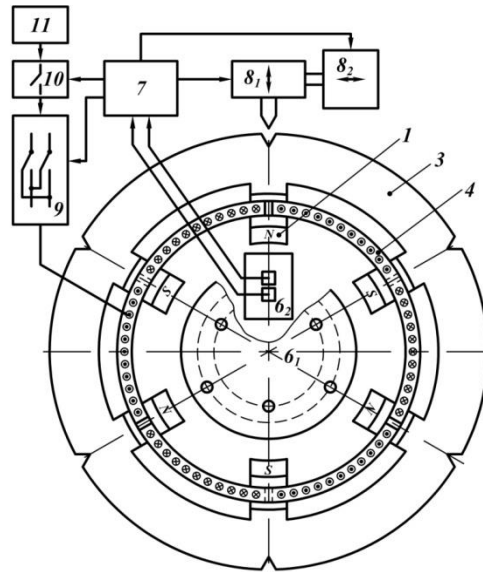


Рисунок 2. Схема моментного двигателя

В нерабочем (обесточенном) положении фиксатор арретира  $8_1$  выдвинутым стержнем обеспечивает жесткую связь магнитопровода 3 с корпусом двигателя посредством ответных элементов фиксатора, например углублений на поверхности обода. Привод фиксатора арретира  $8_2$  при обесточенном фиксаторе арретира  $8_1$  имеет возможность повернуть магнитную систему ротора на угол  $\pm\alpha_{\pi}$ , обеспечивающий в дальнейшем пусковой момент необходимого знака. Привод  $8_2$  фиксатора непосредственно связан с корпусом двигателя, а фиксатор  $8_1$  монтируется на подвижном элементе привода. При зафиксированном роторе и нейтральном положении привода фиксатора центральные оси магнитов совпадают с вырезами, выполненными в активном элементе (ленточной намотке) 4. Поперечные составляющие токов в активном элементе показаны в виде точек и крестиков. Характер сочетания полярности полюсов и вида вырезов на активном элементе определяется с помощью датчика положения, ротор которого  $6_1$ , связанный с ротором, взаимодействует с чувствительными элементами  $6_2$  датчика, которые выдают информацию в схему управления по двум каналам. В частности, на рис.2 верхний чувствительный элемент дает информацию о том, что северный N полюс каждого магнита расположен у того выреза в активном элементе, который раскрыт сверху. Нижний чувствительный элемент выдает информацию в том случае, если около выреза, открытого сверху, будет находиться южный S полюс магнита. В зависимости от сигнала, снятого с датчика положения 6, схема управления 7 формирует управляющий сигнал коммутатора 9, который должен будет пропустить



по активному элементу ток такого направления, чтобы положение полюсов магнита ротора и активного элемента было неустойчивым. В качестве чувствительных элементов датчика положения предполагается использование фотоприемников, освещение которых происходит через отверстия в диске ротора датчика положения, которые для магнитов разной полярности выполнены на разных радиусах. Положение чувствительных элементов (статора датчика положения) относительно вырезов в активном элементе определяется в конструкции двигателя однозначно. Цикл управления двигателем начинается с того, что сигналом с датчика положения 6 система управления 7 определяет взаимное положение конкретных полюсов магнитов и вида вырезов в активном элементе, после чего подается сигнал на коммутатор 9, который подключает цепи питания активного элемента таким образом, что обеспечивается протекание тока такого направления, при котором положение для запуска маховика будет неустойчивым. Затем система управления 7 подает сигнал на привод фиксатора 8<sub>2</sub> арретира, который разворачивает ротор на угол  $\alpha_n$  в том направлении, в котором должно начаться вращение. Следующий этап начинается с подачи схемой управления 7 сигналов на фиксатор арретира 8<sub>1</sub> и выключатель 10. Фиксатор освобождает ротор, привод фиксатора возвращается в нейтральное положение, а выключатель 10 подает питание на активный элемент двигателя. Ротор начинает вращаться, и после того, как он повернется на угол  $(\tau - \alpha_n)$ , с другого канала датчика положения поступит сигнал на схему управления, которая, управляя выключателем 10, отключит питание активного элемента. В дальнейшем ротор вращается по инерции, и при необходимости поддержать скорость его вращения, на активный элемент можно подавать импульсы тока в моменты времени, определяемые с помощью вышеупомянутого датчика положения ротора.

## Список информационных источников

1. Моментный двигатель [Текст]: пат. 2441310 Рос. Федерация: МПК H02 K 26/00 Мартемьянов В.М., Долгих (Иванова) А.Г.; заявл. 20.08.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. №3. – 6 с.: ил.
2. A. G. Dolgih (Ivanova), V. M. Martemjanov. Executive unit with an active tape element for management system // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proceedings, Krasnoyarsk, September 12-13, 2013. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013 - р. 1-3.
3. Долгих (Иванова) А.Г., Кодермятов Р.Э., Мартемьянов В.М. Моментный двигатель с ленточной намоткой при импульсном включении // Электронные и электромеханические системы и устройства: тез. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов (Томск, 14-15 февраля 2013 г.) / ОАО «НПЦ «Полюс». – Томск, 2013. – с.131-133.
4. Долгих (Иванова) А.Г., Мартемьянов В.М. Активный элемент моментного двигателя // Контроль. Диагностика.-2011. специальный выпуск. С. 109-111.
5. Долгих (Иванова) А.Г., Кодермятов Р.Э., Мартемьянов В.М. Исполнительные двигатели с ленточной намоткой // Вестник науки Сибири, № 1 (7) (2013). – С. 42-49. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/604>.

## ПРИМЕНЕНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

*Рустембек улуу А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск.*

*Научный руководитель: Баранов П.Ф., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения*

При растущих требованиях к спутниковым системам наблюдения становится необходимо усовершенствование космических аппаратов и различных бортовых систем. Это в первую очередь затрагивает высокоточные измерительные системы орбитального и углового движения.

Для управления космическим аппаратом часть информации поступает из наземных комплексов управления. Но программы обеспечивающих систем (навигации, ориентации, стабилизации) для функционирования целевой аппаратуры рассчитываются на борту

космических аппаратов [1]. При этом повышается уровень автономности и интеллектуализации работы бортовой системы управления космических аппаратов. Одной из ключевых задач является определение параметров и характера движения центра масс на борту космического аппарата.

Возмущающие ускорения, действующие на центр масс космических аппаратов на орбитах в диапазоне от 300 до 700 км составляют от  $10^{-5}$  до  $10^{-8}$  м/с<sup>2</sup>. Чтобы добиться требуемой точности не хуже 1 % от измеряемой величины необходимо на борту аппарата установить высокочувствительные приборы, измеряющие ускорение акселерометрами. Их порог чувствительности в данном случае должен быть не хуже чем от  $10^{-7}$  до  $10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>[1].

По принципу действий существует две группы акселерометров: маятниковые и емкостные [1].

В каждом маятниковом акселерометре есть упругий подвес, при воздействии ускорения на который по оси чувствительности, происходит компенсация момента силы. Так как маятник прибора и упругий подвес соприкасаются друг с другом, подвес приводит в движение маятник.

Принцип действия емкостных акселерометров основан на изменении электрической емкости между статическим и динамическим состояниями. Соответственно в конструкцию таких приборов обязательно должен входить конденсатор (эти датчики еще называют акселерометрами на переменных конденсаторах).

Принцип действия любого акселерометра основан на втором законе Ньютона. В состав каждого прибора входит некий элемент, называемый инерционной массой. Эта инерционная масса прикреплена к одной из двух пластин конденсатора, совершающего перемещение внутри корпуса, а вторая пластина статична и, как правило, соединена с корпусом. Инерционная масса отстает от движения корпуса – это достигается воздействием силы со стороны другого конструктивного элемента – пружины, при изменении скорости корпуса. Соответственно эта сила изменяет движение инерционной массой, следовательно, пружина изгибается, а расстояние между корпусом и инерционной массой изменяется [1].

Измерение микроускорений космического аппарата позволяет определить плотность атмосферы на больших высотах по эффекту торможения аппарата, исследовать динамику входа аппарата в атмосферу, измерить пондеромоторные эффекты воздействия электромагнитных полей, солнечного ветра, микрочастиц и светового давления на аппарат [2]. Датчик должен позволять измерять микро-

ускорения аппарата по трем ортогональным осям в диапазоне от  $10^{-6}$  до  $15 g$  ( $g$  – ускорение свободного падения на Земле).

### **Акселерометры в космических спутниках**

Ускорения микро-гравитации состоит из двух режимов: квазиустойчивая окружающая среда и вибрирующая переходная окружающая среда; поэтому, измерение окружающей среды ускорения микро-гравитации лучше всего достигнуто двумя системами акселерометра [2]. В лабораторном модуле Соединенных Штатов измерение этих двух режимов достигнуто системой измерения SAMS-II (Space Acceleration Measurement System-II) и MAMS (Microgravity Acceleration Measurement System). SAMS-II обеспечивает распределенную систему измерения с помощью отдаленных трехмерных систем датчика (RTS). MAMS производит запись квазиустойчивой окружающей среды микро-гравитации, включая влияния аэродинамического сопротивления, вращения транспортного средства и эффектов выражения.

Аппарат GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) – спутник для исследования гравитационного поля и постоянных океанических течений, чрезвычайно высокой точностью измерял гравитационное поле планеты при помощи трех пар акселерометров, которые определяют проекцию ускорения свободного падения на три перпендикулярные оси [3]. Главной нагрузкой спутника является электростатический гравитационный градиометр, который состоит из 6 акселерометров и предназначенный для измерения гравитационного поля Земли. Они установлены на концах штанги длиной 0.5 м, которая сориентирована точно на центр Земли. Чувствительность каждого акселерометра составляет  $10^{-12} \text{ м/с}^2$ .

Землетрясения создают сейсмические волны, которые проходят через слои Земли. Масштабные землетрясения могут также привести к вибрации поверхности Земли, производить звуковые волны, распространяющиеся через атмосферу. В то время как на поверхности Земли их длина измеряется в сантиметрах, в разреженной атмосфере на высотах 200-300 км она увеличивается до сотен метров. Инфразвук или низкочастотный звук, который достигает этих высот, вызывает вертикальные движения, при этом расширяют и сжимают атмосферу. Это движения, зафиксированное GOCE удалось обнаружить, благодаря трем парам акселерометров, которые настолько точны, что могут обнаружить ускорение с точностью до одной единицы  $10^{13}$  гравитационной силы Земли [4].

Задачей миссии GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) является составление точной карты изменений гравитационного поля Земли на протяжении пятилетнего периода. Деятельность миссии GRACE основана на работе двух одинаковых спутников, находящихся на расстоянии 220 километров друг от друга, на полярной орбите высотой 500 километров над Землей. Акселерометр ACC – измеряет негравитационные силы, действующие на аппарат. Акселерометр «SuperSTAR» включает блок датчиков, который измеряет ускорения, и блок интерфейса, где фильтруются и обрабатываются цифровые сигналы акселерометра [5].



Рисунок 1. Акселерометр GRACE

Для спутниковых микроакселерометров необходимым критерием является чувствительность около  $10^{-7}$  до  $10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>. За рубежом известны высокочувствительные приборы такие, как «Кактус» (Франция) и «Дискос» (США).

Акселерометр «Кактус» был рассчитан на измерение ускорений в диапазоне  $10^{-5}$  –  $10^{-9}$  g, с точностью  $5 \times 10^{-10}$  g [6]. В приборе использовалась сферическая масса диаметром 40 мм из платиново-родиевого сплава, взвешенная в электростатическом поле внутри вакуумированного металлического корпуса.

Фиксируемых акселерометром «Кактус», для диагностики возможных проявлений сейсмической активности Земли в микро-ускорениях были отобраны 37 землетрясений, из каталога Национальной Геологической Службы США (USGS). Из них несколько событий были объединены в одно, так как координаты эпицентров находились рядом друг с другом и временной интервал между землетрясениями не превышал 24 часов. За счет этого итоговое число анализируемых землетрясений уменьшилось до 24 [6].

### Заключение

Спутниковые акселерометры являются определяющими навигационными, стабилизационными и ориентировочными приборами для космических аппаратов. Эти датчики имеют различные варианты конструкции и принципы действия. При повышении точности этих

приборов все космические системы наблюдения станут более совершенными.

### **Список информационных источников**

1. Боев И. А. Спутниковые микроакселерометры и задачи, решаемые с их помощью // Молодежный научно-технический вестник: Издатель ФГБОУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана». – 2013. – № 77. – С.6.
2. Левтов В. Л., Богуславский А.А., Сазонов В.В. Исследование точности системы компьютерного зрения для тестирования низкочастотных акселерометров на борту космического аппарата // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2009. – № 66. – С.24.
3. Спутник GOCE – [электронный ресурс] – URL: <http://www.dailytechinfo.org/space/4630-sputnik-goce-stanovitsya-pervym-kosmicheskim-seismografom-sposobnym-obnaruzhit-zemletryasenie-s-orbity.html>
4. Землетрясение теперь можно обнаружить с орбиты с помощью спутника GOCE – [электронный ресурс] – URL: <http://the-day-x.ru/zemletryasenie-teper-mozhno-obnaruzhit-s-orbity.html>
5. Строчков Михаил. Спутниковые методы изучения Земли на примере системы GRACE // МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2010. – С.13.
6. Тертышников А. В., Скрипачев В.О. Возмущения плотности верхней атмосферы над сейсмоопасными регионами по данным бортового акселерометра «Кактус» на космический аппарат «КАСТОР» // Под ред. Липеровский В.А. – 2008. – С.5.

## ТРЕХОСНЫЙ ГИРОСКОП НА ПЛАТФОРМЕ NI MYRIO

*Рязанова В.Н.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Баранов П.Ф., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения*

В системах ориентации, навигации и стабилизации объектов различного назначения широко используются датчики угловых скоростей – гироскопы. В космических аппаратах гироскопы применяются для стабилизации положения корабля в пространстве, с их помощью определяется положение в пространстве, поворотом оси вращения гироскопа достигается поворот корпуса спутника. Целью работы является исследование микроэлектромеханического гироскопа с цифровым выходом.

В работе был использован трёхосный гироскоп **L3G4200D**, который измеряет угловую скорость относительно собственных осей X, Y и Z. Этот гироскоп входит в состав IMU-сенсора на 10 степеней свободы [1]. Гироскоп представляет собой миниатюрный датчик перемещений в трёхмерном пространстве, он выполнен по технологии МЭМС компании STMicroelectronics в корпусе LGA-16 (4x4x1.1 мм). Связь гироскопа с управляющей электроникой осуществляется по протоколу **I<sup>2</sup>C** [2].

Гироскоп обладает следующими характеристиками:

- Напряжение питания от 3,3 до 5 В;
- Максимальная чувствительность  $8,75 \times 10^{-3}$  град/сек;
- Потребляемый ток не менее 6,1 мА;
- Диапазон измерений  $\pm 250 / \pm 500 / \pm 2000$  град/сек.

Для исследования работы гироскопа **L3G4200D** была использована платформа National Instruments MyRIO-1900, в которой содержится двухъядерный программируемый процессор ARM Cortex, программируемая логическая интегральная схема Xilinx, которую можно использовать для разработки систем реального времени. Также NI MyRIO содержит программируемый чип Zynq-7010, позволяющий в полную силу использовать возможности среды графического программирования LabVIEW. Возможности работы с ПЛИС и встроенный Wi-Fi-модуль позволяют обеспечить управление стендом удаленно. NI MyRIO содержит в общей сложности 40 цифровых линий ввода/вывода, десять аналоговых входов, шесть аналоговых выходов, которые позволяют подключать большое количество датчиков [3].

Схема подключения гироскопа к платформе NI myRIO приведена на рисунке 1.

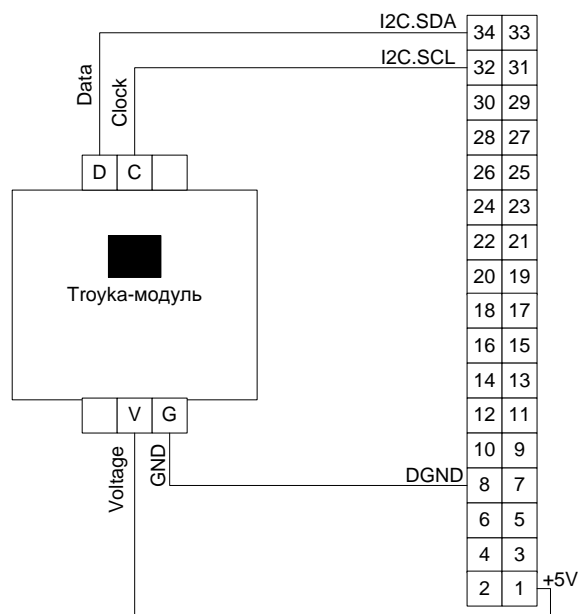


Рисунок 1 – Схема подключения гироскопа к платформе NI myRIO

Для работы с датчиком ниже на рисунке 2 представлен алгоритм работы программы.

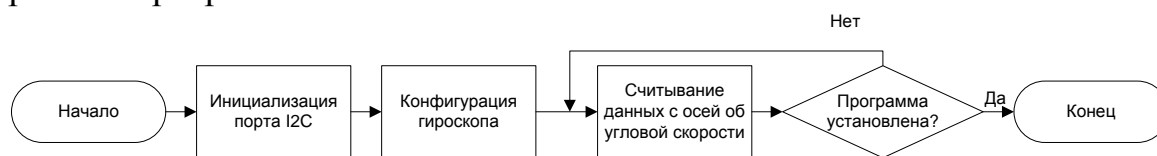


Рисунок 2 – Алгоритм работы программы

Для реализации предложенного алгоритма была написана программа в среде графического программирования LabVIEW.

Для настройки МЭМС гироскопа, необходимо его инициализировать, для этого нужно записать соответствующую информацию в его регистры:

В регистр CTRL\_REG1 записываем 0F, что соответствует настройкам, приведённым в таблице 1.



Таблица 1. Регистр CTRL\_REG1

Команда	Бит	Описание команды
DR1	0	Частота – 100 Гц
DR0	0	
BW1	0	Частота среза = 12,5 Гц
BW0	0	
PD	1	Нормальный режим работы
Z	1	Измерение по оси включено Z
Y	1	Измерение по оси включено Y
X	1	Измерение по оси включено X

В регистр CTRL\_REG2 записываем 09, что соответствует настройкам, приведённым в таблице 2.

Таблица 2. Регистр CTRL\_REG2

Команда	Бит	Описание команды
0	0	По умолчанию
0	0	
HPM1	0	ФВЧ работает в нормальном режиме
HPM0	0	
HPCF3	1	Частота среза = 0,01 Гц
HPCF2	0	
HPCF1	0	
HPCF0	1	

В регистр INT1\_CFG записываем 20, что соответствует настройкам, приведённым в таблице 3.

Таблица 3. Регистр INT1\_CFG

Команда	Бит	Описание команды
AND/OR	0	OR используется для прерывания события
LIR	0	Запрос на прерывание отключен
ZHIE	0	Разрешение на прерывание высокого уровня события на оси Z отключено
ZLIE	1	Разрешение на прерывание низкого уровня события на оси Z включено
YHIE	0	Разрешение на прерывание высокого уровня события на оси Y отключено
YLIE	1	Разрешение на прерывание низкого уровня события на оси Y включено

XHIE	0	Разрешение на прерывание высокого уровня события на оси Y отключено
XLIE	0	Разрешение на прерывание низкого уровня события на оси Y отключено

В результате данной работы был получен лабораторный стенд, с помощью которого можно измерять угловую скорость. Лицевая панель данного устройства представлена на рисунке 3.

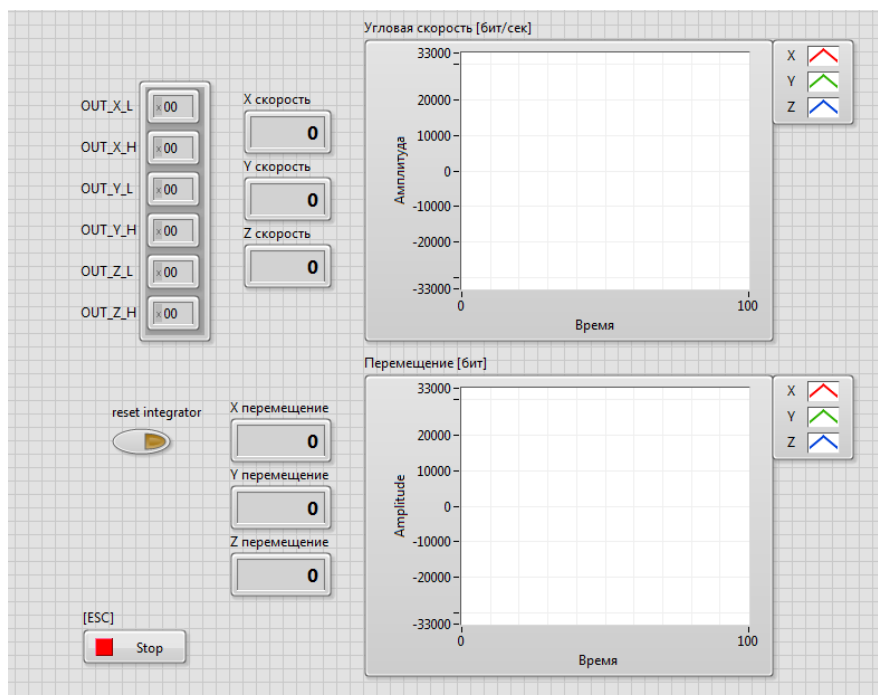


Рисунок 3 – Лицевая панель программы

### Заключение

Результатом проведенной работы является разработанная в среде графического программирования LabVIEW, программа для измерения угловой скорости по трем осям. В дальнейшем планируется работа с остальными датчиками, входящими в состав IMU-сенсора и создание полноценного навигационного устройства.

## Список информационных источников

- 1.IMU-сенсор на 10 степеней свободы [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://wiki.amperka.ru/продукты:troyka-imu-10-dof>
- 2.MEMS motion sensor: ultra-stable three-axis digital output gyroscope [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://files.amperka.ru/datasheets/L3G4200D-hyroscope.pdf>
- 3.USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI myRIO-1900 [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047a.pdf>

## МЭМС В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Сайлаубаев Т.К.*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Коледа А.Н. инженер, ассистент,  
кафедры точного приборостроения*

По мнению большинства инженеров как современные, так и передовые, датчики MEMS были использованы в автомобильной промышленности, для того, чтобы улучшить производительность, уменьшить стоимость и увеличить надежность автомобиля. Фактически, за прошлое десятилетие в автомобилях использовались сотни миллионов датчиков MEMS.

Многие из этих датчиков (например, датчики давления MEMS) просто заменяют старые технологии более дешевыми и надежными устройствами. В то время, когда MEMS датчики активировали много функций, которые на сегодняшний день активно распространяются в автомобилях. В данной статье я исследую датчики MEMS. Многие применения датчиков Вам уже известны, потому что они стали повсеместными в автомобилях. Некоторые функции сначала появляются в дорогостоящих моделях, но предназначены для того, чтобы стать стандартным оборудованием.

### Аварийные сенсоры для контроля подушек безопасности

Инерционные датчики MEMS получили самое большое применение в аварийных сенсорах автомобилей для контроля подушек безопасности. В этом случае акселерометр непрерывно измеряет ускорение автомобиля. Когда этот параметр идет вне

предопределенного порога, микроконтроллер вычисляет интеграл ускорения, чтобы определить, произошло ли большое изменение в скорости. Если произошло изменение в скорости, подушка безопасности будет запущена. Решение запустить передние подушки безопасности должно быть принято в десятках миллисекунды; решение запустить боковые подушки безопасности должно быть принято еще быстрее, потому что автомобильная дверь находится ближе к водителю и пассажирам, чем руль или приборная панель.

Приблизительно 15 - 20 лет назад, когда подушки безопасности только появились в автомобилях, производители подушек безопасности полагались на g выключатель (инерционный выключатель, составленный из контакта, шара, и пружины, размещенной в цилиндрическом вложении). Эти выключатели не дают большую информацию об ускорении, они просто обеспечивают сигнал включения - выключения, говоря Вам, что ускорение выше или ниже нужного предела. В результате управляющий модуль подушки безопасности центральной консоли требует, чтобы несколько выключателей (обычно три - семь) решили, является ли ускорение результатом дорожной грубости или же катастрофы. Проводка g выключателей по периметру автомобиля увеличила их стоимость и уменьшила их надежность. Срок службы g выключателей оставляет желать лучшего.

Внедрение акселерометров MEMS фактически устранило использование g выключателей как основной датчик ускорения в модулях подушек безопасности. Поскольку акселерометр MEMS читает непрерывное (аналоговое) измерение, Вы можете заменить g выключатели одним устройством MEMS в центральной консоли. Достигнутое увеличение надежности, и сокращение стоимости систем подушек безопасности помогло вызвать почти универсальное использование в автомобилях. Большой плюс акселерометров MEMS в том, что они могут выполнить надежное самотестирование, позволив процессору модуля подушек безопасности определить, надежны ли данные датчики или модуль подушки безопасности требует доработки.

Акселерометры MEMS обычно управляют боковыми подушками безопасности. Так как решение запуска должно быть принято быстро, нет никакого времени, чтобы ждать распространения сигнала через шасси автомобиля, таким образом, датчик должен быть помещен рядом с подушкой безопасности.

Передние датчики столкновения, помещены только позади переднего бампера, и встраиваются только к некоторым моделям, чтобы помочь определить серьезность лобового столкновения.

Ускорение переднего датчика сравнивается с микроконтроллером акселерометра, позволяя микроконтроллеру подушек безопасности смоделировать уровень инфляции подушек безопасности, чтобы соответствовать уровню замедления автомобиля.

### **Обнаружение при опрокидывании автомобиля**

Немногие автомобили имеют системы обнаружения во время опрокидывания автомобиля, но автопроизводители стараются внедрять эту функцию. Это будет уместно для микроавтобусов, пикапов и внедорожников, которые с большей вероятностью перевернутся из-за их более высокого центра тяжести. Эти системы читают угол крена и скорость крена транспортного средства, чтобы определить, является ли это опрокидыванием автомобиля. Если да, то срабатывает система, которая запускает боковые подушки безопасности для защиты водителя и пассажиров.

Системы обнаружения при опрокидывании автомобиля используют гироскоп для расчета скорости крена. Чтобы получить угол крена транспортного средства необходимо проинтегрировать скорость крена, но данных о скорости крена не достаточно, чтобы предсказать, произойдет ли опрокидывание транспортного средства или нет.

Много систем обнаружения опрокидывания используют второй акселерометр, чтобы измерить поперечное ускорение (Ось Y). Если автомобиль будет свободно скользить боком, то вероятность опрокидывания очень мала. Но если он попадает на бордюр или другой объект, шанс на опрокидывание значительно возрастет. Акселерометр обнаружения бокового столкновения обычно не может выполнить эту задачу, потому что величина ускорения, при боковом скольжении близка к типичному уровню вибраций.

Гироскопы, используемые для обнаружения опрокидывания, должны иметь превосходное подавление внешних ударов и вибрации. Так как для автомобиля весьма обычное дело столкнуться с другим транспортным средством или неподвижным объектом. Но в некоторых случаях, после такого столкновения автомобиль ждет переворот, в этот момент и должна сработать система обнаружения опрокидывания автомобиля.

Таким образом, производители автомобилей и других транспортных средств делают все возможное, чтобы обеспечить людей безопасностью. На сегодняшний день существует еще множество систем безопасности с использованием МЭМС, и еще больше инженеры стараются разработать, во блага общества.

### Список информационных источников

1. МЭМС-устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.npk-photonica.ru/content/products/mems>, свободный;
2. MEMS: микроэлектромеханические системы, часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/600098>, свободный;
3. MEMS: микроэлектромеханические системы, часть 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/editorial/mems-mikroelektromehhanicheskie-sistemi-chast-2>, свободный;
4. MEMS: микроэлектромеханические системы, часть 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/editorial/MEMS-microelectromechanicalsystems-Part-3>, свободный;
5. Третье поколение МЭМС-датчиков для предупреждения опрокидывания автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://5koleso.ru/news/vse-novosti/bosch-predstavlyaet-trete-pokolenie-mems-datchikov-dlya-preduprezhdeniya>, свободный.

## ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПОЛЕЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ТОКОВ ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКИ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*Самодуров И.Н., Долгих А.Г.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

В связи с проведением аналитических исследований моментного двигателя с ленточной намоткой, появилась необходимость в подтверждении аналитических данных экспериментальными и определении поправочных коэффициентов, обусловленных влиянием магнитного поля намотки с током и возможным проявлением эффекта Холла.

Ленточная намотка представляет собой спирально намотанную на гильзу ленту, выполненную из электропроводящего материала и покрытую слоем изоляции. Гильза является элементом корпуса двигателя. По боковым краям ленты имеются поперечные вырезы. Расстояние между центрами вырезов равно полюсному делению магнитной системы ротора. Если к началу и концу ленты подключить источник постоянного тока, то характер протекания тока определяется наличием в ленте поперечных вырезов. Поперечные составляющие этого тока, взаимодействуя с полем постоянного магнита, вызывают

появление сил, создающих момент относительно оси вращения ротора моментного двигателя [1]. Фрагмент ленточного активного элемента в виде пластины представлен на рисунке 1.

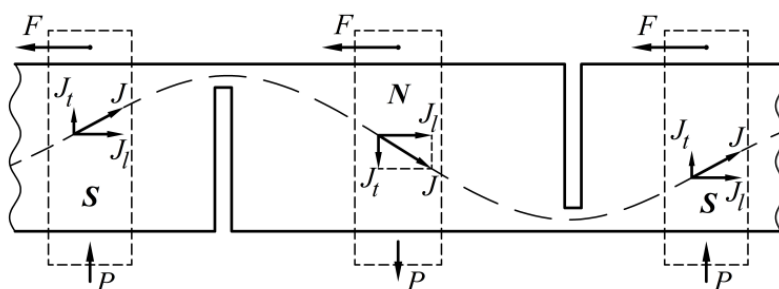


Рисунок 1. Фрагмент ленточного активного элемента

Аналитические исследования, проведенные в программном продукте COMSOL Multiphysics, показывают, что Полный ток  $J$  протекающий по пластине, является распределенным. В каждой точке пластины элемент тока  $J_i$  имеет две компоненты: продольную  $J_{i1}$  и поперечную  $J_{i2}$ . Вид линий тока, полученных с помощью программного продукта COMSOL Multiphysics, приведен на рисунке 2 [2].

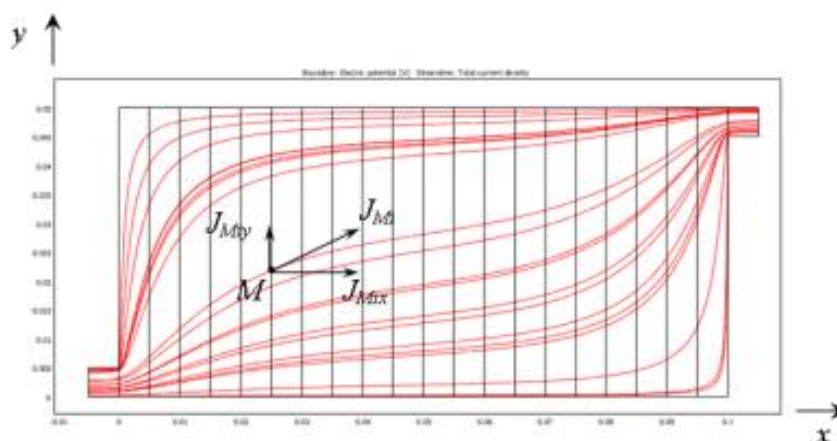


Рисунок 2. Характер распределения токовых линий.

Сила, создаваемая взаимодействием электрического тока пластины с постоянным магнитным потоком, имеет следующий вид [3]:

$$F_x = B \cdot \Delta \cdot \int_{(x-c/2)^0}^{(x+c/2)b} \int j_y(x, y) \cdot dx \cdot dy, \quad (1)$$

где  $B$  – индукция магнитного потока в воздушном зазоре;

$c$  – ширина магнита;

$b$  – ширина пластины.

Величина двойного интеграла определяется соответствующими опциями программного продукта COMSOL Multiphysics.

В процессе исследований подобных двигателей расчеты проводились исходя из выражения (1). Во всех случаях предполагалось, что индукция магнитного потока возбуждения в воздушном зазоре оставалась неизменной во всех точках взаимодействия потока с распределенным током пластины. Следующим этапом аналитических исследований необходимо оценить влияние распределенного тока пластины на магнитный поток возбуждения. Некоторые аналитические исследования на данный момент проведены [4]. Их результаты показывают, что в одних частях пластины магнитный поток будет усиливаться, в других – ослабевать, как показано на рисунке 3.

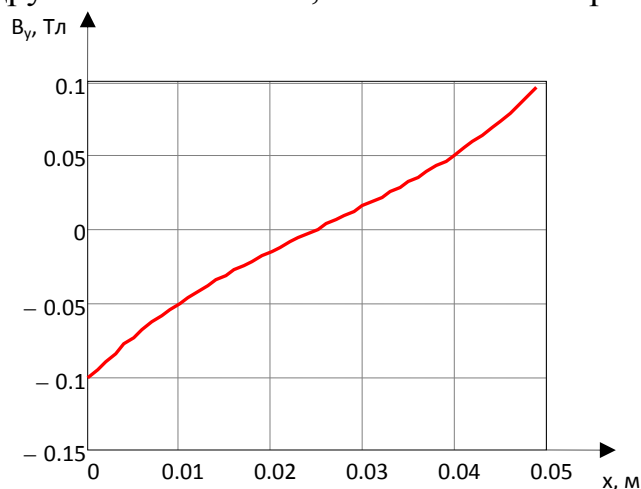


Рисунок 3. Аналитически полученная зависимость индукции магнитного потока, созданного током пластины вдоль ее ширины

Другим объектом исследований является фактор проявления в пластине эффекта Холла, заключающегося в том, что под действием магнитного поля возбуждения произойдет искажение траекторий элементарных линий тока (действие правила «левой руки»). Это явление программным продуктом COMSOL Multiphysics не учитывается. Кроме того, количественная сторона этого явления в научно-технической литературе не рассматривается.

В связи с необходимостью увязки разработанной методики расчетов с реальными характеристиками двигателя (применением поправочных коэффициентов) стоит задача разработать и создать экспериментальную установку, на которой можно было бы получить необходимые поправки.

Такая экспериментальная установка может быть выполнена по схеме, приведенной на рисунке 4.



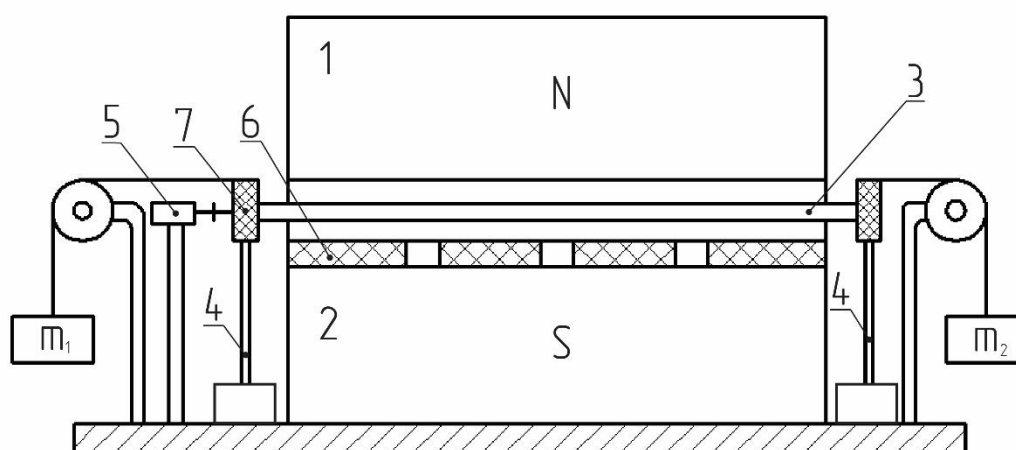


Рисунок 4. Схема экспериментальной установки.

Экспериментальная установка состоит из двух постоянных магнитов 1 и 2, соединенных магнитопроводом. В зазор между магнитами помещается токопроводящая пластина 3, установленная на плоских пружинах 4, закрепленных в основании установки. Также в зазор помещается немагнитная пластина 6 из электроизоляционного материала с установленными в неё датчиками Холла. Элемент крепления 7 проводящей пластины к пружинам жестко соединен с нормально-замкнутой парой контактного датчика. Каждый элемент крепления через ролики связан с массой, подвешенной на нити.

При пропускании тока через пластину, расположенную в зазоре между магнитами, появится сила, которая будет выталкивать ее. В противоположную сторону действует сила, обусловленная наличием противовеса в виде массы  $m_1$ . Сила, создаваемая взаимодействием увеличиваемого электрического тока пластины с постоянным магнитным потоком, будет определяться в момент разрыва контактной пары. Наличие массы  $m_2$  обусловлено необходимостью определения силы начальной деформации пружины под действием контактной пары и используется только в процессе настройки экспериментальной установки.

Совокупность датчиков Холла, помещенных в воздушный зазор, позволит оценить характер изменения индукции суммарного магнитного потока в характерных точках воздушного зазора.

Косвенным путем оценив влияние эффекта Холла на токовые линии и воздействие магнитного поля тока пластины на магнитное поле постоянных магнитов, можно ввести поправочные коэффициенты,

которые позволят сопоставить экспериментальные и аналитические данные.

### **Список информационных источников**

1. Моментный двигатель: пат. 2441310 Рос. Федерация. № 2010135113/07; заявл. 20.08.10; опубл. 27.01.12, Бюл. № 3. – 6 с.;
2. Мартемьянов В.М., Иванова А.Г., Кодермятов Р.Э. Исполнительные двигатели с ленточной намоткой // Вестник Науки Сибири -2013. № 1(7);
3. Долгих (Иванова) А.Г., Мартемьянов В.М., Плотникова И.В. Влияние геометрии пластины на силовую характеристику двигателя с активным пакетным элементом// Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. № 4. С. 22-26;
4. Иванова А.Г., Самодуров И.Н., Мартемьянов В.М. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДНИКА С ТОКОМ // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 6.; Студенческий научный журнал.

# ЛИНЕЙНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПО НАПРАВЛЯЮЩИМ

*Стасевский В.И.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

Томографические комплексы, разрабатываемые в Институте неразрушающего контроля ТПУ, используются для определения дефектов изделий разной массы и конфигурации, выполненных из различных материалов - от металлов до полимеров. Контроль качества продукции без разрушения готовых изделий и без остановки производственного процесса необходим в авиационной, космической, автомобильной и других отраслях промышленности [1].

В томографических комплексах для сканирования крупногабаритных объектов (массой до 3 тонн) используются специальный стол, изготовленный из стальных труб квадратного сечения, по которому по направляющим перемещается тележка с устанавливаемым на нее объектом исследования. На рисунке 1 представлена 3D модель такого стола с тележкой, на которую объект исследования помещается путем закрепления между дисками [2].

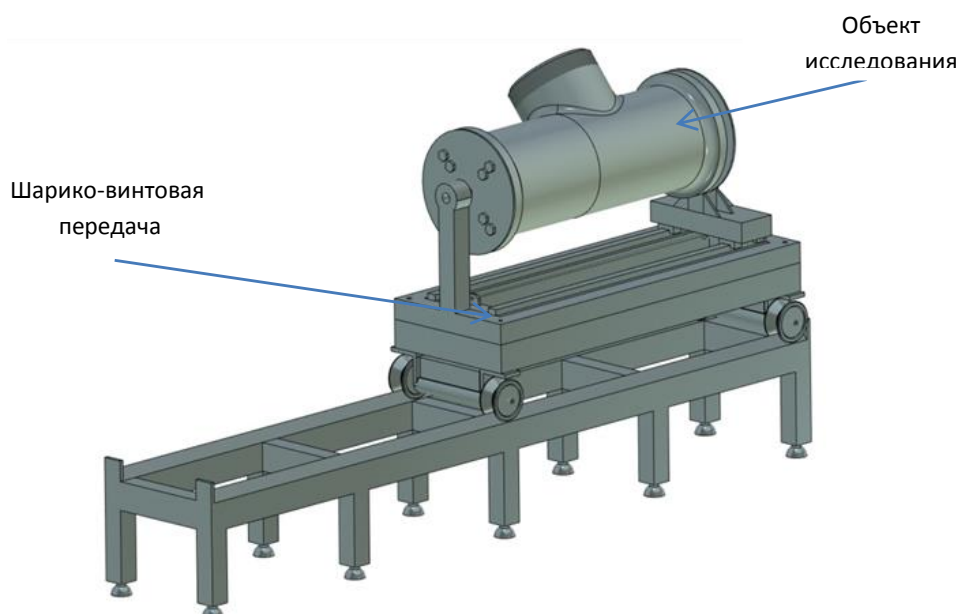


Рис. 1. 3D модель одного из вариантов стола для сканирования  
крупных объектов

Перемещение объекта исследования на тележке можно осуществлять по угловым направляющим. На рисунке 1 представлена

3D модель угловой направляющей. Угловая направляющая состоит из трубы прямоугольного сечения и соединенной с ней половины трубы, разрезанной пополам по диагонали.

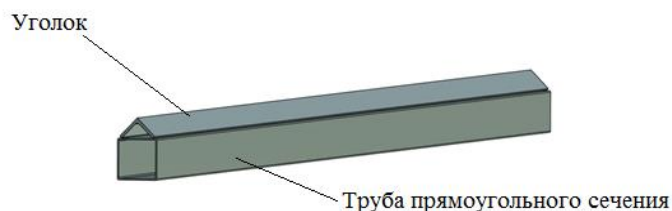


Рис. 2. 3D модель угловой направляющей

Самый распространенный и бюджетный вид направляющих - угловые направляющие. Угловые направляющие изготавливаются из труб из высоколегированных сталей. Такие трубы доступны, легко обрабатываются и устанавливаются. Монтаж направляющих осуществляется с помощью дуговой сварки, однако сварку проводить надо правильно. Некачественная сварка может привести к тому, что уголок поведёт из-за перегрева металла.

Преимущество данной угловой направляющей состоит в простоте изготовления и в том, что она может выдержать большую нагрузку. Все компоненты доступны (например, в Томске в Сервисном металлоцентре ЗАО "ТОМАГ").

Наиболее подходящий вариант перемещения тележки по направляющей - с помощью шариковой рельсовой направляющей. Профильные рельсовые направляющие используются для линейного перемещения и состоят из рельсов и кареток. На рисунке 2 представлена профильная рельсовая направляющая с входящими в нее конструктивными элементами [3].

Установка направляющих осуществляется следующим образом. Поверхность стола, где будут устанавливаться профильные рельсовые направляющие, должна быть отфрезерована. Поскольку каретки циркулируют непрерывно, и профильные рельсовые направляющие обеспечивают практически неограниченный ход, то точная обработка рельса позволит осуществлять плавное движение.

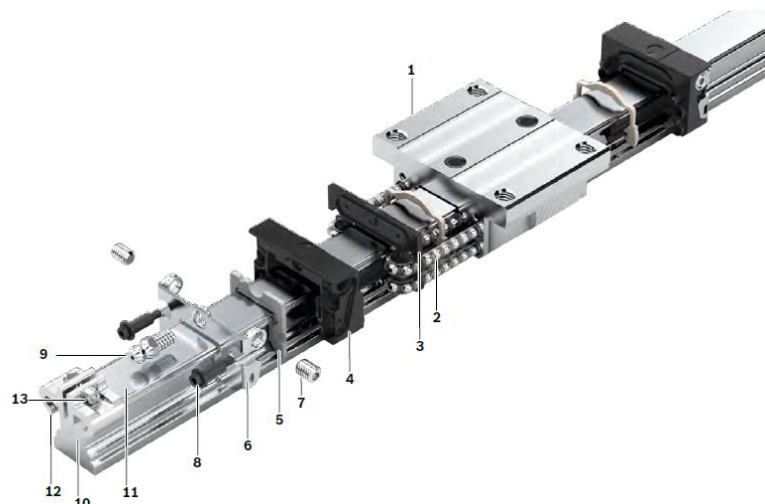


Рис. 3. Конструктивные элементы профильной рельсовой направляющей:  
 1 - корпус шариковой каретки; 2 - шарики подшипниковая; 3 - направляющая пластина; 4 - шариковая направляющая; 5 - уплотнительная пластина; 6 - резьбовые пластины; 7 - резьбовые штифты; 8 - фланцевые винты; 9 - шприц-масленка; 10 - направляющий рельс; 11 - защитная лента; 12 - фиксатор ленты; 13 - зажимной винт с гайкой

На рисунке 4 представлена 3D модель стола сканирования крупных объектов с установленной рельсовой направляющей.

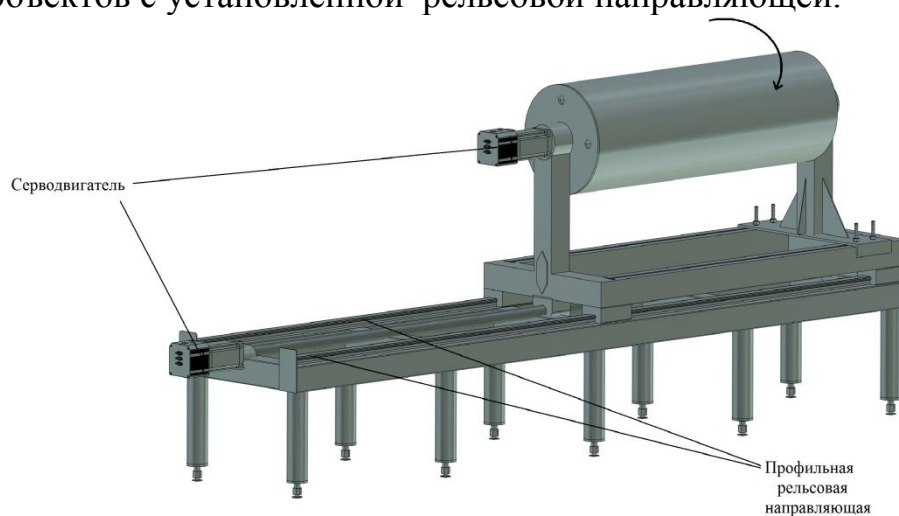


Рис. 2. 3D модель стола для сканирования крупных объектов с установленной рельсовой направляющей

## Список информационных источников

1. Смолянский В.А., Стасевский В.И., Костюченко Т.Г. Обеспечение линейного перемещения регистрирующего детектора для настройки томографического комплекса // Автоматизированное проектирование в машиностроении: Материалы III международной заочной научно-практической конференции / НОЦ «МС» - Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2015 - №3. - с. 17 - 20.
2. Стасевский В.И. Линейное перемещение объектов томографического контроля посредством винтовой передачи // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – с. 209 – 211.
3. [https://www.boschrexroth.com/ru/ru/products\\_10/product\\_groups\\_10/linear\\_motion\\_technology\\_4/profiled\\_rail\\_systems/ball\\_rail\\_systems\\_bshp/ball\\_rail\\_systems\\_3](https://www.boschrexroth.com/ru/ru/products_10/product_groups_10/linear_motion_technology_4/profiled_rail_systems/ball_rail_systems_bshp/ball_rail_systems_3)).

## ФЕРРОЗОНДОВЫЙ МАГНИТОМЕТР ДЛЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*Тараканец Е.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Баранов П.Ф., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

**Ключевые слова:** Феррозонд, магнитометр, ориентация, космический аппарат.

## Введение

Одним из способов определения угловой ориентации космического аппарата (КА) на орбите Земли является определение ориентации по магнитному полю. Ввиду простоты данного метода, малым требованиям к вычислительной мощности бортовой вычислительной аппаратуры КА и тенденции к миниатюризации КА (всё большее распространение получают КА формата CubeSat, представляющие собой один или несколько соединенных между собой кубов с ребром 100 мм) данный способ определения ориентации в настоящее время является одним из наиболее популярных. В качестве датчиков для измерения магнитного поля Земли в подобных

устройствах широко применяются феррозондовые датчики и магнитометры на их основе.

Феррозондовый магнитометр или феррозонд – это устройство, чувствительное к постоянному или медленно меняющемуся магнитному полю, состоящее из одного или нескольких ферромагнитных сердечников и обмоток, распределенных по их длине [1-3].

### Конструкция устройства

Наибольшее распространение получили так называемые дифференциальные феррозонды. Конструкция и схема такого устройства представлена на рисунке 1.

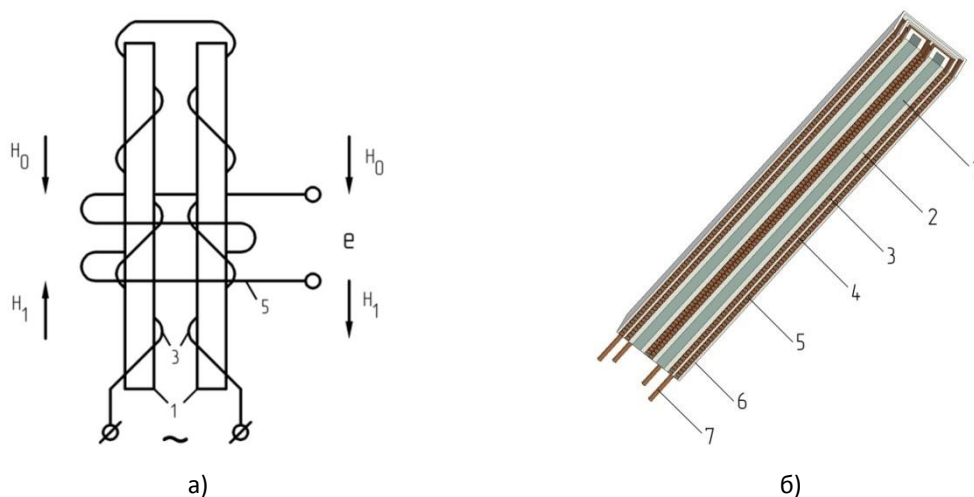


Рисунок 1. Схема (а) и конструкция (б) дифференциального феррозонда

Дифференциальный феррозонд имеет следующую конструкцию. Два одинаковых пермалловых сердечника 1, выполненных в виде тонких стержней или лент прямоугольного сечения, расположены в специальных каркасах 2, параллельно друг другу. Поверх каркасов 2 намотаны последовательно включенные обмотки возбуждения 3, которые образуют цепь возбуждения феррозонда. Эта цепь запитывается переменным током низкой частоты, который создает вокруг прибора магнитное поле возбуждения с напряженностью  $H_1$ . Поверх первичных обмоток 3 устанавливается внутренний каркас 4, на который наматывается общая вторичная обмотка 5, в которой наводится ЭДС, пропорциональная индукции  $H_0$  измеряемого магнитного поля. Вся конструкция устанавливается во внешний каркас

6, а выводы обмоток подпаиваются к выводным контактам 7.

### **Описание макета**

В процессе работы был разработан и изготовлен макет феррозонда (рисунок 2) со следующими характеристиками:

- Размеры сердечников – 100x10x0,05 мм;
- Материал сердечников – пермаллой марки 80НХС;
- Размеры каркасов сердечников – 140x14x3.1 мм;
- Число витков каждой обмотки возбуждения – 550;
- Длина намотки обмоток возбуждения – 66 мм;
- Число витков измерительной обмотки – 490;
- Обмоточный провод – ПЭВШО, диаметром 0,12 мм.

Конструкция корпусов была подобрана таким образом, что бы обеспечить надёжное крепление пермаллоевой ленты внутри корпуса, а так же одинаковый со всех сторон зазор между лентой и обмоткой. Дополнительно, на краях корпусов предусмотрены пазы для фиксации обмоточных проводов.



Рисунок 2. Внешний вид макета феррозонда

### **Анализ чувствительности макета феррозонда**

При анализе чувствительности макета он запитывался переменным током синусоидальной формы с амплитудой 100 мА и частотой 2000 Гц. При этих параметрах возбуждающего тока на выходе измерительной обмотки возникала максимальная ЭДС и не происходил перегрев макета. Максимальная напряженность поля возбуждения, создаваемая обмотками возбуждения составила 2,88 мА/м.

Чувствительность феррозонда по второй гармонике  $S_2$  определяется выражением:



$$S_2 = \frac{1}{ET} \int_0^T [-sw_2 H_q(t) 6a_3 [(H_{изм} + H_{возб}(t))^{-1} - (H_{изм} - H_{возб}(t))^{-1}]] \sin(2\omega t) dt, \quad (1)$$

Где:

- $E = 0,5$  – коэффициент пропорциональности;
- $T$  – период сигнала;
- $s$  – площадь поперечного сечения сердечников;
- $w_2$  – число витков измерительной обмотки;
- $H_q(t) = dH_{возб}(t)/dt$ ;
- $a_3$  – коэффициент аппроксимации кривой намагничивания;
- $H_{изм}$  – напряженность измеряемого поля;
- $H_{возб}(t)$  – напряженность поля возбуждения;
- $\omega$  – угловая частота тока, питающего обмотку возбуждения.

Произведя подстановку необходимых числовых значений в выражение (1), было установлено, что значение чувствительности изготовленного макета феррозонда должно составлять  $S_2 \approx 60$  мкВ/мкТл.

Амплитуда выходной ЭДС, наводимой в измерительной обмотке феррозонда для второй гармоники определяется выражением:

$$E_2 = -sw_2 H_q(t) 3a_3 [(H_{изм} + H_{возб}(t))^2 - (H_{изм} - H_{возб}(t))^2] \quad (2)$$

Подставив необходимые числовые значения в выражение (2), было установлено, что значение выходной ЭДС, наводимой в измерительной обмотке для второй гармоники должно составлять  $E_2 \approx 51$  мкВ.

## Выводы

Опираясь на расчётные данные, можно сделать выводы о том, что выходные параметры изготовленного макета достаточно высоки и легко поддаются детектированию и обработке про помощи современных средств измерения, что позволяет говорить о потенциальной возможности применения подобного феррозондового магнитометра как чувствительного элемента системы ориентации КА.

## Список информационных источников

1. Афанасьев, Ю. В. Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. – Л.: Энергия, 1969. – 168 с.
2. Баранова В.Е., Баранов П.Ф. Пути повышения чувствительности феррозондовых преобразователей // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVI международной научно-технической конференции. Том 1. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 57-60.
3. Баранов П.Ф., Муравьев С.В., Огай В.Е., Учайкин С.В. Феррозондовый магнитометр для измерения магнитной индукции до 1 нТл // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320, № 4. – С. 89–92.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА ВИДЕОКАМЕРЫ

*Татарников Е.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гурин Л.Б., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения*

На сегодняшний день большой популярностью пользуются «экшн» камеры, которые позволяют спортсменам производить съемку в движении при прыжках с парашютом, езде на велосипеде или мотоцикле, при совершении различных трюков на роликах, лыжах или сноуборде. Такие условия съемки характеризуются большими вибрациями. Колебания оказывают вредное влияние на работу камеры и качество изображения. Для исключения вредного влияния колебаний применяются стабилизирующие устройства.

Целью данной работы является проектирование электронного трехосевого подвеса, предназначенного для демпфирования и стабилизации видеокамеры во время съемки.

В результате анализа различных схем стабилизации [1] было принято решение использовать индикаторную стабилизацию «экшн» камеры, в которой чувствительным элементом является датчик угловой скорости, определяющий скорость отклонения луча визирования камеры относительно плоскости горизонта.

Устройство обеспечивает стабилизацию камеры по трем осям.

На каждой оси имеется датчик момента (Дм) и датчик угла (Ду). Камера жестко прикрепляется к опоре, имеющей трехосный датчик угловой скорости (Дус). Сигнал датчика угловой скорости интегрируется в интеграторе (И).

Данное устройство работает в трех основных режимах: режим стабилизации изображения, режим демпфирования и режим ручного управления поворотом камеры.

В режиме стабилизации изображения визирная ось камеры сохраняет свое направление неизменным, то есть камера всегда смотрит в одну точку.

В режиме демпфирования изображения камера следует за подвижным основанием с некоторым отставанием, при этом происходит сглаживание рывков и колебаний основания.

В режиме ручного управления оператор может управлять поворотом камеры с помощью кнопок управления на ручке, либо с помощью пульта дистанционного управления.

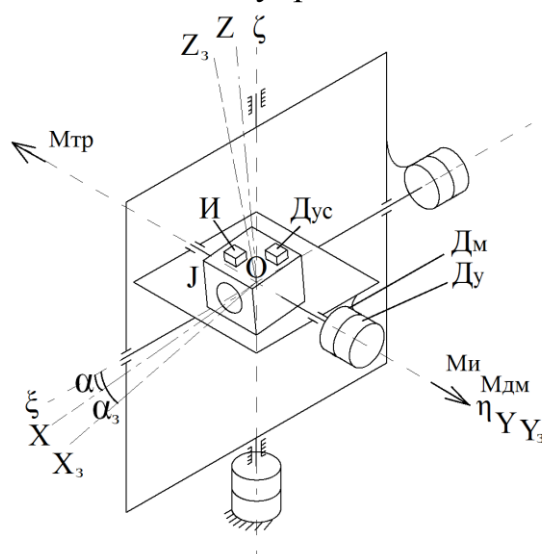


Рисунок 1 – Кинематическая схема стабилизатора

На приведенном рисунке:

$OXYZ$  – система, связанная с камерой;

$OX_3Y_3Z_3$  – система, заданная задающим устройством;

$O\xi\eta\zeta$  – инерциальная система координат;

$\alpha$  – поворот камеры в инерциальном пространстве;

$\alpha_3$  – угол поворота заданный задающим устройством;

$M_{и} = J * \ddot{\nu}$  – момент инерции камеры;

$M_{дм} = K_{дм} * \dot{\nu}$  – момент датчика момента;

$M_{тр}$  – момент трения.

Опишем принцип действия устройства. Камера соединяется со стабилизатором, а он в свою очередь держится в руке, прикрепляется к шлему, беспилотному летательному аппарату или другому подвижному объекту. Предположим, что основание вращается вокруг оси  $OY$ . При этом камера будет стремиться повернуться за основанием за счет возникновения сил трения в опорах. Если силы трения

скомпенсировать, то оптическая ось камеры будет оставаться неподвижной и камера будет стабилизирована.

При возникновении сил трения камера поворачивается вокруг оси  $OY$ , датчик угловой скорости измеряет скорость поворота, сигнал интегрируется и подается на датчик момента. Таким образом, с интегратора на датчик момента подается сигнал пропорциональный углу отклонения камеры от первоначального положения. Датчик момента создает момент, который стремится воспрепятствовать дальнейшему повороту камеры. При этом движение камеры будет резким и отрывистым. Для сглаживания рывков при стабилизации камеры и обеспечения устойчивости переходного процесса также используется сигнал датчика угловой скорости. Сигнал пропорциональный скорости вращения камеры суммируется с сигналом интегратора, перед тем как подается на датчик момента. Сигнал с задающего устройства (ЗУ) в этом режиме равен нулю.

В режиме следования камеры за поворотом основания мы вместо сигнала с интегратора подаем на датчик момента сигнал с датчика угла, который измеряет угол поворота камеры относительно основания.

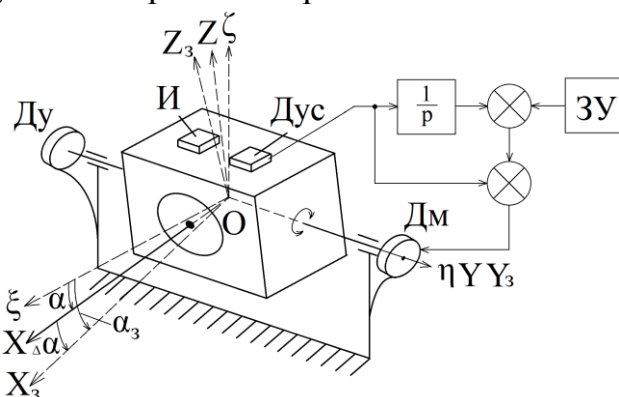


Рисунок 2 – Действие стабилизатора

В режиме ручного управления оператор с помощью кнопок задающего устройства вводит величину сигнала  $\alpha_3$ , в результате чего камера отклоняется от плоскости горизонта на заданный угол.

Была составлена структурная схема стабилизатора.

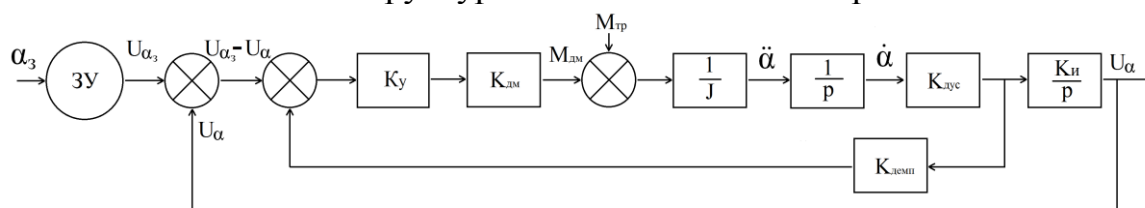


Рисунок 3 – Структурная схема стабилизатора

В результате анализа было установлено, что передаточная функция стабилизатора соответствует колебательному звену:

$$W_{\alpha\beta}^{\alpha} = \frac{1}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1} ,$$

$$\text{где: } T = \sqrt{\frac{J}{(K_y \cdot K_{\text{дм}} + M_{\text{тр}}) \cdot K_{\text{дус}}}}; \xi = \frac{K_{\text{демп}}}{2 \cdot T}.$$

Был проведен анализ массогабаритных характеристик наиболее популярных «экшн» камер. На основе полученных результатов был спроектирован стабилизатор.

Устройство состоит из трех одинаковых блоков, включающих в себя датчик момента и датчик угла. В качестве датчика момента и датчика угла было решено использовать сервопривод MG995. Данный сервопривод обеспечивает достаточные момент (9,4 кгс·см) и скорость (0,17 с/60°) стабилизации камеры [2].

Камера крепится к основанию, на котором размещена микросхема MPU6050. Эта микросхема содержит трехосевой МЭМС (микроэлектромеханические системы) гироскоп и трехосевой МЭМС акселерометр с 16 битным АЦП [3].

К нижнему блоку прикреплен блок управления с аккумулятором 5 В. Для управления сервоприводами и микросхемой MPU6050 будем использовать плату Arduino Nano. Управление работой стабилизатора производится кнопками, находящимися на рукоятке.

На рисунке 4 проиллюстрирована конструкция стабилизатора.

В ходе выполнения исследовательской работы был проведен анализ способов стабилизации видеокамер. В результате проведенной работы был выбран метод стабилизации и спроектировано устройство для уменьшения угловых движений камеры. Данный прибор обеспечивает демпфирование и стабилизацию камеры по трем осям. Управление осуществляется с ручки управления. Стабилизатор будет полезен для видеосъемки при занятии экстремальными видами спорта, а также при съемке с различных подвижных объектов.

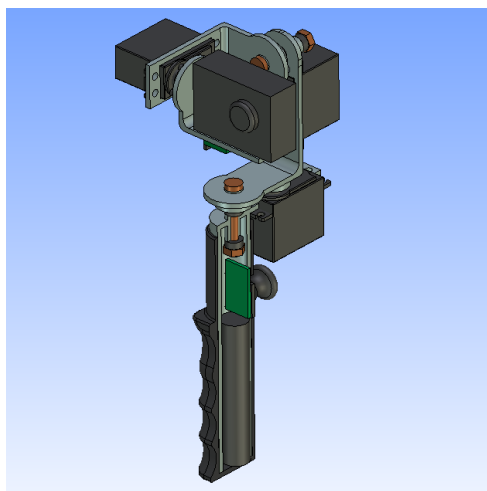


Рисунок 4 – Конструкция стабилизатора

### **Список информационных источников**

1. Бабаев А.А. Стабилизация оптических приборов. — Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1975. - 192с
2. MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf), свободный.
3. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cdiweb.com/>, свободный.

### **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВИБРАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА**

*Хайдукова В.М., Бритова Ю.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Бритова Ю.А., к.т.н., ассистент кафедры  
точного приборостроения*

Двигатели-маховики (ДМ) в настоящее время активно используются для стабилизации и ориентации малых космических аппаратов (МКА). ДМ представляет собой быстро вращающийся ротор-маховик, расположенный на подшипниках и приводимый во вращение электроприводом (рис. 1).

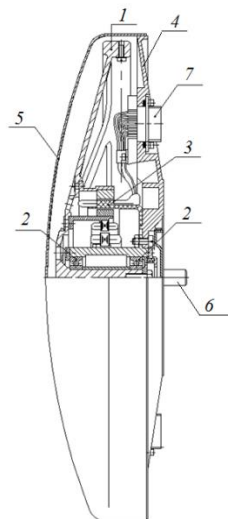


Рис. 1. Конструкция ДМ

1 – маховик, 2 – подшипниковые опоры, 3 – электродвигатель, 4 – основание, 5 – крышка, 6 – штуцер для герметизации корпуса ДМ.

Основное свойство ДМ, как гироскопа, – сохранение стабильности положения главной оси в пространстве.

Одна из основных причин нарушения стабильности положения главной оси ДМ и, соответственно, точности выполнения задач бортового оборудования, установленного на МКА – собственная вибрация.

На этапе проектирования ДМ для разработчиков актуальна проблема вредных возмущающих воздействий, вызванных погрешностями изготовления элементов конструкции и сборки шарикоподшипниковых опор, неуравновешенностью маховика и т.д.

Основной механизм ДМ – шарикоподшипниковый узел. Спектр вибрации шарикоподшипников состоит из многочисленных гармоник, многие из которых значительны по амплитуде. Вибрация подшипников определяется случайными взаимодействиями геометрически неидеальных поверхностей дорожек качения и шариков. Возможны выбросы энергии, которые оказывают влияние на колебание момента инерции, кинетического момента и на нарушение стабильности главной оси. В шарикоподшипниковом узле вероятны следующие причины неисправности: неровность сепаратора, некруглость дорожек качения внутреннего кольца, зазор подшипника, дефекты шарика и т.д. [1].

В процессе работы ДМ шарикоподшипники постепенно изнашиваются, что увеличивает остаточную неуравновешенность ротора.

Для уменьшения до приемлемого значения уровня остаточной неуравновешенности маховика в технологическом цикле изготовления изделия ДМ выполняют операцию балансировки.

Балансировка осуществляется посредством двухканального виброанализатора, который позволяет проводить измерения общего уровня вибрации, амплитуды/фазы первой гармоники оборотной частоты. К каналам виброанализатора подключаются акселерометры, которые устанавливаются в двух ортогональных плоскостях балансируемого ДМ [2].

Балансировка ротора-маховика ДМ проводится в двух плоскостях коррекции до достижения требуемого значения остаточной неуравновешенности. Плоскости коррекции ДМ представлены на рис. 2.

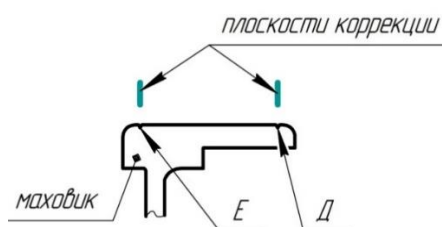


Рис. 2. Расположение плоскостей коррекции

При вращении в шарикоподшипниках качения даже весьма точно уравновешенный ротор периодически теряет устойчивость из-за асимметрии расположения тел качения относительно оси, проходящей через центры масс шарикоподшипников. В результате появляются вибрации, частота которых не совпадает и не кратна скорости вращения ротора. Вибрации одного шарикоподшипника через детали ДМ влияют на параметры вибрации парного с ним шарикоподшипника. Основные собственные частоты подшипникового узла определяются расчетным методом при известных конструктивных параметрах по формулам представленным ниже.

$$f_c = 0,5 \left[ 1 - \left( \frac{2d_w}{D+d} \right) \cos q \right] \Omega$$

частота вибрации, вызванная неуравновешенностью сепаратора шарикоподшипника

$$f_s = 0,5 \left[ 1 + \left( \frac{2d_w}{D+d} \right) \cos q \right] z\Omega$$

частота вибрации, вызванная дефектом внутреннего кольца шарикоподшипника



$$f_n = 0,5 \left[ 1 - \left( \frac{2d_{ш}}{D + d} \right) \cos q \right] z \Omega$$

частота вибрации, вызванная  
дефектом наружного кольца  
шарикоподшипника

$$f_{mk} = \left( \frac{d + D}{4d_{ш}} \right) \left( 1 - \frac{4d_{ш}^2}{(d + D)^2} \cos^2 q \right) \Omega$$

частота вибрации, вызванная  
дефектом тела качения  
шарикоподшипника

где  $\Omega$  – угловая скорость вращения маховика,  $D$  – диаметр наружного кольца шарикоподшипника;  $d$  – диаметр внутреннего кольца шарикоподшипника;  $z$  – количество тел качения (шариков);  $d_{ш}$  – диаметр тела качения (шарика);  $q$  – угол контакта тел качения.

Теоретически оценить жесткость конструкции на этапе разработки ДМ возможно посредством современных САД-систем, позволяющих создать оригинальные 3D-модели и произвести расчет собственных частот, подобрать приемлемый материал и массогабаритные характеристики [3].

Необходимость в расчете собственных частот и соответствующих им форм колебаний нередко возникает при анализе динамического поведения конструкции под действием переменных нагрузок. Наиболее распространена ситуация, когда при проектировании требуется убедиться в малой вероятности возникновения в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс. В большинстве случаев возникновение резонанса является крайне нежелательным явлением в плане обеспечения надежности и прочности изделия.

Условие виброустойчивости по критерию собственных частот может быть сформулировано так: собственные частоты конструкции должны лежать за пределами диапазона частот внешних воздействий.

В качестве примера на рис. 3 приведены результаты расчета собственных частот и форм мод колебаний конструкции маховика.

Общие сведения о качестве конструкции ДМ возможно оценить при исследовании его вибрационной характеристики (ВХ). ВХ представляет собой зависимость уровня вибрации от скорости вращения ДМ и определяется в рабочих режимах (при включенном приводе) и в выключенном состоянии (при выбеге ротора). Определение ВХ и обработка полученных данных осуществляется посредством современных средств измерения: датчиков вибрации и анализаторов спектра. Анализ ВХ позволяет оценить качество балансировки (по уровню вибрации гармоник скорости вращения),

сборки подшипникового узла (по уровню вибрации подшипниковых частот), а также значений резонансных частот конструкции ДМ.

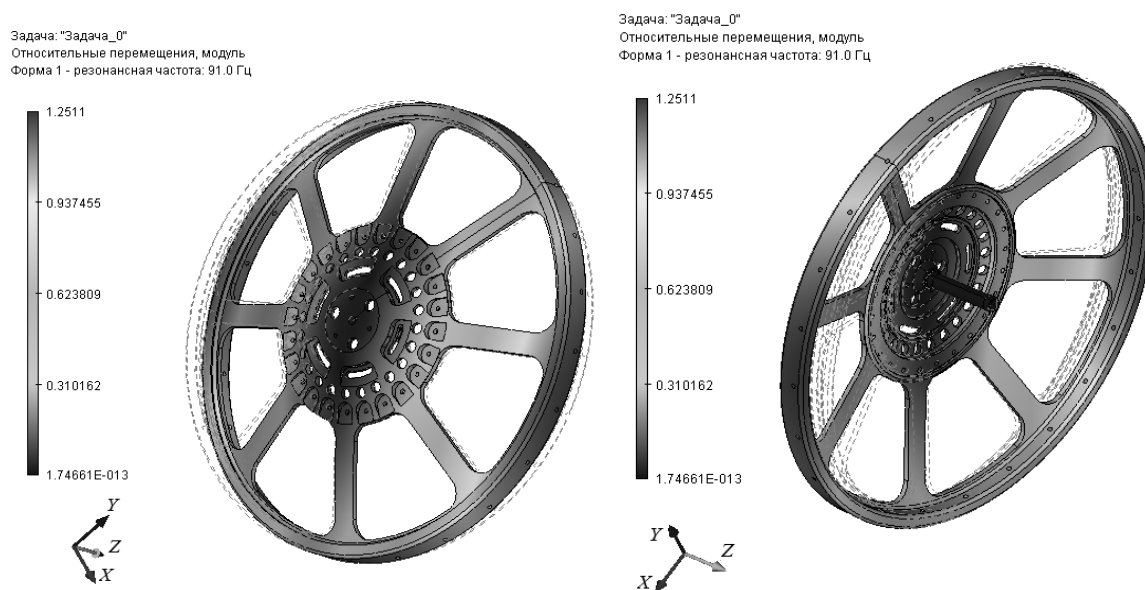


Рис. 3 Форма колебаний маховика на собственной частоте 91 Гц (1 мода)

### Список информационных источников

1. Журавлев В.Ф., Бальмонт В.Б. Механика шарикоподшипников гироскопов / Под ред. Климова Д.М. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
2. Левит М.Е., Рыженков В.М. Балансировка деталей и узлов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
3. Влияние жесткости силовых элементов конструкции на величину критической скорости исполнительного органа на базе управляемого по скорости двигателя-маховика (УДМ) / Ю.А. Бритова, В.С. Дмитриев, А.А.Васильцов, И.С.Костарев // Контроль. Диагностика. – 2012. – Т. 1. - № 11. – С. 221-223.

## ПЛАТА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ “УПРАВЛЯЮЩИЙ МАХОВИК-КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ”

*Хрущ Е.И., Крылатов А.Ю.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент  
кафедры точного приборостроения*

Целью представляемой работы является создание демонстрационного стенда “Управляющий маховик – Космический аппарат”, позволяющий наглядно демонстрировать принцип работы и особенности конструкции системы ориентации космического аппарата. Для исключения влияния на работу стенда внешних механических воздействий была разработана схема дистанционного управления, использующая в качестве управляющего сигнала световой поток, излучаемый светодиодом. Данная схема предназначена для того, чтобы можно было подавать питание на микродвигатель-маховик и отключать его. Дело в том, что управляющий элемент схемы ориентации (маховик) и все обслуживающие его элементы установлены на платформе с маломоментным подвесом, моделирующим движение космического аппарата. В этом случае любые манипуляции с коммутационными элементами схемы во время демонстрации работы схемы недопустимы.

Принципиальная схема устройства представлена на рис.1

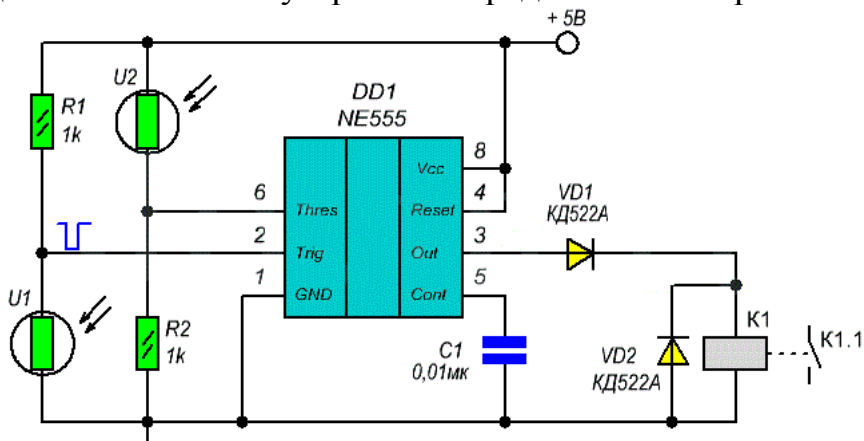


Рис.1 Принципиальная схема платы дистанционного управления

Данная схема построена на аналоговой интегральной схеме NE555, которая представляет собой асинхронный RS-триггер со специфическими порогами входов, точно заданными аналоговыми компараторами и встроенным делителем напряжения. Принцип работы схемы заключается в следующем. При наведении светового луча на

фоторезистор U1 происходит подача импульса низкого уровня на вывод 2 микросхемы. Таймер запускается, и на выходе 3 устанавливается напряжение высокого уровня, которое определяется внешним сопротивлением R1, величиной в 1 кОм, и на обмотку электромагнитного реле подается ток, двигатель- маховик приходит во вращение. Чтобы обесточить обмотки электромагнитного реле, необходимо навести световой луч на фоторезистор U2. При этом на 6 вывод схемы подается сигнал высокого уровня, таймер останавливается, двигатель перестает работать.

Для проверки работоспособности и тестирования данной схемы, был собран макет на доске для прототипирования, которая позволяет собирать макеты без использования пайки.

Собранный макет представлен на рис.2.

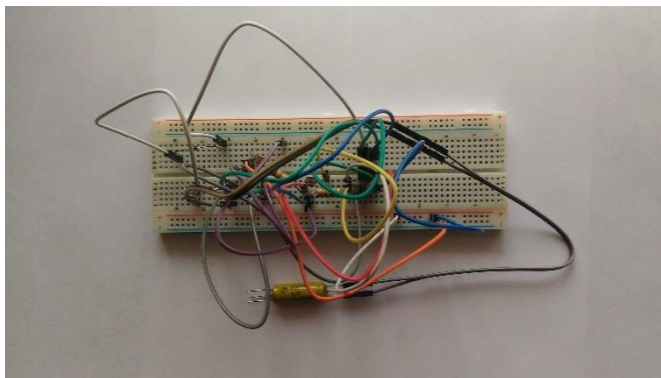


Рис.2 Собранный макет схемы дистанционного управления

Собранная схема была протестирована и показала хороший результат, если использовать в качестве светового луча луч лазерной указки, то дальность действия схемы зависит лишь от мощности лазера. В дальнейшем данная схема будет изготовлена на печатной плате, которая будет монтироваться на платформе.

### **Список информационных источников**

- 1.Дистанционный выключатель. Три варианта.  
[<http://www.joyta.ru/7394-distancionnyj-vyklyuchatel-sveta-tri-varianta/>]
- 2.Camenzind, H. Designing Analog Circuits. — Virtualbookworm Publishing, 2005. — 244 p. — ISBN 9781589397187.
- 3.Евсеев А. Н. Электронные устройства для дома. — М.: Радио, 1994. — 144 с.
- 4.Гаврилов К. Применение микросхемы КР1441ВИ1 : Радио. — 2011. — № 6. — С. с. 34—36.

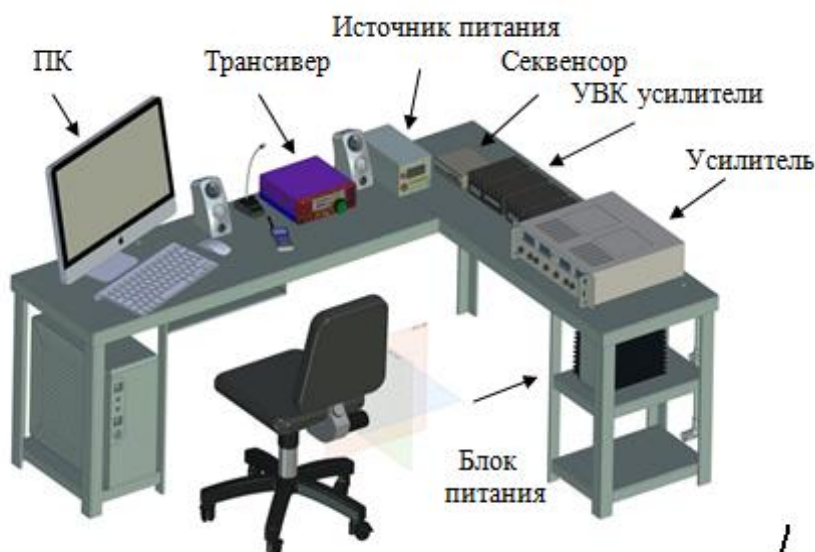
## ИМИТАТОР МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ СТУДЕНЧЕСКОГО ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ

*Шевнин Е.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

Не так давно в ТПУ состоялось открытие студенческого центра управления полетами (ЦУП) малыми космическими аппаратами (МКА). ЦУП – это научно-образовательная платформа для наблюдения за ранее запущенными малыми космическими аппаратами и контроля планируемых запусков и полетов. Обобщенная структурная схема студенческого ЦУП была приведена в [1]. Общий вид станции с основным приемопередающим и управляющим оборудованием представлен на рисунке 1 в виде 3D модели.



*Рисунок 1 - Приемопередающее и управляющее оборудование станции*

На рисунке 2 приведены фотографии ЦУПа в процессе работы.

В процессе управления МКА возникает потребность тестирования функциональных и технических характеристик бортовой аппаратуры; отработки программного обеспечения; отработки совместной работы бортовой аппаратуры и наземного комплекса управления; а также расчета движения МКА по околоземной орбите. Решение этих задач с реальными опытными образцами оборудования МКА являлось бы

сложным и дорогостоящим, кроме того, одной из целей создания ЦУП являлось обучение студентов, что необходимо осуществлять в любое время, не дожидаясь очередного сеанса связи с объектом на орбите.



*Рисунок 2 – ЦУП в процессе работы*

Поэтому более целесообразно и эффективно создать и использовать имитатор МКА, позволяющий выполнять отработки комплексов управления, функциональных модулей и аппаратуры на надежность и эффективность и организовать процесс обучения.

Имитатор МКА - это компьютерная модель спутника, функционирующая в реальном, ускоренном или замедленном масштабе времени. Имитатор обрабатывает телеметрическую информацию и реагирует на команды управления так же, как и реальный космический аппарат.

Имитатор МКА входит в состав студенческого ЦУП и может быть реализован на основе персонального компьютера с программным обеспечением; аппаратных средств, моделирующих бортовые системы космического аппарата на основе микроконтроллеров управления.

Программным обеспечением (ПО) имитатора МКА может являться любой программный продукт, как например: «СПУТНИКС Моделер», предназначенный для численного моделирования динамики движения малых космических аппаратов или Orbitron – спутниковая система слежения.



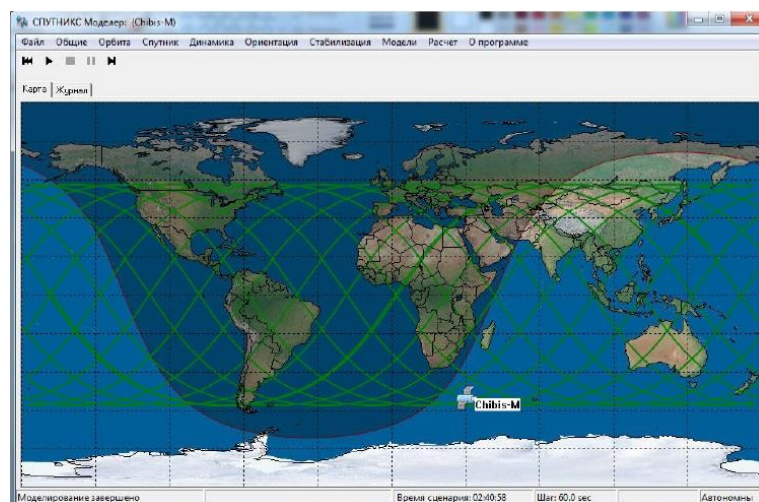


Рисунок 3 - Расчёт траектории движения МКА по околоземной орбите

«СПУТНИКС Моделер» позволяет численно моделировать динамику вращения искусственного спутника Земли вокруг центра масс, моделировать основные факторы космического пространства, влияющих на эту динамику, оценивать работу различных алгоритмов определения ориентации и стабилизации, отрабатывать логику супервизорного контроля бортовых служебных систем, отображать интересующие параметры моделирования в реальном времени, их визуализировать, а также выполнять и целый ряд других задач численного моделирования (примеры представлены на рисунках 3, 4). Приложение также может быть использовано для полунатурного лабораторного моделирования бортовых систем управления, и, кроме того, для визуализации телеметрии, получаемой с реальных космических аппаратов [2].

Существуют и другие программы, использующиеся радиолюбителями и профессиональными пользователями спутниковых средств связи. Выбор ПО зависит от требуемых функций, доступности, индивидуальных предпочтений пользователя и т.д. Приложения могут дополнять друг друга по мере требуемой информативности.

Таким образом, предложенный способ решения задач проверки работоспособности систем наземной и бортовой аппаратуры МКА является экономически целесообразным и эффективным по сравнению, с методом натурных испытаний. Кроме того, использование имитатора МКА в образовательных целях позволит студентам и аспирантам более качественно на практике изучать основные принципы функционирования и структуру бортовых систем МКА, проводить эксперименты с оборудованием и программным обеспечением. Работа с имитатором МКА даёт возможность обучения студентов работе с ЦУП,

позволяя использовать современные средства получения информации с целью образования.

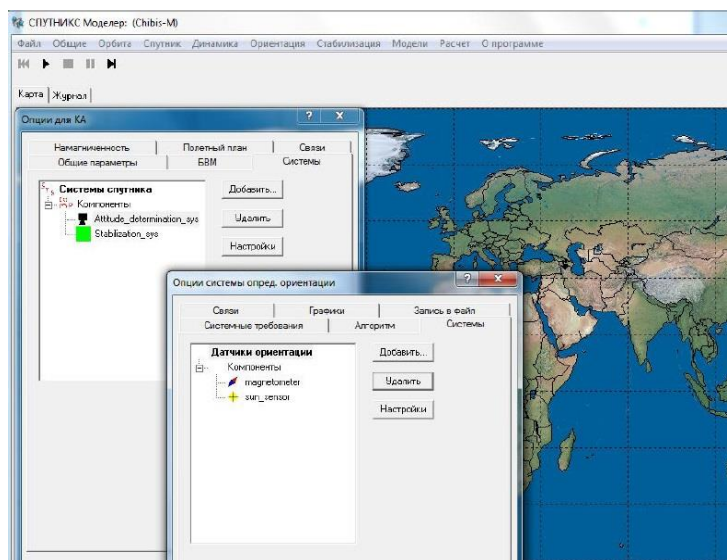


Рисунок 4 - Настройка параметров ориентации

## Список информационных источников

1. Шевнин Е. А. Наземный комплекс управления малым космическим аппаратом // Космическое приборостроение: сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – с 216 - 219.

2. Space Science, «СПУТНИКС Моделер»/SPUTNIX Satellite Simulator. [Электронный ресурс] – URL: <http://spacenscience.net/article/sputniks-modelersputnix-satellite-simulator.html>, режим доступа - свободный.



## РАЗРАБОТКА ПОДВЕСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА

*Яркимбаев Ш.С, Волков В.Е., Булатов М.Е.,*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Мартемьянов Владимир Михайлович, к.т.н.,*

*доцент кафедры точного приборостроения*

Цель нашего творческого проекта разработка и создание учебно-демонстрационного стенда” Управляющий маховик-космический аппарат” для наглядной демонстрации принципов действия систем ориентации космических аппаратов на основе двигателей-маховиков. Принципы работы данной системы просты для понимания, а для создания её упрощённого варианта не требуются редкие и дорогие элементы, что позволяет воссоздать её в рамках нашего творческого проекта без огромных материальных затрат.

Принцип действия данной системы основан на законе сохранения кинетического момента замкнутой системы.

$$I_m \omega_m + I_{пл} \omega_{пл} = const$$

Когда в двигатель-маховик начинает вращаться со скоростью  $\omega_m$  космический аппарат, который в нашей работе заменяет платформа(), в соответствии с законом сохранения кинетического момента замкнутой системы начинает вращаться со скоростью  $\omega_{пл} = - \omega_m$  в направлении противоположном направлению вращения маховика.

В ходе выполнения поставленной задачи мы столкнулись с проблемой создания подвеса с минимальным моментом трения, из-за чего для поиска решения данной проблемы был проведен литературный анализ уже существующих стендов.

Первый из рассмотренных подвесов используется в лабораторном стенде полунатурного моделирования в ИМП им. М. В. Келдыша, данный подвес представляет из себя натянутую струну, на которой расположена вращающаяся платформа с двигателем-маховиком. Недостатком данного стенда является то, что при больших углах отклонения момент сопротивления, возникающий из-за силы скручивания проволоки, слишком большой.

Второй рассмотренный подвес – это аэродинамический подвес, использующийся в лабораторных стендах Whori-I и Whori-II . Данный подвес обладает низким моментом сопротивления при любых углах вращения, но конструкция данного подвеса слишком сложна, а

стоимость слишком большая, из-за чего использовать газовый подвес в нашем проекте невозможно)

Последний из рассмотренных подвесов – подвес на шарикоподшипниках (рис.1). Момент сопротивления возникающий из-за трения в шарикоподшипниках мал, а конструкция подвеса проста и не требует дорогих и трудно доступных элементов, потому использование подвеса на шарикоподшипниках является наиболее рациональным вариантом для нашего творческого проекта.

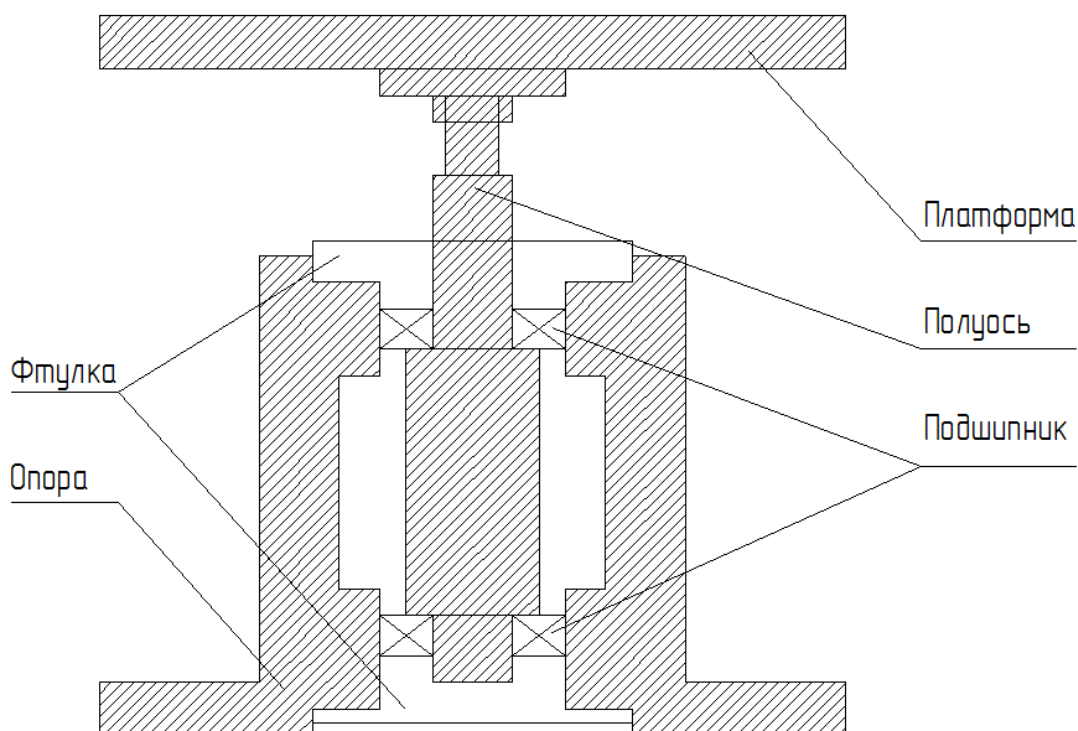


Рис.1 Подвес на шарикоподшипниках

### Список информационных источников

1. Стендовые испытания  
[<http://www.sputnix.ru/ru/technologies/bench-tests>]
2. Карпенко С.О. Лабораторный стенд для полунатурной отработки систем ориентации микро- наноспутников  
[[http://www.keldysh.ru/papers/2008/prep38/prep2008\\_38.html](http://www.keldysh.ru/papers/2008/prep38/prep2008_38.html)]
3. Фридман А. [Friedman A.A] REAL-TIME MODELING OF SPACECRAFT SIMULATORS USING SYSTEMS TOOL KIT  
[<http://www.vsgc.odu.edu/awardees/20122013/abstracts/Papers%20-%20Undergrad/Friedman,%20Alex%20-%20Paper.pdf>]
4. Каргу Л. И. Системы угловой стабилизации космических аппаратов. – Москва: “Машиностроение”, 1973 – 176 с.

## Секция 4: Сварка и родственные технологии

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ**

*Бакланов С.В., Величко К.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Киселев А.С., к.т.н., доцент, зав. кафедрой  
оборудования и технологии сварочного производства*

Дуговая сварка униполярным током электродами с основным типом покрытия является распространенным способом получения неразъемных соединений при ремонте трубопроводов. При этом необходимо создавать условия по исключению магнитного дутья с целью обеспечения пространственной и физической стабильности дугового разряда. Наиболее сложно это осуществлять при наличии остаточной намагниченности соединяемых деталей, которая является следствием применения магнитных методов контроля. Предварительное размагничивание деталей обеспечивают специализированным оборудованием, эксплуатация которого характеризуется продолжительным процессом подготовки к работе, низкой производительностью труда и наличием обслуживающего персонала высокой квалификации. Одним из путей решения этой проблемы является применение вместо постоянного тока обратной полярности переменного прямоугольного тока повышенной частоты, который позволяет стабилизировать процесс горения дуги и переноса металла [1]. Учитывая, что процесс плавления и последующей кристаллизации металла в зоне сварки существенно зависит от рода тока, были проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение особенностей формирования структуры металла шва, при отсутствии возмущающего действия магнитного поля.

Исследования проводили на образцах трубы из стали 12Г2СБ диаметром 530 мм и толщиной стенки – 10 мм. Подготовка кромок трубы соответствовала требованиям ГОСТ 16037-80. Для сварки на постоянном токе обратной полярности использовали инверторный выпрямитель УРАЛ – Мастер 300, а при сварке на переменном прямоугольном токе повышенной частоты к нему дополнительно подключали инвертор сварочного тока ИСТ-201 (Патент РФ № 2245231). Сварку корневого слоя шва производили электродами LB-52U диаметром 3,2 мм, заполняющий слой – электродами ОК 74.70 диаметром 3 мм, облицовочный – электродами ОК 74.70 диаметром 4 мм.

Полученные сварные соединения первоначально подвергали визуально-измерительному и радиографическому контролю, которые дефектов не выявили. С целью анализа влияния рода тока на свойства металла шва, исследовали его макро- и микроструктуру.

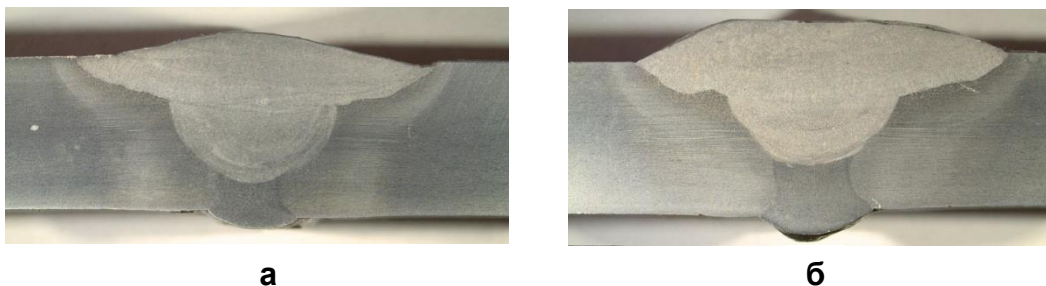


Рисунок 1 – Макроструктура металла шва: а – постоянный ток обратной полярности; б – переменный прямоугольный ток повышенной частоты.

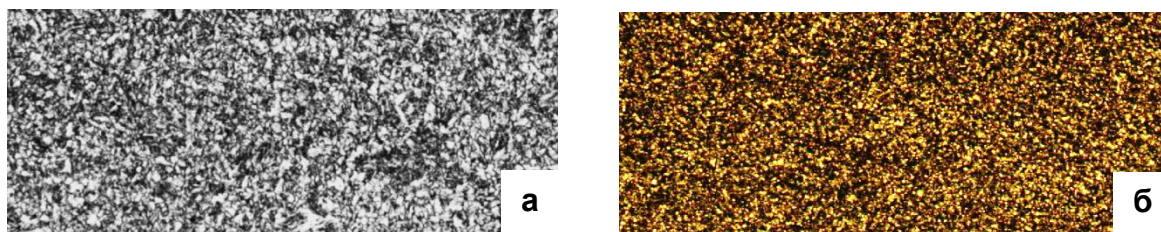


Рисунок 2 – Микроструктура сварных соединений (корневой слой): а – постоянный ток обратной полярности; б – переменный прямоугольный ток повышенной частоты.

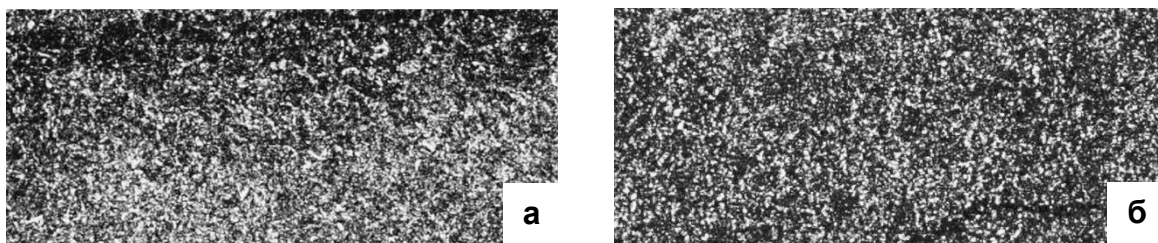


Рисунок 3 – Микроструктура сварных соединений (заполняющий слой): а – постоянный ток обратной полярности; б – переменный прямоугольный ток повышенной частоты.

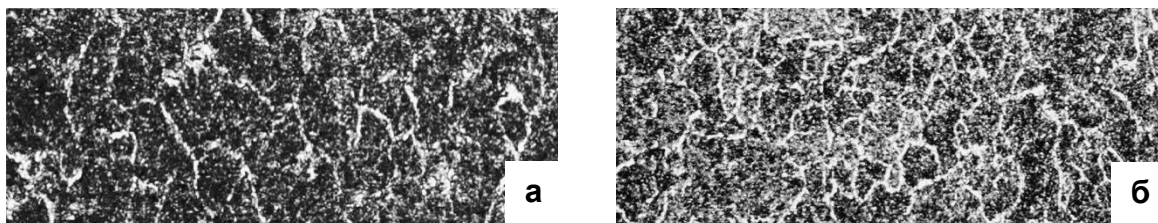


Рисунок 4 – Микроструктура сварных соединений (облицовочный слой): а – постоянный ток обратной полярности; б – переменный прямоугольный ток повышенной частоты.

Анализ макро- и микроструктуры сварных соединений показал, что применение переменного прямоугольного тока повышенной частоты вместо постоянного тока обратной полярности способствует получению мелкозернистой структуры в корневом, заполняющем и облицовочном слоях шва (рисунки 1-4). Кроме того, обеспечивается снижение протяженности зоны термического влияния.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают целесообразность применения переменного прямоугольного тока повышенной частоты при дуговой сварке покрытыми электродами трубопроводов.

### **Список информационных источников**

1. Гордынец А.С. Управление процессом дуговой сварки при возмущающем воздействии магнитного поля.– Дис. ...канд. техн. наук.– Томск, 2012.– 158 с.
2. Гордынец А. С., Киселев А. С., Дедюх Р. И., Советченко Б. Ф. Влияние возмущающего воздействия внешнего магнитного поля на процесс дуговой сварки покрытыми электродами // Сварка и диагностика. – 2011. – №4. – С. 37– 40.

### **ВЛИЯНИЕ РОДА И ПОЛЯРНОСТИ ТОКА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ШВА ПРИ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ**

*Булдаков С.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: А.С. Киселев, к.т.н., заведующий кафедрой  
оборудования и технологии сварочного производства*

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами широко используется при изготовлении различных металлических конструкций в энергетике, химии и нефтехимии, в автомобилестроении, при строительстве нефте- и газопроводов. Сварка также необходима при ремонте различных деталей и изделий. Объемы применения ручной дуговой сварки ежегодно возрастают [1].

При сварке имеет место дуга постоянного и переменного тока. Основное преимущество дуги постоянного тока заключается в стабилизации горения. В дугах переменного тока происходят непрерывные изменения направления и силы тока. Такие дуги угасают каждый раз при переходе тока через ноль и возобновляют горение снова в



начале каждого полупериода питающего их переменного тока [2]. Поэтому дуга переменного синусоидального тока нуждается в стабилизации. В настоящее время данная проблема решается путем применения устройств стабилизации горения дуги, а также использование переменного прямоугольного тока.

Наличие внешнего магнитного поля способствует нарушению горения дуги постоянного тока. Под влиянием магнитного дутья дуга может перемещаться, изменять свою длину и форму и весьма часто обрываться – все это нарушает стабильность процесса сварки [3].

В случае с переменным током ослабляется электромагнитная сила взаимодействия магнитного поля с током. В результате все явления магнитного дутья в дуге переменного тока значительно ослабляются и практически незаметны даже при значительных токах.

Целью работы, является выявление отличий структуры наплавленного металла на трубу, полученных при сварке постоянным и переменным токами.

Наплавка металла проводилась электродами LB 52U на трубе Ø 70 мм. стали 09Г2С. Для наплавки металла при постоянном токе прямой и обратной полярности, а также на переменном прямоугольном токе использовался сварочный инвентор СВАРОГ TIG 160 AC/DC. Для наплавки металла при переменном синусоидальном токе использовался сварочный трансформатор ТДМ 317У2. Для анализа микроструктуры наплавленного металла (Рисунок 2.), поверхность образца предварительно шлифовалась, полировалась и травилась (Рисунок 1.).



Рисунок 1. Исходный образец после шлифовки, полировки и травления: а – постоянный ток обратной полярности; б – постоянный ток прямой полярности; в – переменный прямоугольный ток; г – переменный синусоидальный ток.

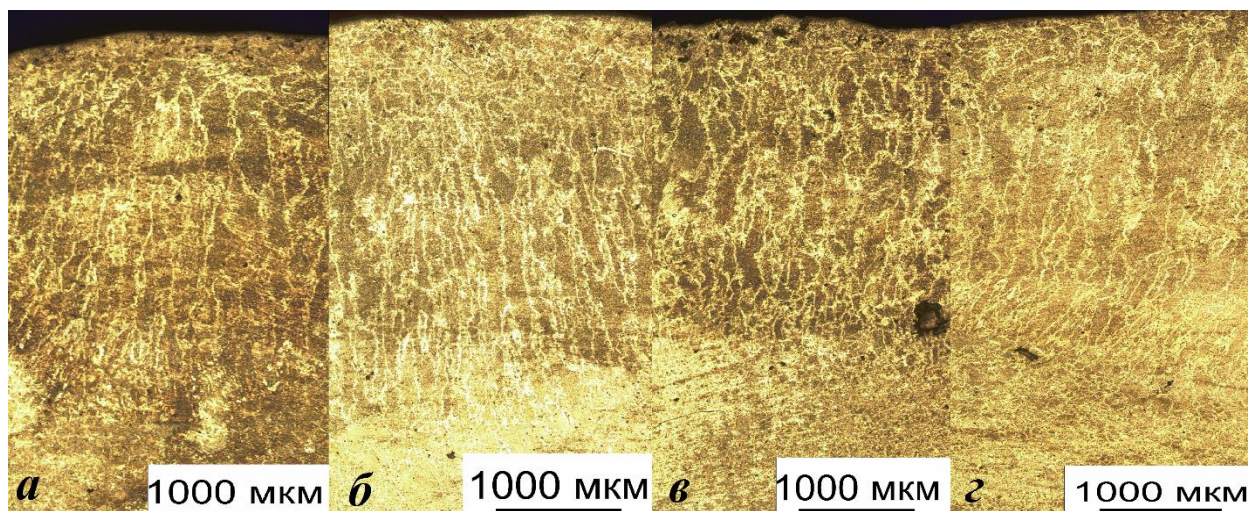


Рисунок 2. Микроструктура металла, наплавленного на: а – постоянный ток обратной полярности; б – постоянный ток прямой полярности; в – переменный прямоугольный ток; г – переменный синусоидальный ток.

После анализа структуры металла шва и околошовной зоны полученных при сварке переменным и постоянным током, можно сделать соответствующие выводы: преимущества сварки переменным током очевидны, как при магнитном дутье, так и при получении лучшей структуры металла шва.

### Список информационных источников

1. Ручная дуговая сварка: учебник/ В.Г. Лупачёв. – 3-е изд. – Минск: Выш. шк., 2010 – 416 с.: ИЛ
2. Электрическая сварочная дуга. Лесков Г.И., - М., «Машиностроение», 1970. – 335 с.
3. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. Б.Е. Патон, И.И. Заруба, В.В. Дыменко, А.Ф. Шатан. – К.: «Экотехнология», 2007. – 248 с.
4. Гордынец А.С., Киселев А.С., Дедюх Р.И., Советченко Б.Ф. Влияние возмущающего воздействия внешнего магнитного поля на процесс дуговой сварки покрытыми электродами // Сварка и диагностика. – 2011. N4. – С. 37-40.



# **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИНВЕРТОРА СВАРОЧНОГО ТОКА ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НАМАГНИЧЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Вахрушев А.В.*

*Томский политехнический университет, г.Томск*

*Научный руководитель: Гордынец А.С., к.т.н., ассистент кафедры  
оборудования и технологии сварочного производства*

Дуговая сварка электродами с основным типом покрытия является распространенным способом получения неразъемных соединений при выполнении ремонтных работ на объектах ответственного назначения, что обусловлено его универсальностью, мобильностью и простотой применяемого оборудования. При этом необходимо создавать условия по исключению магнитного дутья с целью обеспечения пространственной и физической стабильности дугового разряда. Наиболее сложно это осуществлять при наличии остаточной намагниченности соединяемых деталей, которая является следствием использования магнитных методов контроля [1-2].

Инновационным решением проблемы дуговой сварки намагниченных деталей является использование переменного прямоугольного тока (Патент РФ № 2245231), которое реализовано в инверторе сварочного тока ИСТ-201. Однако у ИСТ-201 есть недостатки, которые снижают его мобильность: большой вес (40 кг) и габаритные размеры (Д×Ш×В): 490×370×410 мм.

В работе проанализированы особенности существующей конструкции ИСТ-201, и была поставлена задача уменьшить массу и габаритные размеры при сохранении остальных технических характеристик неизменными.

В исходной конструкции ИСТ-201 в качестве полупроводниковых ключей используются IGBT-модули CM300DY-12NF (Mitsubishi, Япония), которые установлены на общий алюминиевый радиатор охлаждения типа О55 (Электровыпрямитель, Россия) длиной 300 мм. Общий вес IGBT-модулей равен 1,2 кг, а масса радиатора – 6 кг. Таким образом можно сделать вывод, что снижение массы и размеров ИСТ-201 можно добиться за счет замены IGBT-модулей на дискретные транзисторы и радиаторов их охлаждения.

В новой конструкции было предложено использовать IGBT транзисторы IRGP6690D (International Rectifier, США), которые установлены на радиаторы профиля РА – 250 (ЛИГРА, Россия) длиной 125 мм. Для проверки правильности тепловых расчетов был изготовлен

макет части силового инвертора. Результаты теплового испытания макета в течение 10 мин сварочным током величиной 200 А показали, что при температуре окружающей среды 25 °С максимальная температура радиатора не превышала 80 °С, что ниже предельной – 100 °С. Общий вес дискретных транзисторов IRGP6690D составил 0,25 кг, а масса радиаторов – 2,6 кг. Таким образом удалось снизить общую массу инвертора на 4,3 кг. С учетом новой силовой части был сконструирован корпус инвертора, габаритные размеры которого составили (Д×Ш×В): 440×290×410 мм.

### **Список информационных источников**

1. Гордынец А.С. Управление процессом дуговой сварки при возмущающем воздействии магнитного поля: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.10 / Гордынец Антон Сергеевич. – Томск, 2012. – 16 с.
2. Гордынец А. С., Киселев А. С., Дедюх Р. И., Советченко Б. Ф. Влияние возмущающего воздействия внешнего магнитного поля на процесс дуговой сварки покрытыми электродами // Сварка и диагностика. –2011. –№4. –С. 37–40.

### **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА ЭЛЕКТРОДА ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ**

*Габерлинг И.П., Князьков А.Ф.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Князьков А.Ф., к.т.н., доцент кафедры  
оборудования и технологии сварочного производства*

Вылет электрода при механизированной и автоматической сварке оказывает большое влияние на протекание процессов плавления электрода, перенос электродного металла и формирование сварного шва.

Под вылетом электрода (Рис.1) понимают расстояние от токоподводящего наконечника (ТН) до изделия (И).

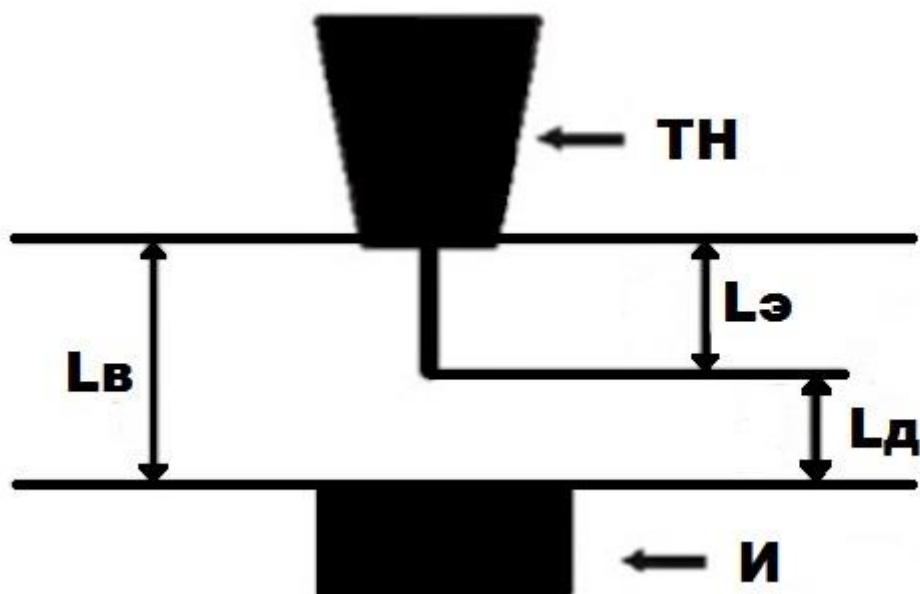


Рис.1 Вылет электрода.

Обозначения на рисунке:

$L_{\text{в}}$  – вылет электрода,

$L_{\text{э}}$  – длина электродной части,

$L_{\text{д}}$  – длина дуги,

ТН – токоподводящий наконечник,

И – изделие.

Как элемент электрической цепи длина электродной части представляет собой активное сопротивление, в котором выделяется мощность пропорциональная квадрату сварочного тока. При механизированной и автоматической сварке в условиях больших плотностей тока температурное поле электродной части ( $L_{\text{э}}$ ) определяет его активное сопротивление, падение напряжения на нём  $U_{L_{\text{э}}}$ , характер переноса электродного металла и устойчивость горения дуги.

Сумма напряжения дуги  $U_{\text{д}}$  и падение напряжения на электродной части  $U_{L_{\text{э}}}$  представляет собой сварочное напряжение, которое фиксируется измерительными приборами и приводится в качестве напряжения режима сварки в технологической документации.

Количество теплоты, выделяемое в электродной части при сварке, определяется по формуле:

$$Q = K \cdot J^2 \cdot R \cdot T, \text{ где} \quad (1)$$

$K$  – коэффициент перевода электрической мощности в тепловую мощность,  $T$  – температура электрода,  $J$  – сила тока.

Напряжение на электродной части выражается формулой:

$$U_{L_3} = J_{св} \cdot R_T, \quad (2)$$

Сопротивление электродной части определяется по выражению:

$$R_0 = \rho \cdot L_{эл} / S, \text{ где} \quad (3)$$

$\rho$  – удельное сопротивление материала электрода,

$L_{эл}$  – длина электродной части,  $S$  – площадь сечения.

В предельном случае сопротивление электродной части при нагреве до температуре  $T$  °C определяется выражением

$$R_T(J) = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)], \text{ где} \quad (4)$$

$R_0$  – сопротивление при комнатной температуре,

$T$  – температура подогрева электрода,

$T_0 = 20$  °C – комнатная температура,

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

Падение напряжения на электродной части зависит от силы тока, длины электродной части и от температуры подогрева, которая в свою очередь зависит от длины электродной части электрода, поэтому необходим неизменный вылет электрода.

Причем примерно половина энергии, необходимой для расплавления капли электродного металла, выделяется в электродной части.

При автоматической орбитальной сварке, когда необходимо изменять угол наклона электрода в функции пространственного положения сварочной ванны, изменения угла наклона электрода в плоскости сварочного стыка не должно изменять длину вылета электрода и скорость сварки.

Выполнить эти условия можно при использовании сконструированного устройства, кинематическая схема которого представленного на рисунке 2.[1]

Обеспечение постоянства скорости сварки и вылета электрода при корректировки угла наклона сварочной головки в зависимости от пространственного положения сварочной ванны в процессе сварки достигается тем, что данный механизм выполнен в виде рычажной системы из двух неравносторонних параллелограммов  $BCD'B'$  и  $CDA'C'$ , образующих ромб  $ABCD$  так, что короткие стороны  $CC'$  и  $CD'$  расположены на длинных сторонах  $BC$  и  $CD$  соответственно и имеют общую вершину  $C$ . Противоположные мнимые стороны ромба  $AA'$  и  $B'A$  расположены на длинных сторонах  $BA$  и  $DA$  соответственно и имеют общую мнимую вершину  $A$  (и она совмещена с центром сварочной ванны).

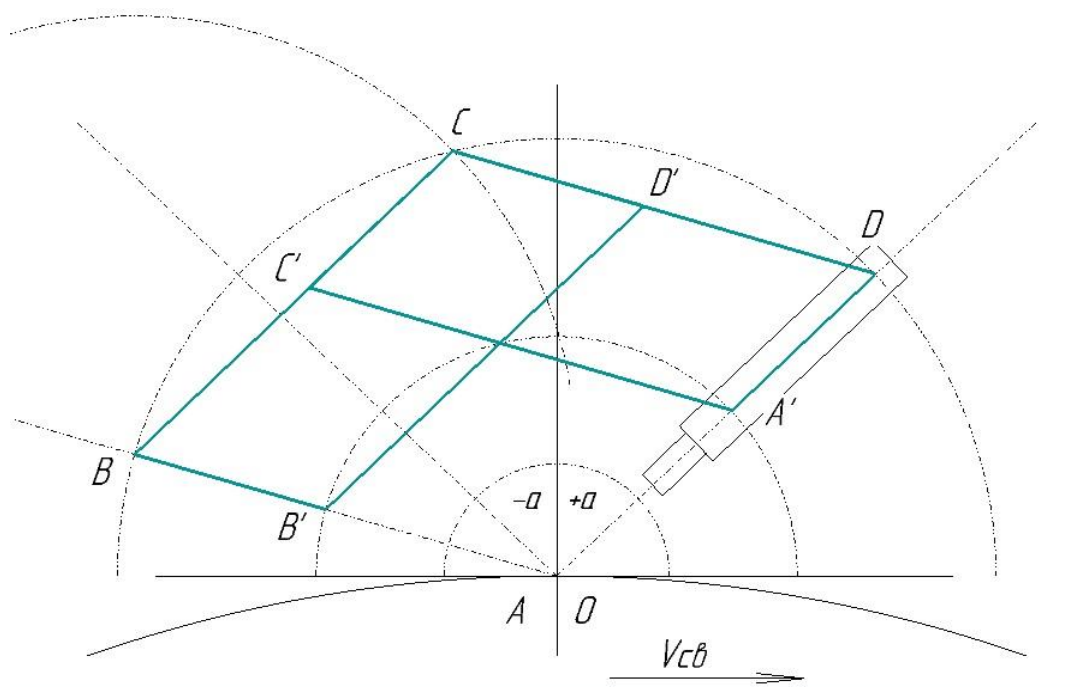


Рис.2 Кинематическая схема.

Все вершины и точки пересечения сторон параллелограммов являются шарнирами, короткая сторона  $BB'$  одного из которых жестко закреплена на корпусе автомата. К короткой стороне  $DA'$  другого прикрепляется сварочная головка.

Мнимая вершина ромба  $A$  совпадает с центром сварочной ванны. При обозначенном направлении скорости сварки  $V_{св}$  при  $+\alpha$  сварка проходит углом назад, при  $-\alpha$  сварка проходит углом вперед. При изменении этого угла в процессе сварки скорость сварки и вылет электрода остаются постоянными, что улучшает качество сварки и увеличивает производительность.

Разработанное устройство использовано при создании действующего макета сварочной установки для орбитальной сварки.

### Список информационных источников

1. Пат. 2167753 РФ. МПК<sup>7</sup> G01C9/12. Автомат для дуговой сварки неповоротных стыков трубопроводов / А.Ф. Князьков, С.А. Князьков, Д.В. Пилипенко. Бюл. № 15, опубл. 27.05.2001 г.

## ОРБИТАЛЬНАЯ СВАРКА ТРУБ ДИАМЕТРОМ 45 ММ

Голоусенко М.А., Князьков А.Ф.

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Князьков А.Ф., к.т.н., доцент кафедры  
оборудования и технологий сварочного производства

Основным проблемой сварки неповоротных стыков труб является изменяющееся пространственное положение сварочной ванны от нижнего до потолочного. При этом главную роль при формировании сварного шва играет текучесть сварочной ванны.

Критерием качества формирования шва служит форма и величина проплава с обратной стороны шва. Критическая масса сварочной ванны, при которой металл не стекает, зависит от её положения в пространстве и от толщины металла [1] (рис. 1).

Влияние угла наклона сварочной ванны к горизонту тем больше, чем больше толщина металла и чем, следовательно, больше объем ванны. Подъем кривых при  $\alpha = 270^\circ$  объясняется тем, что вертикальное положение ванны удобнее наклонного (полупотолочного) при  $\alpha = 225^\circ$  (рис. 2).

При одинаковых с геометрической точки зрения положения ванны, соответствующих углам  $90^\circ$  и  $270^\circ$ , критическая масса больше при  $\alpha = 90^\circ$ . Это объясняется тем, что при сварке на спуск ( $\alpha = 90^\circ$ ) точка А, определяющая величину проплава, располагается наверху ванны. Гидростатическое давление металла в ванне незначительно, скоростной напор дугового потока не ускоряет вытекание

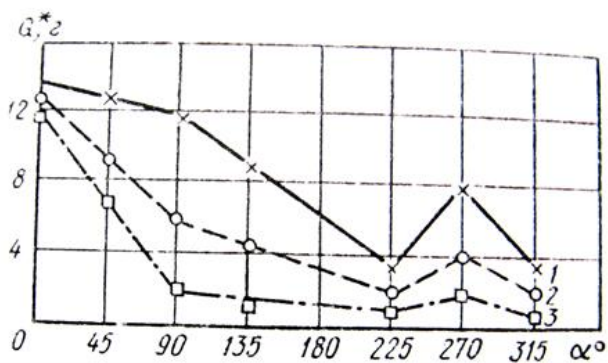


Рисунок 1. Зависимость критической массы  $G$  ванны от положения в пространстве и толщины металла: 1-6, 2-4 и 3-2 мм.

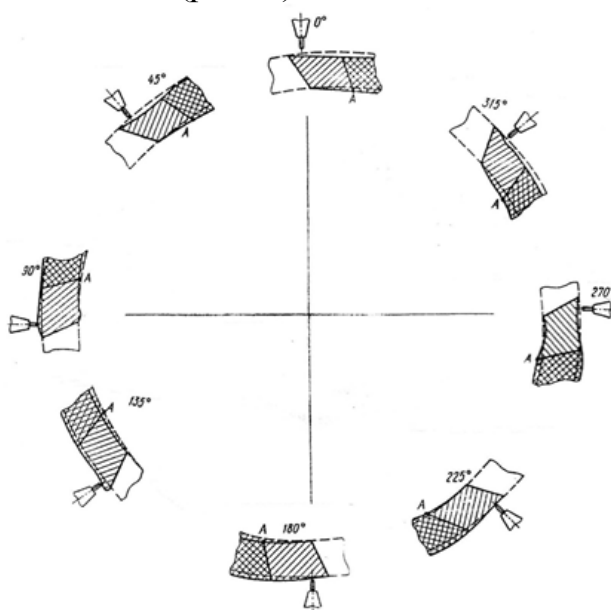


Рисунок 2 - Продольный разрез ванны при разных её пространственных положениях.

металла, так как сварочная головка расположена в нижней части ванны.

При сварке на подъем ( $\alpha = 270^\circ$ ) точка А оказывается внизу. Гидростатическое давление в этой точке больше и способствует натеканию металла. Этому же способствует наклон стенок ванны и положение горелки вверху ванны. Критическая масса ванны при любом её пространственном положении оказывается большей при большей толщине металла вследствие углубления ванны в металл. Режим сварки, очевидно, надо выбирать, исходя из того, чтобы при всех условиях масса ванны была бы меньше критической.

Поскольку критическая масса зависит от положения ванны в пространстве, режим сварки неповоротного стык должен измениться с изменением угла наклона ванны. При постоянном режиме сварки неизбежно будет изменяться величина проплава. Для орбитальной сварки труб диаметром до 60 (мм) целесообразно применять автоматическую аргонодуговую сварку неплавящимся электродом (ААД).

Подготовка кромок под автоматическую сварку неповоротных стыков трубопроводов более критична по сравнению с подготовкой под ручную сварку. Качество подготовки является ключевым моментом в получении качественного соединения при автоматической сварке неповоротных стыков трубопроводов. Так как сварная система нечувствительна к изменениям свариваемых поверхностей, подготовка и сопряжение этих поверхностей должны быть достаточно точными для получения повторяющихся высококлассных сварных соединений.

С учетом вышеизложенного можно выделить два типа разделок, использование которых позволяет в значительной степени позволяет сформировать шов с высоким качеством и минимальными затратами на проточку разделки (рис. 3, рис.4)

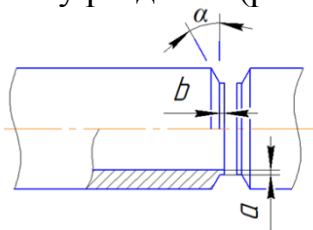


Рисунок 4 – Разделка без радиуса с зазором

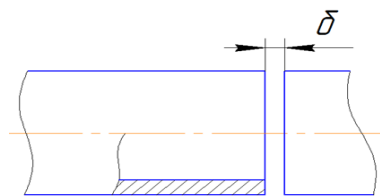


Рисунок 3 – Разделка без скоса кромок с зазором

При форме разделки на рис. 3 требуется только торцовка труб и установка зазора  $\delta$  постоянным по торцам труб. При форме разделки на

рис. 4 размеры а и b не являются критичными, они исключают прожоги, которые появляются при острых кромках.

Рассмотренные формы разделок позволяют сваривать сваркой шов за два прохода без поперечных колебаний при минимальном объеме присадочного материала.

Из рассмотренных форм разделок выбираем разделку как на рис. 3, так как её легче производить и контролировать.

Исходя из данных изложенных выше, при сварки используется электрод марки ЭВЛ. В качестве присадки применяется проволока марки Св-08Г2С, Св-08ГА.

Для данного вида сварки не существует определенной методики расчета, поэтому воспользуемся рекомендациями, и опытными данными режимы импульсно – дуговой сварки неплавящимся электродом, металла толщиной 5 мм (Сталь 20).

Сварка осуществлялась автоматом ОКА 18-45. В качестве источника питания применялся инвертор DC 200А.3, обеспечивающий сварку как в непрерывном так и в импульсном режимах. Импульсный режим работы отличается чередованием импульсов сварочного тока разной величины. Регулируемыми параметрами в данном режиме являются: ток в импульсе, ток в паузе, время импульса и время паузы. Время и величина тока импульса устанавливаются на уровне, достаточном для проплавления сварочной ванны, но не допускающем провисания расплавленного металла. Время и величина тока в паузе устанавливаются на уровне необходимом для поддержания горения дуги и позволяющем ванне частично кристаллизоваться (примерно 5:40А). Ток зажигания устанавливают на уровне, необходимом для уверенного поджога дуги. Таким образом, имеется возможность регулировать количество вложенного в свариваемое изделие тепла и контролировать процесс образования сварочного шва.

*Таблица 1 и 2. Общие требования*

Ввод данных	Проход	1
Программа	Секторов	4
Проход	Время продува	2,0 с
	Ток зажигания	20 А
	Время нарастания	1,5 с
	Задержка вращения	2,0 с
	Задержка проволоки	0,3 с
	Время спада	2,0 с
	Время отвода пров.	0,3 с
	Время обдува	2,0 с



Ввод данных	Программа 1
Программа 1	ОКА 18-45
	Проходов 2
	Диаметр 42 мм
	Перекрытие 10 мм

Таблица 3 – Импульсный режим сварки для корневого и заполняющего слоя

Ввод данных	Сектор Режим импульсный Угол	корневой слой (проход 1)				заполняющий слой (проход 2)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Программа 1		90	90	90	90	90	90	90	90
	Скорость	2,4	2,6	2,7	2,8	2,4	2,5	2,5	2,5
	сварки	8	8	7	6	27	26	24	22
	Скорость	180	180	180	165	180	180	180	165
	проволоки	40	40	40	40	40	40	40	40
	Ток импульса	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
	Ток паузы	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Время								
	импульса								
	Время паузы								

На рис. 5 представлены фотографии швов полученных при сварке на приведенных выше режимах. Геометрические размеры сварного шва – ширина шва, высота усиления, величина проплава не изменяются при изменении положения сварочной ванны от нижнего до потолочного при сварке на спуск и при сварке на подъем от потолочного до нижнего.



Рисунок 5. Полученные образцы.

## **Список информационных источников**

1.Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. «Машиностроение », 1973. 448 с., С. 344-345.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКА ПР-Х18ФНМ**

*Гончаров А.В., Дегтерёв А.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент кафедры  
оборудования и технологий сварочного производства*

### **Введение**

Согласно классическим представлениям [1] оптимальным режимом процесса наплавки следует считать такой режим, который обеспечивает максимальную производительность при минимальной глубине проплавления. Но возможности повышения производительности и уменьшения доли основного металла в наплавленном покрытии, в рамках конкретных технологий наплавки и составов присадочного материала, ограничены рядом предъявляемых к упрочняющим слоям требований. Это отсутствие несплавлений, подрезов, пор и трещин, удовлетворительный внешний вид валиков, удовлетворительное микростроение зоны сплавления и покрытия в целом, однородность этого микростроения. Множество работ содержат информацию о связи основных параметров режима плазменной наплавки и геометрическими размерами покрытий [1,2], эта связь понятна и хорошо изучена.

Автором же работы [3] подчеркивается необходимость выбора режима наплавки и термической обработки, с учетом конкретных данных об их влиянии на фазовый состав и структуру наносимого сплава. Так в последнее время выполняется все больше исследований, связывающих режим плазменной наплавки, микроструктуру и свойства покрытий [3-6].

Цель настоящей работы: разработать алгоритм выбора оптимального режима плазменной наплавки порошка Пр-Х18ФНМ с учетом влияния основных параметров этого режима как на макростроение, так и на микроструктуру получаемого покрытия.

## Результаты и обсуждение

В результате проведения литературного обзора установлено, что качество Fe-Cr-V-Mo-C покрытий характеризуют величины, которые условно можно разделить на две группы:

-параметры макроструктуры (ширина ( $B$ ), высота ( $H$ ) наплавленного слоя, площадь наплавленного металла ( $F_n$ ), коэффициент формы валика ( $\psi_v$ ), доля участия основного металла в наплавленном покрытии ( $\gamma$ ), пористость, наличие трещин и несплавлений).

-параметры микроструктуры (средние по сечению объемная доля частиц карбида ванадия ( $V_{VC}$ ), их фактор формы ( $f_{VC}$ ), средний диаметр ( $d_{VC}$ ), число ( $N_{VC}$ ), объемная доля эвтектики на основе карбида  $M_7C_3$  ( $V_{M7C3}$ ) расстояния между дисперсными включениями VC ( $H_{VC}$ ) и колониями эвтектики ( $H_{M7C3}$ ), объемная доля  $\alpha$ - твердого раствора в матрице сплава ( $V_\alpha$ )).

Анализ литературы показал, что для получения обобщенной информации о влиянии различных параметров режима наплавки на величины, характеризующие упрочняющие покрытия, сокращения количества экспериментов, уменьшения погрешностей и финансовых затрат подходит метод многофакторного планируемого эксперимента. Данная методика позволяет, опираясь на результаты немногочисленных опытов, получить функциональные зависимости, хоть и не раскрывающие физическую природу явлений, но количественно описывающие влияние тех или иных параметров режима на ход процесса наплавки.

Практические эксперименты по плазменной наплавке порошковых Fe-Cr-V-Mo-C сплавов ниточными валиками, проведенные в [7, 8] позволили сделать следующий вывод. Основными варьируемыми параметрами режима, оказывающими наиболее сильное влияние на макроструктуру и микростроение формируемых покрытий, являются: сила тока плазменной дуги ( $I$ ), скорость наплавки ( $V_n$ ) и скорость подачи присадочного порошка ( $V_n$ ). Потому для получения системы уравнений регрессии (системы функций отклика), связывающих отклики  $B$ ,  $H$ ,  $F_n$ ,  $\psi_v$ ,  $\gamma$ ,  $V_{VC}$ ,  $f_{VC}$ ,  $d_{VC}$ ,  $N_{VC}$ ,  $V_{M7C3}$ ,  $H_{VC}$ ,  $H_{M7C3}$ ,  $V_\alpha$  с факторами  $I$ ,  $V_n$ ,  $V_n$  достаточно провести полный факторный эксперимент типа  $2^3$ .

Однако, для нахождения оптимального режима наплавки получения системы уравнений недостаточно. Установим направление оптимизации каждой из этих функций (таблица 1).

Поскольку в уравнениях регрессии, образующих систему, не всегда совпадают знаки коэффициентов перед варьируемыми факторами, а абсолютные величины этих коэффициентов всегда различны,

одновременное достижение наилучших значений в одном покрытии всех откликов невозможно. Имеет место лишь компромиссное решение задачи оптимизации, т.е. нахождение экстремума для одной функции при ограничениях, налагаемых другими.

Крайний допустимый уровень значений откликов будем называть “удовлетворительно”, предпочтительный же уровень - “отлично”.

Таблица 1

Параметр оптимизации	$H$	$B$	$F_H$	$\psi_\theta$	$\gamma$	$V_{VC}$	$f$	$d$	$N$	$V_{M7C3}$	$H_{M7C3}$	$H_{vc}$	$V_a$
Направление оптимизации	const	max			min	max		min	max		min		

Для осуществления поиска компромиссного решения необходимо преобразование системы уравнений регрессии в систему неравенств, знак которых покажет направление оптимизации функции отклика, а правая часть - ограничивающий уровень (“удовлетворительно” или “отлично”).

На основании вышеизложенного предложены следующие два алгоритма. При оптимизации по микроструктурному параметру - числу частиц  $VC$  ( $N_{VC} \rightarrow \max$ ), остальные микроструктурные функции и доля основного металла в наплавленном покрытии ограничиваются на уровне “отлично”, высота наплавленного слоя устанавливается равной конкретной величине, а оставшиеся макроструктурные функции ограничиваются уровнем “удовлетворительно”. Такой подход целесообразно использовать, когда требуется максимально высокая износ- и коррозионная стойкость в ущерб производительности процесса.

Второй вариант предполагает оптимизацию по макроструктурному параметру - коэффициенту формы валика ( $\psi_\theta \rightarrow \max$ ), высота наплавленного слоя снова устанавливается равной конкретной величине, микроструктурные параметры и доля основного металла в наплавленном покрытии - на уровне “удовлетворительно”, оставшиеся макроструктурные параметры - на уровне “отлично”. Так оптимизацию целесообразно проводить в случае необходимости обеспечения высоких требований к производительности процесса наплавки в ущерб уровню

износо- и коррозионностойких свойств получаемых покрытий, выдерживаемых, однако, в допустимых пределах.

Опираясь на результаты работы [9], для поиска оптимальных параметров режима плазменно-порошковой наплавки возможно использование процедуры “Поиск решения” пакета MS Excel. В этой процедуре для решения нелинейных задач предусмотрен метод обобщенного приведенного градиента (ОПГ).

### **Список информационных источников**

1. Эрмантраут М.М., Комаров В.А. Влияние полярности на формирование слоев при плазменно-порошковой наплавке на сталь // Сварочное производство. – 1986. – № 5. – С. 2–4.

2. Розенберг М.Г., Поздеев Г.А. Определение основных параметров режимов плазменно-порошковой наплавки // Сварочное производство. – 1989. – № 12. – С. 5–6.

3. Шевченко О.И. Управление структурой, составом и свойствами покрытий при плазменной наплавке за счет технологических воздействий: Дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2006. – 355 с.

4. Белый А.И. Влияние основных технологических параметров плазменной наплавки на свойства композиционного наплавленного металла // Автоматическая сварка. – 2010. – № 6. – С. 30–32.

5. Сом А.И.. Плазменно-порошковая наплавка композиционных сплавов на базе литых карбидов вольфрама // Автоматическая сварка. – 2004. – № 10. – С. 49–53.

6. Чернышов Г.Г., Коберник Н.В., Орлик Г.В., Орлик А.Г. Влияние технологии дуговой наплавки на структуру и стойкость покрытий на основе железа против гидроабразивного износа// Сварка и диагностика. – 2012. – № 3. – С. 23–29.

7. Дегтерёв А.С., Гнюсов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки током прямой полярности на формируемую структуру Fe–Cr–V–Mo–C покрытий //Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 87–94.

8. Гнюсов С. Ф., Дегтерёв А. С. Влияние режимов плазменной наплавки на микроструктуру карбида ванадия в покрытиях на основе порошка ПР-Х18ФНМ // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. –№ 2. – С. 63–71.

9. Ворохобин Сергей Владимирович. Технологическое управление качеством при восстановлении чугунных деталей судового

оборудования плазменной наплавкой: Дис. ... канд. техн. наук: 05.08.04.  
– Владивосток, 2004. – 180 с.

## ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА

*Гордиенко Н.С., Князьков А.Ф., Маурин Е.О.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Князьков А. Ф., к.т.н., доцент кафедры  
оборудования и технологии сварочного производства*

В настоящее время целесообразно создание систем импульсного управления сварочным током на базе импульсно – регулируемого сопротивления (ИРС). Функциональная схема ИРС представлена на рисунке 1.

Функциональная схема системы импульсного управления плавлением и переносом электродного металла представлена на рисунке 1. Система состоит из сварочного выпрямителя В, модулятора сварочного тока, построенного по принципу импульсно-регулируемого сопротивления (ИРС) и блока управления БУ. Дуга шунтируется диодом VD. В состав модулятора входит балластный реостат R, шунтируемый полупроводниковым ключом К. При разомкнутом ключе К в сварочной цепи протекает ток паузы, при замкнутом – ток импульса. Частота импульсов сварочного тока  $f_n$  определяется частотой замыканий ключа К, а их длительность  $\tau_n$ , либо в зависимости от параметров процесса, например, напряжения дуги  $U_d$ .

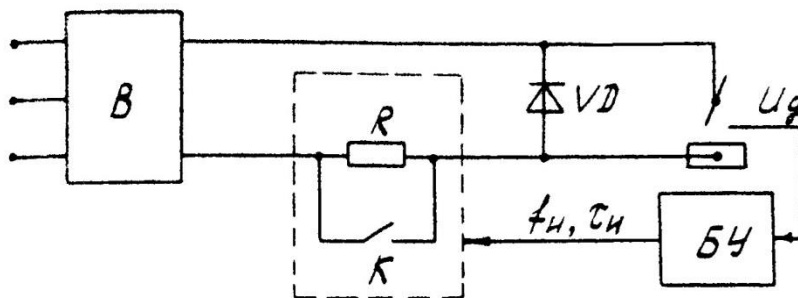


Рисунок 1 – Функциональная схема системы импульсного управления

Функциональная схема системы импульсного управления плавлением и переносом электродного металла представлена на рисунке 1. Система состоит из сварочного выпрямителя В, модулятора сварочного тока, построенного по принципу импульсно-регулируемого сопротивления (ИРС) и блока управления БУ. Дуга шунтируется диодом VD. В состав модулятора входит балластный

реостат  $R$ , шунтируемый полупроводниковым ключом  $K$ . При разомкнутом ключе  $K$  в сварочной цепи протекает ток паузы, при замкнутом – ток импульса. Частота импульсов сварочного тока  $f_H$  определяется частотой замыканий ключа  $K$ , а их длительность  $\tau_H$ , либо в зависимости от параметров процесса, например, напряжения дуги  $U_d$ .

Анализ электромагнитных процессов в сварочной цепи проведен на основе схемы замещения (рисунок 2). В схеме замещения в цепь источника питания с напряжением холостого хода  $U_{xx}$ , эквивалентным активным сопротивлением  $R_H$  введен балластный реостат с активным сопротивлением  $R_B$ , который либо вводится в сварочную цепь, либо шунтируется идеальным ключом  $K$ . Активное сопротивление старой цепи  $R_{CB}$  учитывает сопротивление токоподводов  $R_C$  и вылета электрода  $R_B$  ( $R_{CB} = R_C + R_B$ ). Дуга в схеме замещения представлена в виде пассивной противо - э.д.с.  $E$ , шунтируемой диодом  $VD$ .

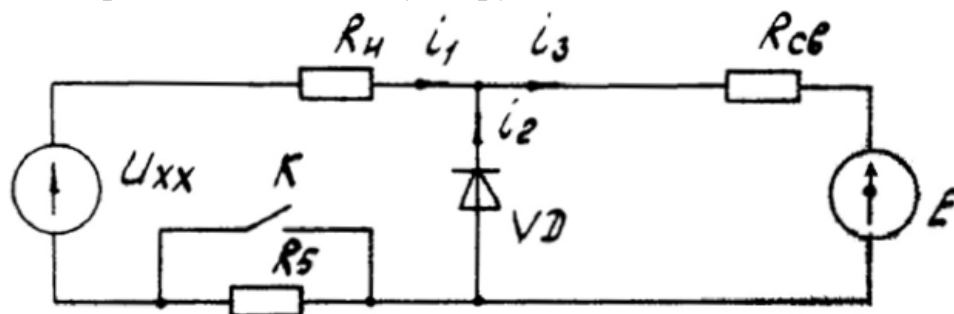


Рисунок 2. – Схема замещения системы импульсного управления

При замкнутом ключе  $K$  уравнение пологопадающей вольт-амперной характеристики (ВАХ) имеет вид:

$$U = U_{xx} - (R_H + R_{CB})I, \quad (1)$$

где  $U$  и  $I$  – соответственно, напряжение и ток дугового промежутка.

При размыкании ключа  $K$  и введении в сварочную цепь балластного реостата ( $R_B \gg R_H + R_{CB}$ ) происходит автоматическое переключение с пологопадающей ВАХ на крутопадающую

$$U = U_{xx} - (R_H + R_{CB} + R_B)I. \quad (2)$$

При замене в уравнении (1) и (2)  $U=E$ , получим выражения для амплитуды импульса  $I_H$  и тока паузы  $I_{II}$  получим в виде:

$$I_H = \frac{U_{xx} - E}{R_H + R_{CB}}, \quad (3)$$

$$I_{II} = \frac{U_{xx} - E}{R_H + R_{CB} + R_B}. \quad (4)$$

При оценке средних параметров режима, получена эквивалентная ВАХ описываемой уравнением:

$$U_{CP} = U_{xx} - R_{\Sigma} I_{CP} = U_{xx} - \frac{(R_H + R_{CB})(R_H + R_{CB} + R_B)}{R_H + R_{CB} + R_B} I_{CP}, \quad (5)$$

где  $I_{CP}$ ,- средний ток;  $U_{CP}$ - среднее напряжение;  $\gamma$ - скважность ( $\gamma = \tau_H f_H$ )

При постоянных амплитуде импульсов и токе паузы средний ток является функцией скважности и может регулироваться в широких пределах от  $I_{CP} = I_H$  при  $\gamma = 1$  до  $I_{CP} = I_H$  при  $\gamma = 0$  (рисунок 3). На рисунке 3 представлены ВАХ импульсного управления В реальных условиях индуктивности  $L_H$  и  $L_{CB}$  не равны нулю и часто их величиной пренебрегать нельзя. При переключении ключа К в сварочной цепи протекает переходный процесс, описываемый линейными дифференциальными уравнениями, для схемы замещения (рис. 2.1.б) при рассмотрении переходных процессов можно выделить три характерных этапа.

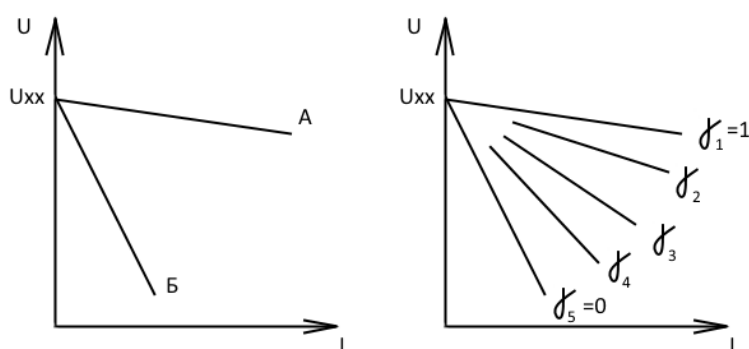


Рисунок 3 – ВАХ системы импульсного управления: а- жесткая (А) и крутопадающая (Б); б- эквивалентные.

Анализ уравнения (3) показывает, что амплитуду и энергию импульсов сварочного тока формируемых на основе ИРС можно регулировать изменением напряжения холостого хода источника питания  $U_{xx}$  и внутренним сопротивлением источника питания. Наклон эквивалентной ВАХ регулируется изменением эквивалентного сопротивления сварочной цепи  $R_3$ .

#### Выводы:

1. Систему импульсного управления сварочным током построенную на базе ИРС можно классифицировать как систему импульсного автоматического регулирования источника питания (ИАРП).

2. Система импульсного автоматического управления источником питания ИАРП обладает широким диапазоном регулирования параметров, создает благоприятные условия для управления плавлением и переносом электродного металла и формированием шва в различных пространственных положениях сварочной ванны.



### **Список информационных источников**

1.Зайцев А. И., Князьков А. Ф., Сараев Ю. Н. Импульсный источник плавящимся электродом// Труды ТИАСУР.- 1975.- т.19.

2.Зайцев А. И., Князьков А. Ф., Сараев Ю. Н., Дедюх Р. И., Ефремов А. И., Долгун Б. Г., Максимов А.С. Модулятор сварочного тока типа ИРС-300Р, Информационный листок.

### **РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА КРЕПЛЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО АППАРАТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 108-159 ММ**

*Зворыгин Р.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Филишов Н.Я., ст. преподаватель кафедры оборудования и технологии сварочного производства*

Повышение долговечности и надежности нефтепроводов в значительной степени зависит от применяемых методов и средств технического контроля. Совершенствование технологических процессов не исключает необходимости неразрушающего контроля качества выпускаемой продукции, поскольку даже при хорошо отработанной технологии возможны различного рода дефекты, приводящие к снижению механической прочности литых, сварных, паяных и других деталей.

Анализ существующих методов неразрушающего контроля показывает, радиационная дефектоскопия является одним из основных методов контроля качества материалов, деталей, изделий, сварных и других неразъемных соединений.

С помощью радиографического метода радиационной дефектоскопии выявляют дефекты литья, сварки, пайки и других технологических процессов – трещины, непровары, поры, раковины, рыхлоты, включения и прочие нарушения сплошности; определяют форму и размер дефектов. Эти достоинства метода обусловили его широкое внедрение в промышленности.

При радиографическом контроле в полевых условиях наибольшее применение находят малогабаритные импульсные рентгеновские аппараты типа «Арина», «Шмель».

Целью данной работы является разработка приспособления для крепления аппарата Арина-7 при контроле сварных швов труб через две

стенки и отработка методики неразрушающего контроля сварных соединений при строительстве и ремонте трубопроводов.

Предметом проведенного исследования является методика радиографического контроля кольцевых сварных швов труб нефтепроводов диаметром 108-159 мм.

Объект исследования – процесс усовершенствования способа контроля сварных швов труб малого диаметра с помощью отечественного рентгеновского аппарата Арина-7.

Таким образом, в ходе выполнения исследования была разработана конструкция устройства для крепления излучателя рентгеновского аппарата Арина-7 при радиографическом контроле труб диаметром 108-159 мм. Просвечивание труб проводится по секторам не менее, чем в 3-х положениях.

Рентгеновский аппарат Арина-7 применяют в промышленности для контроля качества сварных швов. Он является одним из самых мощных приборов в этой серии и представляет собой компактную переносную модель, удобную в использовании в любых условиях.

Разработанное устройство представляет собой скобу, которая крепится к трубе запорным винтом. Размер скобы выбран, исходя из диаметра трубы 159 мм, длина запорного винта позволяет крепить прибор на трубы диаметром от 108 мм. На скобе винтами закреплена площадка, к которой приварена штанга с держателем для аппарата Арина-7. Держатель представляет собой две скобы, скрепленные запорными винтами, и имеет подвижное соединение со штангой.

Разработанное устройство позволяет оперативно перемещать и фиксировать излучатель в заданных точках при контроле, регулируя фокусное расстояние.

К приспособлению не предъявляются особые требования к прочностным параметрам основного материала, поэтому для его изготовления выбрана сталь СтЗсп. Это самая распространенная и доступная сталь, которая обладает всеми необходимыми требованиями по прочности и свариваемости.

При изготовлении приспособления проведен выбор сварочных материалов и рассчитаны режимы ручной дуговой и механизированной сварки конструкции в среде защитных газов.

В процессе выполнения работы был произведен выбор времени экспозиции, в зависимости от толщины стенки просвечиваемых труб. Пленка Agfa F8 обладает меньшей чувствительностью. Поэтому для получения оптимальной плотности потемнения необходима доза 25 мР, а для пленки Kodak AA400 20 мР. К приспособлению не предъявляются особые требования к прочностным параметрам основного материала,

поэтому для его изготовления выбрана сталь СтЗсп. Это самая распространенная и доступная сталь, которая обладает всеми необходимыми требованиями по прочности и свариваемости.

При изготовлении приспособления проведен выбор сварочных материалов и рассчитаны режимы ручной дуговой и механизированной сварки конструкции в среде защитных газов.

В процессе выполнения работы был произведен выбор времени экспозиции, в зависимости от толщины стенки просвечиваемых труб. Пленка Agfa F8 обладает меньшей чувствительностью. Поэтому для получения оптимальной плотности потемнения необходима доза 25 мР, а для пленки Kodak AA400 20 мР.

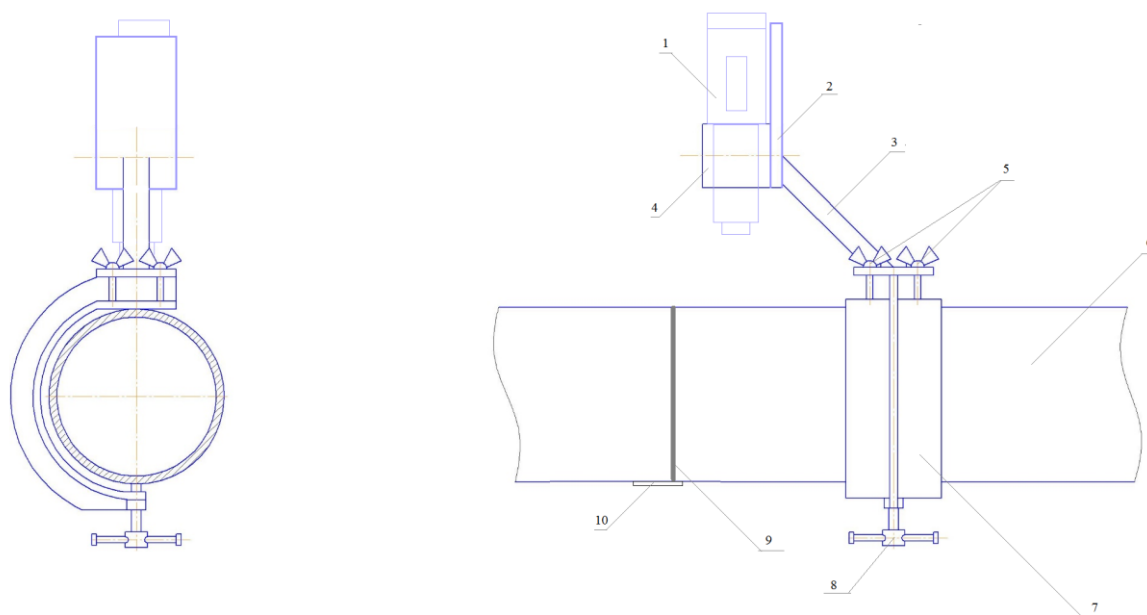


Рисунок 1 – Конструкция приспособления для аппарата Арина-7: 1 – Арина – 7; 2 – направляющая опора; 3 – штанга; 4 – крепление; 5 – регулировочный винт; 6 – труба; 7 – скоба; 8 – запорный винт; 9 – сварочный шов; 10 – рентгенографическая пленка.

Режимы контроля отрабатывались на трубах разного диаметра и с различной толщиной стенки. Просвечивание осуществлялось на пленки KODAK INDUSTREX AA400 и Structurix AGFA F8, фокусное расстояние 350 мм. Было экспериментально подобрано оптимальное время экспозиции. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Снимки трубопроводов

Пленка	Диаметр трубы, мм	Радиационная толщина, мм	Время экспозиции, сек
KODAK INDUSTRIX	108х6	14	3

AA400	114x8	18	3,5
	159x10	22	4
Structurix AGFA F8	108x6	14	4
	114x8	18	4,5
	159x10	22	6

По результатам оценки экономической эффективности предложенный способ изготовления приспособления является менее затратным и экономически выгодным.

Результаты внедрения разработанного устройства для радиографического контроля промысловых трубопроводов в ОАО «Томскнефть» ВНК показали перспективность применения его для оперативной подготовки аппарата к работе и облегчения труда дефектоскопистов.

### Список используемых источников

1.Э.Л. Макаров. Сварка и свариваемые материалы. М.: Металлургия, 1991. – 527с.

2.И. Гривняк. Свариваемость сталей. М.: Машиностроение, 1984.- 215с.

3.РД 153-006-02 Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов

4.РД 153-39.4-056-00 Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов

5.Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./ Ред. кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1979 - Т.3/ Под ред. В.А. Винокурова. 1979. 567с., ил.

6.Акулов А.И., Бельчук Г. А., Деменцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. -432 с.

7.Трущенко Е.А. Расчёт режимов дуговой сварки. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Изд-во Томского политехнического университета, 2008 - 41 с.

8.Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Ред. С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.1/ Под ред. Н.А.Ольшанского. 1978. 504с., ил.

9.Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Ред. С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.2/ Под ред. А.И Акулова. 1978. 462с., ил.

10.Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./ Ред.С 24 кол.: Г.А.Николаева (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 - - Т.4/ Под ред. А.И.Акулова. 1978. 462с., ил.

11.СТО Газпром 2-2.2-136-2007 Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. Часть I.

12.ГОСТ 8050-85 Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия

13.ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

## **РАЗРАБОТКА КОМПАКТНЫХ КЛЕЩЕЙ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ**

*Кузнецов М.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гордынец А.С., к.т.н., ассистент кафедры  
оборудования и технологии сварочного производства*

Контактная сварка, благодаря высокому качеству сварных соединений и большой производительности, получила большое распространение в различных отраслях промышленности, и в первую очередь в массовом производстве – автомобилестроении, сельхозмашиностроении, авиастроении, строительстве и на транспорте.

Для работ в авторемонтных мастерских и небольших объёмов работ в промышленных условиях применяют подвесные контактные машины для точечной сварки с прямолинейным и радиальным ходом электродов.

Но для сварки тонколистовых конструкций, используемой в домашних условиях для индивидуальных потребителей и в небольших мастерских, с толщинами деталей до 1 мм, выбор существующего оборудования ограничен из-за низкой степени развития данной отрасли промышленности. Зачастую, подходящее оборудование отсутствует и приходится использовать установки, применение которых энергетически и экономически не целесообразно.

Спроектированные сварочные клещи, благодаря применению эксцентрика, имеют прямолинейную траекторию движения электрода, что исключает проскальзывание электрода. Также данные клещи адаптированы для выдерживания высоких сжимающих напряжений держателей электродов с целью их эффективного использования для выполнения контактной сварки, при этом конструкция клещей обладает

малым весом и имеет компактные размеры для того, чтобы не ограничивать их перемещения для сварки в труднодоступных местах.

Данные клещи удовлетворяют требованиям индивидуальных потребителей и решают ряд проблем, возникающих в данной отрасли.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУНКЕРА ДЛЯ СБОРА И ДОЗИРОВАНИЯ КОАЛИНОВОЙ ГЛИНЫ**

*Курбединов С.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Хайдарова А.А., к.т.н., доцент кафедры  
оборудования и технология сварочного производства*

Для временного хранения жидких или сыпучих материалов применяются различные бункера, которые выполняются в виде усеченной пирамиды или усеченного конуса и верхней призматической или цилиндрической емкости. Бункера играют большую роль в процессах производства, а так же обеспечивают бесперебойную работу как вспомогательных подразделений, так и основных производств. Бункера могут быть изготовлены из металла или железобетона.

Форма бункера зависит от его назначения, компоновки сооружения, требуемого запаса материала, его физических свойств, типа несущих конструкций. Рекомендуемые типы бункеров по форме: пирамидально– призматические, конусно-цилиндрические, лотковые гибкие.

Наиболее распространены в промышленном строительстве стальные пирамидально-призматические бункера (прямоугольные и квадратные). Они проще при изготовлении, лучше вписываются в габариты зданий и занимают меньше производственной площади.

При изготовлении таких конструкций используется широко распространенный способ ручной дуговой сварки покрытыми электродами. При этом в большинстве случаев технологический процесс сборки и сварки бункера не подразумевает использование специальных приспособлений.

В работе предлагается разработка приспособления для сборки и сварки стального бункера и новой технологии его изготовления в разработанном приспособлении.

Бункер изготавливается из листового проката толщиной 6 мм из стали 09Г2С. По форме бункер пирамидально призматического вида (рис. 1,а) с коробом сверху (рис. 1,б). Бункер имеет упорные уголки, непосредственно на которых крепиться. Так же во внутренней части

бункера расположена решётка с шагом  $100 \times 100$  мм, для сортировки фракции, а так же для предотвращения попадания инородных материалов и мусора.

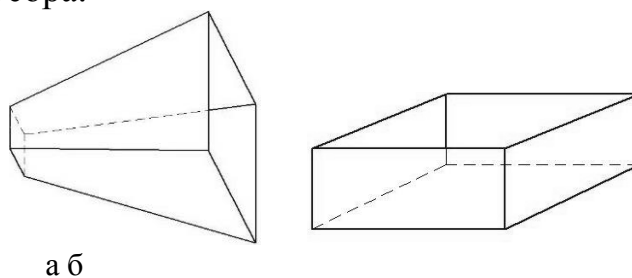


Рис. 1. Конструкция конусно-призматической (а) и коробчатой (б) частей бункера.

Технологический процесс изготовления бункера содержит четыре основных операции: заготовительную, сборочную, сварочную и контрольную.

Заготовительная операция заключается в нарезке сегментов на гильотинных ножницах и обработке кромок заготовок под сварку.

Сборка заготовок осуществляется в шахматном порядке, т.е. заготовки собираются последовательно с наложением на предыдущий сегмент. Такой способ сборки позволяет сохранить исходные размеры, заданные на чертеже.

Так как при изготовлении бункера возникает необходимость выполнения сварных швов практически во всех пространственных положениях, в работе предлагается использовать специальное приспособление, позволяющее собирать конструкцию и устанавливать ее в удобное для сварки положение. На рис. 2, б представлен чертеж предлагаемого в работе приспособления с установленной в нем конусно-призматической частью бункера.

В качестве способа сварки бункера предлагается использовать механизированную сварку плавящимся электродом в среде углекислого газа. В этой связи для сварки бункера целесообразно применить сварочную проволоку Св-08Г2С диаметром 1,6 мм. Так как благодаря приспособлению есть возможность сваривать все швы в нижнем положении, то назначаем силу сварочного тока в пределах 180...200 А, скорость сварки 18...22 м/ч, расход газа 14...16 л/мин, вылет электрода 8...12 мм. Все швы выполнять в два прохода.

Наибольший интерес представляет технологический процесс сборки и сварки конструкции. В работе он представлен в виде описания операций согласно ГОСТ 3.1407-86.

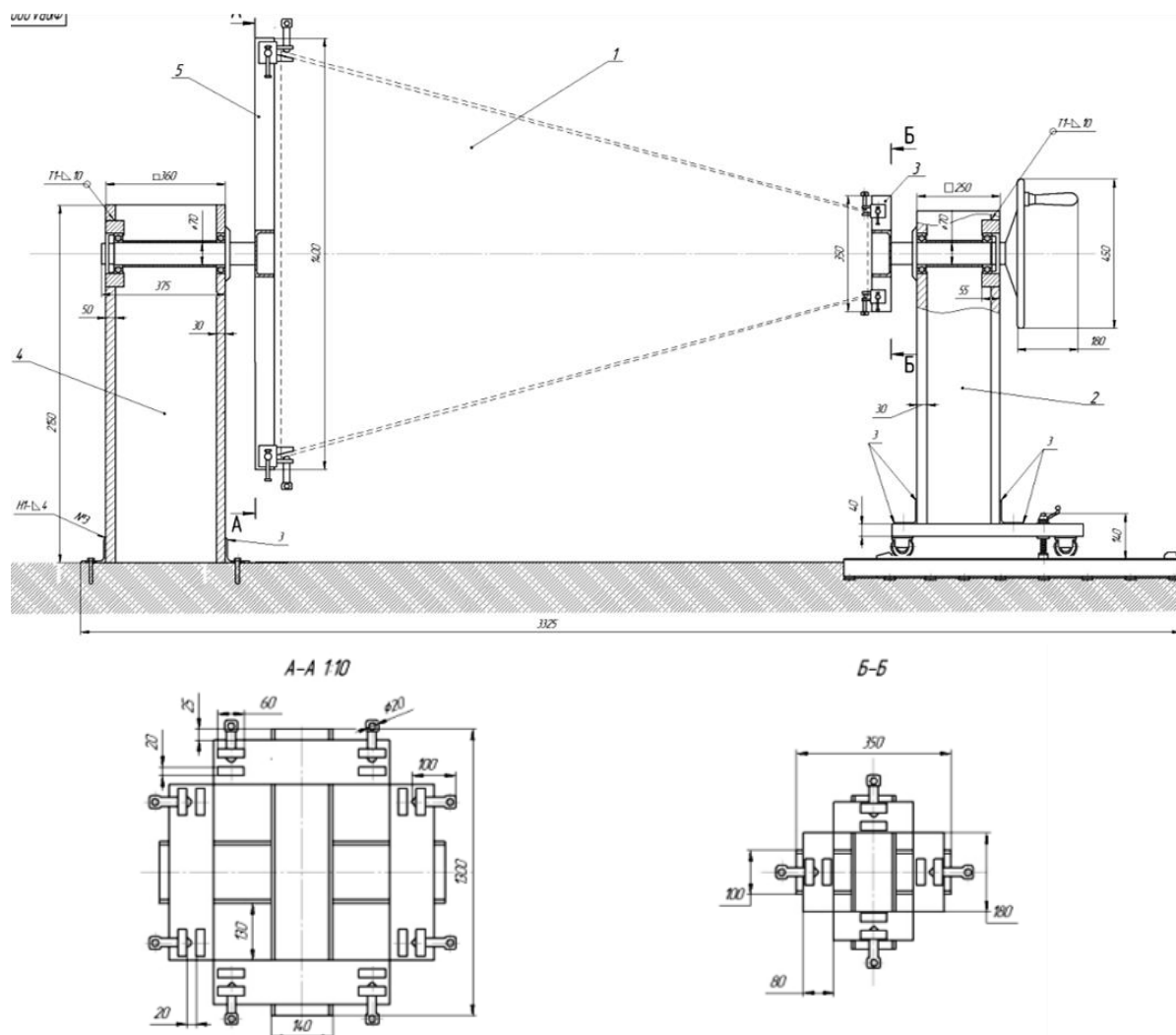


Рис. 2. Приспособление для сборки и сварки бункера

Сборка. Перед сборкой зачистить кромки свариваемых элементов на ширину не менее 20 мм с обеих сторон. Установить сегменты конусно-призматической части бункера в приспособление. Выполнить соединение сегментов на прихватках, равномерно располагая их по длине стыка. Количество прихваток не менее 2 длиной не менее 50 мм. Прихватки выполнять механизированной сваркой в среде углекислого газа на режимах, представленных в работе. После выполнения прихваток зачистить металл от брызг. На отдельном стенде собрать коробчатую часть бункера в аналогичном порядке с соблюдением перечисленных требований.

Сварка. После сборки выполнить все сварные швы, находящиеся в нижнем положении не менее, чем в два слоя. После сварки каждого слоя очистить металл от брызг расплавленного металла. Соединить между собою стыковым швом конусно-призматическую и коробчатую



The technical drawings illustrate the 'Krysha' (Roof) structure, which is a rectangular box with a sloped top surface. The drawings include the following details:

- Perspective View:** Shows the overall structure with a top surface sloping downwards. Dimensions include a top width of 1000<sub>±</sub>, a bottom width of 1000<sub>±</sub>, and a height of 800<sub>±</sub>. A small square feature on the top surface is labeled 'L 75x6' and '250<sub>±52</sub>'. A section line A-A is indicated.
- Section A-A:** A cross-section showing the internal structure. It features a top flange labeled 'L 50 x 5' and a bottom flange labeled 'L 75 x 6'. The height of the main body is 800<sub>±</sub>. A sloped internal member is labeled '200<sub>±5</sub>'. A reference to 'ГОСТ № 771-76-(4-1, 5-91)' is provided.
- Section B-B:** A side elevation showing the sloped top surface. The top width is 1000<sub>±</sub> and the height is 800<sub>±</sub>. The sloped surface is labeled '40° ± 1°'. A reference to 'ГОСТ № 771-76-48-1, 5-91' is provided.

Заключительным этапом изготовления бункера является контроль качества сварных швов. В качестве методов контроля качества сварных швов используются визуально-измерительный и радиографический контроль. При контроле визуальным методом в сварных швах не допускаются трещины, крупные поры или цепочки пор, выходящих наружу. К рентгенографическому контролю допускаются только сварные соединения, прошедшие визуально-измерительный контроль.

1. Дедюх Р.И. Материаловедение и технологии конструкционных материалов. Технология сварки плавлением: учебное пособие для прикладного бакалавриата / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Москва: Юрайт, 2016. — 170 с.

2. Техническая документация в производстве сварных конструкций : учебное пособие / сост. А. А. Хайдарова , С. Ф. Гнусов. — Томск: Изд-во ТПУ. - 2014. - 76 с.

3. Хайдарова, Анна Александровна. Сборочно-сварочные приспособления. Этапы конструирования: учебное пособие / Томск: Изд-во ТПУ. - 2013.

4. ГОСТ 3.1407-86 «ЕСТД. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции), специализированные по методам сборки».

5. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

## ИЗЛУЧЕНИЕ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

*Нозирзода Ш.С.*

*Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета, г. Юрга  
Научный руководитель: Чазов П.А., ассистент кафедры  
технологии машиностроения*

Процесс сварки сам по себе заключается в расплавлении металла в месте соединения металлических деталей. Затем этот расплавленный металл застывает и прочно соединяет их. При соблюдении техники сварки получается прочное, практически монолитное соединение. Расплавление металла требует очень высокой температуры, которая достигается с помощью возбуждения так называемой **сварочной дуги**.

Суть этого способа состоит в возникновении мощного электрического разряда между специальным электродом и металлической заготовкой или деталью, которые нужно сварить. При этом используется ток большой силы, а электрод и деталь образуют собой единую электрическую цепь. При отведении электрода от свариваемой детали и образуется сварочная дуга. Ее электрическое сопротивление больше, чем у металла и электрода, поэтому именно в ней выделяется основная масса тепловой энергии, достаточной для расплавления металла. Постоянно подавая ток и соблюдая определенное расстояние между электродом и изделием, **сварочную дугу** можно поддерживать длительное время. Такая техника применяется при нескольких видах сварки, самой распространенной из которых является ручная дуговая сварка.

Сварочная дуга считается источником интенсивного потока оптического излучения в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом

(УФ) диапазонах, среди которых следует выделить наиболее жесткое УФ-С излучение с сильным вредным воздействием на органы зрения и кожные покровы человека. Цель данной работы состояла в комплексном исследовании интегральных характеристик УФ излучения при ручной дуговой сварке покрытыми электродами различных марок (МР-3, УОНИ-13/55, АНО-4, АНО-12, АНО-36) и видов покрытий (рутиловое, основное, рутил-целлюлозное), предназначенными для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Интенсивность УФ-С и УФ-А излучения измеряли дозиметром оптического излучения ДАУ-81 на расстояниях 0,55...1,5 м от точки сварки. Путем анализа и статистической обработки результатов измерений установлено, что на расстояниях 0,5...1,5 м, на которых обычно находятся сварщик и вспомогательный персонал при ручной дуговой сварке, интегральная интенсивность УФ-С излучения составляет 0,7...5 Вт/м<sup>2</sup>, что в 700...5000 раз превышает нормативное значение 0,001 Вт/м<sup>2</sup>, регламентируемое действующими в Украине санитарными нормами СН 4557–88 для работающих при наличии незащищенных участков поверхности кожи. При этом минимальные расстояния, на которых допустимо пребывание указанной категории работающих при прямой видимости места сварки, составляют от 25 до 65 м (в зависимости от марки электрода и силы сварочного тока). Интенсивность УФ-С излучения в первую очередь зависит от марки применяемых электродов, а не от вида их покрытия. Показано, что интенсивность УФ излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния от сварочной дуги и существенно зависит от силы сварочного тока.

Известно, что от дуги идет сильное излучение. Одной вспышки достаточно, что бы в глазах появилось ощущение шершавого песка. Однако не многие знают, что реальное излучение многократно выше, чем мы можем видеть. Дело в том, что около 70% лучевой энергии выделяется в виде ультрафиолета. 15% в виде инфракрасного излучения, это все не видимые для человеческого глаза лучи и только 15% в виде видимого света. Спектр излучения дуги Вы можете найти в графике ниже.

Рассмотрим сварочный ультрафиолет. Его спектр имеет 3 составляющих. Короткий средневолновый и длинный ультрафиолет. С длинным ультрафиолетом живые организмы на земле научились сосуществовать. По-другому дело обстоит со средним и коротковолновым излучением. От этого крайне опасного космического излучения нас спасает озоновый слой. При сварке от средне и коротковолнового ультрафиолета может спасти только правильно подобранные средства защиты.

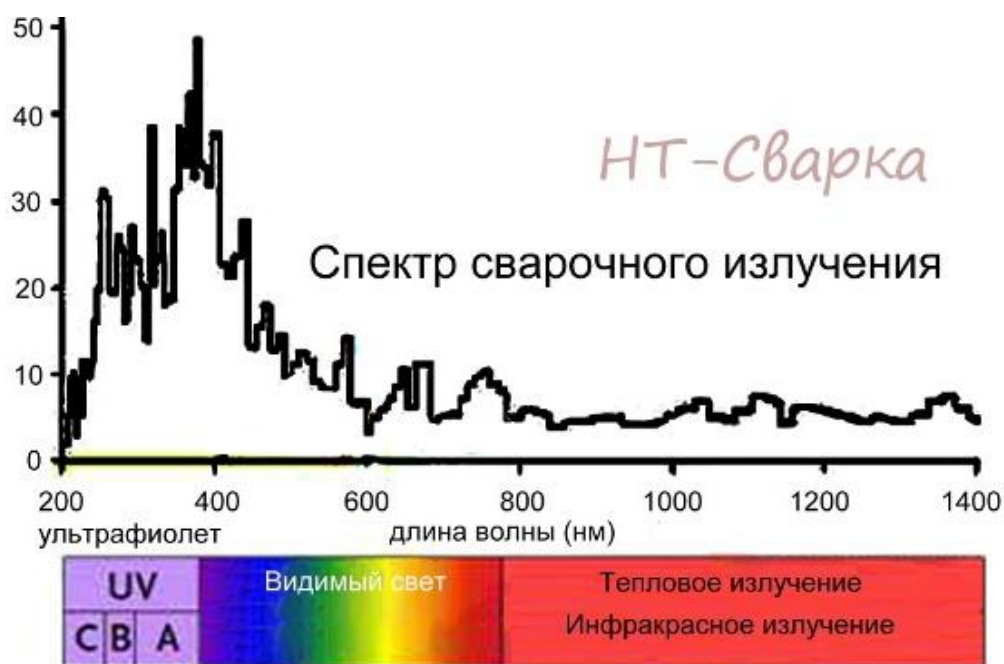


Рис.1. Мощность излучения  $\text{Вт/см}^2 \cdot 10^{-6}$

Это крайне опасное излучение для кожи и глаз. К сожалению не все средства защиты выдерживают это испытание. Данный ультрафиолет имеет глубокую проникающую способность и способен проникать сквозь индивидуальные средства защиты. Опытные сварщики знают, что после долгой работы в паранитовой маске лицо краснеет. Это значит, что этот корпус маски не защищает лицо сварщика от коротковолнового ультрафиолета. У производителей масок имеется понятие, тон пропускания ультрафиолета корпуса маски. Это тон для высококачественных масок варьируется в пределах 13-16 DIN. К сожалению эти характеристики не принято показывать. Сварочное стекло и самозатемняющийся картридж, тоже должен иметь защиту от ультрафиолета.

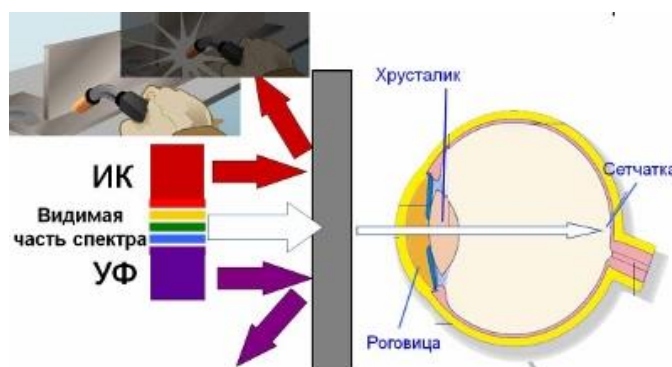


Рис.2 Пассивная защита.

Самозатемняющиеся картриджи даже в открытом состоянии должны иметь степень затемнения по отношению к ультрафиолету не менее 13 DIN. Эта характеристика указывается производителями и должна быть в пределах от 13 DIN и больше. Маска сварщика Тестеп имеет постоянную защиту DIN 16 от ИК и УФ типов излучения, что подтверждено сертификатом соответствия Таможенного Союза.

Инфракрасное излучение не столь опасно как ультрафиолетовое, но оно может привести к головной боли и преждевременному переутомлению. Как результат к большей вероятности брака и производственного травматизма.

Все сварщики и их подсобные рабочие, перед тем как приступить к работе, должны пройти инструктаж по технике безопасности при сварочных работах. На сварочном участке во время выполнения сварочных работ не должны находиться посторонние люди. Ни в коем случае нельзя производить прихватку деталей, не закрывшись щитком. В местах производства сварочных работ надо вывешивать таблички с крупными надписями, предупреждающими об опасности лучей сварочной дуги для окружающих.

### **Список информационных источников**

1. Транзисторные источники питания для электродуговой сварки (обзор) / А.В. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2012. – № 9. – с. 34 – 40.
2. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. М. – Машиностроение. – 1979. – 231 с.
3. Сварочное производство: технологии, оборудование, материалы [Электронный ресурс] // <http://www.osvarke.com/>.

# ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

*Майтаков М.Ю., Дегтерёв А.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск  
Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент кафедры  
оборудования и технология сварочного производства*

## Введение

В системе пылеприготовления оборудования котельных станций, работающих на твердом топливе, важными составляющими элементами являются мельничные вентиляторы. Они осуществляют пневматический транспорт угольной пыли фракцией менее 100 мкм от циклонов к питателям пыли, и далее – в топку парогенераторов.

Полученные в результате сгорания твердого топлива дымовые газы из газоходов парогенераторов всасываются дымососами и выбрасываются в атмосферу через дымовые трубы.

Работа, как дымососов, так и мельничных вентиляторов связана с двумя особенностями. Во-первых, по данным [1] температура рабочего тела в дымососах может достигать 450 °К, а в мельничных вентиляторах может быть выше 320 °К. Во-вторых, рабочие тела и тех и других насыщены твердыми примесями. В воздухе присутствует угольная пыль, а в дымовых газах зола.

Потому в ходе эксплуатации описанных элементов котельных станций наблюдается интенсивный и неравномерный износ их рабочих лопастей, дисков и стенок камер. Неравномерный износ лопастей приводит к снижению мощности вентиляторов и дымососов, разбалансировке роторов, способствующей вибрации подшипников, и в конечном итоге приводящей к выходу из строя подшипниковых узлов. Время непрерывной работы дымососов, не подверженных мероприятиям по повышению износостойкости, в ряде случаев может достигать лишь двух - трех недель [1].

Для увеличения сроков эксплуатации между ремонтами рабочие поверхности лопастей мельничных вентиляторов и дымососов в настоящее время упрочняют ручной дуговой наплавкой электродами Т-590. Неизбежный же ремонт элементов дымососов и мельничных вентиляторов, в зависимости от степени их износа, может осуществляться следующим образом:

- полной заменой ротора и его наплавкой электродами Т-590;

-полной заменой отдельных изношенных лопаток новыми и их наплавкой электродами Т-590;

-заменой отдельных участков лопаток и их наплавкой электродами Т-590;

-восстановление толщины лопаток до требуемых размеров электродами для сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса и последующей их наплавкой электродами Т-590.

Металл системы Fe-Cr-C-V в полной мере не может обеспечить эффективное сопротивление износу золой или угольной пылью. К тому же ручная дуговая наплавка, не смотря на низкую себестоимость и возможность применения в монтажных условиях, характеризуется значительной глубиной проплавления основного металла и ее непостоянством, высокими тепловложением в упрочняемую поверхность и потерями наплавленного металла на угар, разбрызгивание и огарки, низкой производительностью.

Частый ремонт роторов нежелателен, так как сопровождается остановкой работы котлов, ограничением потребителей, высокими материальными и временными затратами. Запуск и остановка котлов также являются технологически сложными процессами. Потому увеличение срока эксплуатации между ремонтами дымососов и мельничных вентиляторов - актуальная и важная задача.

Известно, что сплавы высоколегированные ванадием системы Fe-Cr-V-Mo-C способны успешно конкурировать с высокохромистыми чугунами и быстрорежущими сталями. Но развитие подобных материалов в качестве присадочных при дуговой наплавке сдерживала способность ванадия образовывать шпинели, приводящие к трудноотделимости шлаковой корки. При плазменно-порошковой наплавке эта проблема теряет свою значимость.

Цель работы: провести сравнительный анализ износостойких свойств покрытий, полученных плазменной наплавкой порошка Пр-Х18ФНМ и покрытий, сформированных ручной дуговой наплавкой покрытыми электродами Т-590.

### **Материалы и методы исследования**

Плазменную наплавку порошка Пр-Х18ФНМ фракцией от 50 до 200 мкм осуществляли с помощью установки УПН-303УХЛ4. Наносимый промышленный порошковый сплав имеет следующий химический состав (мас. %): 2,1...2,4 С, 17...19 Cr, 2...3 Ni, 7...8 V, 2...2,6 Mo, Fe – основа.

Ручную дуговую наплавку электродами Т-590 (хим. состав наплавленного металла мас. %: 3,2 С, 1,2 Мн, 2,2 Si, 25,0 Cr, 1 В) осуществляли с помощью аппарата ВКСМ-1000 и балластного реостата РБ-306, последовательно включенного в сварочную цепь.

В качестве основного материала (подложки) как в первом, так и во втором случае служили пластины из стали 20 размером 250×150×10 мм, поверхность которых предварительно шлифовалась.

Лабораторные испытания по оценке износостойкости полученных покрытий осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 23.208-79 (Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы) и ГОСТ 23.201-78 (Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов и покрытий на газоабразивное изнашивание с помощью центробежного ускорителя). Данные методики способны обеспечить условия испытаний экспериментальных покрытий приближенные к фактическим условиям работы оборудования котельных станций.

В качестве абразивного материала при испытаниях по ГОСТ 23.208-79 выступал кварцевый песок фракций менее 200 мкм, 200...500 мкм, 500...1000 мкм и электрокорунд фракцией менее 500 мкм.

При испытаниях на газоабразивное изнашивание с помощью центробежного укорителя применяли кварцевый песок фракцией менее 200 мкм.

### **Результаты и обсуждение**

На рисунке 1 представлена гистограмма, демонстрирующая величину потери массы образцов, полученных по двум различным технологиям упрочнения в зависимости от фракции и вида абразива.

Во всех случаях покрытие, выполненное плазменной наплавкой порошка Пр-Х18ФНМ, демонстрирует в 2...3 раза более высокую износостойкость в условиях контакта с нежестко закрепленными абразивными частицами, чем покрытие, сформированное ручной дуговой наплавкой электродами Т-590.



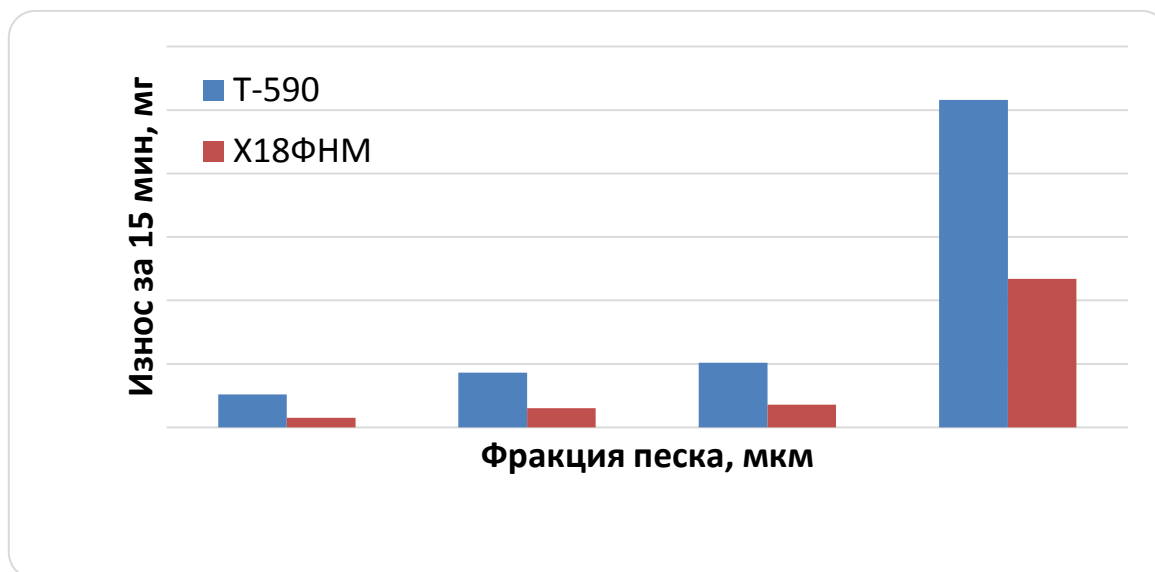


Рисунок 1

Гистограмма, показанная на рисунке 2, также свидетельствует о меньшем уровне износостойких свойств покрытий, полученных ручной дуговой наплавкой электродами Т-590 при их газоабразивном изнашивании с помощью центробежного ускорителя при всех исследованных углах атаки абразива (15, 30, 60 и 90°).

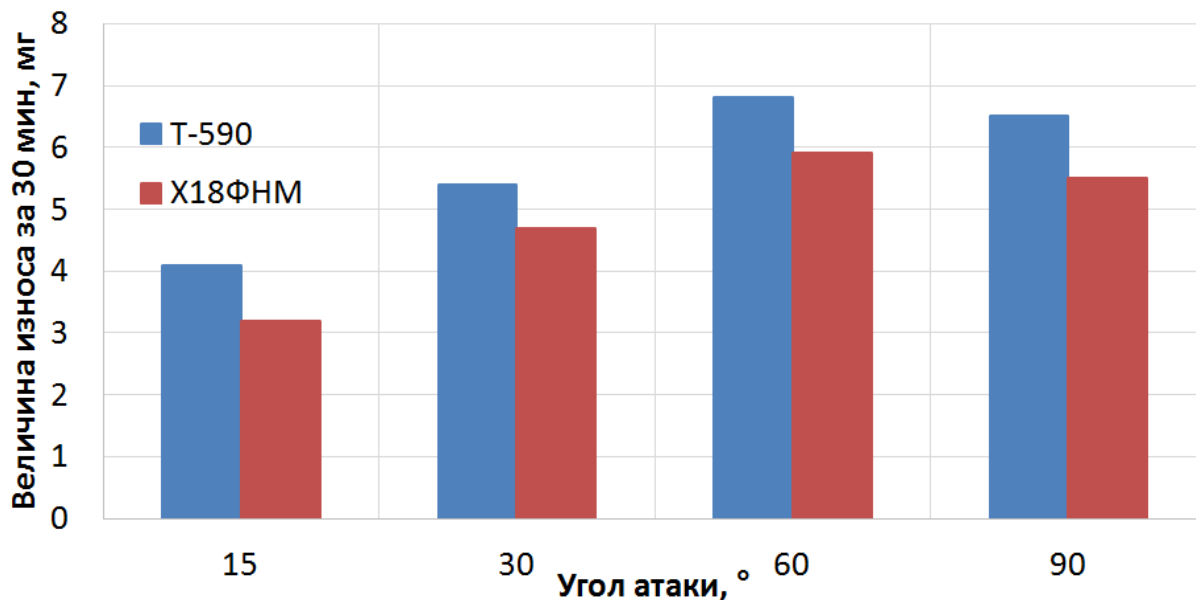


Рисунок 2

Производственные испытания, в рамках которых отдельные участки лопастей мельничного вентилятора были упрочнены плазменной наплавкой порошка Пр-Х18ФНМ, подтвердили

значительное превосходство этой технологии над традиционной наплавкой электродами Т-590.

### **Выводы**

Технология плазменной наплавки порошка Пр-Х18ФНМ может быть успешно применена для упрочнения участков лопастей мельничных вентиляторов и дымососов котельных станций, подверженных интенсивному абразивному изнашиванию.

### **Список информационных источников**

1.Шерстюк А.Н. Насосы, вентиляторы, компрессоры. Учебное пособие для вузов— М.: высшая школа, 1972. — 344 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ МИКРОСТРОЕНИЯ FE-CR-V-MO-C УПРОЧНЯЮЩЕГО СЛОЯ**

*Панарин П.С., Дегтерёв А.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Дегтерёв А.С., ассистент кафедры  
оборудования и технология сварочного производства*

### **Введение**

При необходимости создания упрочняющего слоя шириной более 50 мм, его формирование осуществляется плазменно-порошковой наплавкой с перекрытием двух и более валиков [1]. В таком случае каждый наплавленный за проход объем металла подвергается повторному высокотемпературному нагреву в результате наплавки последующего. Это может способствовать образованию, вблизи границы сплавления смежных валиков, отдельных зон с отличными от основного объема покрытия структурой и свойствами, обеспечивающих избирательное изнашивание упрочненных деталей в ходе эксплуатации. Высокая скорость изнашивания отдельных участков покрытия значительно повышает его общую интенсивность разрушения.

Целью работы: исследование микростроения упрочняющего слоя, полученного плазменной наплавкой порошка Пр-Х18ФНМ в несколько ниточных валиков, нанесенных с перекрытием.

## Материалы и методы исследования

Для наплавки использовалась установка УПН-303УХЛ4. В качестве присадочного материала выступал порошок ПР-Х18ФНМ следующего химического состава (мас. %): 2,1...2,4 С, 17...19 Cr, 2...3 Ni, 7...8 V, 2...2,6 Mo, Fe – основа.

Покрытие наносилось на пластины размером 250x100x10 мм из Стали 20.

Сила тока прямой полярности задавалась равной 220...225 А, скорость подачи порошка устанавливалась на уровне 1,1-1,4 кг/ч, а скорость наплавки назначалась в пределах от 6 до 7 м/ч. Напряжение на дуге принимало значения 35...36 В. В качестве плазмообразующего, транспортирующего и защитного газов применялся аргон высшего сорта.

После наплавки из полученного металла в двух плоскостях вырезались образцы (рисунок 1). В плоскости №1 и 2 исследовалась микроструктура покрытий. Анализ микроструктуры производился с помощью оптического микроскопа Olympus GX 51. Для выявления мартенсита применялся следующий реактив: 20 мл. HCl; 1 г. CuCl<sub>2</sub>; 15 мл. H<sub>2</sub>O; 65 мл. C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH. Для анализа эвтектических карбидов использовался водный раствор красной кровяной соли и гидроокиси калия: 8,3 мг. K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]; 8,3 мг. KOH; 83,4 мл. H<sub>2</sub>O.

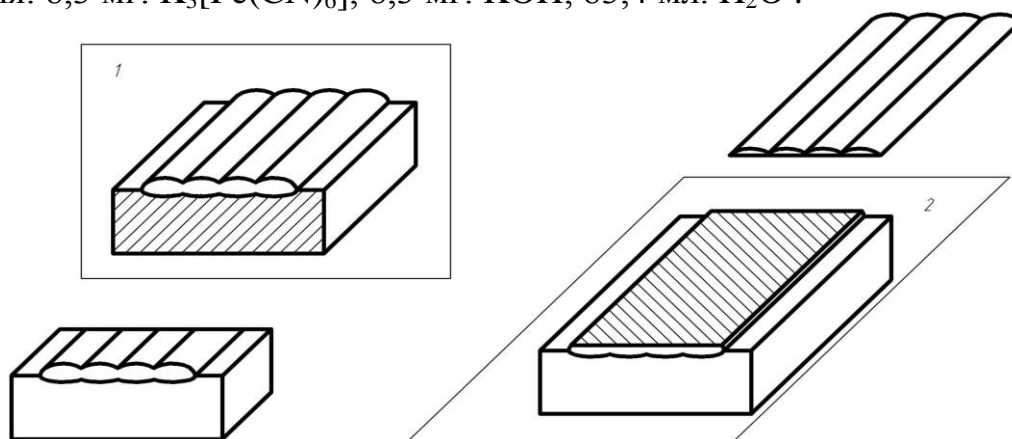


Рисунок 1

Исследования фазового состава наплавленных покрытий проводились на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 с фильтрованным  $Co_{K\alpha}$  – излучением в режиме сканирования в интервале углов  $2\theta$  от 48° до 55°, с шагом 0,1°. При проведении качественного фазового анализа использовались хорошо известные картотеки. Для количественного фазового анализа использовались значения интегральной интенсивности дифракционных максимумов (111)  $\gamma$ -фазы и (110) для  $\alpha$ -фазы.

## Результаты и обсуждение

В рассматриваемой наплавке было обнаружено 5 зон (рисунок 2).

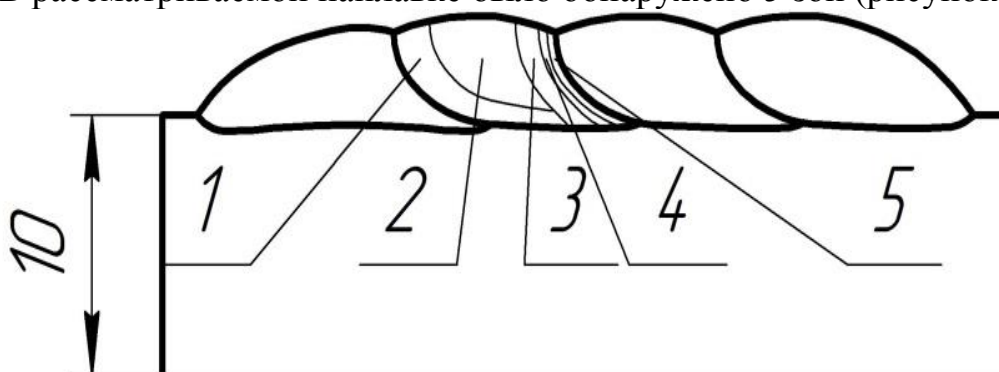
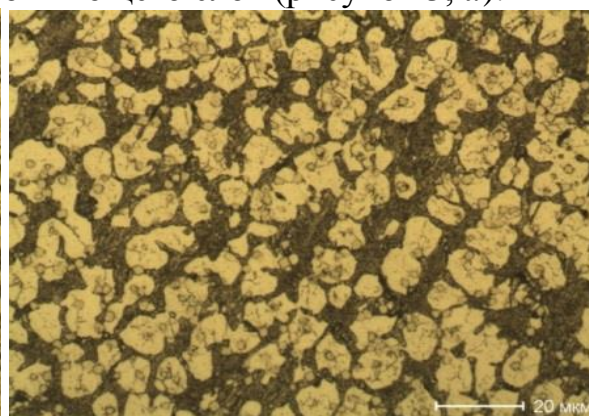
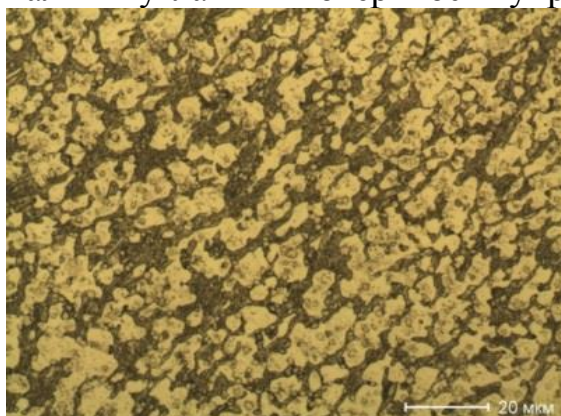
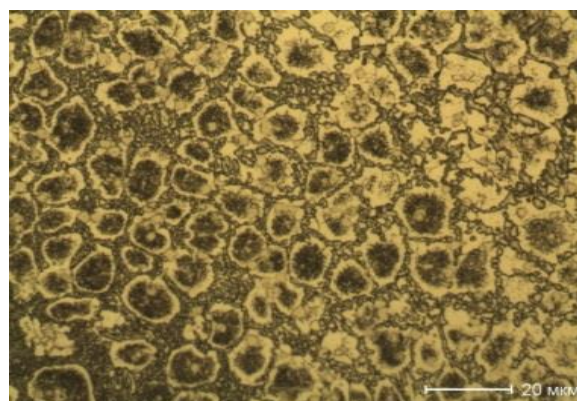
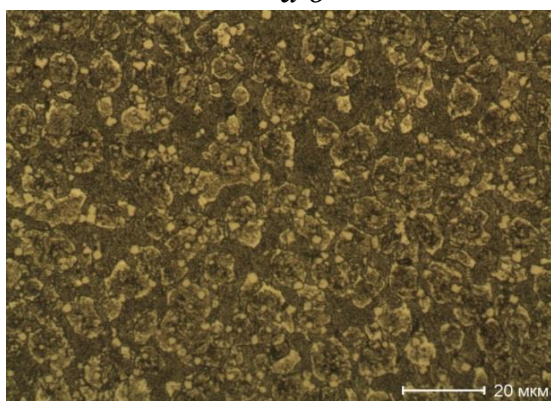


Рисунок 2

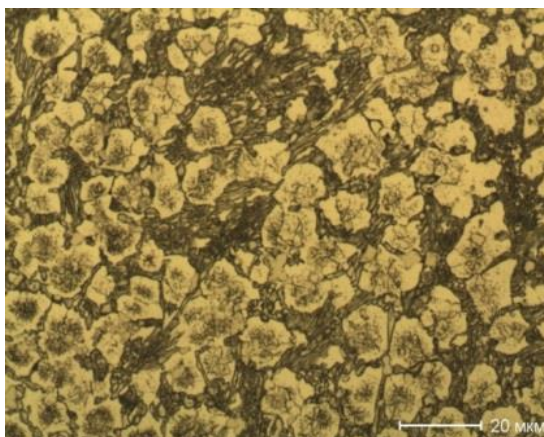
В зоне №1 наплавленный металл кристаллизуется в условиях максимального переохлаждения и характеризуется высокой дисперсностью карбида ванадия и упорядоченным расположением эвтектического карбида  $M_7C_3$ , главные оси которого ориентированы под малыми углами к поверхности упрочняющего слоя (рисунок 3, а).



а б



в г



д

Рисунок 3

Зона №2 (рисунок 3, б) содержит в структуре разориентированную эвтектику  $M_7C_3$  и более крупные, чем в зоне 1 частицы карбида ванадия.

По данным РФА матрица в пределах рассмотренного объема валика (зоны №1 и 2) представлена остаточным аустенитом и легированным мартенситом. Соотношение между  $\alpha$  и  $\gamma$ - твердыми растворами в ней принимает следующие значения: 8...30/92...70.

Зоны №3, 4, 5 формируются в результате повторного высокотемпературного нагрева покрытия в ходе выполнения следующего прохода.

В 3-й (рисунок 3, в) температурно-временной интервал обеспечивает выделение из насыщенного карбидообразующими легирующими элементами аустенита вторичных карбидов, повышение температуры начала мартенситного превращения и превращение большей части  $\gamma$ -твердого раствора в мартенсит. Суммарная доля мартенсита в матрице здесь достигает 70...85 %. Ширина зоны №3 2...2,5 мм. Три первые описанные области наплавленного покрытия занимают практически весь его объем (до 95 %). На зону три приходится 25...35 % объема покрытия.

В зоне №4 (рисунок 3, г) шириной от 80 до 150 мкм отмечается коагуляция эвтектического карбида  $M_7C_3$ .

В зоне №5 (рисунок 3, д) шириной от 160 до 250 мкм карбид  $M_7C_3$  полностью растворяется и выпадает вновь в виде крупной ориентированной в направлении теплоотвода сетки по границам зерен матрицы.

В пределах каждого из описанных пяти участков частицы карбида VC распределяются как внутри, так и по границам зерен, а эвтектический карбид  $M_7C_3$  только по границам зерен матрицы.

## **Выводы**

Существенные различия в микростроении Fe-Cr-V-Mo-C покрытия, полученного плазменной наплавкой в несколько ниточных валиков, нанесенных с перекрытием, позволяют предполагать значительную неоднородность его разрушения в ходе абразивного и газоабразивного изнашивания.

## **Список информационных источников**

1. Гладкий П.В. Плазменная наплавка – Киев: Экотехнология, 2007. - 292 с.

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ**

*Раев И.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Киселев А.С. к.т.н., зав. кафедрой  
оборудования и технология сварочного производства*

В настоящее время все большую популярность обретают сварочные выпрямители инверторного типа, т.к. они имеют значительно меньшие габаритные размеры и вес и обладают высокими динамическими свойствами.

Цель настоящей работы — экспериментально подтвердить предположение о том, что динамические характеристики источника питания в значительной степени влияют на стабильность процесса сварки покрытыми электродами.

Одним из основных показателей качества процесса дуговой сварки плавящимся электродом является его стабильность, с которой тесно связаны такие показатели, как разбрызгивание и формирование сварного шва. В качестве критерия стабильности процесса сварки покрытыми электродами предложено использовать среднеквадратичное отклонение времени каплеобразования или частоты коротких замыканий, которое указывает на интенсивность интегрального саморегулирования. Чем больше величина среднеквадратичного отклонения выбранных параметров при сварке, тем интенсивнее осуществляется интегральное саморегулирование, выше коэффициент разбрызгивания и, как следствие, ниже стабильность процесса. Таким

образом, для оценки стабильности режимов сварки, в качестве критерия можно принять среднеквадратичное отклонение частоты коротких замыканий:

$$S = \sqrt{\frac{(f_1 - f_{cp})^2 + \dots + (f_n - f_{cp})^2}{n}}, \quad (1)$$

где  $f_1 \dots f_n$  – результаты измерений частоты коротких замыканий,  
 $f_{cp}$  – среднее значение частоты коротких замыканий,  
 $n$  – число измерений.

В качестве источников питания для эксперимента использовали: трехфазный сварочный выпрямитель ВД-306, однофазный сварочный выпрямитель ВДЭ-160, выпрямитель инверторного типа ARC-250 «Сварог», а в качестве электродов: LB-52U диаметром 3,2 мм, УОНИ 13/55 диаметром 3 мм, УОНИ 13 «Мороз» диаметром 3 мм. Основные параметры режимов сварки указаны в таблицах 1,2,3.

Таблица 1. Параметры режимов сварки при использовании трехфазного выпрямителя Д – 306

Марка электрода	I, А	U, В	$l_{шв}$ , мм	$t_{св}$ , с	$V_{св}$ , м/ч	q, кДж/м
LB-52U $\varnothing 3,2$ мм	88,6	20,8	50	13	13,8	31,5
УОНИ13/55 $\varnothing 3$ мм	87,6	21,5	50	10	18	24,7
УОНИ13 «Мороз»	86,6	22,4	50	12	15	30,5

Таблица 2. Параметры режимов сварки при использовании однофазного выпрямителя ВДЭ – 160

Марка электрода	I, А	U, В	$l_{шв}$ , мм	$t_{св}$ , с	$V_{св}$ , м/ч	q, кДж/м
LB-52U $\varnothing 3,2$ мм	89	20,8	50	12	15	29,1
УОНИ13/55 $\varnothing 3$ мм	87,7	22,1	50	11	16,2	28,2
УОНИ13 «Мороз»	88	21,7	50	11	16,2	27,8

Таблица 3. Параметры режимов сварки при использовании выпрямителя инверторного типа ARC – 250 «Сварог»

Марка электрода	I, А	U, В	$l_{шв}$ , мм	$t_{св}$ , с	$V_{св}$ , м/ч	q, кДж/м
LB-52U $\varnothing 3,2$ мм	91	20,5	50	14	12,6	34,9
УОНИ13/55 $\varnothing 3$ мм	89,5	20,4	50	12	15	28,7
УОНИ13 «Мороз»	87,7	21,2	50	13	13,8	31,8



В процессе сварки, с помощью цифрового осциллографа, были получены осциллограммы тока и напряжения для каждого из процессов. В дальнейшем была проведена их обработка, с целью определения длительности коротких замыканий, а также длительности периода между короткими замыканиями с целью расчета частоты коротких замыканий дугового промежутка для каждого типа электродов и последующего построения гистограмм.

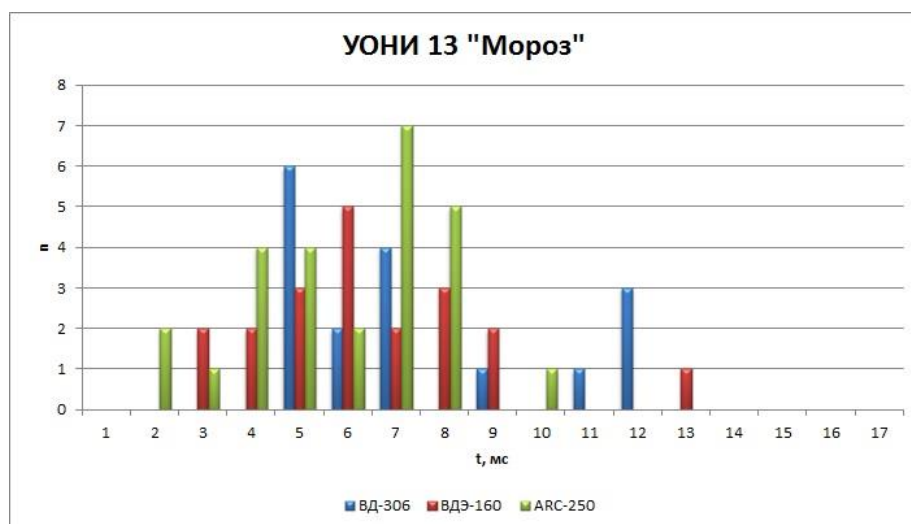


Рисунок 1. Гистограмма длительности коротких замыканий для электродов LB-52U

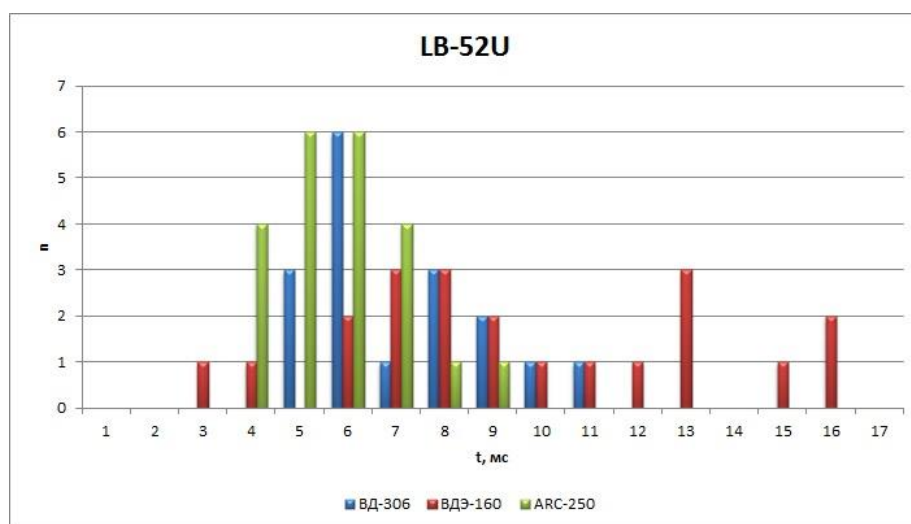


Рисунок 2. Гистограмма длительности коротких замыканий для электродов УОНИ 13 «Мороз»



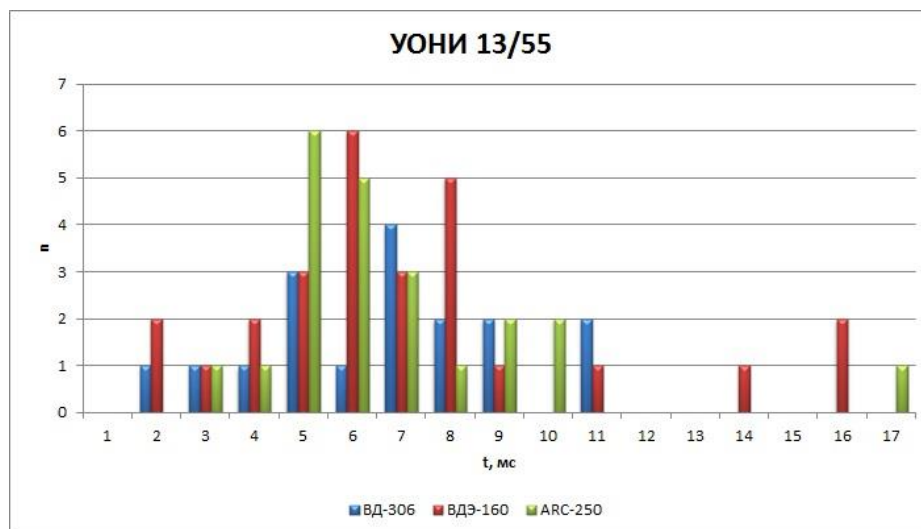


Рисунок 3. Гистограмма длительности коротких замыканий для электродов УОНИ 13/55

После того, как были получены все необходимые данные, был произведен расчет среднеквадратичного отклонения частоты коротких замыканий по формуле (1), которые представлены в таблице 4.

Таблица 4. Значения величины среднеквадратичного отклонения

	LB-52U	УОНИ 13/55	УОНИ 13 «Мороз»
ВД-306	2,21	4,55	10,2
ВДЭ-160	2,21	3,18	3,89
ARC-250	1,71	2,81	2,86

#### Выводы:

Анализ полученных экспериментальных результатов исследований показал, что более стабильные параметры режима сварки обеспечивает выпрямитель инверторного типа. Также большое значение для обеспечения стабильности процесса сварки является выбор сварочных электродов. В данном случае наиболее стабильным оказался процесс при котором использовались электроды марки LB-52U.

## РУЧНАЯ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА СПЛАВА 36НХТЮ СО СТАЛЬЮ 12Х18Н10Т

*Свяжина Н.В., Хамматов А.Н.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Хайдарова А.А., к.т.н., доцент кафедры  
оборудования и технология сварочного производства*

При добыче, транспортировке, переработке нефти и других жидкостей в нефтяной, химической, нефтехимической и других областях промышленности используются преобразователи плотности и вязкости жидкости, которые изготавливают из коррозионностойкой стали типа 12Х18Н10Т. Внутренняя трубка преобразователей изготавливается из упругочувствительных сплавов типа 36НХТЮ. В этой связи возникает необходимость выполнения неразъемного соединения деталей, выполненных из разнородных металлов - стали 12Х18Н10Т и сплава 36НХТЮ.

Целью данной работы является исследование сварного соединения стали 12Х18Н10Т и сплава 36НХТЮ, выполненного ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом.

В работе выполняли угловое соединение деталей, как показано на рис. 1.

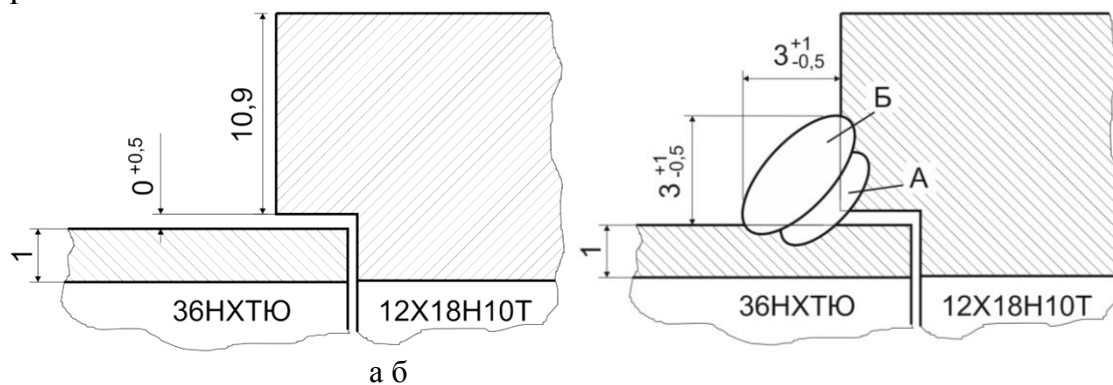


Рис. 1. Схема выполнения сварного соединения из сплава 36НХТЮ и стали 12Х18Н10Т: а – форма разделки кромок, б – количество слоев и размеры сварного шва.

Ручную аргонодуговую сварку выполняли короткой дугой на постоянном токе 45...55 А прямой полярности вольфрамовым электродом диаметром 2-4 мм. Скорость сварки составляла 28 см/мин. Расход защитного газа 10 л/мин. В качестве присадочного материала использовалась проволока ОК Tigrod 19.85 диаметром 2,0 мм.

Перед аргонодуговой сваркой деталей выполняли предварительный

подогрев до 200-220°C. После сварки соединение помещали в разогретую до 200°C электропечь и охлаждали вместе с печью. В процессе сварки следили за тем, чтобы деталь из сплава 36НХТЮ не перегревалась выше 400°C.

Подготовку шлифов осуществляли по стандартной методике, путем шлифования и полирования на алмазных пастах (зернистость от 60/40 до 0,5/0,1). Травление производили в течение 1 минуты в реактиве Марбле и в течение 30 секунд в 10%-м водном растворе щавелевой кислоты (напряжение 10 В, образец - анод). Микрофотографирование производили на микроскопе Unitron Versamet с применением освещения по методам светлого поля, темного поля и их комбинации, а также по методу дифференциально-интерференционного контраста Номарского.

Общий вид сварного соединения и макрофотография сварного шва представлены на рис. 2. По макрофотографиям сварного соединения видно, что деталь из сплава 36НХТЮ не проплавляется насквозь. Шов имеет вогнутую поверхность с плавным переходом к основному металлу.

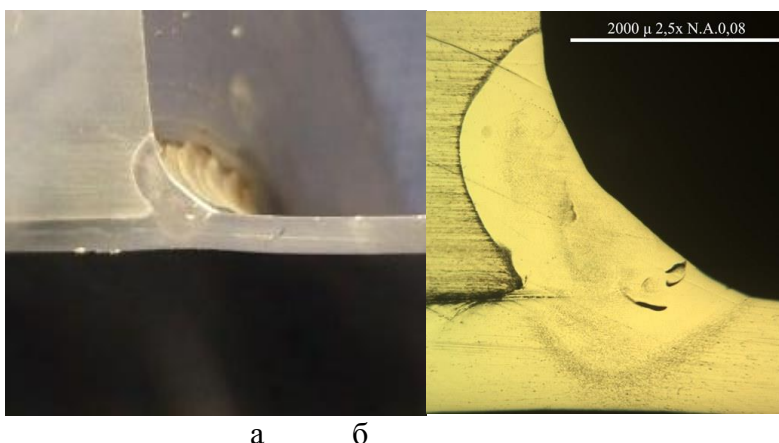
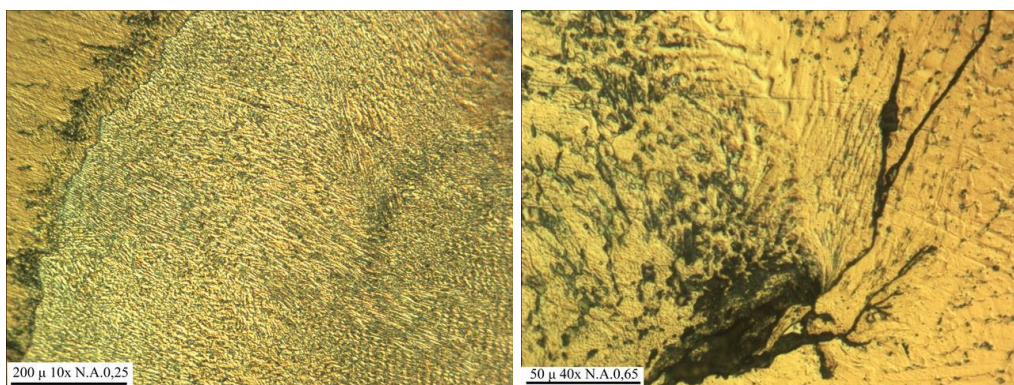


Рис. 2. Вид сварного соединения (а) и макрофотография сварного шва (б)

Заметна слабая травимость металла шва, что может быть связано с низким содержанием  $\alpha$ -фазы или  $\delta$ -феррита в результате высокой скорости кристаллизации.

Структура металла шва имеет дендритное строение (рис. 3,а). Протяженность дендритов, плоскость которых совпадает с плоскостью шлифа (наиболее протяжённые), составляет 150-300 мкм.

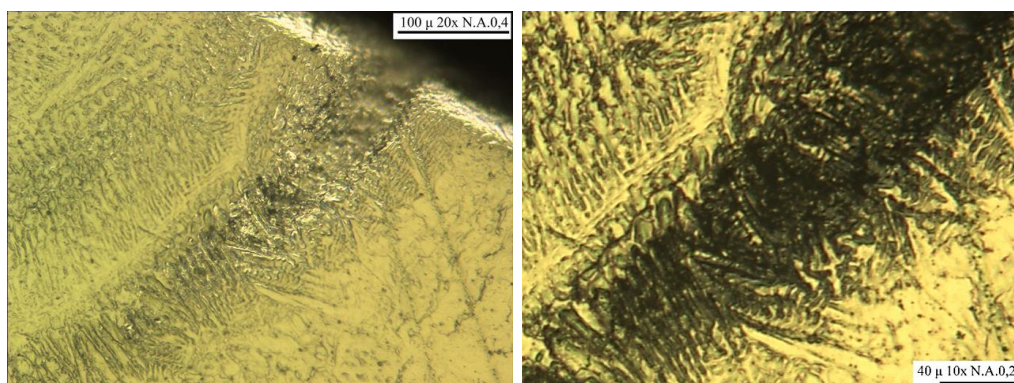


а б

Рис. 3. Микроструктура сварного шва

С обратной стороны шва наблюдается разветвленный трещиноподобный дефект (предположительно окисная пленка) протяженностью 180 мкм (рис. 3,б).

При электролитическом травлении повышенному воздействию подверглась граница сплавления, примыкающая к детали из сплава 36НХТЮ. Зона термического влияния на 36НХТЮ характеризуется формированием зерен размером до 90 мкм (в основном металле 15-40 мкм). По границам и в теле зерен выделяется темно-травленная  $\alpha$ -фаза (рис. 4,а).



а б

Рис. 4. Зона термического влияния со стороны сплава 36НХТЮ (а) и со стороны стали 12Х18Н10Т

Граница сплавления по стали 12Х18Н10Т за счет выделения  $\delta$ -феррита и продуктов его распада характеризуется темным окрасом. Зона термического влияния (ЗТВ) по стали 12Х18Н10Т распространяется на глубину до 1 мм и характеризуется незначительным потемнением при травлении в реактиве Марбле (рис. 4,б). Размер зерна ЗТВ и основного металла практически не изменяется.

По результатам работы можно сделать вывод, что при аргонно-дуговой сварке в металле шва формируются дефекты в виде окисных пленок и участков пониженной коррозионной стойкости. Для

предотвращения данных дефектов необходима дальнейшая отработка технологии сварки

### **Список информационных источников**

1. Hajiannia I., Shamanian M., Kasiri M.. Microstructure and mechanical properties of AISI 347 stainless steel/A335 low alloy steel dissimilar joint produced by gas tungsten arc welding // Materials and Design. – 2013. – 50. – P. 566–573.
2. ASM handbook, properties and selection: irons, steels, and high performance alloys. / Ohio: ASM International, Materials Park. – 2002. - vol. 1.
3. Arivazhagan N, SurendraSingh S, Prakash S, Reddy GM. Investigation on AISI stenitic stainless steel to AISI 4140 low alloy steel dissimilar joints by gas tungsten arc, electron beam and friction welding. // Mater Des. - 2011.- 32. - 3036–3050.
4. Devendranath Ramkumar K., Ramanand R. Effect of post weld heat treatment on the microstructure and tensile properties of activated flux TIG welds of InconelX750 // Materials Science&Engineering.- 2016. – P. 326–338.
5. Ховова О.М., Думанский И.О. и др. Скоростная закалка и комбинированное старение пружинного сплава 36НХТЮ // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2008. – № 2. – С. 13-21.

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И СВАРКИ ТРУБНОЙ ДОСКИ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА «ТУРБОТЕРМ-СТАНДАРТ-800»**

*Сизиков Д. Г.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Филишов Николай Яковлевич, ст.*

*преподаватель кафедры оборудования и технология сварочного производства*

Водогрейный котёл предназначен для нагрева воды под давлением. Основное предназначение водогрейного котла состоит в качественном и быстром нагреве воды, которая используется для самых различных нужд. Прежде всего, для отопления частных домов, горячего



водоснабжения, а также для отопления промышленных и общественных зданий и сооружений.

Современные водогрейные котлы большой мощности представляют собой мощные стационарные нагреватели воды. Их основная функция заключается в эффективной подаче горячей воды или пара. Промышленные котлы предназначены для устройства отопительных систем и отличаются высокими показателями мощности. Соответственно, они обладают достаточно большими размерами и габаритами.

В настоящее время применяется несколько основных видов промышленных устройств, в которых в качестве теплоносителя может использоваться вода или пар.

Водогрейные котлы по уровню температуры воды на выходе подразделяются на низкотемпературные и работающие на перегретой воде.

Последние в состоянии нагреть воду до температуры порядка 115 градусов. Подобный тип отопительных устройств считается максимально экономичным, но есть некоторые особенности их изготовления и требования к материалам, из которых они производятся.

Котлы, которые работают на перегретой воде, в состоянии нагреть воду до 150 и более градусов. Система отличается достаточно высокими эксплуатационными качествами и идеальными параметрами надежности.

Также преимуществом являются то, что работа такого оборудования осуществляется достаточно бесшумно, при этом присутствует ничтожный выброс вредных веществ в атмосферу. Такие котлы очень просты в процессе управления, а также в обслуживании.

Современные промышленные котлы по конструкции могут быть водотрубными и газотрубными. Каждый из видов имеет свои эксплуатационные характеристики и преимущества.

Газотрубные котлы состоят из набора трубок определенного диаметра. По ним происходит перемещение продуктов сгорания. Процесс теплообмена производится посредством нагрева воды, то есть теплоносителя, который находится на внешней стороне трубок.

В водотрубных котлах поверхность нагрева состоит из специальных трубок, которые называются кипяtilными. По ним в процессе работы котла движется вода. Нагрев теплоносителя обеспечивается за счет продуктов сгорания, проходящих между трубок поверхностей нагрева.

При изготовлении котла одной из основных проблем является приварка труб  $\varnothing 51 \times 3,5$  мм к трубной доске. В данной работе предлагается разработать технологию сборки и сварки трубной доски для водогрейного жаротрубного трехходового котла Турботерм-Стандарт-800.

Конструкция трубной доски приведена на рис.1.

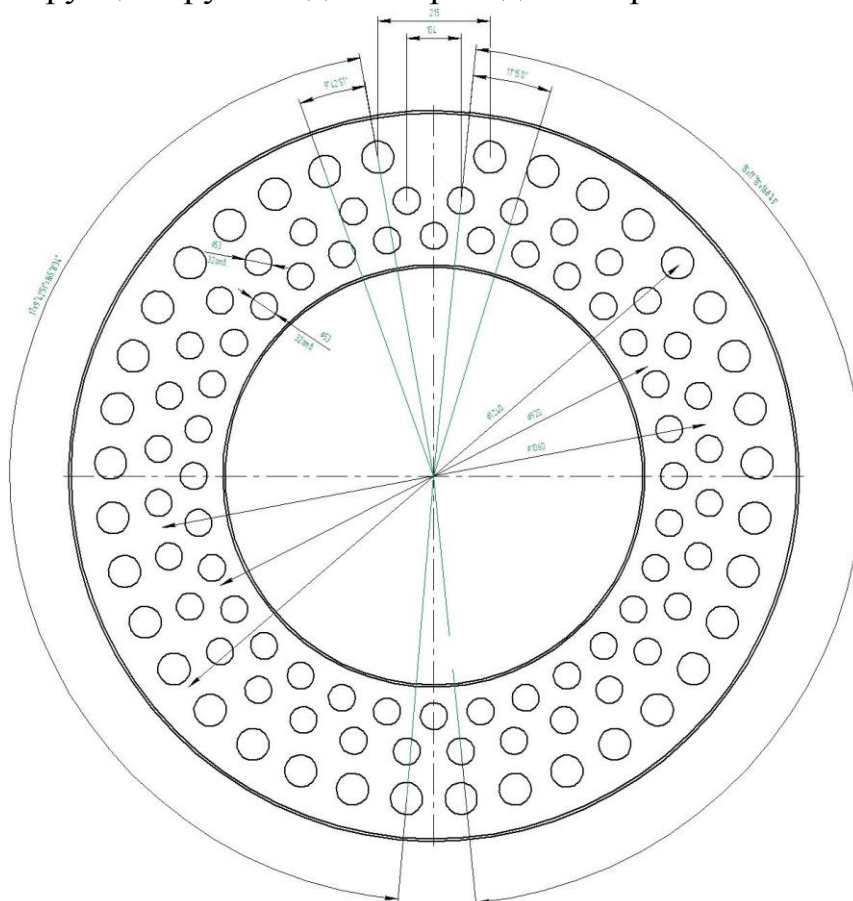


Рис.1. Конструкция трубной доски

Трубы и трубная доска в этом котле изготавливается из стали 09Г2С класса прочности К50. В углеродистых сталях, широко используемых в машиностроении, судостроении и др., содержание углерода обычно составляет 0,06-0,25%. Повышение его содержания в стали усложняет технологию сварки и затрудняет возможности получения равнопрочного.

В работе приведено сравнение двух способов сварки трубной доски: ручная дуговая и механизированная в среде защитных сварного соединения без дефектов. газов. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Наиболее оптимальным по производительности и затратам был принят механизированный способ сварки и с использованием сварочной проволоки Св-08Г2С.

Для этого способа сварки проведен расчет режимов сварки. С целью обеспечения полного проплавления применена оптимальная подготовка свариваемых кромок и сборки сварного соединения.

Разработанная технология сборки и сварки трубной доски была использована в ООО «СМП-95» при изготовлении водогрейного жаротрубного стационарного котла номинальной теплопроизводительностью 800 кВт.

## **ЛАЗЕРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКА ИЗ СТАЛИ Р6М5**

*Силантьев С.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Хайдарова А.А., к. т. н., доцент кафедры  
оборудование и технология сварочного производства*

Вопросы создания рабочих поверхностей деталей механизмов и машин с высокими механическими и триботехническими свойствами решаются различными способами: нанесением покрытий методами наплавки или напыления, термической обработкой, поверхностной обработкой высококонцентрированными источниками энергии: электронным лучом, концентрированной плазменной струей или лазером. Особое предпочтение отдается лазеру, как средству, позволяющему изменять структуру в приповерхностном слое металла с высокой скоростью и не требующего специальной защиты от окружающего воздуха, если обрабатываемый материал в этом не нуждается.

Наибольшая эффективность лазерной обработки достигается в случае её применения к сталям, которые способны закаляться и претерпевать аустенитно-мартенситные превращения [1]. В этой связи представляют интерес быстрорежущие стали типа Р6М5, Р18, Р12. Можно предположить, что дополнительная обработка импульсами лазера таких покрытий позволит существенно расширить область их применения за счет текстурирования поверхности, которое положительно зарекомендовало себя в работах [2,3].

В ходе исследовательской работы воздействие лазерным излучением осуществляли на предварительно отполированную до шероховатости Ra 0,08 мкм поверхность покрытия из стали Р6М5. Покрытие было предварительно выполнено методом плазменно-порошковой наплавки при силе тока ( $I_n$ ) 200 А и скорости наплавки ( $V_n$ )



0,17 см/с.

В качестве источника излучения использовали лазерную сварочную установку НТФ-50Т с алюмо-иттриевым твердотельным лазером.

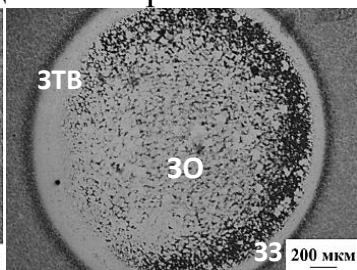
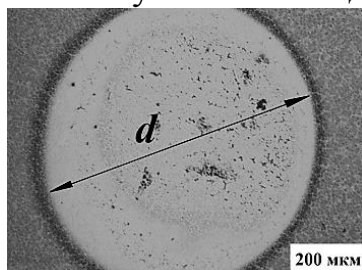
Режимы обработки поверхности отличались мощностью воздействия импульсов прямоугольной формы (таблица 1). Обработка лазерным излучением производилась на открытом воздухе, без защиты поверхности покрытия от окисления.

На рис. 1 представлена макроструктура поверхности единичных точек, полученная с помощью оптической металлографии после полировки и травления поверхности. Все точки имеют три характерных участка: зона оплавления (ЗО) – центральная часть пятна; зона закалки (ЗЗ) – неравномерно протравленная окружность, отличающаяся структурной неоднородностью; зона термического влияния (ЗТВ) – светлая окружность с примыкающей к ней темной, хорошо протравленной окружностью.

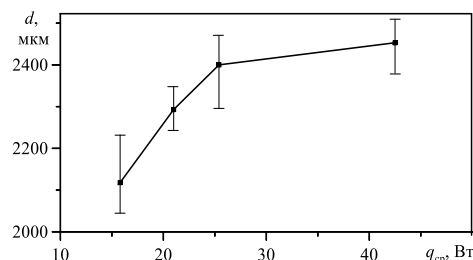
Таблица 1. Параметры режимов воздействия лазерным излучением на структуру и свойства наплавленного слоя из стали Р6М5

№ режим а	Пиковая мощность, кВт	Средняя мощность, Вт	Энергия импульса, Дж	Длительность импульса, мс	Частота следования импульсов, Гц
1	1,50	15,8	10,5	7	Одиночный импульс
2	2,00	21,0	14		
3	2,42	25,4	16,94		
4	4,05	42,5	28,35		

Диаметр точек импульсного воздействия  $d$ , измеренный до хорошо протравленного участка зоны термического влияния, с ростом мощности ЛИ увеличивается (рис. 2,а). При этом заметно снижение темпа роста диаметра пятна при повышении мощности до 42,5 Вт, что в значительной степени связано с большим углублением луча лазера в металл и увеличением доли испарения металла с поверхности.

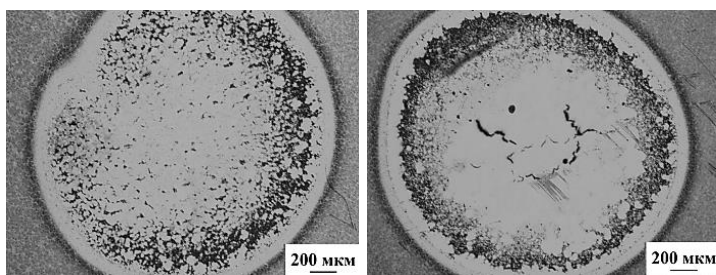


а б



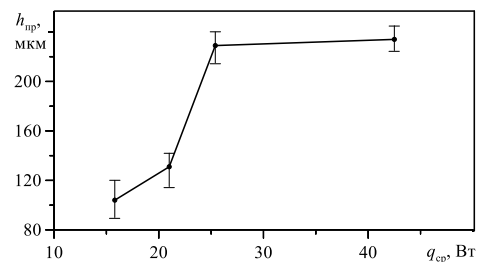
а





в г

Рис. 1. Макроструктура поверхности точки, полученной при средней мощности ЛИ: а – 15,8 Вт, б – 21,0 Вт, в – 25,4 Вт, г – 42,5 Вт



б

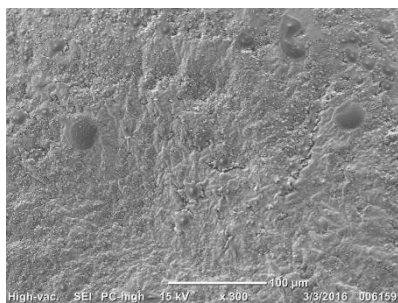
Рис. 2. График изменения диаметра пятна облучения (а) и глубины проплавления (б) при увеличении мощности лазерного излучения

Капиллярные и термокапиллярные явления, происходящие в точках расплава, наряду с мартенситными превращениями, приводят к деформации поверхности за счет изменения силы поверхностного натяжения и формированию трещин в центре пятна. При этом, чем больше коэффициент формы провара ( $k=h_{пр}/d$ ), который увеличивается с ростом мощности ЛИ, тем больше возникающие деформации и размеры трещин (рис. 1,г).

С увеличением мощности или энергии импульса глубина воздействия возрастает (рис. 2,б), однако ее изменение носит неравномерный характер. При лазерном импульсе средней мощности (15,8...21,0 Вт) глубина нагрева составляет 100...130 мкм. Дальнейшее увеличение мощности до 25,4 Вт приводит к скачкообразному повышению глубины до ~230 мкм с одновременным ростом слоя расплавленного металла на стенках парогазового канала, в результате чего происходит замедлению проплавления даже при увеличении мощности до 42,5 Вт.

В зоне оплавления за счет больших скоростей кристаллизации металла из жидкого состояния происходит значительное изменение исходной структуры стали Р6М5 (рис. 3,а). Центральная часть имеет дендритное строение, исчезает характерная для стали Р6М5 сетка эвтектических карбидов в процессе их растворения.

В результате вскипания расплава на локальном участке поверхности происходит образование кратеров. С увеличением мощности лазерного излучения до 25,4 Вт наблюдается вытеснение кратеров к зоне закалки.

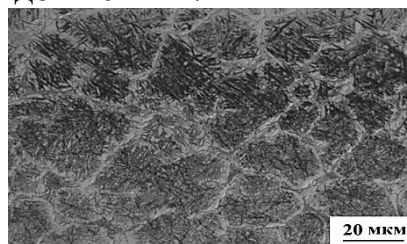
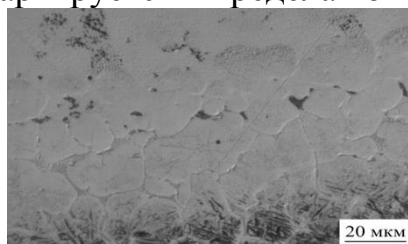


а

Рис. 3. Микроструктура зоны оплавления

Зона закалки представляет собою аустенитно-мартенситную матрицу с сеткой эвтектических карбидов, расположенных по границам зерен (рис. 4,а). В отличие от пластинчатой структуры эвтектических карбидов, находящихся в исходном состоянии в стали Р6М5, в зоне закалки карбиды представлены в виде диспергировавшихся образований, расположенных ближе к зоне оплавления, и стержней, расположенных ближе к зоне термического влияния.

Зона термического влияния имеет крупноигольчатое мартенситное строение с сеткой эвтектических карбидов по границам зерен (рис. 4,б). Ширина ЗТВ определенной зависимости от мощности луча лазера не имеет и варьируется в пределах от 80 до 110 мкм.



а б

Рис. 4. Микроструктура зоны закалки (а) и зоны термического влияния (б)

Уровень твердости в ЗТВ снижается на 25...30% по сравнению с твердостью основного материала, не подверженного обработке (рис. 5).

В центральной части точек и в зоне закалки в результате формирования структурной неоднородности наблюдается неравномерное распределение микротвердости, что особенно проявляется при обработке лучом лазера мощностью от 15,8 до 25,4 Вт (рис. 5, а-в). Средний уровень твердости данных зон сравним с твердостью стали Р6М5 в состоянии после наплавки (~790...800HV).

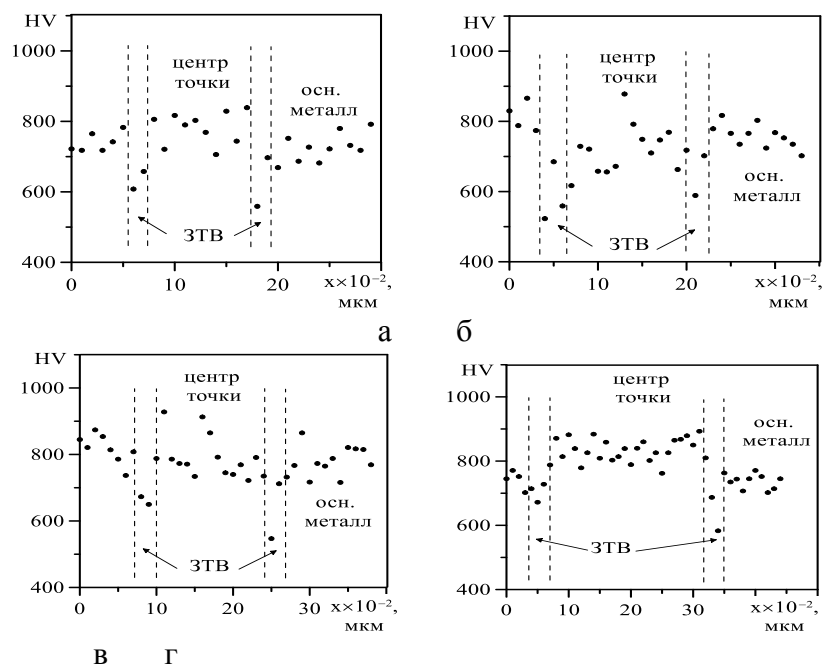


Рис. 5. Распределение микротвердости в продольном направлении поверх точек лазерного воздействия

### Выводы:

Увеличение средней мощности импульсов лазера от 15,8 Вт до 25,4 Вт приводит к росту глубины лазерного воздействия на покрытие из стали Р6М5 в 2 раза. Формирование трех зон при импульсной лазерной обработке способствует неравномерному распределению микротвердости на поверхности обработанного материала. При обработке стали Р6М5 одиночными импульсами лазерного излучения мощностью от 15,8 до 25,4 Вт существенного упрочнения поверхности не происходит.

### Список информационных источников

1. Ho Jun Shin, Young Tae Yoo. Microstructural and hardness investigation of hot-work tool steels by laser surface treatment. Journal of materials processing technology 201(2008) 342–347.
2. A. Dunn, K.L. Wlodarczyk, J.V. Carstensen, E.B. Hansen, J. Gabzdyl, P.M. Harrison, J.D. Shephard, D.P. Hand. Laser surface texturing for high friction contacts. Applied Surface Science 357 (2015) 2313–2319
3. S.Razi, Kh.Madanipour, M. Mollabashi. Laser surface texturing of 316L stainless steel in air and water: A method for increasing hydrophilicity via direct creation of microstructures. Optics&LaserTechnology80(2016)237–246.

4. Akhtar S.S., Yilbas B.S. Laser Treatment of Steel Surfaces: Numerical and Experimental Investigations of Temperature and Stress Fields // Comprehensive Materials Processing. – 2014. - №9. – P. 25-46.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

*Скрипко С.И.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гордынец А.С., к.т.н., ассистент кафедры оборудования и технологии сварочного производства*

Для соединения деталей малых толщин и размеров широко применяются микроплазменная, электроннолучевая, лазерная и дуговая сварка неплавящимся электродом. Однако, к недостаткам перечисленных способов относятся высокие затраты на приобретение и эксплуатацию оборудования.

В настоящее время для сварки деталей малой толщины наметилась тенденция применения дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов одиночными кратковременными униполярными импульсами тока. Широкому применению подобного способа сварки препятствует отсутствие рекомендаций по выбору технологических параметров.

Для экспериментальных исследований влияния параметров импульса сварочного тока на геометрические размеры точки расплавления была разработана специализированная установка. Опыты производили при его фиксированной амплитуде равной 150 А. Аналогичное влияние амплитуды импульса изучали при его длительности 40 мс.

Из анализа внешнего вида точек расплавления изделия следует, что зона плавления металла имеет форму окружности, в центре которой формируется возвышенность

Анализ результатов эксперимента показал, что диаметр точки расплавления возрастает с повышением амплитуды импульса тока, при этом его длительность оказывает аналогичное влияние но в меньшей степени. Глубина проплавления растёт с увеличением длительности импульса, в то время как амплитуда импульса тока показывает схожее, но более слабое воздействие

## Список информационных источников

- 1.Киселев А.С. Управление технологическими свойствами дуги переменного прямоугольного тока при сварке алюминиевых сплавов малых толщин неплавящимся электродом: автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - Томск, 1998. - 22 с
- 2.Смирнов В.В. Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие. Л.: Энергоатомиздат, 1986 – 656 с.
- 3.Б.Е. Патон, В.С. Гвоздецкий, Д.А. Дудко и др. Микроплазменная сварка. Киев: Наук. думка, 1979. – 248 с.
- 4.Orion с Series | Orion welders – [электронный ресурс] – режим доступа - <http://www.orionwelders.com> – свободный – загл. с экрана
- 5.PUK 5 precision welding technology by Lampert [электронный ресурс] – режим доступа - <http://www.lampert.info> – свободный – загл. с экрана
- 6.Phaser | primotec – Lampert [электронный ресурс] – режим доступа - <http://www.primotecusa.com> – свободный – загл. с экрана
- 7.Orion 100с - Jewelry [электронный ресурс] – режим доступа - <http://www.orionwelders.com> – свободный – загл. документа
- 8.Operating manual PUK 5 [электронный ресурс] – режим доступа - <http://www.lampert.info> – свободный – загл. документа
- 9.Phaser pulsed micro arc welding units [электронный ресурс] – режим доступа - <http://www.primotecusa.com> – свободный – загл. документа
- 10.А.с. 578173, МКИ В23К 9/16. Способ возбуждения электрической дуги при сварке / М.С. Гриценко, М.П. Андреев. № 1963082/25-27; Заявл. 01.10.73; Оpubл. 30.10.77, Бюл. № 40 // Открытия. Изобретения. - 1977. №40.

# **УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ФУТЕРОВКИ ТИГЕЛЬНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ**

*Теслева Е.П., Соловян А.В.*

*Юргинский технологический институт*

*Томского политехнического университета, г. Юрга*

*Научный руководитель: Теслева Е.П., к.ф.-м.н., доцент кафедры  
естественнонаучного образования*

Тигельные индукционные печи – установки, в которых применяется индукционный нагрев для плавки металлов или других материалов. Они состоят из индуктора и самого тигля. Поскольку тигель является самой ответственной частью печи, во многом определяющим ее эксплуатационную надежность, то его защищают при помощи футеровки (кладки). Футеровка тигля при производстве ферросилиция выполняется из огнеупорных, керамических материалов и позволяет защитить индуктор от воздействия высоких температур, а также сократить тепловые потери [1].

Основными факторами снижения продуктивности индукционных печей являются простои, связанные с заменой их футеровки. Среди факторов, которые влияют на стойкость футеровки, можно выделить следующие:

1. Высокие рабочие температуры – температура рабочей зоны футеровки достигает 1700°C.

2. Перепад температур – связан с охлаждением футеровки на выпуске металла из печи и составляет около 700°C.

3. Химический состав футеровки и активность расплава – определяется высокой химической активностью расплава ферросилиция и возможностью вступать в химические соединения с элементами футеровки печи.

4. Механическое воздействие – вызвано технологическим процессом слива расплава.

5. Способ изготовления футеровки – приводит к различию физико-механических свойств футеровки.

6. Фракционный (гранулометрический) состав набивных масс – влияет на качество спекания футеровки (пористость).

7. Возможность частичного ремонта.

Среди основных способов, применяемых для увеличения стойкости футеровки можно выделить следующие:

1. Изменение метода изготовления футеровки.

2. Изменение фракционного (гранулометрического) состава набивных масс.

3. Изменение химического состава футеровки [2].

4. Использование горячего ремонта футеровки.

На ОСП «ЮФЗ» в индукционных печах при производстве ферросилиция применяется кислая футеровка. Ее изготавливают из кремнеземистых огнеупорных материалов (кварцевого песка, кварцита) с содержанием окиси кремния не менее 93-98%. В качестве связующего материала применяют раствор борной кислоты. Зерновой состав огнеупорной массы: 5% зерен фракции 3-2 мм, 50% – зерен 2-0,5 мм, 45% – зерен <0,5 мм [3].

На сегодняшний день стойкость футеровки составляет 35-36 плавов, что при производительности 6 плавов в сутки приводит к необходимости замены футеровки каждые 7 дней с учетом времени на спекание. Таким образом, использование данной футеровки не является эффективным.

Для увеличения производительности комплекса индукционных печей предлагается:

1. *Заменить кварцевую набивную футеровку цельным угольным (графитовым) тиглем.* Стойкость такого тигля составляет около 500-550 плавов [4]. Применение данного тигля требует значительных затрат на приобретение, но позволит производить замену футеровки 1 раз в 3 месяца. При этом значительно сокращается время на замену тигля, т.к. нет необходимости в спекании, а так же в проведении первой плавки на чугуне.

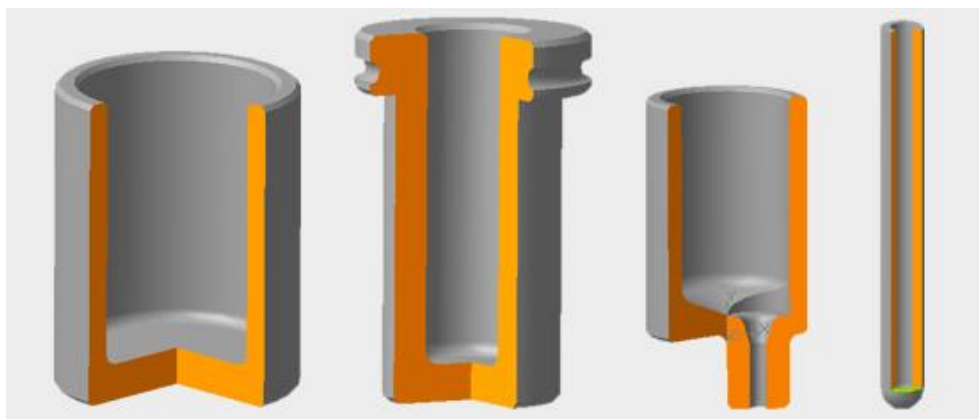


Рис. 1. Графитовые тигли [4]

2. *Использовать набивные массы на основе кварцита Антоновского месторождения.*



Используемая на ОСП «ЮФЗ» набивная масса изготавливается на основе кварцита Свердловского месторождения «Гора Караульная». Средний химический состав кварцитов, для изготовления набивных масс приведен в таблице 1.

Для успешной работы набивной футеровки необходимо обеспечить три зоны различных состояний материала на расстоянии толщины футеровки между расплавом и индуктором: буферную, промежуточную и монолитную спеченную. Спеченный слой по мере эксплуатации печи изнашивается, и зона спекания смещается в сторону индуктора.

Таблица 1. Химический состав набивной массы КВМБ-2 на основе Свердловского кварцита

	Массовая доля, %
SiO <sub>2</sub>	96
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,2-1,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6

Таблица 2. Химический состав набивной массы на основе Антоновского кварцита

	Массовая доля, %
SiO <sub>2</sub>	96,6
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,5-3,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12

Проведенные на предприятии промышленные испытания набивной огнеупорной массы изготовленной на основе кварцита Антоновского месторождения с добавкой борной кислоты показали возможность проводить более 40 плавов (табл. 2). Для увеличения стойкости футеровки предлагается создать набивную кварцевую массу более пригодную для переплава мелочи ферросилиция. Для этого необходимо:

- а) использовать только высокочистый кварцит (более 98% кремнезема);
- б) заменить борную кислоту борным ангидридом. Замена борной кислоты на борный ангидрид позволит увеличить содержание кремнезема в набивной массе, и как следствие, улучшит огнеупорность футеровки;
- в) при набивке использовать специализированный инструмент (электромешалка, пневмовибратор).

### *Заключение*

Предложено два метода повышения стойкости футеровки индукционных печей для переплава ферросилиция. Теоретический расчет показал экономическую эффективность использования набивных масс основе кварцита Антоновского месторождения.

### Список информационных источников

1. Сасса В.С. Футеровка inductionных печей. - М.:Металлургия. - 1989. 232 с.
- 2.Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. – М.:Металлургия, 1985. 280 с.
- 3.Теслев С.А., Теслева Е.П., Исследование увеличения срока эксплуатации футеровки inductionных печей при переплаве ферросилиция // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. С. 282 – 285.
- 4.Графитовые тигли // Югпром [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://ugprom.su/tigly>
- 5.Дружевский М.А., Покорни Б. Футеровка inductionных плавильных печей материалами на основе кварцита. // Литейное производство. №5. – 2010. – С. 38-42.

### ПРИМЕНЕНИЕ СВАРКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Хабаров А.Н.*

*Юргинский технологический институт*

*Томского политехнического университета, г. Юрга*

*Научный руководитель: Федосеев С.Н., ассистент кафедры  
металлургии черных металлов*

Во время ремонта техники сварку используют: для создания неразъемных соединений при восстановлении испорченных и негодных деталей, для реставрации размеров изношенных деталей и усиления их износостойкости с помощью наплавки более долговечных металлов.

Очень часто ее применяют в том случае, когда трущимся поверхностям нужно создать более высокую износостойчивость. Наплавляют 2, 3 и более слоев в большинстве случаев твердыми сплавами, которые позволяют задать более высокий срок службы деталей. Качество наплавки по большей части зависит от того в каком состоянии находится восстанавливаемая поверхность. Чугунные и

стальные детали из малоуглеродистой стали перед тем как применить наплавку избавляют от жира для того, чтобы удалить масло из пор и трещин. Деталь обжигают газовой горелкой, паяльной лампой или в нагревательных печах и при этом она обезжиривается. Получившуюся в последствии копоть и налет окислов удаляют с поверхности детали наждачкой или ветошью, промоченной керосином или бензином. Затем, то место где будет применяться наплавка, обрабатывают стальными щетками или абразивными кругами.

Такими способами можно спасти более 50% всех машинных деталей подлежащих ремонту. Используя сварку, завариваются трещины и изломы на раме и платформе, ставятся заплаты, различные накладки и усилительные косынки, восстанавливаются картеры агрегатов. Поврежденную или поношенную резьбу на поворотных цапфах и других деталях восстанавливают заваркой с последующим нарезанием новой резьбы. Также можно спасти внутренние резьбы. Под реставрацией деталей наплавкой понимается то, что поношенные рабочие поверхности наплавляют так, чтобы их можно было обработать под номинальные или ремонтные размеры. Во время ремонта автомобиля применяется автоматическая и полуавтоматическая наплавка и сварка под слоем флюса или в среде углекислого газа.

Во время автоматической наплавки зажигание дуги, подача электродной проволоки и перемещение дуги вдоль шва механизированы. А если способ проще, то применяют полуавтоматическую наплавку или сварка дуги вдоль шва перемещается вручную. Полуавтоматическую сварку или наплавку лучше всего использовать для коротких сварочных швов и наплавов, когда автоматическая сварка нерациональна.

Достоинствами автоматической и полуавтоматической сварки и наплавки, если сравнивать её с ручной, являются: высокая производительность и более высокое качество. Улучшение качества наплавленного слоя или сварного шва под слоем флюса получается за счет того, что расплавленный флюс защищает свариваемый или наплавляемый металл от действия кислорода и азота, который содержится в окружающем воздухе. Наплавкой под слоем флюса ремонтируют распределительные и шлицевые валы, ободы колес автомобилей БелАЗ, головку сошки рулевого управления и другие детали. Для круговой и продольной наплавки изношенных деталей применяют специальные установки.

Наплавку цилиндрических поверхностей деталей производят на токарных станках. Деталь устанавливают в центрах, а сварочную головку — на суппорте токарного станка. Для придания нужной скорости вращения на станке устанавливают ходоуменьшитель. Электродная проволока диаметром 1—2 мм подается из наплавочной головки роликами через токопроводящий мундштук в зону сварочной дуги. Вместе с тем в зоне сварки из бункера через шланг и мундштук самотеком поступает сухой флюс. От пламени электрической дуги вместе с электродной проволокой и металлом вала который восстанавливают плавится и флюс, который образует над поверхностью шва защитную корку из шлака.

Так же вместе со сваркой и наплавкой под слоем флюса во время ремонта машин применяется электродуговая полуавтоматическая сварка и наплавка в среде углекислого газа. В этом способе электрическая дуга и расплавленная ванночка металла изолируются от воздуха потоком углекислого газа. Электродная проволока подается в зону сварки или наплавки с помощью специальной горелки, к которой подводят сварочный ток и углекислый газ. Углекислый газ течет в горелку из баллонов, оттесняет воздух и именно так защищает расплавленный металл от действия воздуха. Такой способ сварки используют для сварки тонкого листового металла и наплавки деталей из углеродистых и малолегированных сталей очень небольшого диаметра.

Для восстановления деталей очень небольшого диаметра при малом износе могут использовать автоматическую вибродуговую (электроимпульсную) наплавку. Этим способом выгоднее всего наплавлять слой металла толщиной 0,9—1,5 мм. Наплавочную головку прикрепляют на суппорте токарного станка, а деталь которая подлежит ремонту — в центрах. Электродная проволока, которая подается роликами из кассеты через вибрирующий мундштук к вращающейся детали, непрерывно вибрирует и, соприкасаясь с деталью из-за воздействия электрических разрядов от источника тока, оплавляется. Чтобы охладить деталь к месту контакта постоянно подается жидкость. Вибрация мундштука создается с помощью электромагнитного вибратора. Когда толщина слоя наплавки 0,5—0,7 мм этот способ будет считаться производительным, в отличие от других. Его применяют для восстановления стальных деталей с небольшими износами.

Технологический процесс восстановления деталей сваркой и наплавкой включает в себя 3 этапа:

- подготовка к сварке (наплавке),
- сварка (наплавка) и термообработка для снятия внутренних напряжений
- улучшение свойств детали.

Автоматизированные процессы сварки и наплавки очень совершенны и экономически эффективнее, если их сравнивать с ручными способами. Чаще всего в ремонтной практике применяют автоматическую и полуавтоматическую дуговую сварку и наплавку под слоем флюса. Но все же ручные способы сварки и наплавки незаменимы во время ремонта деталей машин в неспециализированных ремонтных предприятиях из-за маневренности, универсальности и упрощенности процесса.

### **Список использованных источников**

1. Проектирование технологических процессов восстановления деталей транспортных и технологических машин / В.В. Быков, И.Г. Голубев, В.В.Каменский, В.В.Клевакин.– 2-е изд., перераб. И доп.– М.: МГУЛ, 2004.–64 с.
2. Дружков Г.Ф. Ремонт и восстановление деталей и сопряжений технологического оборудования лесного комплекса: Текст лекций. - М.: МГУЛ,1997.-79 с.
3. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. – 478 с.
4. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. Организация и технология восстановления деталей машин. М:ГОСНИТИ, 2003.-488с.

### **МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ**

*Чегин А.Е., Князьков А.Ф., Маурин Е.О.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Князьков А. Ф., к.т.н., доцент кафедры  
оборудования и технологии сварочного производства*

При электродуговой сварке, как правило, точка подвода тока к изделию расположена на некотором расстоянии от оси, проходящей через электрод. Причем это расстояние в процессе сварки изменяется.

Вследствии этого силовые линии тока (магнитное дутье) по пути электрод – столб дуги – изделие искривляется. Это приводит к деформации линий магнитного поля concentрических вокруг электрода. К их сгущению по отношению вогнутости силовых линий тока и разряжению по отношению выпуклости их, что представлено на рисунке 1[1].

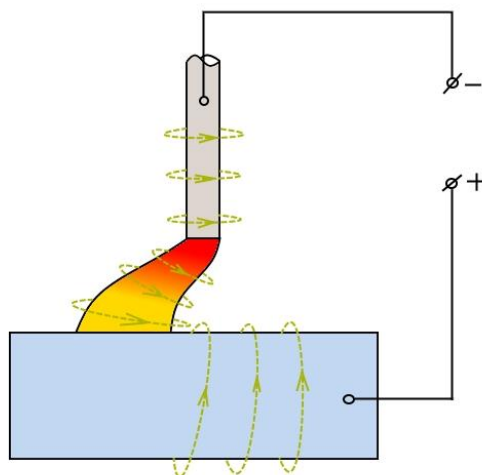


Рисунок 1 – Действие кольцевых магнитных полей на отклонение сварочной дуги.

Для того чтобы отклонение имело место, точка подвода тока к изделию не должна отстоять более чем на 100 мм [2].

Представляет интерес процесс формирования магнитного поля дуги при одновременном подводе тока в двух противоположных точках по отношению к электроду одновременно.

При этом на сварке, на прямой полярности в первоначальный момент времени появится одно анодное пятно на одной из свариваемых кромок, рисунок 2. На рисунке 2 показаны: 1– неплавящийся электрод; 2– изделие;  $B_1$ ,  $B_2$ – линии магнитной индукции электрода и изделия соответственно;  $I_1, I_2$  – ток протекающий в сварочной цепи.

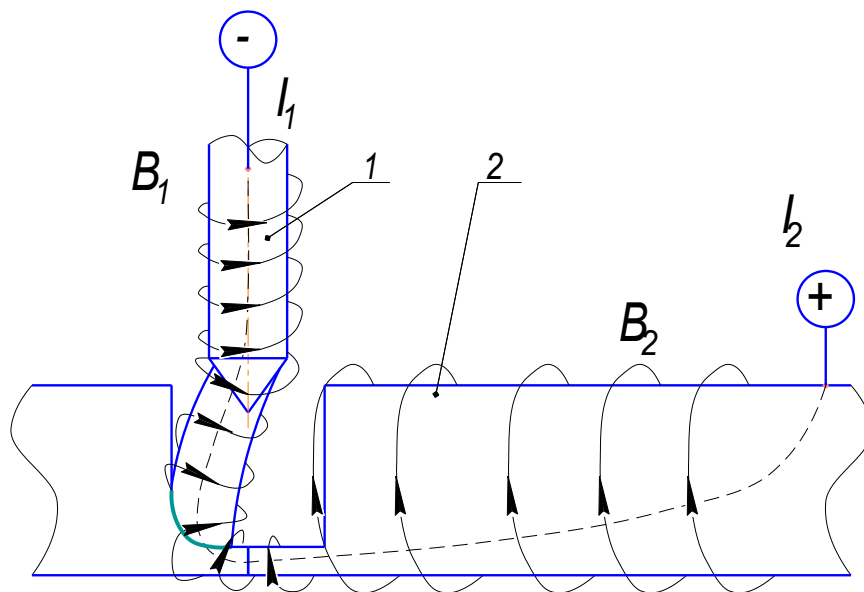
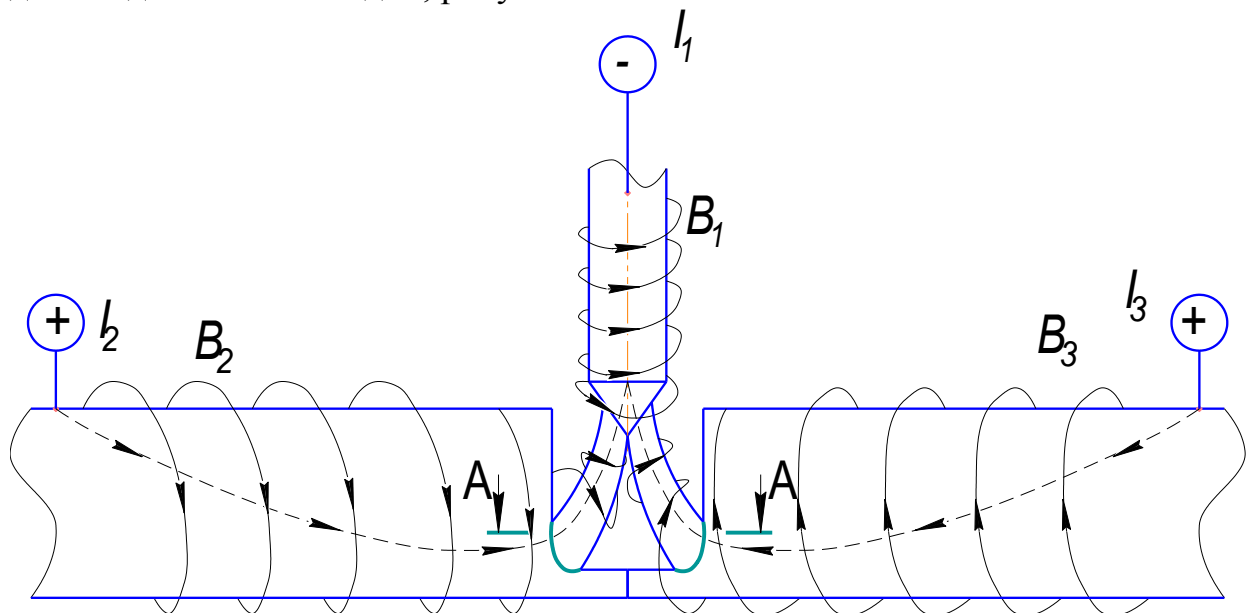


Рисунок 2 – первоначальный момент времени зажигания сварочной дуги.

В следующий момент времени (промежуточный момент времени) при одном катоде будет существовать два анодных пятна, рисунок 3. На данном рисунке видно, что в разрезе А-А встречные линии магнитной индукции, показанные условно стрелками направления движения линий взаимно уничтожаются, эти линии магнитной индукции затем соединят два анодных пятна в одно, рисунок 4.



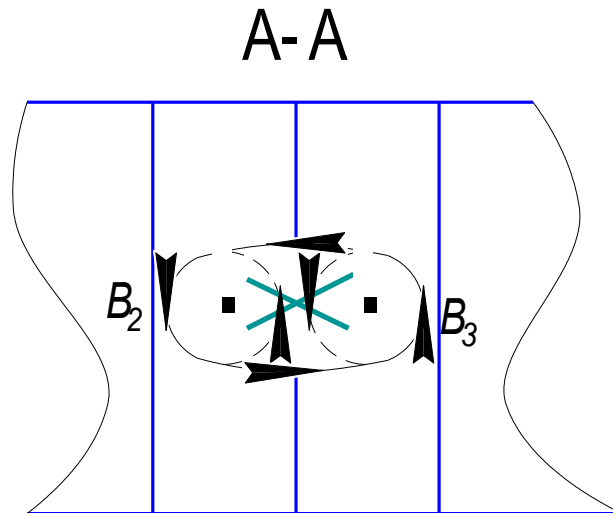


Рисунок 3 – Промежуточный момент времени образования двух анодных пятен.

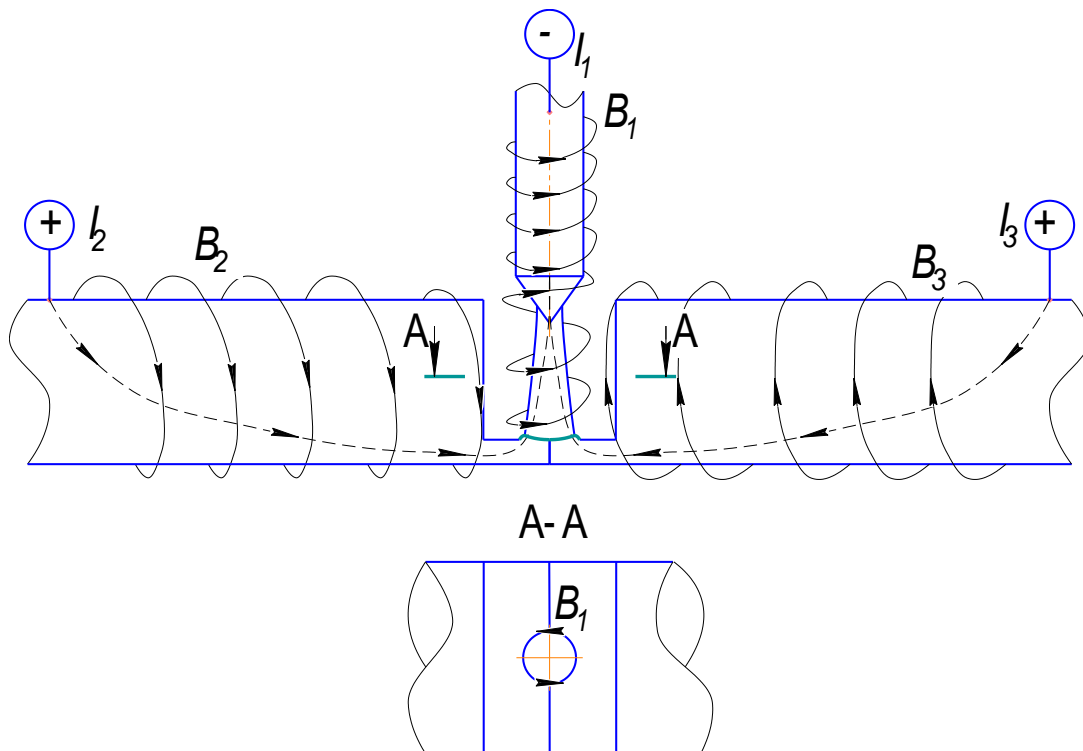


Рисунок 4 – Установившийся процесс сварки с одним анодным пятном.

Это можно объяснить следующим образом. При взаимодействии линий магнитной индукции  $B_2$ ,  $B_3$ , которые представлены на рисунке 3 происходит взаимодействие этих линий при этом в сечении А-А уничтожаются встречные линии магнитной индукции и два анодных пятна стягиваются в одно анодное пятно. Благодаря этому процессу сварочная дуга горит концентрированно в центре сварного шва. При



этом обеспечивается пространственная устойчивость сварочной дуги, концентрация ввода тепла в изделие и качественное формирование шва.

Вывод: Таким образом, двусторонний подвод тока обеспечивает:

- контрагирование столба дуги соосно с электродом;
- концентрированный ввод тепла в изделие.

При этом исключается блуждание анодного пятна благодаря исключению магнитного дутья, улучшается формирование сварного шва с качественным образованием обратного валика.

### **Список информационных источников**

1. Модель формирования сварного шва при изменении токоподвода к изделию. А.Ф. Князьков, Е.О. Маурин. Сборник трудов VI всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии безопасность.

2. Оборудование для дуговой сварки неплавящимся электродом с управляемым тепловложением. И.В. Смирнов, С.А. Хурин, А.И. Смирнова. Сварка и диагностика. 2013. № 6.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Секция 2: Электронно-измерительные устройства контроля и диагностики в технике и медицине -----</b>	<b>3</b>
<i>Адиева Ю.Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ОБЪЕКТОВ. -----</i>	<i>4</i>
<i>Асадчий А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ -----</i>	<i>8</i>
<i>Асочаков А.С. РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА ПЛИС -----</i>	<i>12</i>
<i>Барило А.Е. УСТРОЙСТВО ОГРАНИЧЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА --</i>	<i>16</i>
<i>Бочкарева А.А. ЭХООСТЕОМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА -----</i>	<i>21</i>
<i>Брагина А.Д.1, Киселева В.А. ПЛАТА РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПО ОБРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ -----</i>	<i>24</i>
<i>Ван Юйкэ, Мусоров И.С. ИЗМЕРИТЕЛЬ ЕМКОСТЕЙ И ИНДУКТИВНОСТЕЙ-----</i>	<i>29</i>
<i>Васильев И.М. СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНЕРА-ДЕФЕКТОСКОПА С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ STL ФАЙЛА</i>	<i>31</i>
<i>Васнев Н.А., Тригуб М.В. РАБОТА SUBR-ЛАЗЕРА В ЖДУЩЕМ РЕЖИМЕ-----</i>	<i>34</i>
<i>Васькина О.В. СТРУКТУРА НАСТРОЙКИ ПРОГРАММИРУЕМОГО СЛУХОВОГО АППАРАТА -----</i>	<i>38</i>
<i>Гатауллин А.А., Киселева Е.Ю., Жданов Д.С. АКУСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БРОНХОФОНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЧЕЛОВЕКА-----</i>	<i>42</i>

<b>Гибадулина Т.А.</b> ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ПК ПО СРЕДСТВАМ БЕСПРОВОДНОГО ИНТЕРФЕЙСА. -----	46
<b>Гончарова Н.В., Толмачев И.В.</b> СОПРОВОЖДЕНИЕ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМ/CAD ТЕХНОЛОГИЙ-----	49
<b>Дмитриев Д.В., Коновалов Д.А, Ярославцев Е.В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА И ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЕГО МОДЕЛИ-----	54
<b>Журавлев А.Е.</b> ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ЛЬДА-----	58
<b>Казазаев А.Ф., Дикман Е.Ю.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДИКАМЕНТОЗНОГО РАСТВОРЕНИЯ КОНКРЕМЕНТОВ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА -----	60
<b>Казезов А. О.</b> ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОЛОКНЕ-----	63
<b>Киселева В.А., Брагина А.Д.</b> ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ -----	68
<b>Комюстюрова А.С., Киселева Е.Ю., Куцов М.С.</b> РАЗРАБОТКА ШИНЫ-ВОРОТНИКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕДУРЫ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ -----	72
<b>Манап Т.К.</b> ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ И УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ-----	76
<b>Мнайдаров С. И.</b> ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПРИ ОЦЕНКЕ И РЕАБИЛИТАЦИИ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ.-----	80
<b>Мусоров И.С.</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОМ НАКАЧКИ ДЛЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕТАЛЛА-----	83

<b>Непорожня Т.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБОПРОВОДОВ -----</b>	<b>87</b>
<b>Обач И.И., Абуеллаиль А.А., Солдатов А.А., Солдатов А.И. ИЗУЧЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ -----</b>	<b>90</b>
<b>Пасько В.А. УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ В УПРАВЛЯЮЩИХ ДВИГАТЕЛЯХ-МАХОВИКАХ-----</b>	<b>93</b>
<b>Пасько В.А. МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ-----</b>	<b>97</b>
<b>Сазонов А.Г., Мусоров И.С. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ИСТОЧНИКОМ НАПРЯЖЕНИЯ-----</b>	<b>104</b>
<b>Костина М.А., Солдатов Д.А. ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДДОНОВ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ-----</b>	<b>108</b>
<b>Спиридонова А.К., Жук В.В. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПОРТАТИВНОЙ ИНГАЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДОЗИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ИНСУЛИНА -----</b>	<b>111</b>
<b>Стадниченко А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МУЛЬТИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯТОРОВ ---</b>	<b>116</b>
<b>Терентьева О.Ю., Шульгина Ю.В. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ СИГНАЛА ОДНИМ КОМПАРАТОРОМ -----</b>	<b>123</b>
<b>Торгаева Д.С. ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА -----</b>	<b>126</b>
<b>Токтомушов Н.А., Садырбек уулу Ж. АНАЛИЗ ИСКУССТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ В ОБЩЕЖИТИИ ЮТИ ТПУ С ПОМОЩЬЮ ЛЮКСМЕТРА «ТКА-ЛЮКС» -----</b>	<b>130</b>
<b>Усольцев Д.В., Фаерман В.А. ГЕНЕРАЦИЯ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ОТЛАДКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОРРЕЛЯТОРОВ -----</b>	<b>134</b>

<b>Феофанова О.М.</b> УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИБОР ДЛЯ ОМОЛОЖЕНИЯ ЛИЦА -----	138
<b>Филипенко В.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРОМКОЙ МУЗЫКИ НА ОРГАНЫ СЛУХА СТУДЕНТА -----	142
<b>Фролов М.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПОРТОВОЙ ПАМЯТИ, РЕАЛИЗОВАННОЙ НА ПЛИС ----	146
<b>Фролова И.В.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЗГ – КОМПЬЮТЕР ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНАЯ ТОМОГРАФИИ -----	149
<b>Хабаров А.Н.</b> ТЕПЛОВИЗОРЫ В МЕДИЦИНЕ-----	153
<b>Хачатурян Д.А.</b> ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ПАРАМЕТРАМ ДВИЖЕНИЯ -----	157
<b>Цао Цзюньмин</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА АККУМУЛЯТОРА -----	161
<b>Царёва Т.В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА -----	165
<b>Шадрин Д.В., Арышева Г.В.</b> АНТРОПОМОРФНАЯ РОБОКИСТЬ---	170
<b>Цао Цзюньмин</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА АККУМУЛЯТОРА -----	174
<b>Юй Пэнчао, Шульгина Ю.В.</b> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ДВУХ КОМПАРАТОРОВ -----	178
<b>Секция 3: Проблемы космического приборостроения -----</b>	<b>183</b>
<b>Ананьева Е.С.</b> ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ-----	184
<b>Бекасова А.Г., Фролов Р.А.</b> КОМБИНИРОВАННАЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА -----	189

<b>Берёзкина Ю. А.</b> ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ DC-DC ДЛЯ ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ -----	193
<b>Буй Дык Бьен</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ- МАХОВИКОМ-----	196
<b>Вьонг Суан Чьен</b> ОБ УМЕНШЕНИИ ПОГРЕШНОСТИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ MPU- 6050 И HMC5883L -----	201
<b>Дамдинов Б.О.</b> УПРАВЛЕНИЕ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ПОМОЩИ ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ -----	206
<b>Зубенко А.А., Прыгов А.Н.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МАГНИТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРИ БУРЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СКВАЖИН-----	211
<b>Иженбин И.А.</b> РАЗРАБОТКА ТОМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ УУКМ -----	215
<b>Индыгашева Н.С.</b> РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ МОДЕЛЬ ГИРОДИНА-----	219
<b>Исайченко В. И., Владимиров А. М.</b> ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА «ПРОГНОЗ-2»-----	224
<b>Полюшко Д.А., Долгих А.Г.</b> ЛЕНТОЧНЫЙ МОМЕНТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ -----	227
<b>Рустембек улуу А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ-----	231
<b>Рязанова В.Н.</b> ТРЕХОСНЫЙ ГИРОСКОП НА ПЛАТФОРМЕ NI MYRIO -----	236
<b>Сайлаубаев Т.К.</b> МЭМС В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ -----	240

<b>Самодуров И.Н., Долгих А.Г. ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПОЛЕЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ТОКОВ ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКИ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ</b> -----	243
<b>Стасевский В.И. ЛИНЕЙНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПО НАПРАВЛЯЮЩИМ</b> ---	248
<b>Тараканец Е.А. ФЕРРОЗОНДОВЫЙ МАГНИТОМЕТР ДЛЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА</b> -----	251
<b>Татарников Е.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА ВИДЕОКАМЕРЫ</b> -----	255
<b>Хайдукова В.М., Бритова Ю.А. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВИБРАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА</b> -----	259
<b>Хрущ Е.И., Крылатов А.Ю. ПЛАТА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ “УПРАВЛЯЮЩИЙ МАХОВИК-КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ”</b> -----	264
<b>Шевнин Е.А. СТУДЕНЧЕСКОГО ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ</b> -----	266
<b>Яркимбаев Ш.С, Волков В.Е., Булатов М.Е. РАЗРАБОТКА ПОДВЕСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА</b> --	270
<b>Секция 4: Сварка и родственные технологии</b> -----	272
<b>Бакланов С.В., Величко К.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ</b> -----	273
<b>Булдаков С.В. ВЛИЯНИЕ РОДА И ПОЛЯРНОСТИ ТОКА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ШВА ПРИ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ</b> -----	275
<b>Вахрушев А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИНВЕРТОРА СВАРОЧНОГО ТОКА ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НАМАГНИЧЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ</b> -----	278

<b>Габерлинг И.П., Князьков А.Ф. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА ЭЛЕКТРОДА ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ</b> -----	279
<b>Голоусенко М.А., Князьков А.Ф. ОРБИТАЛЬНАЯ СВАРКА ТРУБ ДИАМЕТРОМ 45 ММ</b> -----	283
<b>Гончаров А.В., Дегтерёв А.С. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКА ПР-Х18ФНМ</b> -----	287
<b>Гордиенко Н.С., Князьков А.Ф., Маурин Е.О. ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА</b> -----	291
<b>Зворыгин Р.А. РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА КРЕПЛЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО АППАРАТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 108-159 ММ</b> -----	294
<b>Кузнецов М.А. РАЗРАБОТКА КОМПАКТНЫХ КЛЕЩЕЙ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ</b> -----	298
<b>Курбединов С.А. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУНКЕРА ДЛЯ СБОРА И ДОЗИРОВАНИЯ КОАЛИНОВОЙ ГЛИНЫ</b> -----	299
<b>Нозирзода Ш.С. ИЗЛУЧЕНИЕ СВАРОЧНОЙ ДУГИ</b> -----	303
<b>Майтаков М.Ю., Дегтерёв А.С. ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ</b> -----	307
<b>Панарин П.С., Дегтерёв А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ МИКРОСТРОЕНИЯ Fe-Cr-V-Mo-C УПРОЧНЯЮЩЕГО СЛОЯ</b> ---	311
<b>Раев И.В. ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ</b> -----	315
<b>Свяжина Н.В., Хамматов А.Н. РУЧНАЯ АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА СПЛАВА 36НХТЮ СО СТАЛЬЮ 12Х18Н10Т</b> -----	319
<b>Сизиков Д.Г. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И СВАРКИ ТРУБНОЙ ДОСКИ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА «ТУРБОТЕРМ-СТАНДАРТ-800»</b> -----	322



<b>Силантьев С.А.</b> ЛАЗЕРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКА ИЗ СТАЛИ Р6М5 -----	325
<b>Скрипко С.И.</b> ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ -----	330
<b>Теслева Е.П., Соловян А.В.</b> УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ФУТЕРОВКИ ТИГЕЛЬНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ -----	332
<b>Хабаров А.Н.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СВАРКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН -----	335
<b>Чагин А.Е., Князьков А.Ф., Маурин Е.О.</b> МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СОБСТВЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ ---	338

Научное издание  
**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ**

Сборник трудов  
IV Всероссийской научно-практической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Неразрушающий контроль: электронное приборостроение,  
технологии, безопасность»

**Издано в авторской редакции**  
Компьютерная верстка *О.В. Гальцева*  
Дизайн обложки *Д.Н. Огородников*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 20.09.2016. Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка»  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 34,7. Уч.-изд. л. 31,4.

Заказ 1264 Тираж 10 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета

сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO  
9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО



ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)

