



## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ

Материалы XIII Всероссийской  
научно-технической конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых

(Иркутск, 22 мая, 2014 г.)

*Под редакцией А.И. Агарышева, Е.М. Фискина*



УДК 621.396  
ББК 384

Печатается по решению редакционно-издательского совета ИрГТУ

### **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ :**

мат-лы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / под ред. А.И.Агарышева, Е.М.Фискина. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2014. – 216 с.

В сборник включены доклады, посвященные современным проблемам радиотехники, радиоэлектроники и связи. Рассмотрены вопросы проектирования, эксплуатации и диагностики систем передачи информации различного назначения, вопросы применения радиоэлектронных устройств для решения научных и практических задач. В сборник XIII конференции с международным участием вошли доклады студентов и аспирантов из Вьетнама, обучающихся в российских вузах, а также ученых из Кореи.

#### **Редакционная коллегия**

В.В.Пешков – д-р экон. наук, проф., проректор ИрГТУ, председатель;

Е.М.Фискин – канд. техн. наук, доц., зам.председателя;

А.И.Агарышев – д-р физ.-мат. наук, проф., научный редактор;

С.В. Елисеев – д-р техн. наук, проф.;

В.М.Бардаков – д-р физ.-мат. наук, проф.;

Н.А.Строкин – д-р физ.-мат. наук, проф.;

Ю.Б.Башкуев – д-р техн. наук, проф.;

Ю.И. Блинов – д-р техн. наук, проф.;

В.Д.Гончаров – д-р техн. наук, проф.;

Н.Н.Климов – д-р физ.-мат. наук, проф.;

А.Г.Кюркчан – д-р физ.-мат. наук, проф.;

Г.С.Кудряшов – д-р техн.наук, проф.;

Г.В.Попов – д-р физ.-мат. наук, проф.;

А.Г.Ченский – канд.физ.-мат. наук, доц.;

Н.С. Благодарный – канд. техн. наук, проф.;

В.Е.Засенко – канд.физ.-мат. наук, доц.;

Д.В. Богданович – канд.физ.-мат. наук, доц.;

М.М.Фискина – канд. техн. наук, доц.

Авторы опубликованных статей несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических данных и прочих сведений. Компьютерный макет сборника составлен из оригинальных авторских файлов.

ISBN 978-5-8038-0994-4

© Иркутский государственный  
технический университет, 2014

## **О КАФЕДРЕ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Кафедра радиоэлектроники была создана в 1986 году на кибернетическом факультете Иркутского политехнического института по инициативе профессора В.А.Ружникова. С этого времени осуществляется подготовка инженеров по специальности «Радиотехника» по очной (дневной) и вечерней форме. Одновременно была начата подготовка инженеров по специальности «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры», но в 1995 году была прекращена.

В рамках проводимых организационных изменений внутри Университета в 1997 году кафедра радиоэлектроники была переведена с факультета кибернетики на энергетический факультет и объединена с кафедрой электрорадиоматериалов и кабелей. Объединенная кафедра получила название: кафедра радиоэлектроники и электрорадиоматериалов.

С 2000 года ведется подготовка инженеров специальности «Радиотехника» по заочной форме.

С 2004 по 2011 годы на кафедре осуществлялась подготовка техников по специальности «Ремонт и техническое обслуживание радиоэлектронной техники» (в структуре Технического колледжа ИрГТУ).

В 2007 году в связи с созданием Физико-технического института кафедра была введена в его структуру и получила свое современное название: кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем. С этого же времени была открыта подготовка инженеров по специальности «Многоканальные телекоммуникационные системы».

С 2008 года кафедра ведет подготовку магистров по направлению «Радиотехника».

С 2011 года начат набор студентов для подготовки бакалавров по направлению «Радиотехника» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Всего со времени основания по настоящее время (на 2014 г.) кафедра выпустила более 1000 инженеров по специальности «Радиотехника», 50 инженеров по специальности «Многоканальные телекоммуникационные системы», 140 инженеров по специальности «Конструирование радиоэлектронной аппаратуры», 26 техников по специальности «Ремонт и техническое обслуживание радиоэлектронной техники» и 35 магистров по направлению «Радиотехника».

**ПРОГРАММА ПРОГНОЗОВ УГЛОВ ДЕКАМЕТРОВЫХ  
РАДИОВОЛН, УЧИТЫВАЮЩАЯ ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ  
И НЕОДНОРОДНУЮ, РАССЕИВАЮЩУЮ ИОНОСФЕРУ**

**Агарышев А.И., Жанг Н.М.**

Иркутский государственный технический университет

E-mail: aai.irk@mail.ru, giangekt@yahoo.com

Введение. Для проектирования и эксплуатации радиотехнических систем связи, пеленгации, локации в диапазоне декаметровых радиоволн необходимо прогнозировать характеристик распространения этих радиоволн, такие как напряжённости поля в пункте приёма, углы излучения и приёма радиоволн в вертикальной плоскости, максимальные применимые частоты. Эти характеристики необходимо прогнозировать для основных способов распространения декаметровых радиоволн, таких как одно-, два-, три-, четыреотражения от слоев E и F2 ионосферы. В известных программных реализациях прогнозов КВ, например [2], не учитывается влияние регулярной и случайной неоднородности ионосферы на характеристики КВ, хотя согласно результатам исследований [1] это влияние может весьма существенно менять средние характеристики КВ по сравнению с прогнозами, что характерно для МНЧ (максимальных наблюдаемых частот)[3].

**Цель доклада** заключается в анализе возможностей применения программной реализации разработанной нами на основе применения закона преломления для прогнозов углов прихода декаметровых радиоволн через горизонтальную неоднородную рассеивающую ионосферу.

1. Модель ионосферы и среда распространения

Для прогнозирования характеристик распространения КВ необходимо задать модель ионосферы, выбрать метода расчёта этих характеристик, разработать алгоритм расчёта и программу расчёта на ЭВМ. С этой целью используем известную трёхслойную модель ионосферы, где зависимости плазменных частот в слоях E, F1, F2 от высот задают выражения:

$$f_{0E}(h) = f_{mE} \cdot \sqrt{\left| 1 - \left( \frac{h - h_{mE}}{y_{mE}} \right)^2 \right|}, \quad h_{mE} = 110 \text{ км},$$

$$y_{mE} = 20 \text{ км}, 90 \leq h \leq 110 \text{ км} \quad (1)$$

$$f_{0F1} = f_{mE} \cdot (h \cdot 0,225 + h_{mF1} - 1,225 \cdot h_{mE}) \frac{1}{(h_{mF1} - h_{mE})},$$

$$110 \text{ км} \leq h \leq h_{mF1} \text{ км} \quad (2)$$

$$h_{mF1} = h_{mF2} \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \sqrt{1 - 1,5 \cdot f_{mE}^2 / f_{mF2}^2} \right) \quad (3)$$

$$f_{0F2}(h) = f_{mF2} \cdot \sqrt{\left| 1 - \left( \frac{h - h_{mF2}}{y_{mF2}} \right)^2 \right|}, \quad h_{mF1} \leq h \leq h_{mF2} \quad (4)$$

Входящие в формулу (1-4) критические частоты ионосферных слоев E и F2 ( $f_{mE}$ ,  $f_{mF2}$ ) и высота максимума плотности ионов слоя F2 ( $h_{mF2}$ ) могут прогнозироваться в зависимости от географических координат, времени, активности Солнца с использованием известных статистических моделей ионосферы [ 2]. При задании рабочих частот  $f_{раб}$ , времени, координат точек вдоль радиолинии, уровней активности Солнца из (1-4) можно рассчитать зависимость показателя преломления ионосферы от высоты и дальностей вдоль радиолинии  $n(h, z)$  по формуле:

$$n = \sqrt{1 - (f_{плаз} / f_{раб})^2} \quad (5)$$

Задание зависимости показателей преломления в виде зависимостей  $n(h, z)$  позволяет применить закон преломления для горизонтально неоднородной ионосферы радиоволн, известный как закон Снеллиуса:

$$n_1 \cdot R_1 \cdot \sin(\varphi_1) - n_0 \cdot R_0 \cdot \sin(\varphi_0) = - \int_{S(R_0)}^{S(R_1)} \frac{\partial n}{\partial \theta} \cdot dS, \quad (6)$$

где  $n_0$  – коэффициент преломления среды радиуса  $R_0$ ,  $\varphi_0$ -угол между траекторией и радиусом  $R_0$  для уровня 0,  $n_1$  – коэффициент преломления среды радиуса  $R_1$ ,  $\varphi_1$ -угол между траекторией и радиусом  $R_1$  для уровня 1 и т.д.

Из (1-4) и (5) найдём аналитические выражения  $\partial n / \partial \theta$  в слое E, F1, F2 через градиенты критических частот ( $\frac{\partial f_{mE}}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial f_{mF1}}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial f_{mF2}}{\partial \theta}$ ), высот максимума концентрации ионов ( $\frac{\partial h_{mE}}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial h_{mF1}}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial h_{mF2}}{\partial \theta}$ ), полутолщин ( $\frac{\partial y_{mE}}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial y_{mF1}}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial y_{mF2}}{\partial \theta}$ ) слоев E, F1, F2. Интеграл на правой части уравнения (6) рассчитывается приближёнными преобразованиями:

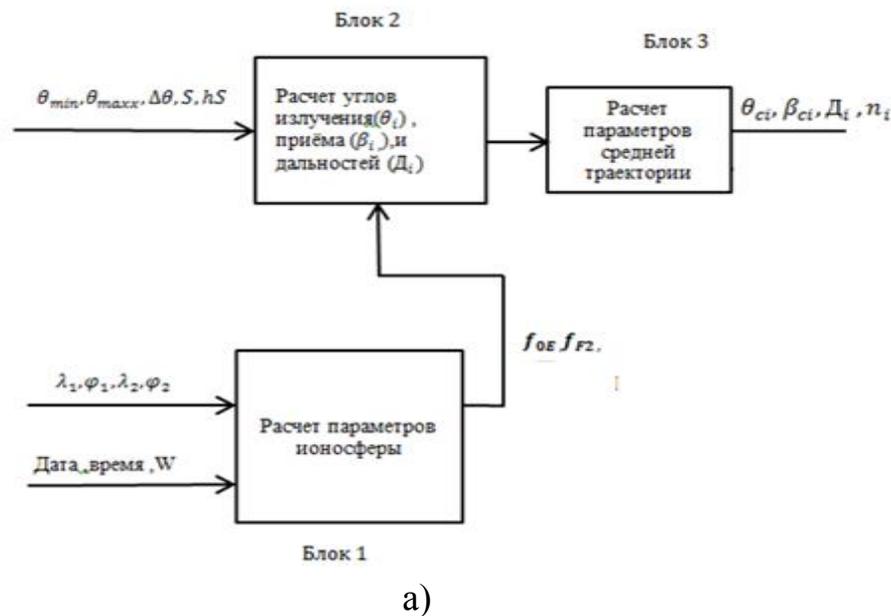
$$\int_{S(R_0)}^{S(R_1)} \frac{\partial n}{\partial \theta} \cdot dS \approx \frac{\partial n}{\partial \theta} \cdot (S(R_1) - S(R_0)) = - \left( \frac{\partial n}{\partial \theta} \right) \cdot dS, \quad ds \text{ шаг по дальности}$$



Рис1. Построение траектории КВ в соответствии с законом Снеллиуса

Согласно рис 1 траектория КВ состоит из трёх участков: 1) прямая между радиопередатчиком и нижней границей отражающего слоя, 2) искривлённая траектория в отражающем слое, 3) прямая между нижней

границей этого слоя и приёмником. Алгоритм построения траектории КВ на участке 2 заключается в разбиении его на отдельные участки, длины которых существенно меньше общей длины участка 2. На каждом участке рассчитываются значения критических частот ионосферных слоев E и F2 ( $f_{mE}$ ,  $f_{mF2}$ ) и высоту максимума слоя F2 ( $h_{mF2}$ ), на концах этого участка и из этого найдём градиенты критических частот ионосферных слоев, высот максимума концентрации ионов и полутолщин слоев и градиент коэффициента преломления  $\partial n / \partial \theta$ . Затем закон (2) применяется последовательно для каждого из участков.



б)

Рис 2. Блок схемы программы (а) и интерфейс программы (б)  
 Программа расчета характеристик распространения КВ

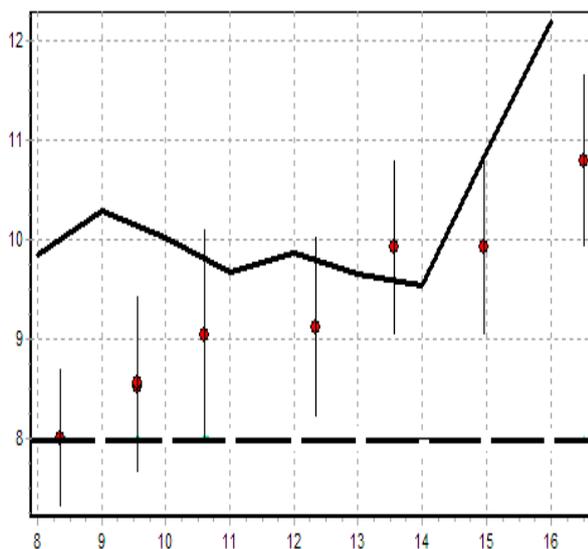
В качестве входных данных используются: дата  $D$ , время  $T$ , число Вольфа  $W$ , географические координаты передатчика и

ка  $\lambda_1, \varphi_1, \lambda_2, \varphi_2$  коэффициент рассеяния  $S$ ,  $h_s$ - высоты рассеивания слоя E,  $\theta_{min}, \theta_{max}$  – минимальный и максимальный угол излучения, шаг по углу  $\Delta\theta$ , шаг по дальности  $ds$ , мощность радиопередатчика, КНД антенны.

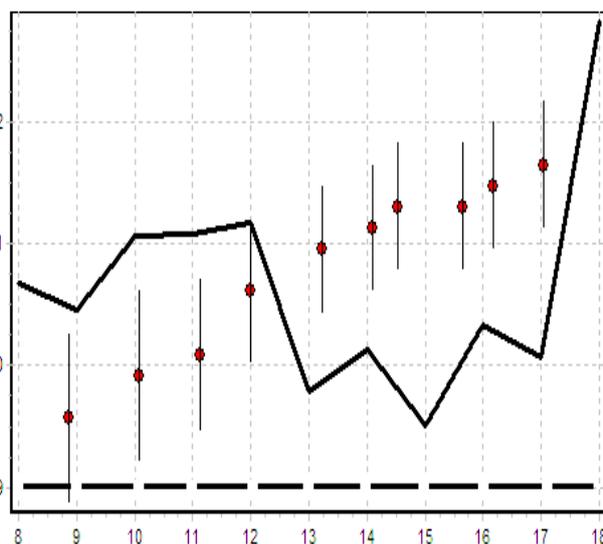
В блоке 1 алгоритма реализован на основе известного прогноза коэффициентов M(3000)F2 и критических частот слоев E, F2 ионосферы [2]. В блоке 2 рассчитываются траектории лучей с углами излучения  $\theta_i$ , которые меняются в секторе  $\theta_{min}, \theta_{max}$  с постоянным шагом  $\Delta\theta$ . В блоке 3 рассчитываются число попаданий траекторий  $n_i$  для интервалов дальностей длиной  $\Delta D$ , середины которых находятся на разных дальностях  $D_i$  от передатчика, и соответствующие средние углы выхода  $\theta_i$  и прихода  $\beta_i$ .

#### Сравнение результатов расчета углов прихода КВ с результатами измерений

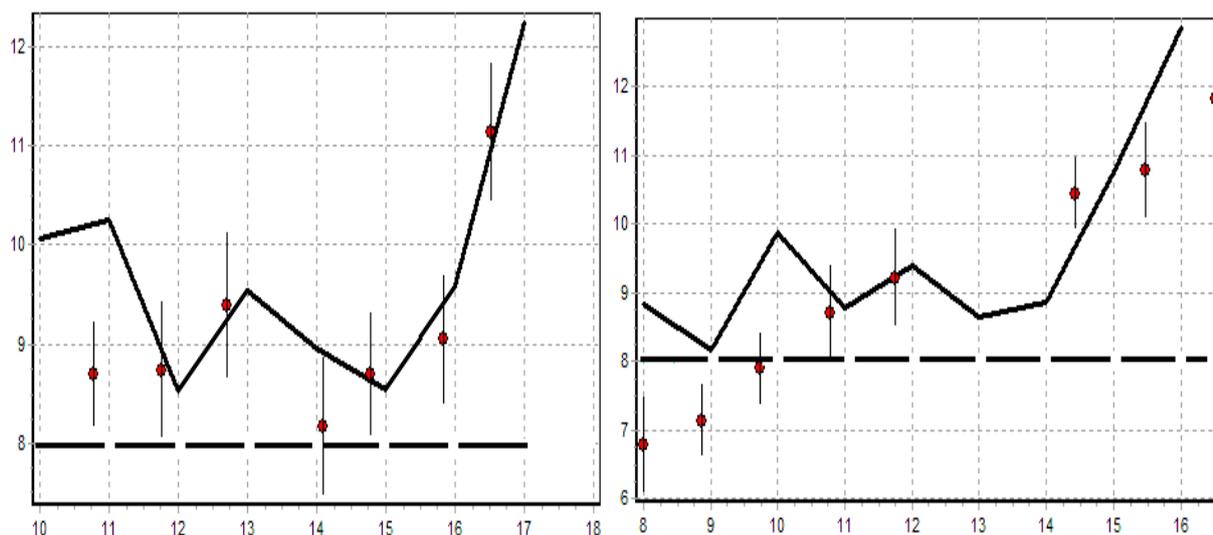
Выполняется расчет для трассы Хабаровск–Иркутск. Для реализации прогнозов КВ вводятся следующие исходные данные географические координаты передатчика и приёмника  $\varphi_1 = 48,55^\circ, \lambda_1 = 135,25^\circ, \varphi_2 = 51,82^\circ, \lambda_2 = 103,07^\circ$ , дата 31.12.20013, время с 1-16 час, число Вольфа  $W=50$ , минимальный и максимальный угол излучения  $\theta_{min} = 1^\circ, \theta_{max} = 80^\circ$ , шаг углов  $\Delta\theta = 0,01^\circ$ , мощность передатчика  $P = 1000$  Вт, КНД антенны = 10, параметр интенсивности рассеяния  $s=1^\circ$ , шаг по дальности  $ds=1$  км. Получаются значения напряжённости поля всех способов (мод) распространения КВ в точке приёма, а также соответствующие им средние значения углов приёма и излучения КВ.



а)



б)



в)

г)

Рис.3. Рассчитанные методом 1 (штриховая кривая) и методом 2 (сплошная кривая) и результаты измерений (точки) зависимости угла прихода КВ от времени суток в феврале(а), в апреле(б), в октябре(в), в ноябре(г).

**Обозначение:** Метод 1 - не учитывающий горизонтальную неоднородную рассеивающую ионосферу, метод 2 – учитывающий горизонтальную неоднородную рассеивающую ионосферу.

#### Выводы

1. С учетом свойства горизонтальной неоднородности и рассеяния ионосферы даёт лучше результат моделирования угловых характеристик КВ, чем при пренебрежении этим свойством.
2. В результате сравнения результатов расчета с результатами измерений показано, что программа расчета, учитывающая горизонтальную неоднородную рассеивающую ионосферу можно применить для прогнозирования углов прихода КВ.

#### Библиографический список

1. Агарышев А.И., Агарышев В.А., Алиев П.М., Труднев К.И. Системы коротковолновой радиосвязи с подавлением многолучёвости сигнала: монография / под ред. А.И. Агарышева. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. 160 с.
2. A simple HF propagation method for MUF and field strength // Document CCIR 6/288. - CCIR XVIth Plenary Assembly. Dubrovnic. 1986. 36 p.
3. Агарышев А.И., Агарышев В.А. Анализ результатов измерений и расчётов максимальных наблюдаемых частот для траекторий с различным числом отражений от слоя F2 ионосферы // XXIII Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн», 23–26 мая 2011 г.: [сб. докл.]: в 3 т./редкол.: Д. С. Лукин [и др.]. – Йошкар-Ола: МарГТУ. 2011. Т.3. С. 9-14.

**АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕТОДА КОМПЕНСАЦИИ  
ДЕВИАНТНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТРЕКА  
ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА С ИЗВЕСТНЫМИ  
ГАБАРИТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**Илюшкин Р.А., Агарышев А.И.** – научный руководитель  
Иркутский государственный технический университет  
[philiptraum@gmail.com](mailto:philiptraum@gmail.com)

Данная статья анализирует математическую модель метода компенсации девиантных отклонений при построении трека движения объекта на основе данных спутниковых навигационных систем. Суть метода сводится к внесению дополнительных приборов измерения жестко фиксированных в пространстве относительно друг друга. Приведено обоснование целесообразности разработки данного алгоритма.

Ключевые слова: GPS, спутниковые навигационные системы, системы с ограничениями, математическая коррекция, девиантные отклонения.

Решением навигационной задачи с помощью спутниковых навигационных систем (СНС) является определение координат объекта в геоцентрических системах координат. Под объектом, в данном случае, подразумевается антенна приемника-потребителя СНС [1]. В данном случае не учитываются существующие ограничения объекта: по его максимально возможной скорости и ускорению, способности изменять высоту относительно уровня существующей горизонтальной плоскости и прочим.

В данной статье мы проанализируем эффективность повышения точности построения трека движения объекта, используя ограничение объекта, связанное с его габаритными параметрами. Будем использовать данные с результатами «решения навигационной задачи» в виде условных значений широты и долготы.

Предположение строится на том основании, что если известны точные габаритные параметры объекта, то создав оптимальную систему расположения приемников GPS, точность которых в относительных величинах более 50% от физических размеров объекта наблюдения, можно компенсировать возникающие девиантные отклонения измерений, за счет математической коррекции.

Для анализа эффективности используем следующую математическую модель. Квадратный объект с ребром в 1 у.е. (условная единица) движется в двухмерной системе координат со скоростью  $\sqrt{2}$  у.е. / единицу времени с ускорением равным 0 в направлении функции  $y=x$  от центра системы координат, центр объекта располагается в точке  $O(0,5;0,5)$ , вершины квадрата расположены в точках  $A(0;0)$ ,  $B(0;1)$ ,  $C(1;1)$  и  $D(1;0)$  [2].

Используются 2 системы условных GPS приемников: GPS1 - состоит из 4 приемников расположенных в вершинах объекта (точки А, В, С и D) и GPS2 - состоит из одного приемника расположенного в центре объекта (точка О). Результаты измерений определим как величины, распределенные по закону непрерывного равномерного распределения, лежащие в интервале эталонное значение  $\pm$  условная погрешность приемника GPS по горизонтали и вертикали.

Проведем выборку из 10 экспериментов по 20 итераций в каждом для 5 различных значений погрешности точности приемника ( $\pm 0,05$ ;  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,2$ ;  $\pm 0,03$ ;  $\pm 0,5$  у.е.).

На каждом этапе мы будем сравнивать эталонное значение центра объекта с «данными» приемника GPS2 и расчетным значением полученными в результате анализа «данных» системы приемников GPS1. Результатом сравнения станут 2 длины отрезков: эталонная точка О – значение точки O2 полученное GPS2 и эталонная точка О – расчетное значение точки O1, рассчитанное на основе данных GPS1.

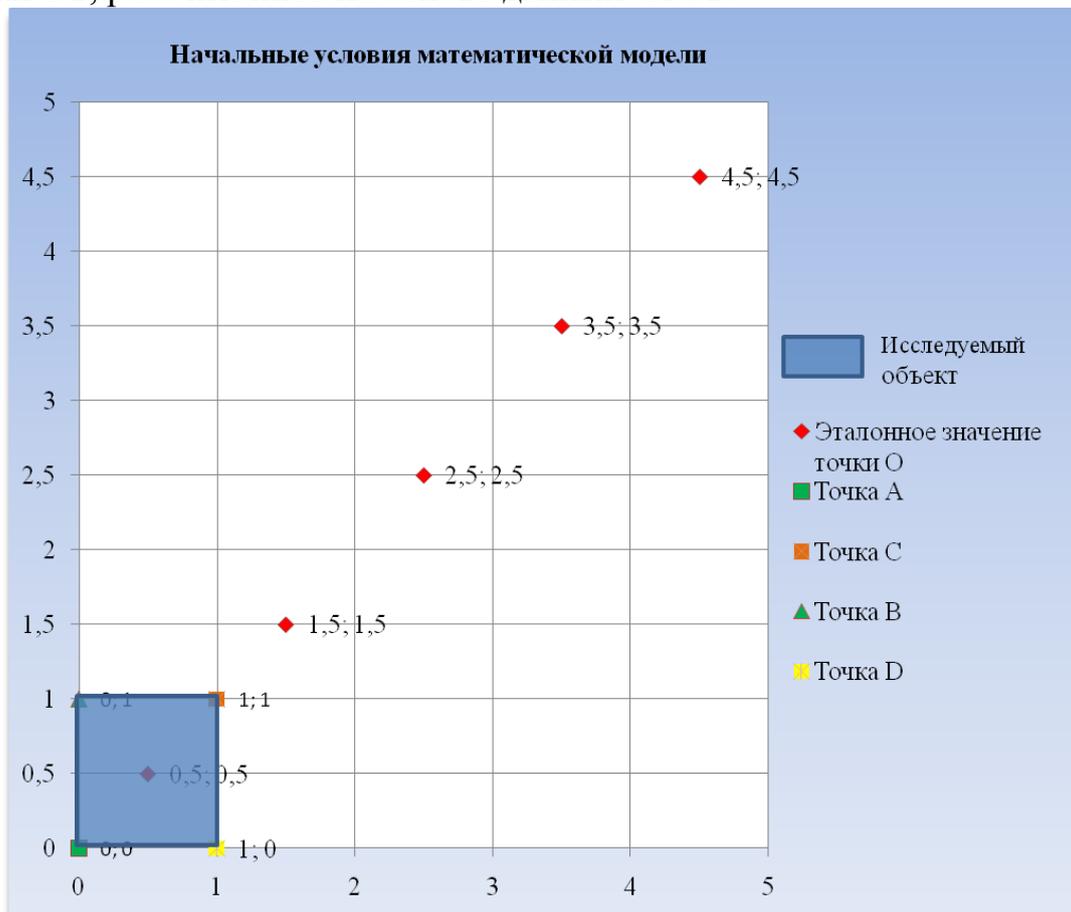


Рис. 1. Вводные условия для построения математической модели

Поскольку свойства квадрата определяют центр, как точку пересечения его диагоналей, то расчетное значение точки O1, мы будем определять как точку пересечения отрезков A1C1 – B1D1.

На рисунке 2 представлены первые две итерации движения квадрата. Для наглядности на рисунке значения указаны с точностью  $10^{-3}$  условной единицы, в расчетах же, точность рассчитывается до  $10^{-6}$  условной единицы.

Результатом в каждом исследовании станут: суммарное отклонение за период наблюдения – сумма отрезков отклонения полученных координат от эталонного значения и отношение более верных результатов измерения GPS1 относительно GPS2 к количеству итераций. Эффективность предлагаемого метода определим как отношение суммарного отклонения GPS1 к суммарному отклонению GPS2.

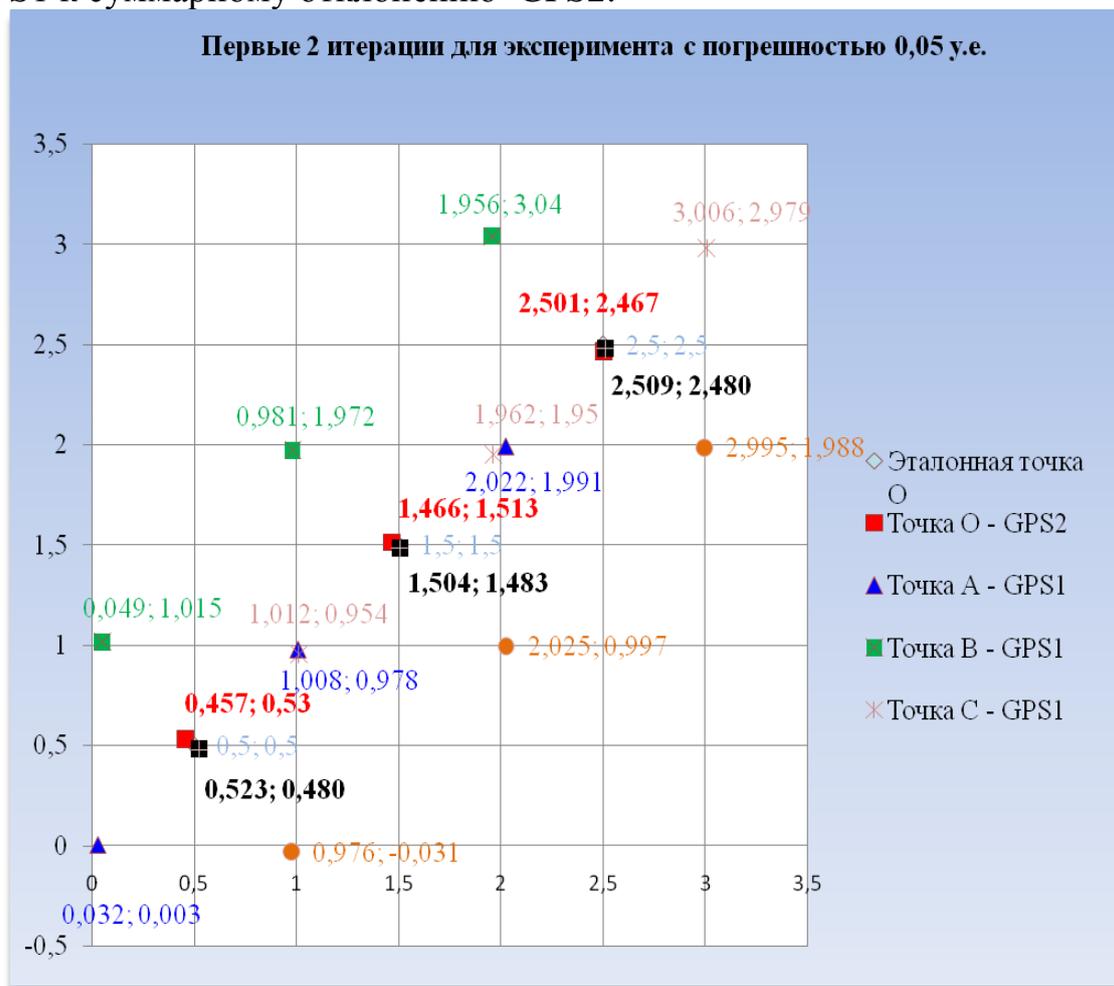


Рис. 2. Первые две итерации движения квадрата

На таблице 1 представлены значения положения точек систем GPS1 и GPS2 полученные как сумма эталонного значения и случайного значения сгенерированного по непрерывному равномерному закону распределения на отрезке  $[-0,05, 0,05]$ . Генератор случайных чисел – встроенная функция в пакет MS Office.

Таблица 1.

## Значения положения точек систем GPS1 и GPS2

Итерация	Точка А1		Точка В1		Точка С1		Точка D1		Точка O2	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	0,032	0,003	0,049	1,015	1,012	0,954	0,976	-0,031	0,457	0,53
1	1,008	0,978	0,981	1,972	1,962	1,95	2,025	0,997	1,466	1,513
2	2,022	1,991	1,956	3,04	3,006	2,979	2,995	1,988	2,501	2,467
3	2,981	3,048	3,03	3,985	3,967	3,973	4,012	2,958	3,474	3,499
4	3,978	4,031	4,038	5,031	4,988	5,042	4,998	3,95	4,483	4,485
5	4,998	5,033	4,956	5,99	6,02	5,981	6,031	5,034	5,467	5,467
6	6,046	5,982	6,048	6,992	7	6,96	7	6,05	6,541	6,479
7	7,008	6,989	6,956	7,973	7,986	7,971	8,009	6,984	7,47	7,528
8	8,029	7,951	7,971	9,04	9,016	8,952	9,029	7,979	8,509	8,544
9	9,032	8,952	8,994	9,952	10,013	9,958	10,03	8,975	9,506	9,467
10	9,954	10,04	10,044	10,989	11,01	10,991	11,027	9,988	10,549	10,507
11	11,021	10,956	10,96	11,973	12,019	11,954	11,98	10,963	11,466	11,539
12	11,955	11,968	12,041	12,986	13,004	12,998	13	11,971	12,504	12,531
13	13,028	12,973	12,96	14,033	14,036	13,974	14,041	12,966	13,531	13,487
14	14,013	13,991	13,973	15,02	14,999	15,007	15,032	13,985	14,532	14,509
15	14,973	15,027	15,005	16,01	16,009	16,01	16,036	15,029	15,482	15,451
16	16,041	16,011	15,966	16,969	17,026	16,994	16,956	15,991	16,514	16,502
17	17,027	16,961	16,99	18,012	18,035	18,021	17,988	17,046	17,519	17,514
18	17,988	17,957	17,95	18,974	19,044	19,02	19,047	17,962	18,471	18,465
19	18,965	18,954	19,023	19,988	20,031	19,958	19,998	19,022	19,502	19,5
20	19,983	19,969	20,05	20,991	21,034	21,048	20,977	19,986	20,494	20,454

Расчет разности эталонного значения O и расчетного значения O1, полученного как точка пересечения отрезков A1C1 и B1D1 и разности эталонного значения O и точки O2 представлены в таблице 2.

Анализ этих данных показывает, что в 9 случаях из 21 (43 %) расчетное значение GPS1 оказывалось хуже значения GPS2. В таблице 2 данные итерации выделены серым цветом, однако сумма абсолютных отклонений точки O1 оказалась на 16% меньше суммы абсолютных отклонений точки O2, что подтверждает эффективность метода.

В таблице 3 представлены данные 50 экспериментов с 5 различными отклонениями. Анализ этих данных позволяет сделать вывод, что эффективность метода снижается при достижении порогового значения погрешности в 50% от физических размеров объекта.

Суть метода, в целом, сводится к отсечению единичных ошибок измерения, возникающих, например, при изменении геометрии спутникового созвездия при попадании движущегося объекта в район высотной застройки. Данный метод не подразумевает повышения точности определения координат объекта, однако, возможно, позволит повысить геометрическую точность трека движущегося объекта, на это указывают 43% случа-

ев превышения расчетного значения над полученным (29 % усредненное значение по всем 10 экспериментам для данной величины погрешности).

Таблица 2.

*Расчет отклонений точек O1 и O2 от точки O*

Эталонное значение O		Расчетная точка O1 (GPS1)		Точка O2 (GPS2)		Абсолютное отклонение от эталона точки O1 (GPS1)	Абсолютное отклонение от эталона точки O2 (GPS2)
X	Y	X	Y	X	Y		
0,5	0,5	0,523325	0,479786	0,457	0,53	0,030865	0,052431
1,5	1,5	1,504106	1,483467	1,466	1,513	0,017035	0,036401
2,5	2,5	2,50905	2,48003	2,501	2,467	0,021925	0,033015
3,5	3,5	3,479118	3,515301	3,474	3,499	0,025888	0,026019
4,5	4,5	4,479902	4,533399	4,483	4,485	0,03898	0,022672
5,5	5,5	5,504165	5,502515	5,467	5,467	0,004866	0,046669
6,5	6,5	6,548309	6,496946	6,541	6,479	0,048406	0,046065
7,5	7,5	7,48922	7,472188	7,47	7,528	0,029828	0,041037
8,5	8,5	8,540069	8,469318	8,509	8,544	0,050467	0,044911
9,5	9,5	9,521788	9,45427	9,506	9,467	0,050655	0,033541
10,5	10,5	10,49632	10,5284	10,549	10,507	0,028634	0,049497
11,5	11,5	11,50166	11,43666	11,466	11,539	0,063366	0,05174
12,5	12,5	12,49856	12,50172	12,504	12,531	0,00224	0,031257
13,5	13,5	13,52943	13,47095	13,531	13,487	0,041354	0,033615
14,5	14,5	14,50604	14,49904	14,532	14,509	0,006115	0,033242
15,5	15,5	15,5063	15,53301	15,482	15,451	0,033609	0,052202
16,5	16,5	16,4861	16,4552	16,514	16,502	0,046905	0,014142
17,5	17,5	17,52969	17,48962	17,519	17,514	0,031449	0,023601
18,5	18,5	18,49701	18,46938	18,471	18,465	0,030767	0,045453
19,5	19,5	19,52976	19,48592	19,502	19,5	0,032927	0,002
20,5	20,5	20,50159	20,50141	20,494	20,454	0,002127	0,04639
Суммарное отклонение за период наблюдения						0,638408	0,7659

Таблица 3.

**Значения суммарного отклонения точек O1 и O2 от точки O для 5 различных величин погрешности с проведением 10 экспериментов 20 итераций в каждом**

№ эксперимента	Величина погрешности									
	0,05		0,1		0,2		0,3		0,5	
	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2	GPS1	GPS2
1	0,638	0,766	0,96	1,701	2,223	3,174	3,179	4,962	4,108	8,008
2	0,532	0,812	1,181	1,71	1,962	3,535	3,45	5,854	6,04	7,709
3	0,511	0,853	1,427	1,39	2,016	3,024	2,895	4,051	5,403	7,573
4	0,515	0,835	1,058	1,376	2,439	3,735	3,231	3,576	6,193	8
5	0,563	0,743	1,021	1,803	1,938	2,72	2,942	4,532	5,473	8,241
6	0,561	0,849	1,193	1,557	2,344	3,016	3,553	5,074	5,448	7,976
7	0,655	0,864	1,066	1,846	2,377	2,913	3,642	5,068	6,001	9,011
8	0,599	0,845	1,229	1,562	2,188	3,341	3,407	4,397	6,27	7,362
9	0,599	0,706	1,097	1,596	2,083	3,287	2,755	4,778	7,365	6,14
10	0,48	0,793	0,834	1,614	2,428	3,229	3,012	4,622	6,105	7,269
Усреднённые значения суммарного отклонения, у.е.	0,565	0,807	1,107	1,615	2,2	3,197	3,207	4,691	5,84	7,729
Усреднённая эффективность метода, %		29,92		31,49		31,2		31,65		24,43

Выполненный анализ метода компенсации девиантных отклонений при построении трека движущегося объекта является целесообразной. Ограничение данной математической модели в виде равномерного закона распределения математической модели с нормальным законом распределения ошибки. Интересны также с большим набором ограничений: маневренность, максимальной скоростью движения, наличие эталонного пути следования.

### **Библиографический список**

1. Применение GPS/ГЛОНАСС: Учебное пособие / М.Р. Богданов – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 136 с.
2. Элементы теории математически моделей. Изд. 3-е, исправленное. / А.С. Мышкис - Москва: Изд-во КомКнига, 2007. - 192 с.

## РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОГО МОДУЛЯ К ТРЕНАЖЕРУ ПО БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Мороз Н. В., Благодарный Н. С. – научный руководитель  
Ангарская государственная техническая академия  
nx317@yandex.ru

Бесперебойная работа промышленного предприятия требует устойчивых навыков персонала по эксплуатации оборудования, а также действиям в условиях аварийных ситуаций. Для приобретения и закрепления данных навыков целесообразно использовать тренажеры, имитирующие производственную площадку и рабочее место оператора. В связи с этим, ставится задача разработки трехмерного модуля к тренажеру по эксплуатации производственного оборудования.

Насосы фирмы «Flowserve» типа 6 HED 16 DS смонтированы на ОАО «АНХК» и предназначены для подачи сжиженного газа в экстракционные колонны. Внешний вид трехмерного модуля насоса к тренажеру, разрабатываемому в настоящее время коллективом авторов, представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Трехмерная модель насоса.

Импортирование данной модели в трехмерный движок NeoAxis позволило реализовать возможность ходить вокруг насоса, рассматривать его с разных сторон. Но этого недостаточно: для полноценного трехмерного тренажера необходимо, чтобы были активны все элементы управления насосом, адекватны показания всех контрольно-измерительных приборов, реалистичны последствия реализуемых в тренажере режимных и нештатных ситуаций.

Для этого необходимо разработать и программно реализовать математическую модель физических явлений, протекающих в насосе. Было решено начать с реализации модели системы охлаждения насоса.

Система охлаждения нужна для снижения температуры уплотнительной смазывающе-охлаждающей (затворной) жидкости. Она отводит фрикционное тепло от пары трения, обеспечивая эффективную работу. Одновременно с этим система охлаждения (СО) торцовых уплотнений служит для обеспечения смазки к втулкам пар трения (в качестве смазки выступает затворная жидкость).

Основной составляющей частью системы охлаждения является бачок, служащий одновременно теплообменником и емкостью для затворной жидкости. Для охлаждения затворной жидкости во внутренней полости корпуса бачка расположен змеевик [1]. Схематическое изображение бачка показано на рисунке 2.

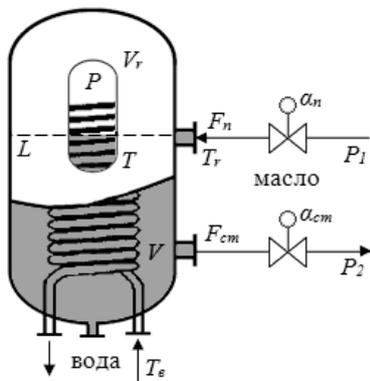


Рисунок 2 –  
Схематическое  
изображение бачка СО.

Принудительная циркуляция затворной жидкости между камерой уплотнения и теплообменником системы охлаждения обеспечивается за счет ротора торцового уплотнения.

Затворная жидкость представляет собой масло И-12А ГОСТ 20799-88, ее охлаждение производится с помощью промышленной воды.

Процессы, происходящие в данном аппарате, описываются системой уравнений. В эту систему входят следующие уравнения:

$$F_n = k_n \sqrt{P_1 - P} \cdot \alpha_n; \quad (1)$$

$$F_{cm} = k_{cm} \cdot \alpha_{cm} \sqrt{P + \rho g L - P_2}; \quad (2)$$

$$P = mRT/V_r; \quad (3)$$

$$V_r = V_0 - V; \quad (4)$$

$$V = S \cdot L; \quad (5)$$

$$S \frac{dL}{dt} = F_n - F_{cm}; \quad (6)$$

$$c_p \rho V \frac{dT}{dt} = (T_e - T) k_m S_{mp} + F_n \rho c_p (T_r - T) + k_1 S_{m\bar{o}} (T_{oc} - T); \quad (7)$$

$$F_e = k_e \cdot \alpha_e; \quad (8)$$

$$c_e \rho_e V_e \frac{dT_e}{dt} = (T - T_e) k_{me} S_{mp} + F_e \rho_e c_e (T'_e - T_e); \quad (9)$$

$$P_1 = P_0 - a \cdot F_n; \quad (10)$$

$$P_2 = P + \rho g L + \frac{\alpha_n^2 k_n^2 (P - P_1)}{\alpha_{cm}^2 k_{cm}^2}. \quad (11)$$

где:  $F_n$  – расход притока масла в бачок системы охлаждения,  $k_n$  – коэффициент проходного сечения трубопровода притока масла,  $P_1$  – давление масла на входе в бачок системы охлаждения,  $P$  – давление газовой «подуш-

ки» в бачке системы охлаждения,  $\alpha_n$  – степень открытия задвижки на трубопроводе притока масла,  $F_{cm}$  – расход стока масла из бачка системы охлаждения,  $k_{cm}$  – коэффициент проходного сечения трубопровода стока масла,  $\alpha_{cm}$  – степень открытия задвижки на трубопроводе стока масла,  $\rho$  – плотность масла,  $L$  – уровень масла в бачке,  $S$  – площадь поперечного сечения бачка,  $P_2$  – давление масла на выходе из бачка,  $m$  – масса газовой «подушки» в бачке;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура масла в бачке,  $V_r$  – объем газовой «подушки» в бачке,  $V_0$  – объем бачка,  $V$  – объем масла в бачке,  $V_3$  – объем змеевика,  $c_p$  – удельная теплоемкость масла,  $T_e$  – температура воды, циркулирующей в змеевике,  $k_m$  – коэффициент теплопередачи масла,  $S_{mp}$  – площадь поверхности змеевика,  $T_r$  – температура масла на входе в бачок (на втулках пар трения насоса), она зависит от скорости вращения ротора насоса [2],  $k_{me}$  – коэффициент теплопередачи воды,  $k_l$  – коэффициент потерь в окружающую среду,  $c_e$  – удельная теплоемкость воды,  $F_e$  – расход воды в змеевике,  $k_e$  – коэффициент проходного сечения трубопровода воды,  $\alpha_e$  – степень открытия задвижки на трубопроводе воды,  $\rho_e$  – плотность воды,  $T_e'$  – температура воды на входе в змеевик,  $T_{oc}$  – температура окружающей среды;  $S_{m\bar{o}}$  – площадь поверхности бачка;  $P_0$  – давление нагнетания насосом масла в маслобак,  $a$  – коэффициент жесткости нагрузочной характеристики насоса.

Уравнения (1) и (2) описывают изменение расходов притока и стока масла. Уравнения (7) и (9) характеризуют тепловой баланс в межтрубном и трубном пространстве бачка охлаждения, соответственно. Баланс учитывает теплопередачу через стенку змеевика и потери тепла в окружающую среду. Уравнение (10) является уравнением нагрузочной характеристики насоса, а уравнение (11) обеспечивает неразрывность циркулирующего потока масла, охлаждающего насос. Остальные уравнения не нуждаются в комментариях.

Теперь нужно создать и реализовать модель на основе данной системы уравнений. Сначала необходимо решить систему уравнений в статике, чтобы получить числа, нужные для ее решения в динамике. Для этого, используя нормы технологического режима, задаемся всеми переменными и коэффициентами уравнения (1), кроме  $k_n$ , который выражается из этого уравнения. Аналогичным образом находим  $k_{cm}$  из уравнения (2),  $mR$  из уравнения (3),  $V_0$  из уравнения (4),  $S$  из уравнения (5),  $k_m$  из уравнения (7),  $k_e$  из уравнения (8),  $k_{me}$  из уравнения (9),  $a$  из уравнения (10).

Для решения системы уравнений в статике эти значения следующие:

$F_n = 0,9 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,00025 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $P_1 = 7 \text{ кгс}/\text{см}^2 \approx 700\,000 \text{ Па}$ ;  $P_2 = 1,5 \text{ кгс}/\text{см}^2 \approx 150\,000 \text{ Па}$ ;  $P = 2 \text{ кгс}/\text{см}^2 \approx 200\,000 \text{ Па}$ ;  $P_0 = 8 \text{ кгс}/\text{см}^2 \approx 800\,000 \text{ Па}$ ;  $\alpha_n = 50\%$ ;  $F_{cm} = 0,9 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,00025 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\alpha_{cm} = 50\%$ ;  $\alpha_e = 50\%$ ;  $g = 9,80665 \text{ м}/\text{с}^2$ ;  $\rho = 880 \text{ кг}/\text{м}^3$  [3];  $L = 0,55 \text{ м}$ ;  $V = 0,009 \text{ м}^3$ ;  $T = 323 \text{ К}$ ;  $V_r = 0,001 \text{ м}^3$ ;  $V_0 = 0,01$ ;  $V_3 = 0,002 \text{ м}^3$ ;  $c_p = 1670 \text{ Дж} / (\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $c_e = 4187 \text{ Дж} / (\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ;  $k_l = 0,2$ .

$k_m$ ;  $T_g = 293$  К;  $T_r = 523$  К;  $T = 323$  К;  $T_g' = 281$  К;  $T_{oc} = 293$  К;  $S_{mp} = 3,02752$  м<sup>2</sup>;  $S_{m\bar{o}} = 0,3599$  м<sup>2</sup>;  $F_g = 6$  л/с = 0,006 м<sup>3</sup>/с.

В результате решения уравнений в статике имеем:

$k_n = 0,0000007$  м<sup>3</sup>/с Па<sup>1/2</sup>;  $k_{cm} = 0,0000021$  м<sup>3</sup>/с Па<sup>1/2</sup>;  $mR = 0,6192$  кг·Дж/моль·К;  $V_r = 0,001$  м<sup>3</sup>;  $S = 0,0163$  м<sup>2</sup>;  $k_m = 790,235$  Дж/с·м<sup>2</sup>·К;  $k_g = 0,012$  м<sup>3</sup>/с;  $k_{mg} = 3319,1523$  Дж/с·м<sup>2</sup>·К;  $a = 400000000$  Па·с / м<sup>3</sup>.

Для проверки модели на адекватность уравнения и полученные значения были внесены в программу для моделирования динамических систем Xcos из пакета SciLab 5.4.1. Модель адекватна, что подтверждается переходными процессами, приведенными на рисунках 3 и 4.

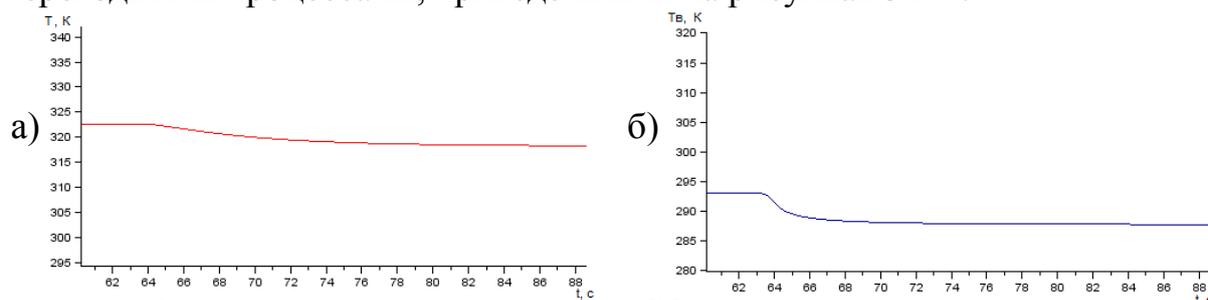


Рисунок 3. Результаты моделирования СО при открытии задвижки трубопровода воды на 40%: а) – температура масла; б) – температура воды.

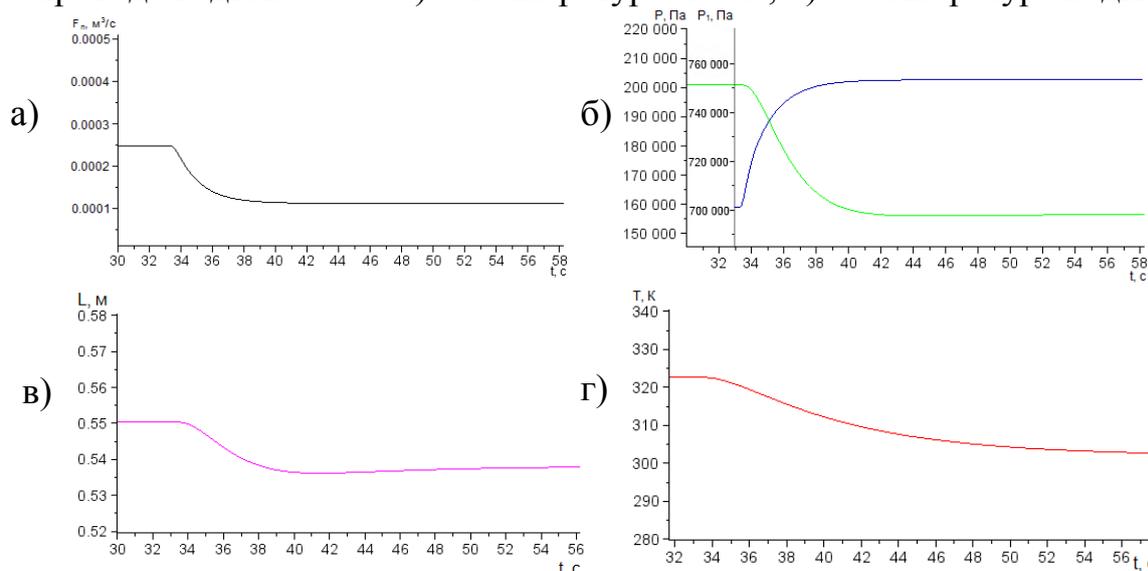


Рисунок 4. Результаты моделирования СО при закрытии задвижки трубопровода притока масла на 30%: а) – расход притока масла; б) – давление газовой «подушки» в бачке и давление масла на входе в бачок; в) – уровень масла; г) – температура масла.

После проверки данная модель была реализована на языке программирования С# в интегрированной среде разработки SharpDeveloper и внесена в движок NeoAxis.

Алгоритм решения модели на ЭВМ подробно описан в работе [2].

Реализация и интеграция алгоритма позволили приобрести опыт программирования и работы с движком, с помощью которого можно реализовать и остальные составные части насоса.

При разработке модели следует соблюдать общие принципы синтеза тренажерных моделей: принципы полноты свойств модели, и принципы реализации модели. К первым относятся:

- технологическая полнота (моделированию подлежит совокупность составных частей насоса и система управления им);
- управляемость (наличие всех технологических потоков и инструментов для их изменения, доступных оператору на реальном объекте);
- универсальность (возможность имитации всех возможных ситуаций, возникающих на объекте);
- наблюдаемость (расчетные параметры модели должны охватывать все наблюдаемые на объекте переменные, диапазон изменения которых должен быть достаточным для воспроизведения всего спектра учебных ситуаций).

К принципам реализации модели относятся:

- гибкость (возможность постоянного уточнения и дополнения сведениями о реальном объекте ввиду возможного изменения его характеристик во времени);
- временное соответствие (отображение динамических свойств объекта в реальном масштабе времени, а также в ускоренном для возможности отработки медленно протекающих процессов);
- вычислительная устойчивость (решение модели должно быть устойчиво в реальном и ускоренном масштабах времени при произвольной комбинации управляющих воздействий со стороны обучаемого и возмущений со стороны инструктора);
- адекватность (модель должна быть адекватна реальному объекту в широком диапазоне изменения переменных процесса при воспроизведении всех возможных ситуаций, включая пусковые, нештатные и аварийные).

Соблюдение при моделировании всех обозначенных принципов означает четкое определение структуры модели, сохранение большинства причинно-следственных связей, присутствующих в реальном объекте, что требует проведения глубокого анализа данной проблемной области. Определено, что основным методом моделирования, способным обеспечить наиболее полное соблюдение всех принципов, является метод дедуктивного моделирования. Полученные на основе данного метода модели предельно подробны и точны для явлений, которые они описывают, т.к. основаны на фундаментальных законах, количественно описывающих поведение или свойства системы [4].

Важным аспектом применения модели в тренажере является ее адекватность реальному технологическому процессу. Проверку адекватности модели по данным эксперимента осуществить затруднительно, т.к. невозможно провести эксперимент по сбору данных в аварийных ситуациях, которые должен имитировать тренажер. Критерием адекватности тренажерной модели может служить степень нечеткого равенства ситуации, произошедшей в модели, прогнозу эксперта [5].

Далее останется добавить в трехмерный модуль набор тренировочных упражнений по пуску и остановке насоса, устранению аварийных ситуаций, а также систему оценки действий оператора.

Было разработано тренировочное упражнение по пуску. Насос запускается, если пользователь правильно выполняет следующую последовательность действий:

Открыть задвижку на всасе насоса, открыть продувочный вентиль, дождаться значительного охлаждения трубопровода, проверить торцовое уплотнение на предмет наличия утечки газа, открыть задвижку на трубопроводе подачи газа в теплообменники, запустить двигатель, убедиться в отсутствии в двигателе посторонних шумов, медленно открыть задвижку на нагнетании.

Разрабатывается трехмерный модуль к тренажеру по безопасной эксплуатации парового котла-утилизатора нефтеперерабатывающего завода ОАО «АНХК».

В рамках данной разработки были созданы трехмерные модели следующих промышленных аппаратов: барабан котла-утилизатора, трубопровод с клапанной сборкой: клапан и байпас с ручными задвижками, показывающие уровнемеры (водоуказательные колонки), установленные на барабане, центробежный насос питательной воды. Данные трехмерные модели показаны на рисунке 5.

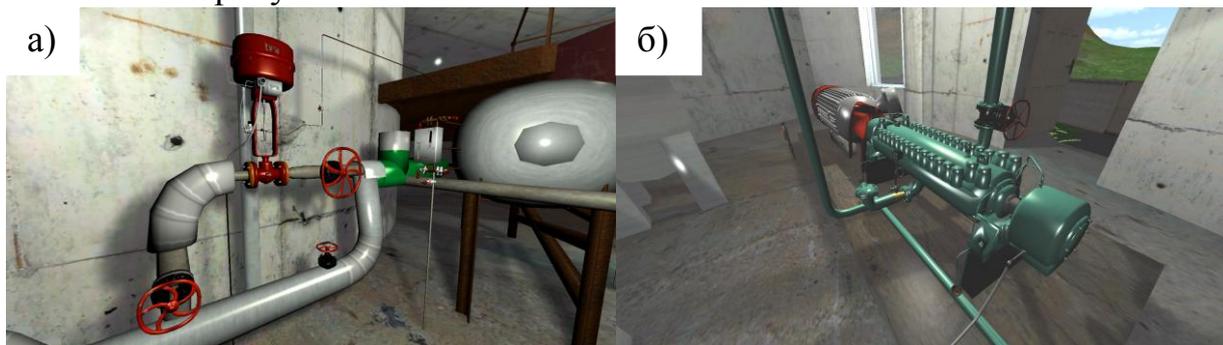


Рисунок 5. Трехмерные модели основных аппаратов котельной: а) – барабан котла, клапанная сборка и уровнемеры; б) – центробежный насос.

Рядом с центробежным насосом расположена кнопка включения. Реализован алгоритм обратной связи с пользователем: если насос включен, его двигатель вибрирует, а вал вращается, кроме того, воспроизводится звук работающего насоса.

Реализовано тренировочное упражнение: продувка водоуказательных колонок. Во время работы котла для продувки водоуказательного стекла паром нужно открыть продувочный кран и после этого закрыть водяной кран, а затем для продувки водой — закрыть паровой кран и открыть водяной, после чего открыть паровой кран и закрыть продувочный кран [6]. Эти действия пользователь должен выполнить в правильной последовательности, если значение уровня в водоуказательной колонке постоянно и не изменяется.

Если уровень в колонке отсутствует, необходимо закрыть паровой и водяной вентили, открыть продувочный вентиль. Если это не привело к появлению уровня в колонке, закрыть продувочный вентиль и открыть водяной, после появления уровня открыть паровой вентиль для возвращения колонки в нормальное состояние.

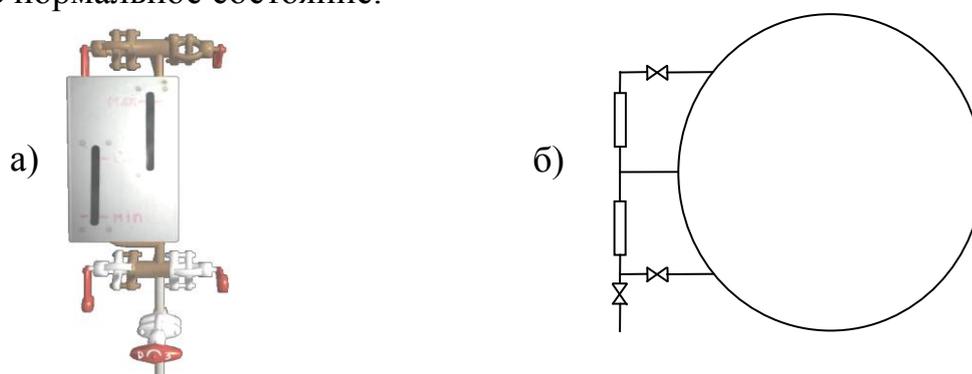


Рисунок 6. Водоуказательная колонка: а) – внешний вид; б) – схема подключения к емкости.

На рисунке 6 показан внешний вид водоуказательной колонки во время эксплуатации установки. Продувочный вентиль закрыт, водяной и паровой открыты. Две задвижки сверху являются сложной конструкцией, представляющей собой паровой вентиль. Для закрытия данного вентиля оператор вращает обе задвижки одновременно в противоположные стороны, переводя левую в горизонтальное положение, а правую — в вертикальное. Аналогичным образом устроен и водяной вентиль, представляющий собой конструкцию из двух задвижек внизу. Задвижка на дренажной трубе, уходящей в пол, является продувочным вентилем.

В режиме «экзамен» пользователю необходимо выполнить правильные действия без каких-либо подсказок. В режиме «самопроверка» пользователю сообщается, как надо было поступить, если он совершает ошибку, а в режиме «обучение» перед каждым действием предварительно сообщается, что нужно сделать.

Если пользователь совершает неверное действие – начинает изменять положение вентиля, положение которого в данный момент менять не нужно, засчитывается ошибка – вентиль возвращается в исходное состояние, а пользователя отбрасывает на небольшое расстояние в сторону от водоука-

зательной колонке в качестве штрафной санкции. Всего можно совершить не более пяти ошибок, иначе засчитывается провал и упражнение перезапускается.

Также существуют грубые ошибки – вращение одной из составных частей парового или водяного вентиля вместо правильного его использования, или вращение задвижек у колонки, которая уже продута. При совершении грубой ошибки провал засчитывается сразу, вне зависимости от количества ошибок, совершенных до этого.

Таким образом, данный трехмерный модуль позволяет достоверно имитировать работу с реальным оборудованием, благодаря чему операторы смогут обучаться безаварийной эксплуатации и локализации аварийных ситуаций. В результате произойдет повышение качества подготовки специалистов и уровня безопасности предприятия.

### *Библиографический список*

1. Мороз Н. В., Благодарный Н. С. Трехмерный обучающий тренажер по управлению насосом. // Сборник трудов XXVI Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-26». Часть 1. – Саратов: СГТУ, 2013 – С. 119-121.

2. Благодарный Н. С., Мороз Н. В. Модель системы охлаждения насоса для трехмерного тренажера. // Вестник АГТА. – Ангарск: АГТА, 2013 – № 7 – С. 48-51.

3. ГОСТ 20799-88. Масла индустриальные. Технические условия. – Введ. 1990-01-01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 6 с.

4. Колмогоров А. Г. Синтез имитационной модели для тренажера управления технологическим процессом ректификации: автореф. Диссертации канд. техн. наук: 05.13.06 / Колмогоров А. Г. – Иркутск, 2010. – 20 с.

5. Благодарный Н.С., Колмогоров А.Г., Кривов М.В., Кобозев В.Ю. Критерий адекватности тренажерной модели. / Автоматизация в промышленности. – 2010. – №7. – С. 59-65.

6. Морозов М. П. Справочник по котлонадзору / М. П. Морозов, И. И. Айзенштат, И. К. Кориковский, и [др.] – М., Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1961 – 688 с.

# АНАЛИЗ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ИОНОСФЕРЫ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ДВУХЧАСТОТНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПРИЁМНИКОВ

Симоненко А.М., Агарышев А.И. – научный руководитель  
Иркутский государственный технический университет  
[Sima92@ya.ru](mailto:Sima92@ya.ru)

## Введение и постановка задачи

Задача повышения точности определения координат приёмников спутниковых радионавигационных систем (СРНС) весьма актуальна в настоящее время для РФ в связи с вводом в эксплуатацию глобальной навигационной системы ГЛОНАСС. На эту точность влияет большое число различных факторов, которые можно разделить на два основных вида [1,2]: 1) аппаратные погрешности, такие как ошибки прогнозирования координат навигационных космических аппаратов (НКА), ошибки определения моментов излучения навигационных сигналов (НС), ошибки обработки сигнала в приёмниках СРНС, т.е. в аппаратуре потребителей (АП); 2) ошибки из-за влиянием среды распространения радиоволн между НКА и АП.

Ошибки вида 2 обусловлены, в основном, ошибками прогнозов групповых задержек радиоволн в ионосфере Земли [1]. Эти задержки больше задержек, соответствующих прямолинейному распространению радиоволн в свободном пространстве и зависят от большого числа факторов, таких как время суток, день года, уровень активности Солнца, местоположение НКА и АП. Ошибки прогнозов задержек радиоволн в ионосфере существенно возрастают для НКА с небольшими углами возвышения  $b \approx 5-10^\circ$  при сильных изменениях критических частот ионосферы ( $f_0$ ) вдоль радиолиний НКА-АП [3]. Такие изменения максимальны в утренние часы суток зимой при высокой активности Солнца на радиолиниях широтного направления, когда горизонтальные градиенты  $f_0$  могут достигать 0.5 МГц на 100 км [3]. Ввиду существенного роста значений случайных изменений дополнительных задержек радиоволн, обусловленного влиянием среды, радиосигналы НКА с  $b < 5^\circ$  в АП не обрабатываются [1].

Отметим также, что значения ошибок вида 1 и 2 зависят от углов возвышения и азимутов НКА и прямо пропорциональны так называемому геометрическому фактору, который обратно пропорционален объёму фигуры, образуемой НКА и АП в пространстве [1], что показывает рис.1.

Из рис. 1 следует, что для улучшения геометрического фактора точности определения координат АП необходимо использовать НКА с небольшими углами возвышения  $b$ , но для таких углов точность определения координат АП ухудшается из-за влияния среды распространения радиоволн. Поэтому исследование влияния углов возвышения НКА на точность местопределения АП представляет несомненный интерес.

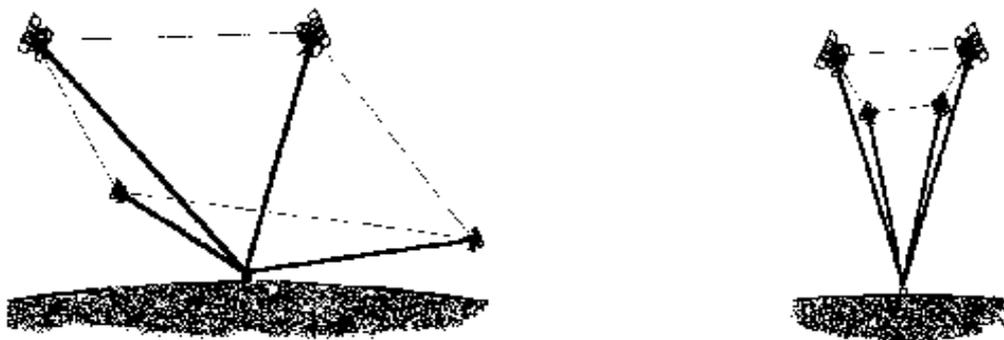


Рис. 1. Расположения НКА, соответствующие лучшей (слева) и худшей (справа) точности определения координат наземного приёмника СРНС.

**Цель работы** заключается в представлении результатов измерений значений случайных отклонений координат и высот двухчастотных радиоприёмников СРНС от средних значений координат и высот, а также в анализе этих результатов.

### Методика эксперимента

Измерения проводились спутниковыми геодезическими GNSS/GPS приемниками JavadSigma, подключенным к ПК с помощью специально разработанной программы и установленными на двух различных геодезических пунктах с известными координатами. Пункты находятся в г. Иркутске на расстоянии порядка 9 км друг от друга. Первый пункт IKRU находится на базе Восточно-Сибирского аэрогеодезического предприятия и является пунктом фундаментальной астрономо-геодезической сети “Иркутск”. Вторым пунктом IRKJ расположен на базе Восточно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ» и является пунктом мировой сети. Данные пункты прошли государственную сертификацию, и их геодезические координаты в системе WGS-84 были определены с точностью до десятых долей миллиметра.

Пример регистрации экспериментальных данных для одного из сеансов приведён в таблице 1.

Таблица 1. Пример регистрации данных радиоприёмников СРНС 07/23/12 (ММ/ДД/YY- дата измерений - месяц, день, год), SVs=17 (количество наблюдаемых спутников)

SITE	HH:MM:SS	PDOP	LATITUDE	LONGITUDE	HI
IRKJ	00:00:00	1,2	N52,21903513	E 104,31618246	503,175
IRKJ	00:00:30	1,2	N52,21903323	E 104,31618288	503,231
IRKJ	00:01:00	1,9	N52,21903377	E 104,31617713	504,150
IRKJ	00:01:30	1,6	N52,21903698	E 104,31617790	503,449
IRKJ	00:02:00	1,8	N52,21903633	E 104,31617790	503,666
IRKJ	00:02:30	1,7	N52,21903631	E 104,31617838	503,526

В таблице 1 использованы следующие обозначения: SITE – наименование пункта измерений; HH:MM:SS-времяUTC (часы, минуты, секунды);

РДОР – геометрический фактор точности;  $N, E$  – значения широты и долготы ( доли градуса);  $H$  - высота приёмной антенны над уровнем моря, м.

### Методика обработки экспериментальных данных

Из таблицы 1 видно, что для сеанса длительностью  $\approx 30$  с измеренные значения географических координат практически не меняются, а отклонения измеренных высот от средней высоты для этого сеанса не превышают 50см. Однако отличия этих характеристик от сеанса к сеансу существенно превышали их отличия внутри сеансов. Поэтому для каждого сеанса с номером  $j$  определялись средние значения долготы  $E_j$ , широты  $N_j$  и высоты  $H_j$ , которые подвергались дальнейшей обработке, в результате которой определялись средние значения  $E_C, N_C, H_C$ , а также отклонения от этих средних  $\Delta E_j = E_j - E_C, \Delta N_j = N_j - N_C, \Delta H_j = H_j - H_C$ . Сглаживание экспериментальных зависимостей производилось с интервалом 60 минут. Для обработки данных был выбран магнитоспокойный день с 00.00 до 24.00 по UTC 24.07.2012 года. Были обработаны массивы данных с двух приемников, работающих синхронно.

На следующем этапе исследований строились зависимости измеренных значений  $\Delta E_j, \Delta N_j, \Delta H_j$  от времени, по виду которых был сделан вывод о присутствии существенных флуктуаций координат (особенно высоты) в утренние и вечерние часы при переходе «день-ночь» и влияния этих факторов на точность место определения АП. Предполагалось, что два одинаковых приемника работали в одинаковых условиях в непосредственной близости друг от друга с одинаковым интервалом измерений 30 секунд.

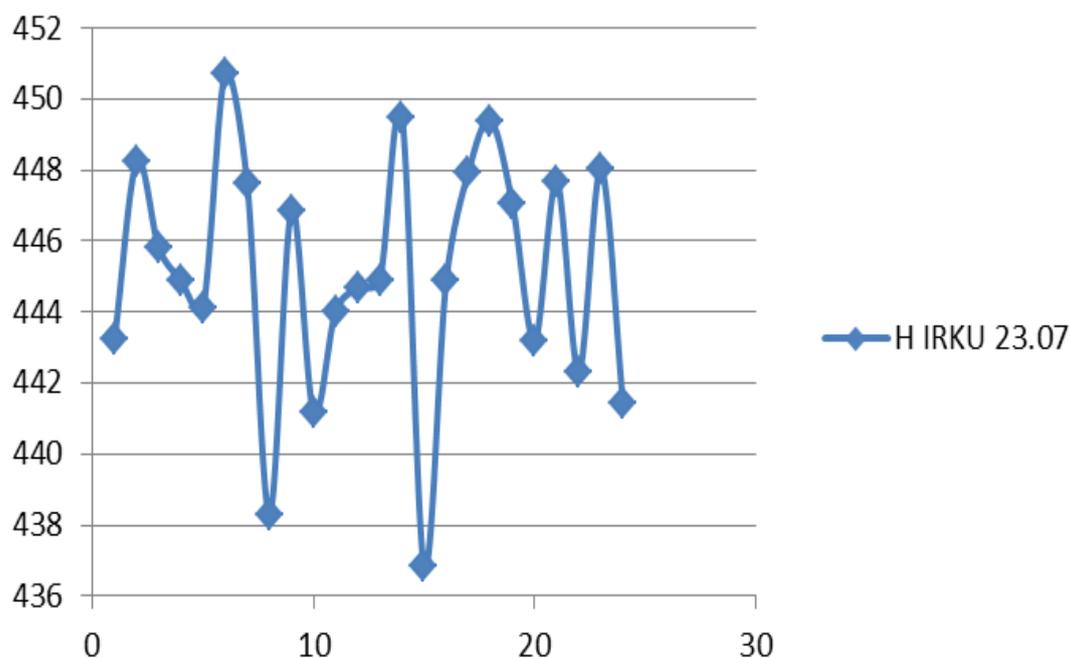


Рис.2. Высота антенны IRKU 23.07.2012 г.

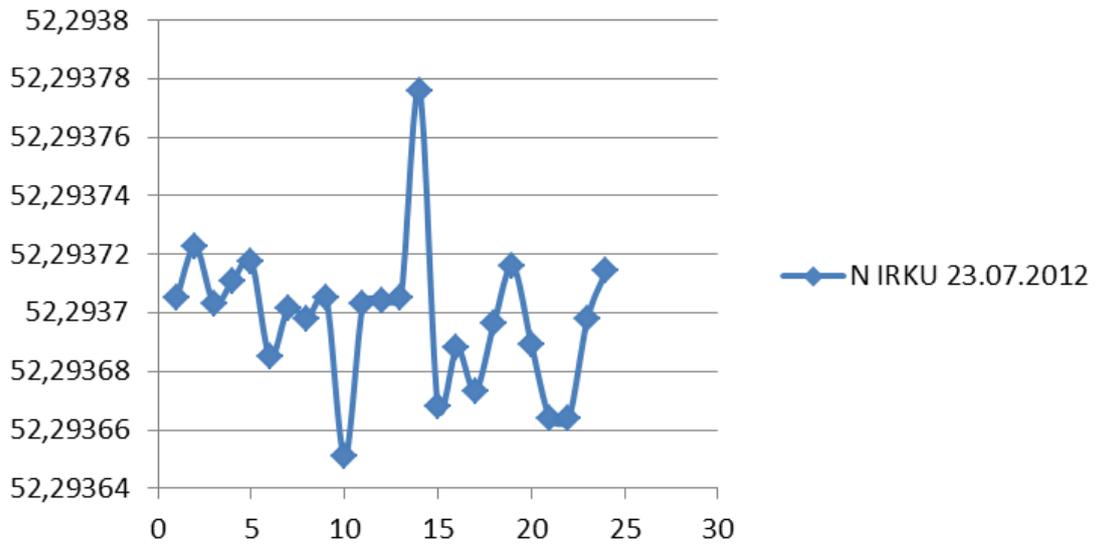


Рис.3. Широта антенны IRKU 23.07.2012 г.

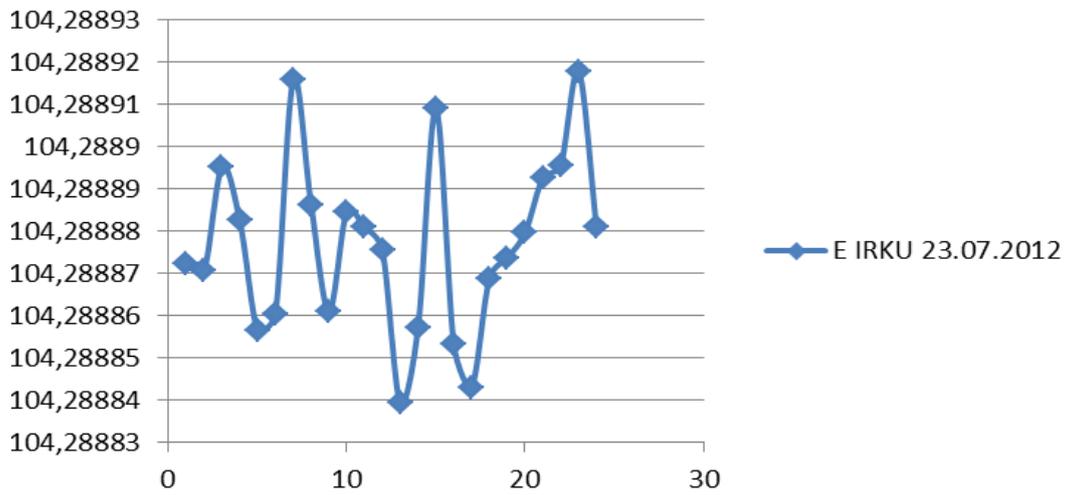


Рис.4. Долгота антенны IRKU 23.07.2012 г.

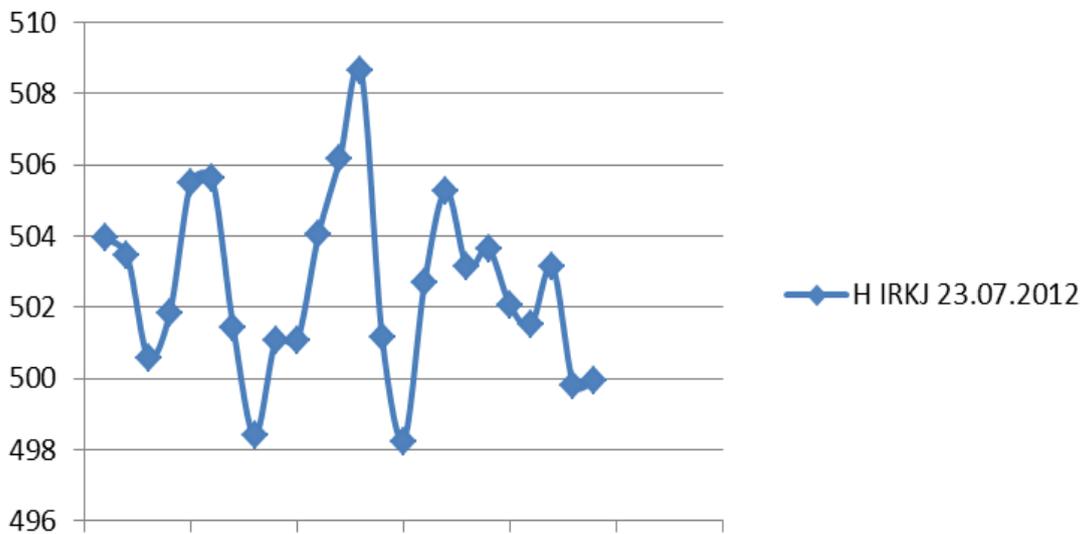


Рис.5. Высота антенны IRKU 23.07.2012 г.

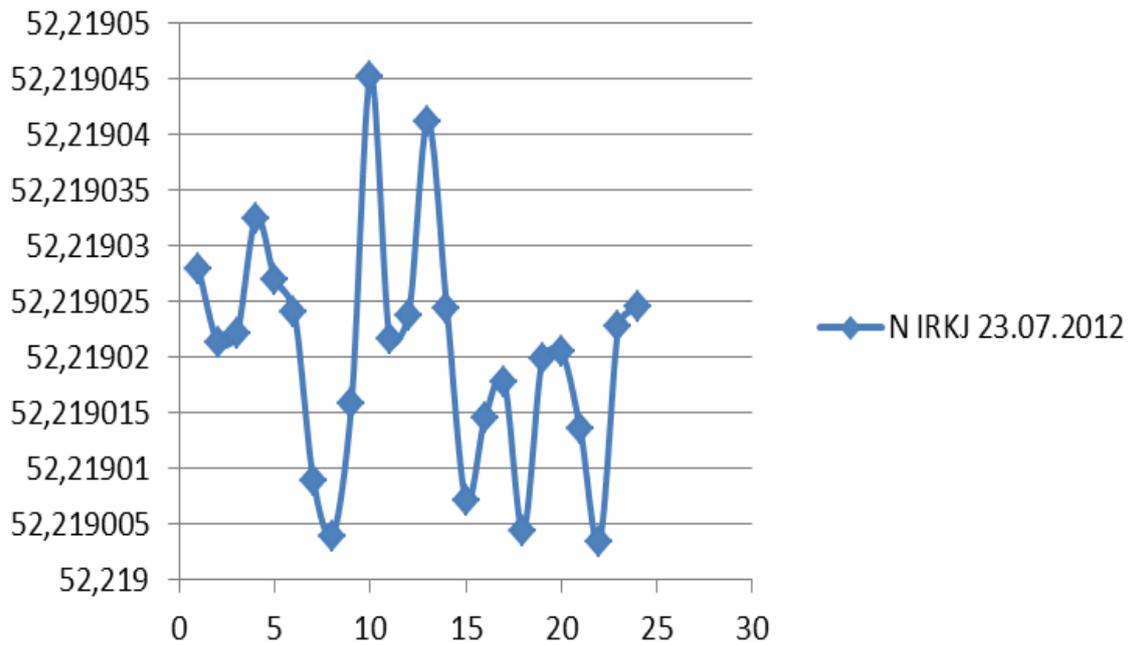


Рис 5. Широта антенны IRKJ 23.07.2012 г.

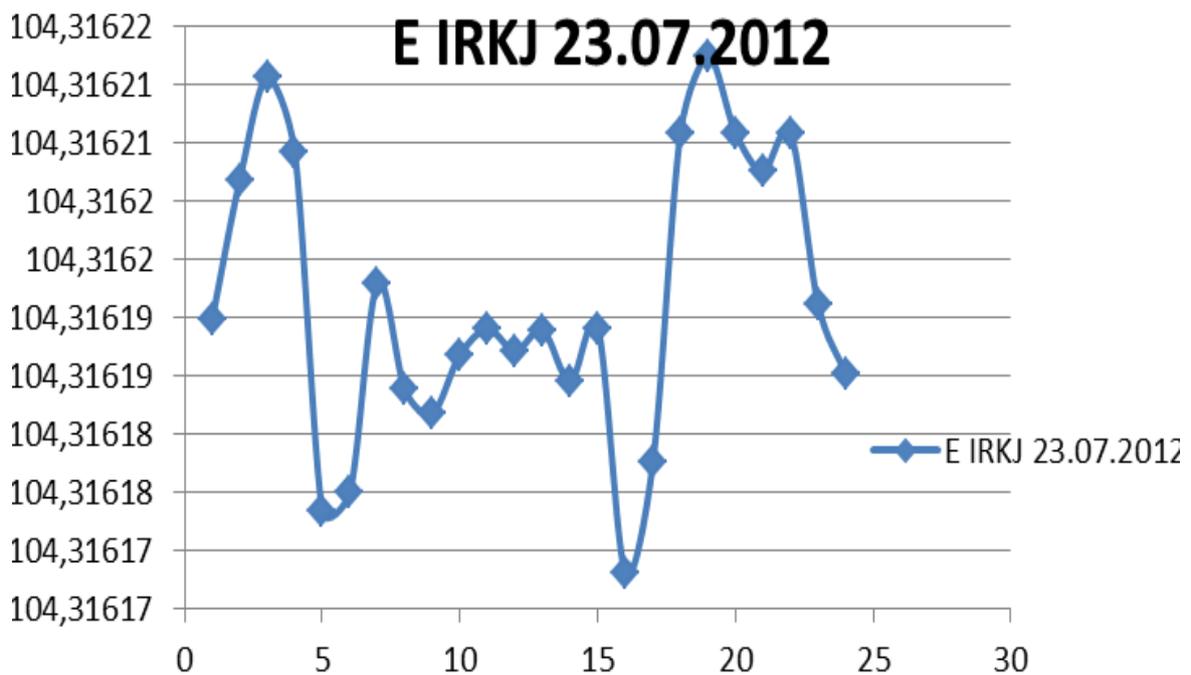


Рис.6. Долгота антенны IRKJ 23.07.2012 г.

### Обсуждение полученных результатов

Рис. 2-4 показывают увеличение случайных отклонений измеренных координат и высот в одинаковые интервалы суток на пункте IRKU, которые возникают в интервале от 14.00 до 15.00. Так как время UTC отличается от местного Иркутского времени на 8 часов, то данное распределение приходится на 23.00 (вечернее время). Максимальные отклонения от среднего значения составляют порядка 7 м по высоте. При рассмотрении зависимостей высоты и широты от времени суток на пункте IRKJ (рис. 5-7) макси-

мальные флуктуации возникают так же в вечерние часы. Как видно из рис.7 отклонения долготы не имеет характерного провала в дневное время суток, как это обнаруживается в суточном ходе отклонений широты.

При статистической обработке данных использовались различные интервалы сглаживания 60 мин, 30 мин и 15 минут. Сравнение результатов сглаживания позволяет сделать заключение о том, что, во-первых, увеличение интервала сглаживания вызывает заметное изменение характера суточного хода случайных погрешностей координат, во-вторых, приводит к увеличению постоянной составляющей их СКП.

Как следует из работы [4], в которой приведены результаты наблюдений за мерцанием сигналов спутников на контрольно-измерительной станции СРНС Навстар GPS острова Кваджелейна, период мерцаний на частоте  $f_1$  приблизительно равен 1,5 с. Поэтому использование интервала сглаживания, равного 1 минуте, позволяет обнаружить эффект мерцания. При увеличении интервала сглаживания начинает проявляться влияние перемещений спутников. Кроме того, начинает сказываться присутствие тренда в суточном ходе систематических погрешностей широты и долготы.

### **Выводы**

Результаты работы можно использовать для совершенствования алгоритмов обработки навигационной информации и результатов измерений в приёмниках СРНС с целью повышения точности определения их координат.

### ***Библиографический список***

1. Шебшаевич В. С., Дмитриев П. П., Иванцевич Н. В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы; Под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993. - 408 с.
2. ГЛОНАСС. Принципы и построение и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е перар.и доп. – М.: Радиотехника. 2010. 800 с., ил.
3. Агарышев А.И., Потапов Д.В. Моделирование групповых задержек при распространении радиоволн через переходную область ионосферы.- Распространение радиоволн: сборник докладов XXI Всероссийской научной конференции. В 2-х т. Йошкар-Ола. 25-27 мая 2005г.-Йошкар-Ола:МарГТУ,2005.Т.2.–С.265-267.
4. Klobuchar, J. A. Ionospheric Effect on GPS. Global Positioning System: Theory and Applications. Edited by Bradford W. Parkinson, James J. Spilker. Vol. I. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, DC, 20024-2518, 1996, pp. 485 – 515.

## **ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ GSM СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА**

**Ченский Д.А., Безрукин А.Г., Ченский А.Г.** – научный руководитель  
Иркутский государственный технический университет  
skb@istu.edu

Телемедицина направление медицины, основанное на использовании компьютерных и телекоммуникационных технологий для обмена медицинской информацией между специалистами с целью повышения качества диагностики и лечения конкретных пациентов. Телемедицина – это инновационный подход, сочетающий в себе медицинские знания и оборудование в совокупности с информационными и коммуникационными технологиями, позволяющими проводить обследование, наблюдение и лечение у вас дома. Телемедицинские системы динамического наблюдения применяются для наблюдения за пациентами, страдающими хроническими заболеваниями, а также на промышленных объектах для контроля состояния здоровья работников, например, операторов на атомных электростанциях. Многообещающим направлением развития таких систем является интеграция датчиков в одежду, различные аксессуары, мобильные телефоны. Например, жилет с набором биодатчиков, регистрирующих ЭКГ, артериальное давление и ряд других параметров, или мобильный телефон с возможностью регистрации ЭКГ и отправки ее средствами GPRS в медицинский центр, а также с возможностью определения координат человека в случае угрозы жизни. Домашняя телемедицина - это дистанционное оказание медицинской помощи пациенту, проходящему курс лечения в домашних условиях. Специальное телемедицинское оборудование осуществляет сбор и передачу медицинских данных пациента из его дома в отдаленный телемедицинский центр для дальнейшей обработки специалистами. Это важно, например, для больных с сердечной недостаточностью, нуждающихся в регулярных и частых обследованиях. Комплексы, включающие датчики, измеряющие температуру тела, давление крови, парциальное давление кислорода, ЭКГ и функции дыхания, соединены с настольным монитором, который, в свою очередь, автоматически отправляет данные в телемедицинский центр.

Мобильное коммуникационное устройство предназначено для диагностики и мониторинга состояния здоровья обследуемого человека. Диагностика состояния здоровья осуществляется с помощью подключаемых датчиков: например таких как - датчик измерения пульса, температуры тела, влажности кожи, сопротивления кожи. Устройство периодически опрашивает все подключенные датчики автоматически. Данные с датчиков записываются в собственную память и передаются по каналу связи GSM на интернет ресурс. Система обладает небольшими габаритами и позволяет постоянное использование, что в свою очередь дает возможность проанализировать изменение состояния пациента в повседневной жизни.

Применение облачного сервиса (интернет ресурса или сервера) позволяет квалифицированному специалисту проанализировать данные о пациенте в реальном времени, а также просмотреть статистику данных за весь период использования системы для определения диагноза. Также использование облачного сервиса позволяет просматривать информацию о больном с любого устройства, подключенного к интернету. Использование устройства не требует специальных навыков, что означает, что нет необходимости в посещении больниц и в дополнительных затратах. Устройство даст возможность жителям сельских и удаленных районов получать квалифицированную помощь от врачей различных городов. Устройство может использоваться пожилыми людьми, людьми страдающими хроническими заболеваниями, спортсменами и детьми. Также применение данной системы высокоэффективно для наблюдения за состоянием сотрудников, которые работают с устройствами и приборами повышенной опасности. Например: операторы атомных станций, водители общественного транспорта, работники нефти-газовой сферы и т.д. Применение GSM сетей для передачи данных о пациенте в сеть интернет и доступ к ним через интернет ресурс. Определение координат пациента по данным GSM сетей и GPS/ГЛОНАСС. Постоянный мониторинг пациента в повседневной жизни. Благодаря сети интернет жители сельских и удаленных районов будут иметь возможность получать квалифицированную помощь

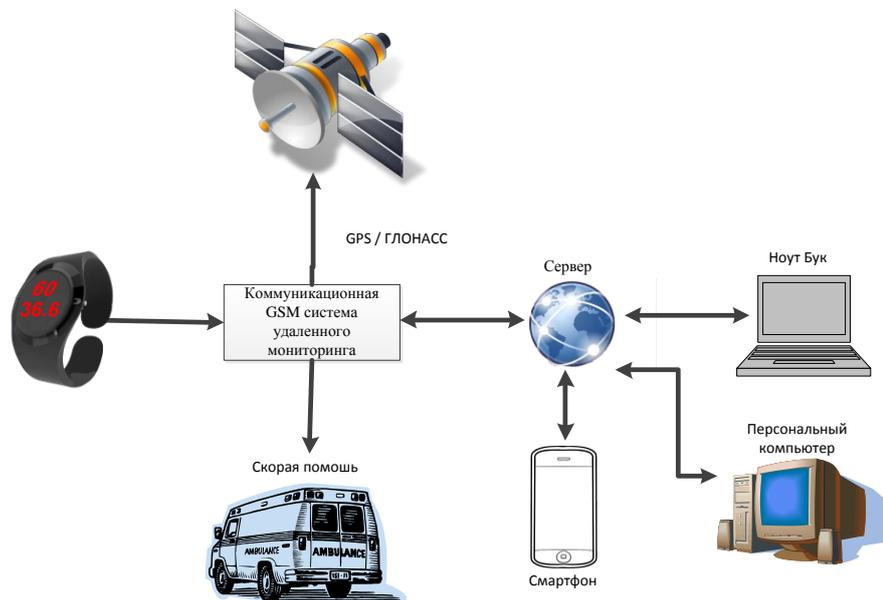


Рисунок 1 – Схема работы, телекоммуникационной GSM системы удаленного мониторинга

Наручный браслет считывает показание пульса и температуры тела. Данные показания, по проводам, с браслета считывает, телекоммуникационную GSM систему удаленного мониторинга, записывает на карту памяти и отправляет на сервер, каждые пять минут. Всем данным помимо метки времени присваивается метка с координатами. Таким

образом, пользователь знает время и где он в этот момент находился и с какой скоростью передвигался. Сервер хранит все данные за весь период пользования прибором. У каждого пользователя PulsTemp есть отдельная учетная запись на сервере. После входа в свою учетную запись с компьютера или смартфона, можно просмотреть статистику своих данных. Программа просмотра тут же построит графики и укажет на возможные проблемы.

Телекоммуникационная GSM система удаленного мониторинга, в составе имеет современный микроконтроллер с различными интерфейсами и высокой производительностью. Так же модуль GPS/ГЛОНАСС для определения местоположения пользователя. В состав прибора входит модуль GSM/GPRS который обеспечивает связь с сервером. То есть пользователь может в любой момент просмотреть свои параметры и проследить в динамике как они менялись. Так же положительные стороны в том, что скорую помощь всегда можно вызвать, тревожной кнопкой. В сообщении для скорой будут переданы координаты и последние параметры о состоянии здоровья. Благодаря этому врач скорой сможет оценить, что послужило необходимостью к вызову скорой помощи.

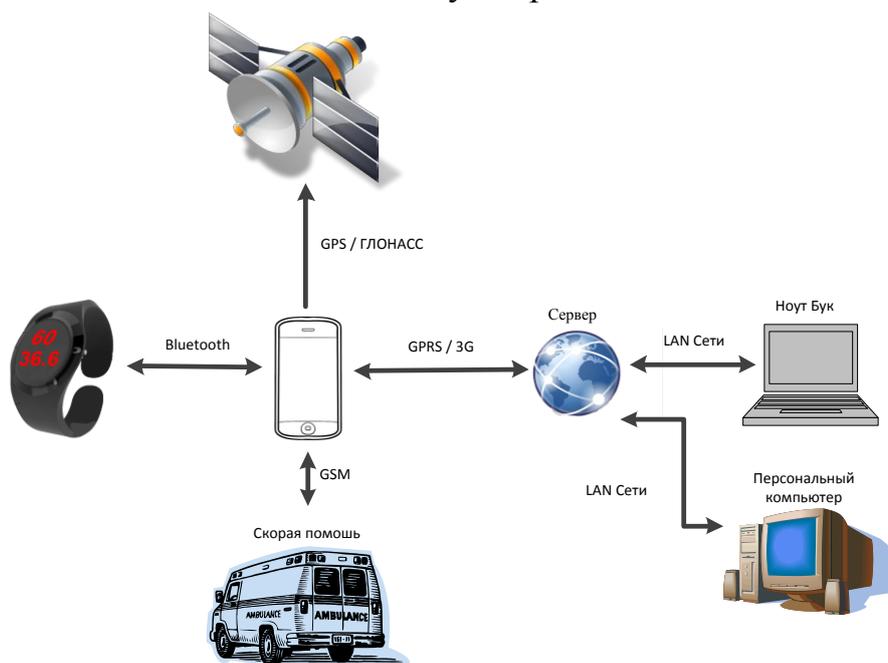


Рисунок 2 – Схема работы, системы при помощи смартфона

Таблица 1.1 – Алгоритмы работы программ

1	<p>Программа для компьютера которая скачает данные с карты памяти и передаст их на сервер через интернет. Просмотр через эту программу данных. Построение графиков отслеживание максимумов</p>	<p>Построение треков на карте. Считывание из файла и построение графиков.</p>	<p>Софт ПК</p>
---	--	---	----------------

	минимумов. Построение на карте треков с показаниями скорости и других параметров относящихся к состоянию здоровья.		
2	Программа для микроконтроллера опрос датчиков введение калибровочных параметров произведение расчетов, счет времени. Параметры, приводятся к чистым данным, которые не требуют специальных операций над ними. (Температура в градусах) Запись всех полученных параметров на флэш карту и передача по GSM на сервер.	Опрос датчиков, измерение параметров датчиков. Произведение расчетов над данными. Запись на флэш карту. Передача данных на сервер.	Программа Микроконтроллера
3	Программа для сервера, позволяет принимать данные и распределять их на страницах определенных пользователей.	Прием данных. Распределение данных на странички . Система логин пароль.	Сервер

Данная система относится к совершенно новому течению в медицине. Телекоммуникационная GSM система удаленного мониторинга позволяет: получать информацию о состоянии здоровья пациента в реальном времени, что позволяет вовремя реагировать на происходящие изменения здоровья пациента. Система работает в рамках обычных сетей GSM, что позволяет обеспечить наблюдение за состоянием здоровья с большой зоной покрытия.

#### ***Библиографический список***

1. Магда, Ю.С. Микроконтроллеры PIC: архитектура и программирование / Ю.С. Магда : Пресс, 2009. – 240с.: ил.
2. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника / О.П. Глудкин, А.И. Гуров – М.: Горячая линия - Телеком, 2000. - 768 с.
3. Блажис А.К., ДюкВ.А. Телемедицина / ISBN 5-299-00084-7 Copyright © «СпецЛит», 2001.
4. С.В. Буравков, А.И. Григорьев / Основы телемедицины. - М.: Фирма "Слово", 2001. - 112 с.
5. Ю.Е. Лях, А.В. Владзимирский / Введение в телемедицину, «Лебедь» ,1999,- 102 с.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Губанова А.Ю., Эльхутов С.Н. – научный руководитель

Ангарская государственная техническая академия

[esn@fromru.com](mailto:esn@fromru.com)

Обеспечение безопасности перевозки пассажиров и грузов на железнодорожном транспорте на данный момент является наиболее актуальной проблемой. Поскольку от состояния и уровня безопасности железнодорожного транспорта зависят не только перспективы дальнейшего социально-экономического развития, но также возможности государства эффективно выполнять такие важнейшие функции, как создание условий для выравнивания уровня развития регионов.

В [1] проведен подробный анализ проблемы, рассмотрены различные варианты решений и описана актуальность проблемы учета рисков и угроз на железнодорожном транспорте.

В данный момент выполняется разработка информационной системы оценки безопасности. Разработана информационная база, которую условно можно поделить на несколько блоков (рисунок 1).

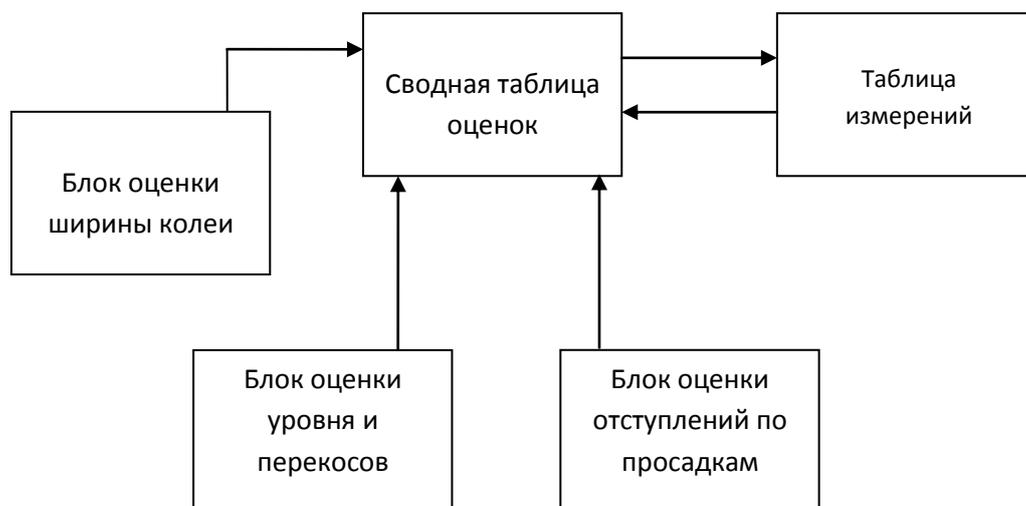


Рисунок 1. Информационная база.

Таблица измерений содержит значения измерений проведенных специальными средствами на участке пути. Помимо самих измерений в ней содержится информация об участке пути и дате проведения измерений. Она напрямую связана со сводной таблицей оценок.

Сводная таблица оценок содержит оценки параметров измерений для конкретного участка пути и даты проведения измерений. Оценки рисков и угроз база данных получает, из сводной таблицы оценок производя сравнение измерений с эталонными значениями остальных блоков БД. На рисунке 2 представлена схема базы данных, условно разделенная на блоки.

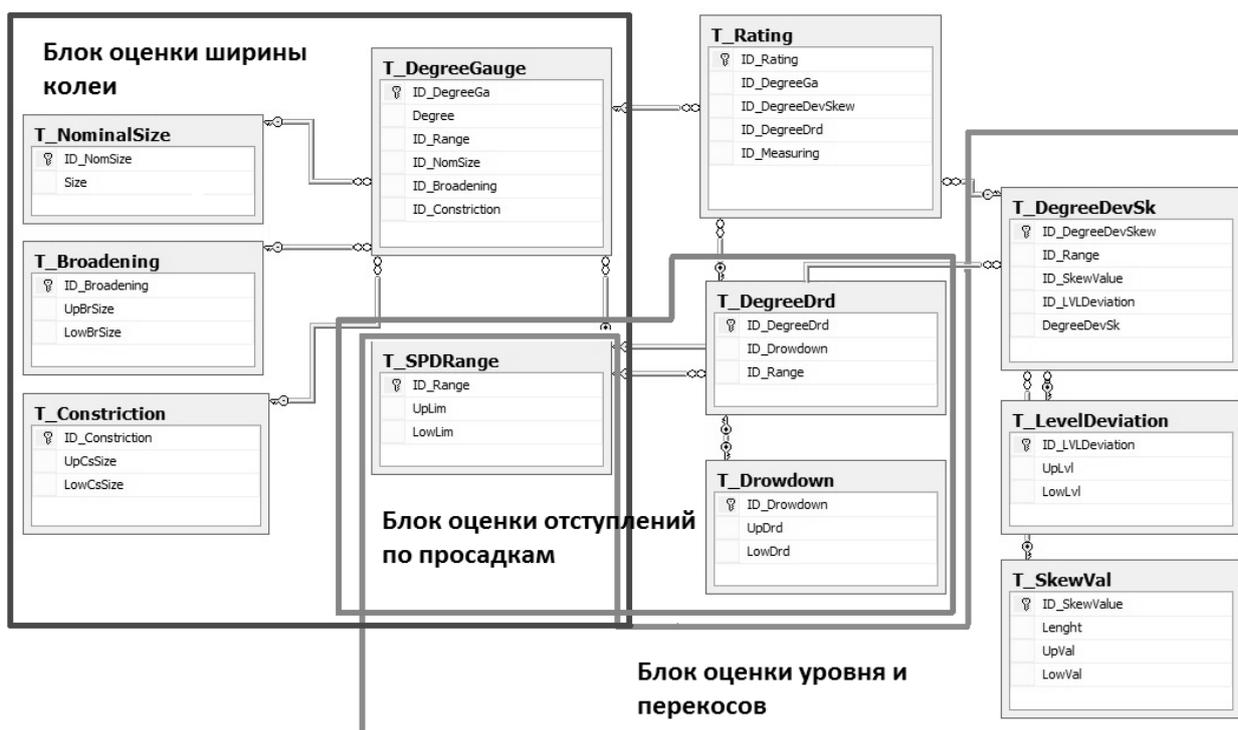


Рисунок 2. Схема базы данных.

Блок оценки ширины колеи содержит эталонные значения параметров и значение степени отклонения.

Ширина колеи [2] оценивается по нескольким параметрам: диапазон скоростей, разрешенный на данном участке пути, уширение и сужение при установленном номинале. Ширина колеи определяется по расстоянию между боковыми рабочими гранями рельсов в точке, расположение которой установлено соответствующими службами и оценивается по величине отклонения от номинального размера ширины колеи согласно нормативам таблиц. Для более подробного рассмотрения алгоритма получения оценки разберем пример. Отрезок железнодорожного пути с номинальной шириной 1524 мм и максимально допустимой скоростью 125 км/ч имеет значение уширения 10 мм. Номинальные размеры ширины колеи при различных радиусах установлены и закреплены соответствующими документами. При сравнении в БД будет выделена часть таблицы 4.1 [2] (рисунок 3) куда попадают значения скорости и номинальной ширины. После этого произойдет сравнение измерений уширения со справочными значениями и будет получена степень отклонения.

В данном случае степень отклонения равна 2, но только по одному из измерений, а для полной оценки необходимо получить оценки по всем параметрам. Сравнение остальных параметров производится аналогично. Так же при некоторых условиях существуют примечания, описывающие действия при некоторых особенностях конкретного участка пути.

Диапазон скоростей, км/ч	Степень	Уширение при номинале, мм				
		1520	1524	1530	1535	1540
121-140	1	от 8 до 9	от 8 до 9	от 5 до 6	-	-
	2	до 14	до 12	до 10	-	-
	3	до 18	до 14	до 12	-	-
	4	Больше				
		18	14	12	-	-

Рисунок 3. Таблица 4.1 [2], нормирующая уширение колеи.

Блок оценки уровня и перекосов содержит эталонные значения параметров, с которыми впоследствии информационная система будет проводить сравнение и выводить оценку отклонения.

Отклонения рельсовых нитей по уровню от номинальных значений разделяются на плавные отклонения и перекосы. Они оцениваются по таблице 4.4 [2] в зависимости от величины отклонения и его длины. Оценка уровня и перекосов так же проводится по нескольким параметрам.

Блок оценки отступлений по просадкам содержит информацию о просадках и степени их отступления. Блок содержит справочную информацию в 3-х таблицах.

Просадки рельсовых нитей, характеризующиеся неровностями рельсовых нитей в продольном направлении длиной до 10 м, определяются по каждой рельсовой нити по разности вертикальных перемещений ходовых колес тележки относительно кузова путеизмерителя. Просадки оцениваются поштучно (в зависимости от степени), к учету на километре принимается суммарное количество просадок по обеим нитям.

### ***Библиографический список***

1. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения(ЦП-515\_2012) - ОАО РЖД.
2. Эльхутов С.Н., Губанова А.Ю. Информационная система безопасности на транспортных объектах. Актуальные вопросы образования и науки: Сборных научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 января 2014г. в 15 частях. Часть 15; Мин. образования и науки РФ. Тамбов: Из-во ТРОО «Бизнес. Наука. Общество», 2014. – 152 с.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН

Ляпустина Л. Ю., Эльхутов С. Н. –научный руководитель  
Ангарская государственная техническая академия  
[esn@fromru.com](mailto:esn@fromru.com)

В настоящее время большинство промышленных предприятий, в том числе нефтегазового комплекса переходят от системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) к планово-диагностическим ремонтам (ПДР). В свою очередь система ПДР требует применения различных средств неразрушающего контроля для механического оборудования с вращающимися деталями в качестве средства неразрушающего контроля (НК) активно применяется анализ вибрации, однако для оборудования поршневого типа, имеющее возвратно-поступательное движение, применение такого типа НК не дает достаточной информации для определения технического состояния.

Наиболее информативным средством НК для поршневых машин является оценка неравномерности вращения вала. Для полноценного функционирования средства НК необходимо создание как аппаратной части, выполняющей собственно измерения, так и программной части, решающей вопросы накопления измерений мониторинга технического состояния.

**Целью работы** является разработка программного комплекса для определения технического состояния поршневых машин по данным неравномерности вращения вала.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть основные способы технического обслуживания промышленного оборудования;
2. Выполнить обзор основных средств неразрушающего контроля для машин поршневого типа;
3. Разработать структуру программного комплекса;
4. Разработать структуру базы данных для хранения измерений;
5. Разработать интерфейсную часть программного комплекса.

Для поддержания оборудования в технически исправном состоянии на промышленных предприятиях применяют три метода технического обслуживания оборудования:

- обслуживание оборудования после выхода его из строя;
- проведение планово-предупредительных ремонтов (ППР);
- обслуживание по фактическому (техническому) состоянию (ТО-поФС).

Обслуживание оборудования по фактическому состоянию с экономической точки наиболее выгодно, потому, что продляет период эксплуа-

тации и может инициировать ремонт работы до сроков ППР при ухудшении состояния оборудования [1].

Для функционирования такой системы, контроля надежности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов, узлов без выведения объекта из работы необходимо применение средств неразрушающего контроля. На сегодняшний день существует достаточно большое количество средств неразрушающего контроля:

- Электрический;
- Радиационный;
- Ультразвуковой;
- Визуально-оптические методы;
- Тепловые методы;
- Вибрационный.

Во многих отраслях промышленности, в том числе нефтехимической, как правило, широко используются насосно-компрессорное оборудование, представленное машинами поршневого типа, как на рисунок 1. Наиболее информативным средством неразрушающего контроля для оценки состояния поршневых машин является определение неравномерности вращения вала [2,3].

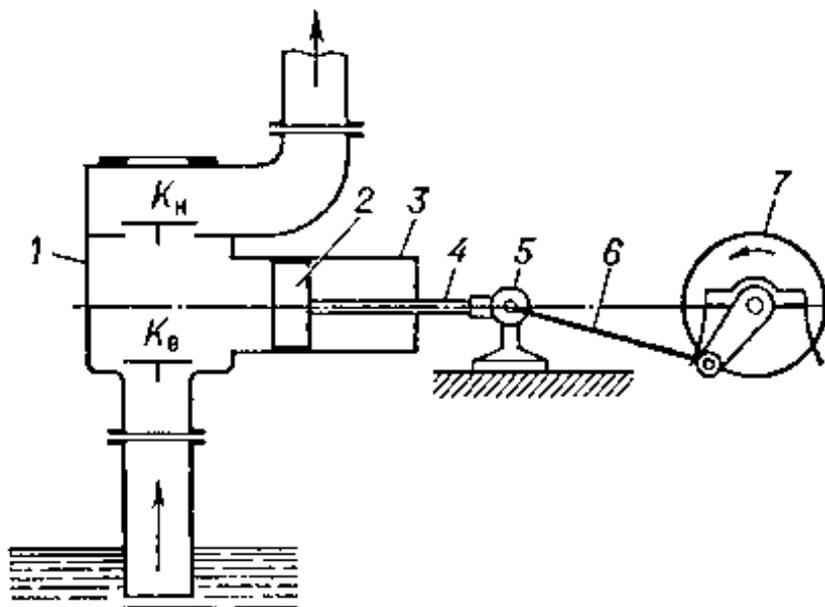


Рисунок 1. Схема приводного поршневого насоса одностороннего действия: 1 — рабочая камера; 2 — поршень; 3 — цилиндр; 4 — шток; 5 — крейцкопф; 6 — шатун; 7 — маховик;  $K_n$  — нагнетательный клапан;  $K_v$  — всасывающий клапан.

Основной причиной периодического изменения угловой скорости вала является неравномерность потребляемой мощности, обусловленная периодичностью рабочего процесса и кинематическими свойствами кри-

вошипно-шатунного механизма. Неравномерная потребляемая мощность при постоянном среднем подводимом крутящем моменте вызывает соответствующую неравномерность вращения вала. Источниками неравномерности вращения коленчатого вала могут служить клапанный механизм, цилиндро-поршневая группа, а так же рабочие процессы, происходящие в цилиндре.

В данный момент группой авторов выполняется разработка программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля поршневых машин. Одной из важных частей данного комплекса является информационная система определения технического состояния поршневых машин. Структура разрабатываемой информационной системы представлена на рисунке 2.

Блок ввода информации предназначен для обмена данными с устройством, измеряющим угол поворота коленчатого вала машины.

Блок доступа к базе данных – предназначен для управления базой данных измерений, структурирования данных, хранящихся в ней и для передачи данных в другие блоки информационной системы.

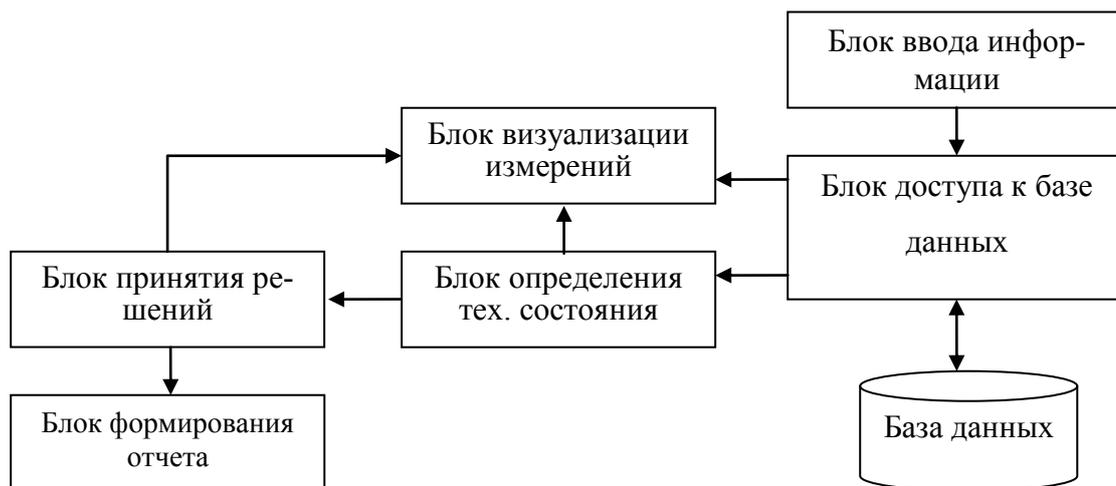


Рисунок 2. Структура программного комплекса

База данных содержит измерения, полученные с устройства, измеряющего угол поворота вала и хранящиеся в определенной иерархии.

Блок визуализации измерений – предназначен для визуального представления полученных измерений. Также этот блок позволяет накладывать на график положение основных фаз поршневой машины.

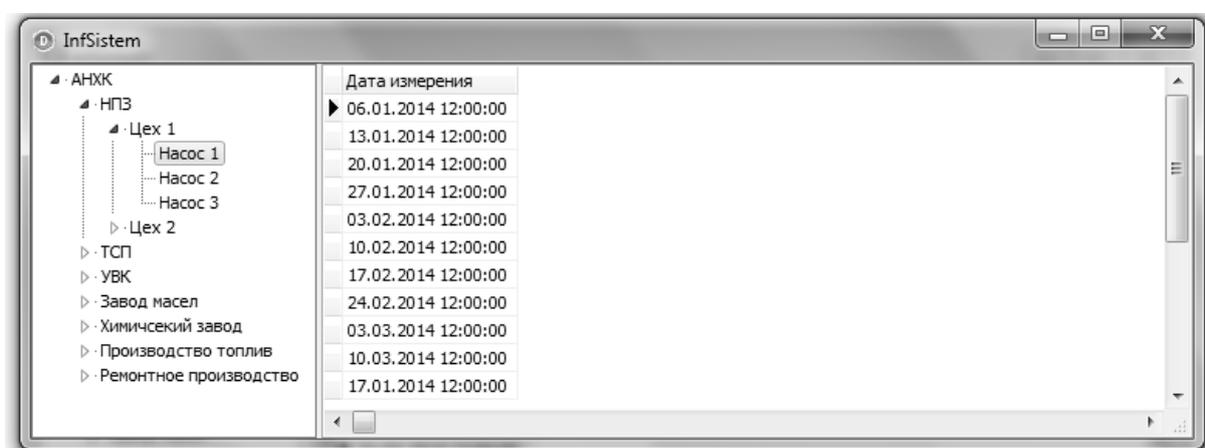
Блок определения технического состояния должен анализировать величину отклонений времени прохождения основных фаз поршневой машины.

Блок принятия решения предназначен для оценки технического состояния контролируемого оборудования.

Блок формирования отчета предназначен для формирования отчета о состоянии поршневой машины.

Разработка программного комплекса выполняется на языке программирования Delphi и среды MS SQL Server.

В рамках проекта была разработана информационная модель процесса и база данных. В базе данных предполагается хранение данных, получаемых с определенной периодичностью, как показано на рисунке 3. Программная часть содержит базовые характеристики контролируемых объектов: модель агрегата, составные части; количество цилиндров, угол открытия, угол закрытия впускного и выпускного канала и т.д.



The screenshot shows a software window titled 'InfSistem'. On the left is a tree view of equipment. The selected path is 'АНХК' > 'НПЗ' > 'Цех 1' > 'Насос 1'. On the right is a table with the following data:

Дата измерения
06.01.2014 12:00:00
13.01.2014 12:00:00
20.01.2014 12:00:00
27.01.2014 12:00:00
03.02.2014 12:00:00
10.02.2014 12:00:00
17.02.2014 12:00:00
24.02.2014 12:00:00
03.03.2014 12:00:00
10.03.2014 12:00:00
17.01.2014 12:00:00

Рисунок3. Даты измерений поршневой машины

Применение данной разработки совместно с аппаратным комплексом, измеряющим абсолютный угол поворота вала, позволит получать информацию о техническом состоянии насосов и компрессоров поршневого типа, что в свою очередь сделает возможным полноценное функционирование неразрушающего контроля для поршневых машин.

### ***Библиографический список***

1. Алексеев А.Б. Оптимизация профилактического обслуживания оборудования ВН // Энерго-Эксперт. - 2010. - №1.
2. Эльхутов С. Н., Ляпустина Л. Ю. Информационная система для определения технического состояния поршневых машин. Актуальные вопросы образования и науки: Сборных научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2013г. в 14 частях. Часть 12; Мин. образования и науки РФ. Тамбов: Из-во ТРОО «Бизнес.Наука.Общество», 2014. – 171с.
3. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Неразрушающий\\_контроль](http://ru.wikipedia.org/wiki/Неразрушающий_контроль).

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДУЛЯЦИОННЫХ КОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОДУЛЯЦИИ С МИНИМАЛЬНЫМ СДВИГОМ ЧАСТОТЫ

Черепанова Л.В. – магистрант, Засенко В.Е. – научный руководитель  
Иркутский государственный технический университет  
reirem@istu.edu

Манипулированные по частоте сигналы с непрерывной фазой при малых индексах модуляции позволяют получать малую занимаемую полосу и высокую скорость убывания интенсивности внеполосных излучений.

Если нулевой и единичный биты передаваемой информации, представленные на видеочастоте прямоугольными импульсами длительностью  $T_3$ , перенести на радиочастоты  $f_0$  и  $f_1$  с таким расчетом, чтобы разность этих частот составляла  $0,5/T_3$ , то полученные радиоимпульсы будут ортогональны [1]. Причем, при заданной длительности импульса эта разность частот будет минимальной для обеспечения ортогональности сигналов, поэтому сдвиг частот равный  $1/2T_3$  называют минимальным сдвигом частоты. Передача цифровой информации методом частотной манипуляции частотами  $f_0$  и  $f_1$  при условии, что  $(f_1 - f_0) = 1/2T_3$ , называется минимальной частотной манипуляцией с индексом модуляции  $m = 0,5$ . Индекс модуляции задает девиацию частоты, которая в данном случае будет составлять величину  $f_d = (f_1 - f_0)/2 = 1/4T_3$ .

Пусть «0» и «1» цифровой информации передаются при помощи минимальной манипуляции, тогда единичному биту будет соответствовать сигнал  $s_1(t) = \cos[2\pi(f_n + f_d)t]$ , а нулевой бит сигналом  $s_0(t) = \cos[2\pi(f_n - f_d)t]$ . Сигналы будут ортогональны на длительности  $T_3$ , если

$$\int_0^{T_3} s_1(t)s_0(t)dt = 0$$

Покажем, что при индексе модуляции  $m = 0.5$  условие ортогональности выполняется.

$$\int_0^{T_3} \cos[2\pi(f_n + f_d)t] * \cos[2\pi(f_n - f_d)t] dt = 0$$
$$\int_0^{T_3} \cos[2\pi(2f_n)t] dt + \int_0^{T_3} \cos[2\pi(2f_d)t] dt = 0$$

Оба эти интегралы будут равны нулю.

Одной из особенностей сигналов с минимальной частотной манипуляцией является непрерывность фазы высокочастотных колебаний при смене противоположных бит информации. Этот факт имеет важное значение, его наличие приводит к значительному снижению уровня

внеполосных излучений без ухудшения потенциальной помехоустойчивости манипуляции.

Аналитическое выражение для сигналов с минимальной частотной манипуляцией с непрерывной фазой и индексом модуляции  $m = 0,5$  можно представить в виде

$$u(t) = A \cos \left[ \omega_n t + \frac{a_k \pi t}{2T_3} \right] = A \left( \cos \frac{a_k \pi t}{2T_3} \cos \omega_n t - \sin \frac{a_k \pi t}{2T_3} \sin \omega_n t \right), \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда,  $\omega_n = \frac{2\pi(f_0 + f_1)}{2}$  – несущая частота,  $\frac{a_k \pi t}{2T_3}$  – девиация фазы,  $a_k = \pm 1$  – последовательность видеоимпульсов модуляционного кода, представленного в виде биполярного кода БВН,  $\cos \frac{a_k \pi t}{2T_3} = I(t)$  – низкочастотная синфазная составляющая сигнала,  $\sin \frac{a_k \pi t}{2T_3} = Q(t)$  – низкочастотная квадратурная составляющая сигнала,  $\cos \omega_n t$  и  $\sin \omega_n t$  – синфазная и квадратурная составляющие несущей частоты.

Из выражения (1) вытекает способ формирования сигнала с минимальной частотной манипуляцией. Для его осуществления необходимо образовать низкочастотные квадратурные компоненты, умножить их на квадратурные компоненты несущей частоты и просуммировать полученные колебания с учетом знака.

Для осуществления минимальной манипуляции необходимо иметь устройство, работающее по схеме двухканальной обработки сигнала, предназначенного для передачи, структурная схема обработки сигнала показана на рис. 1.

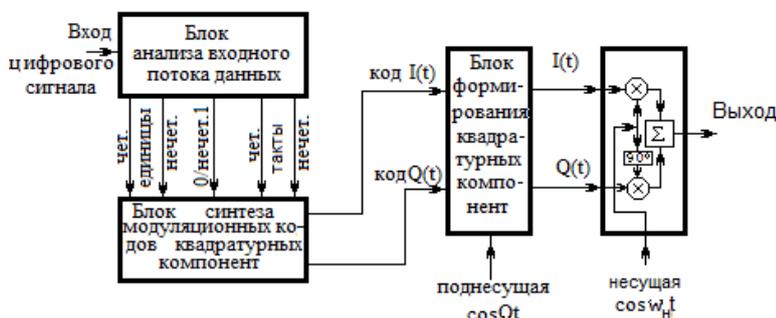


Рис. 1

В процессе построения модуляционных кодов квадратурных компонент решается задача распределения информационной последовательности по каналам в виде синфазной и квадратурной составляющих модуляционного кода, пригодного для создания манипулированных по фазе квадратурных составляющих гармонических колебаний, частота которых определяется девиацией частоты, необходимой для получения манипулированного по частоте сигнала с заданным индексом модуляции. С этой целью проводится анализ передаваемой последовательности. Процесс построения

модуляционных кодов квадратурных компонент можно представить в виде следующей последовательности операций:

- разложение последовательности на две последовательности, в одну из которых включаются четные единичные биты, а во вторую нечетные единичные биты;
- выделение нулевых бит информации, следующих после нечетных единичных бит передаваемой информации;
- выделение четных и нечетных тактовых интервалов.

При индексе модуляции равном 0,5 фаза несущего колебания должна изменяться на  $90^0$  за время длительности импульса. В рассматриваемом нами случае, когда  $m = 0,5$ , длительность импульса составляет четверть периода частоты девиации за это время фаза колебания изменяется на требуемые  $90^0$ .

Для выполнения условия непрерывности фазы необходимо смену текущего информационного бита на противоположный производить в моменты времени, когда амплитуда колебания частоты девиации проходит через нулевое значение. Замена текущего бита на противоположный равносильна изменению направления вращения вектора образованного квадратурными компонентами частоты девиации. Последнее достигается изменением знака одной из ее квадратурных составляющих. Поскольку длительность импульса, отображающего бит информации, составляет четверть периода частоты девиации, то с учетом двух квадратурных компонент переход амплитуды колебания через нуль, в одном из двух квадратурных каналов, происходит после каждого информационного импульса. С учетом этого и должна формироваться структура модуляционного кода.

Формирование манипуляционных кодов синфазного и квадратурного каналов, представляемых в двоичном коде, производится в два этапа.

Основу манипуляционного кода синфазного канала образует последовательность четных единичных бит кода, строка 3, рис.2, которая логически суммируется с импульсами, отображающими нулевые биты информации, стр. 4, следующие за нечетными единичными битами.

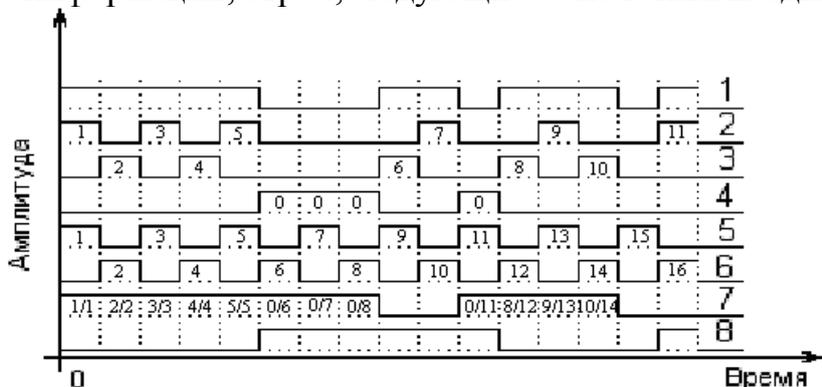


Рис.2.

Модуляционный код квадратурного канала образуется аналогичным образом, но с использованием последовательности нечетных единичных бит.

На втором этапе производится переме-

жение потоков квадратурной и синфазной ветви модуляционных кодов,

полученных на первом этапе. Производится обмен символами, между сформированными квадратурными потоками, организованный таким образом, что на четном тактовом интервале символы следуют на своих местах в сформированных потоках, а во время действия нечетного тактового интервала символы меняются местами. Описанный процесс демонстрируется в виде, представленном в таблице 1

Таблица 1

До перемеж.	Синфазная	$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$
	Квадратурная	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$
После перемеж.	Синфазная	$I_0$	$Q_1$	$I_2$	$Q_3$	$I_4$	$Q_5$	$I_6$
	Квадратурная	$Q_0$	$I_1$	$Q_2$	$I_3$	$Q_4$	$I_5$	$Q_6$

Модуляционные коды, полученные в процессе, описанной выше обработки, будут представлены в двоичном виде. Для дальнейшей работы необходимо произвести преобразование двоичного кода в биполярный код, код без возвращения к нулю, БВН. Сформированные таким образом квадратурные компоненты модуляционных кодов поступают на входы блока формирования квадратурных компонент, рис.1, в котором производится фазовая манипуляция квадратурных компонент частоты девиации  $\Omega = \frac{\pi}{2T_s}$ .

Процесс манипуляции квадратурной составляющей частоты девиации показан на рис.3. На рисунке показаны:

- а) квадратурная составляющая модуляционного кода, полученного описанным выше способом;
- б) квадратурная составляющая частоты девиации;
- с) манипулированная по фазе квадратурная составляющая частоты девиации.

Из рис.3 видно, что если смену знака производить точно в момент перехода через нуль колебания, отображающего частоту девиации, разрыв по фазе будет отсутствовать, а частота будет иметь другое значение, отличающееся от несущей частоты на величину  $\pm f_d$ .

Низкочастотные квадратурные компоненты, полученные на выходе блока формирования квадратурных компонент, поступают на квадратурный фазовый модулятор, в котором производятся действия отображаемые формулой (1).

Построение модуляционных кодов выполнено с таким расчетом, что когда  $a_k = 1$ , произведение  $IQ > 0$ , I и Q имеют одинаковые знаки, неважно, положительные или отрицательные, а когда  $a_k = -1$ , произведение  $IQ < 0$ , знаки сомножителей I и Q противоположны [2].

Из литературных источников известны другие подходы к формированию модуляционных кодов [3, 4]. Так в [4] предлагается способ формирования модуляционных кодов в котором используются другие

приемы обработки. Рассмотрим некоторые особенности предлагаемого способа.

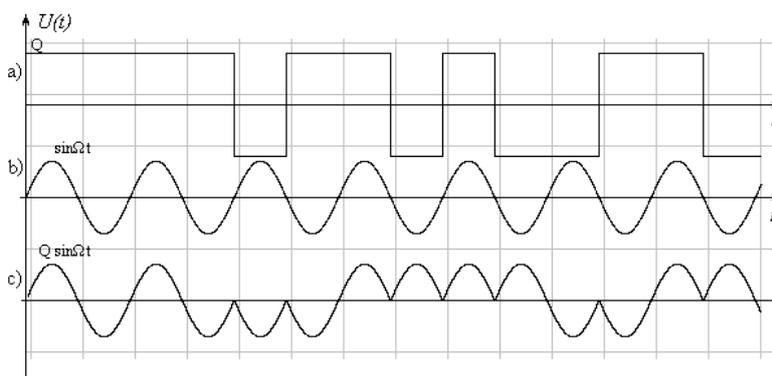


Рис. 3

Обработка сигнала также осуществляется в двух квадратурных каналах. Входная последовательность импульсов, представляющих цифровую информацию, предназначенную для передачи, поступает на дифференциальный кодер, который используется в модуляторах осуществляющих относительную фазовую манипуляцию сигнала.

После дифференциального кодирования производится разделение цифрового потока на два потока, на основании которых формируются синфазный и квадратурный каналы. Разделение осуществляется по принципу «четный – нечетный».

После разделения цифрового потока на два канала, в каждом канале производятся удвоение длительности единичных импульсов. Далее над последовательностью с удвоенными единичными импульсами производится операция преобразования двоичного кода в биполярный код, БВН.

Полученные модуляционные коды применяются для фазовой манипуляции квадратурных составляющих гармонического колебания с частотой равной частоте девиации, которой модулируют квадратурные составляющие несущей частоты.

Как показывают сравнения конечные результаты получаемые способом предложенным нами и рассмотренным выше хорошо согласуются.

#### ***Библиографический список***

1. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю. С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. – М.: Эко-Тренд, 2005. – 392 с.
2. В.Е. Засенко, Л.В. Просвирякова, В.Е. Шевченко. Способ передачи цифровой информации сигналами с минимальной частотной манипуляцией. Патент РФ №2475936, Бюл. №5, 2013 г.
3. Прокис Джон Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.: ил.
4. Электронный ресурс: <http://www.dsplib.ru/>

# **ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СИГНАЛА, МАНИПУЛИРОВАННОГО МЕТОДОМ МИНИМАЛЬНОГО СДВИГА ЧАСТОТЫ БЕЗ РАЗРЫВА ФАЗЫ**

**Кудякова О.Н.** – магистрант, **Засенко В.Е.** – научный руководитель  
Иркутский государственный технический университет  
reirem@istu.edu

Под помехоустойчивостью принято понимать способность радиоприемного устройства противостоять мешающему действию помех, сопровождающих сигнал в канале связи. Решение вопросов связанных с помехоустойчивостью возникли еще на заре развития радиосвязи, они успешно решались и решаются, но актуальность решения вопросов помехоустойчивости не ослабевает, так как с развитием радиотехнических систем, наблюдаемых в настоящее время, все больше возрастает уровень помех, обостряются вопросы электромагнитной совместимости.

В настоящее время вопрос помехоустойчивости решен теоретически строго для сигналов прошедших каналы, моделью которых может быть аддитивный гауссовский шум. При этом на сигнал накладывается ряд ограничений.

Высокочастотный сигнал ММС, полученный в процессе частотной модуляции с минимальным сдвигом частоты без разрыва фазы и с индексом модуляции 0,5, обладает тем свойством, что частоты, отображающие единичные и нулевые биты цифровой последовательности, являются ортогональными и находятся во взаимнооднозначном соответствии с цифровым сигналом. В то время, как элементарные сигналы, носители информации, имеют между собой тесную связь, выражаемую в том, что фаза колебания в конце предыдущей посылки совпадает с начальной фазой последующей [1,2]. Это достигается путем специальной обработки цифровой последовательности с помощью двухканальной (квадратурной) схемы с целью получения манипуляционных кодов, обеспечивающих непрерывность фазы высокочастотного сигнала.

Очевидно, что если такая связь существует, то идеальная демодуляция сигнала на данном тактовом интервале не может проводиться независимо от демодуляции связанных с ним сигналов других тактовых интервалов. По этой причине, если не принять предположение о независимости сигналов на различных тактовых интервалах, то задача поиска алгоритма идеального приема значительно усложнится.

Целью данной работы является определение помехоустойчивости приема сигналов с ММС.

Распространенным способом получения сигналов ММС с индексом модуляции 0,5 является суммирование квадратурных составляющих колебаний несущей частоты, модулированных амплитудно-фазовой модуляцией одноименными квадратурными компонентами колебания, частота кото-

рого равна девиации частоты. Причем, квадратурные компоненты гармонических колебаний частоты девиации предварительно манипулируются по фазе специально сформированными модуляционными кодовыми последовательностями. На рис.1 приведен процесс получения сигналов с ММС, где показано:

а) Манипулированная по фазе квадратурная составляющая поднесущей частоты  $Q \cdot \sin \Omega t$ ;

б) Модулированная по фазе и амплитуде квадратурная составляющая несущей частоты  $Q \cdot \sin \Omega t \cdot \cos \omega t$ ;

с) Выходной сигнал квадратурного модулятора –

$$I \cdot \cos \Omega t \cdot \sin \omega_0 t + Q \cdot \sin \Omega t \cdot \cos \omega_0 t = A \sin[\omega_0 t + (IQ) \Omega t],$$

полученный в результате суммирования сигналов синфазной и квадратурной ветвей модулятора.

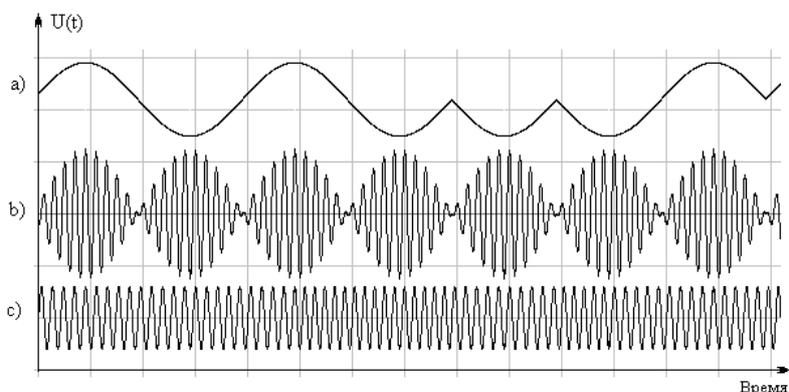


Рис.1

Последнее означает, что частотная манипуляция с минимальным сдвигом частоты осуществляется с помощью двоичной фазовой манипуляции.

При распространении сигнала в канале связи на сигнал  $s(t, x_q)$  накладываются шумы, так что на выходе канала появляется напряжение смеси сигнала с помехой

$$r(t) = s(t, x_q) + u_n(t), \quad (1)$$

Что касается аддитивной помехи  $u_n(t)$ , то она может иметь самые разные свойства. Предположим, что наша помеха представляет собой стационарный нормальный шум с равномерной спектральной плотностью  $N_0$  Вт/Гц. Плотность вероятности такого шума выражается следующим образом

$$p_n[u_n(t)] = \left(\frac{1}{2\pi N}\right)^{n/2} \exp\left\{-\frac{1}{N_0} \int_0^T u_n^2(t) dt\right\} \quad (2)$$

где  $N = \Delta f N_0$  – мощность шума;  $\Delta f$  – полоса частот в которой сосредоточен спектр реализации;

$n = 2 \Delta f T$  – число степеней свободы;  $T$  – длительность реализации.

Допустим, что вероятность принимаемой в данный момент реализации  $r(t)$  будет равна вероятности того, что помеха примет значение равное

$$u_{\text{п}}(t) = r(t) - s(t, x_q), \quad (3)$$

Тогда,

$$p \left[ \frac{r(t)}{s(t, x_q)} \right] = p_{\text{п}}[u_{\text{п}}(t)] = p_{\text{п}}[r(t) - s(t, x_q)] \quad (4)$$

Подставим значение (3) в формулу (2), получим

$$p[r(t)/s(t, x_q)] = \left( \frac{1}{2\pi N} \right)^{n/2} \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \int_0^T [r(t) - s(t, x_q)]^2 dt \right\} \quad (5)$$

Эта формула позволяет синтезировать структурную схему оптимального приемника бинарных сигналов с известными параметрами. Приемник должен вычислять и сравнивать величины условных вероятностей по формуле (5) для первого и второго сигналов.

Формулу (5) можно упростить. Учитывая то, что экспоненциальная функция монотонная, достаточно вычислять и сравнивать величины определяющие показатель степени экспоненты.

$$\frac{1}{N_0} \int_0^T [r(t) - s(t, x_q)]^2 dt \quad (6)$$

После возведение в квадратподинтегрального выражения, интеграл (6) представляется в виде суммы трех интегралов, два из которых не играют роли при сравнении вероятностей. А третий интеграл

$$\lambda_q = \frac{2}{N_0} \int_0^T r(t)s(t, x_q)dt, \quad (7)$$

называемый корреляционным, вычисляется приемником для первого и второго сигналов и сравнивается друг с другом. Решение принимается в пользу того сигнала, для которого корреляционный интеграл будет иметь большее значение.

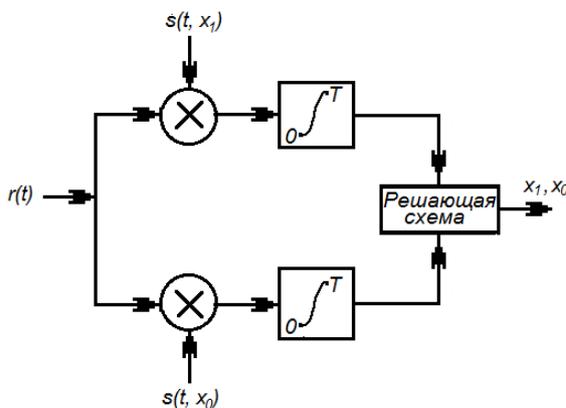


Рис. 2

Структура функциональной схемы оптимального приемника при полностью известных параметрах бинарных сигналов, построенная в соответствии с алгоритмом (7) показана на рис.2.

Задачу вычисления помехоустойчивости будем решать следующим образом: примем, что в действительности был передан, например, первый сигнал  $S_1(t)$  и найдем вероятность того, что приемником будет зарегистрирован второй сигнал  $S_0(t)$ , что и определит вероятность ошибки. В соответствии с этим предположением сигнал, поступающий на вход приемника на рассматриваемом тактовом интервале, в действительности:

$$r(t) = S_1(t) + n(t), \quad (8)$$

где  $n(t)$  — реализация шума БГШ канала, имевшая место на этом тактовом интервале.

Учитывая алгоритм работы идеального когерентного приемника, отображаемый выражением (7), найдем, что вычисленные приемником коэффициенты составят:

$$\lambda_1 = \int_0^{T_6} S_1^2(t) dt + \int_0^{T_6} n(t) S_1(t) dt = E_1 + \zeta_1 \quad (9)$$

Где

$$\zeta_1 = \int_0^{T_6} n(t) S_1(t) dt \quad (10)$$

и

$$\lambda_2 = \int_0^{T_6} S_1(t) S_0(t) dt + \int_0^{T_6} n(t) S_0(t) dt = \sqrt{E_1 E_0} \rho + \zeta_0. \quad (11)$$

Здесь  $\rho = \frac{1}{\sqrt{E_1 E_0}} \int_0^{T_6} S_1(t) S_0(t) dt$  называется нормированным коэффициентом корреляции сигнала, его величина по модулю не превосходит единицы.

Когда сигналы подобны друг другу, т.е. когда  $S_1(t) = K S_0(t)$ , то  $\rho = 1$ , где  $K$  — любая положительная константа, рис.3 а).

Если  $S_1(t) = -K S_0(t)$ , то  $\rho = -1$ . Сигналы, имеющие коэффициент взаимной корреляции  $\rho = -1$  называются противоположными, рис. 3, б).

Ортогональные сигналы не взаимодействуют друг с другом и их коэффициент взаимной корреляции равен нулю  $\rho = \frac{1}{\sqrt{E_1 E_0}} \int_0^{T_6} S_1(t) S_0(t) dt = 0$ , рис.3в).

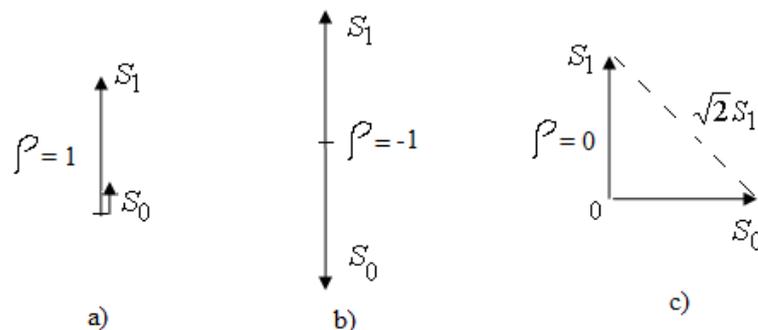


Рис.3

Вычисленные коэффициенты правдоподобия  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  принимают случайные значения т. к. шум может принимать различное значение на разных тактовых интервалах, а эти коэффициенты зависят от уровня шума.

Вероятность ошибки при идеальном приеме, составляет

$$P_{\text{ош}} = \Phi \left[ \frac{1}{\sqrt{2N_0}} \sqrt{E_1 + E_0 - 2\sqrt{E_1 E_0} r} \right]. \quad (12)$$

Последнее выражение полностью определяет потенциальную помехоустойчивость когерентного приема сигналов при двоичной манипуляции. В соответствии с ним помехоустойчивость зависит лишь от энергий ЭС и их взаимной корреляции. Важно, что она не зависит от конкретной формы сигналов и, в частности, от занимаемых ими полос частот.

Из последнего выражения следует, что при двоичной фазовой манипуляции достигается максимум помехоустойчивости, так как  $r = -1$ ,

$$P_{\text{ош}} = \Phi(\sqrt{2}h_0). \quad (13)$$

Отметим, что это соотношение имеет место независимо от конкретной формы ЭС. В частности, оно относится и к случаю, когда сигналы представляют собой противоположные по фазе отрезки синусоиды, т.е. при ФМ2.

Наконец, рассмотрим случай, когда ЭС ортогональны ( $r = 0$ ) и нормированы (ортонормированные сигналы). Тогда из (12) получим

$$P_{\text{ош}} = \Phi(h_0). \quad (14)$$

Если учесть, что идеальный приемник для приема ММС сигналов строится по типу корреляционного на каждой из двух частот, на частоте передачи единичного бита информации и на частоте передачи нулевого бита, а частотная манипуляция получается на основе фазовой, то вероятность ошибки в каждом частотном канале и для приемника в целом можно оценить по стандартному выражению  $P_{\text{ош}} = \Phi(\sqrt{2}h_0)$ . Отсюда делаем вывод, что потенциальная помехоустойчивость сигналов ММС не хуже чем у фазоманипулированных сигналов ФМ2.

Кроме того, следует отметить, что сигналы с ММС лишены главного недостатка сигналов ФМ2 – негативной работы.

### ***Библиографический список***

1. Прокис Джон. Цифровая связь. Пер. с англ./Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.: ил.
2. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебн. Пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
3. В.Е. Засенко, Л.В. Просвирякова, В.Е. Шевченко. Способ передачи цифровой информации сигналами с минимальной частотной манипуляцией. Патент РФ №2475936, Бюл. №5, 2013 г.

# ОСОБЕННОСТИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Нырко́в А.П.– магистрант, Засе́нко В.Е.– руководитель  
Иркутский государственный технический университет  
reirem@istu.edu

## 1. Постановка проблемы

Телекоммуникационные технологии в последние годы переживают значительные перемены, связанные с конвергенцией сетей, возникновением и внедрением новых услуг связи, способов их доставки потребителям, все это положено в основу концепции сетей связи следующего поколения NGN (NextGenerationNetwork).

Для сетей третьего поколения характерны существенные особенности, выделяющие ее в новый класс телекоммуникационных систем, среди которых следует отметить:

- использование пакетных технологий передачи и коммутации для обмена всеми видами информации;
- применение систем коммутации с распределенной архитектурой, которые отличаются от функционально ориентированных телефонных станций;
- отделение функций, которые касаются поддержки услуг, от коммутации и передачи;
- обеспечение возможности широкополосного доступа и мультисервисного обслуживания трафика вида "triple-play services" (речь, данные и видео);
- реализация функций эксплуатационного управления (в том числе и тех, что делегированы пользователям) за счет Web технологии.

Передача информации в форме пакетов через NGN основана на протоколах IP (InternetProtocol). Но принципы построения NGN существенно отличается от тех, по которым создана сеть Интернет. Здесь, прежде всего, следует отметить то, что в сетях NGN вводится поддержка заранее заданных показателей качества обслуживания (QoS - quality of service). Основное назначение NGN – предоставление потребителям широкого спектра современных услуг связи, получивших название инфокоммуникационных.

Необходимость реализации новых инфокоммуникационных услуг вызвала бурное развитие технологий, результаты которых наблюдаются сегодня. В процессе создания сетей NGN появляется ряд проблем, требующих внимательного рассмотрения. К ним можно отнести вопросы, касающиеся как определения и классификации самих инфокоммуникационных услуг, так и возможности их дальнейшего развития, их живучести и возможности модернизации, востребованности пользователями, способности удовлетворения потребностей пользователей. Решение указанной проблемы может облегчить правильный выбор на перспективу того или

инового продукта из широкого круга предлагаемых рынком инфокоммуникационных технологий, развиваемых в условиях постоянно растущей конкуренции между производителями услуг, использующих различные технологии, быстрый прогресс которых постоянно вносит изменения в номенклатуру услуг связи.

## **2. Особенности и классификация инфокоммуникационных услуг**

Процессы информатизации, конвергенции связи и информатики, стремительный рост информационных потребностей и ожиданий, необходимость обеспечения высокоскоростного доступа к информационным ресурсам и мобильности передачи информации обусловили формирование электронной экономики, комплексной отрасли инфокоммуникаций и рынка инфокоммуникационных услуг (ИКУ).

История развития инфокоммуникационных сетей свидетельствует, что можно рассматривать два вида взаимодействия услуг и технологий. Первый процесс - разработка технологий, вызванная необходимостью предоставления услуг, на которые уже сформирован платёжеспособный спрос. Характерным примером можно считать систему спутниковой связи для трансляции программ телевидения или телефонизации удалённых (труднодоступных) населённых пунктов. Второй процесс - разработка новых услуг на базе появившейся на рынке технологии. Простейший пример этого процесса - IP телефония, порождённая одноимённой технологией.

В настоящее время известно множество видов инфокоммуникационных услуг. Но далеко не все они пользуются спросом у абонентов. Предлагаемая классификация инфокоммуникационных услуг приведена на рис. 1.

Инфокоммуникационные услуги делятся на три большие группы. Первую группу образуют телекоммуникационные услуги. Они, в свою очередь, делятся на основные и дополнительные услуги.

Вторая группа инфокоммуникационных услуг может быть представлена с помощью классификации, которая предложена для широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО).

Услуги, называемые «Без управления пользователем», представляют собой потоки видео- и звуковой информации. Пользователю недоступен обратный канал для управления процессом получения информации. Услуги, называемые «С управлением пользователя», обеспечивают потенциальному абоненту доступ к обратному каналу. Эти услуги можно разделить на три класса, показанные в нижней части рис. 1.

Характерным примером услуг «Поиск информации» может считаться использование функциональных возможностей Интернета.

Услуги по обработке информации включают такие возможности, как квалифицированный перевод текста на иностранный язык, сложные вычисления и прочее. Рынок этих услуг начинает активно развиваться.

Блок «Новые виды услуг» представляет ряд перспективных направлений в информационном бизнесе. Необходимо так развить инфокоммуникационную систему, чтобы эти услуги могли быть предоставлены потенциальным клиентам по мере формирования платёжеспособного спроса.

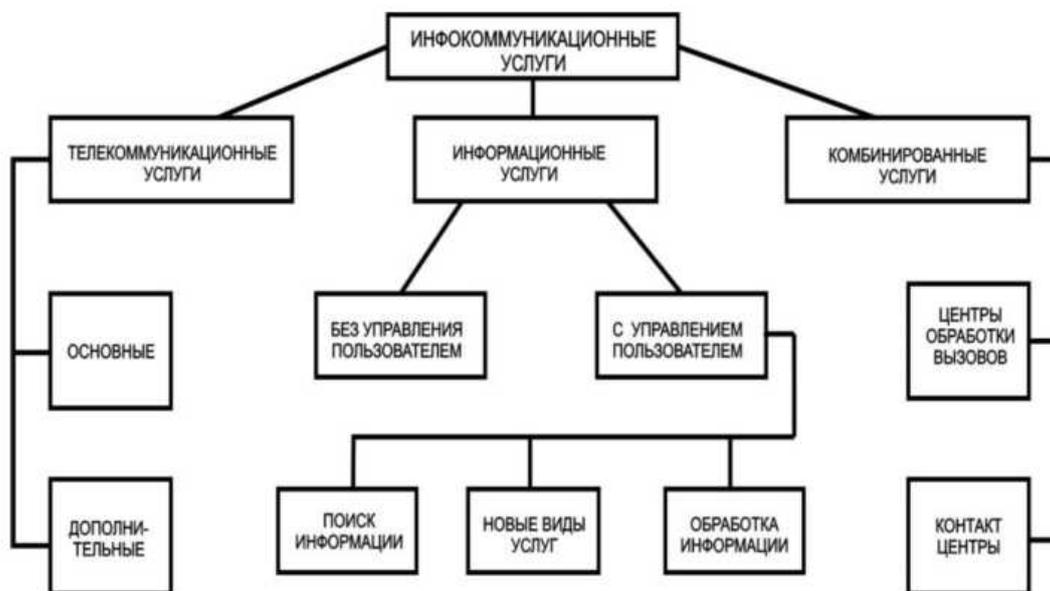


Рис.1

Третья группа получила название «Комбинированные услуги» по той причине, что она включает, в разных сочетаниях, телекоммуникационное и информационное обслуживание. Характерными примерами таких услуг могут считаться виды обслуживания, предоставляемые центрами обработки вызовов (CallCenter, ContactCenter) и услуги виртуального офиса.

На сегодняшний день признаки по которым можно осуществить классификацию ИКУ уточняются и расширяются.

### 3. Участники предоставления инфокоммуникационных услуг

Объединение телекоммуникаций и информатизации привело к появлению новых инфокоммуникационных структур – Интернет-провайдеров, что породило ещё один тип организационных и финансовых взаимоотношений между различными участниками мультимедийного рынка.

Информация, накопленная человечеством, имеет достаточно сложную структуру и распределена между многочисленными первичными источниками. У каждого первичного источника имеется владелец (распорядитель) контента, устанавливающий возможность и порядок использования информации. По его усмотрению часть информации (иногда даже в полном объёме) может быть предоставлена для ограниченного или открытого доступа. Эта часть образует информационные ресурсы, выступающие

для инфокоммуникационной деятельности в роли предметов труда и являющиеся базой для создания инфокоммуникационных продуктов.

Отличительной чертой информационных ресурсов, создаваемых в инфокоммуникационном комплексе, является их мобильность, когда не потребитель территориально перемещается к ресурсам, а наоборот, информация доставляется к потребителю.

Продукцией инфокоммуникационной отрасли является сама информация (контент) и услуги по её передаче. С организационной точки зрения отрасль инфокоммуникаций представляет собой совокупность предприятий и организаций, основная деятельность которых направлена на предоставление регионам коммуникационных ресурсов.

Для описания сферы инфокоммуникационного обмена и выявления её особенностей построена концептуальная модель[2], приведенная на рис. 2.

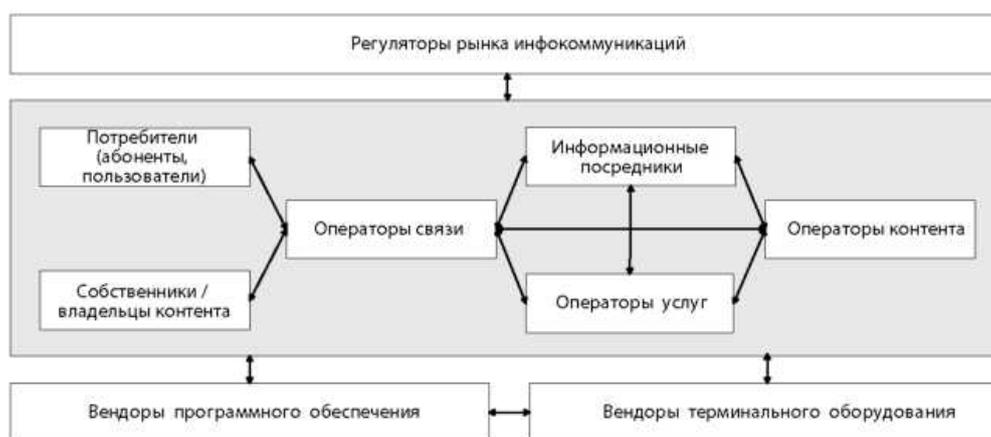


Рис. 2. Модель взаимодействия субъектов информационных отношений

Регуляторами рынка инфокоммуникационных услуг являются национальные органы, организации, осуществляющие свою деятельность посредством разработки и реализации государственной политики, направленной на обеспечение эффективной деятельности его участников. Среди хозяйствующих в этой отрасли субъектов доминируют провайдеры, выполняющие функции по переработке и предоставлению контента, и операторы связи, осуществляющие передачу информации на расстоянии.

Информационные посредники это субъекты информационных отношений, предоставляющие ИКУ по запросам потребителей и (или) собственников/владельцев контента. В некоторых моментах могут участвовать вендеры программного обеспечения и терминального оборудования, это связано с их специализацией на разработке и (или) продаже программного и технического обеспечения, соответственно, для реализации самой услуги. В процессе своей работы все они вместе в той или иной степени взаимодействуют между собой, а также устанавливают контакты с владельцем контента и потребителем.

Эти отношения складываются под воздействием процессов информационного обмена, составляющего одно из важнейших условий человеческого существования.

Для реализации такого варианта информационного обмена необходимо не только применение соответствующих технических средств, но и создание определённых условий, к основным из которых относятся:

- организация информационных ресурсов в форме, доступной для ориентации внешних пользователей;
- установление и поддержание телекоммуникационной связи между терминалом потребителя и транспортной сетью, объединяющей различные компоненты информационных ресурсов;
- наличие программного обеспечения, позволяющего согласовывать в реальном масштабе времени функционирование разнообразных устройств, задействованных в процессе обмена.

Выполнение этих условий возможно только при совместном участии трёх составляющих инфокоммуникационного комплекса: информационной, транспортной и программной.

#### **4. Заключение**

С социально-экономической и организационной точек зрения внедрение ИКУ представляет собой вид деятельности, субъектов информационных отношений, направленный на обеспечение оптимальных условий по удовлетворению информационных потребностей. Мобильность, доступность, пакетная форма и единая платформа предоставления мультисервисных и мультимедийных ИКУ позволяют потребителю в интерактивном режиме активно участвовать в процессе их производства и реализации. Предложенная система классификационных признаков ИКУ даст возможность выполнить многомерную классификацию инфокоммуникационных услуг, что приведет к повышению эффективности разработки политики маркетинга, продаж, тарификации услуг организаций отрасли, будет способствовать дальнейшему развитию информационно-коммуникационной инфраструктуры и информационного общества в стране.

#### ***Библиографический список***

1. Саморезов В.В. Модели предоставления инфокоммуникационных услуг. Автореферат диссертации на соискании ученой степени кандидата технических наук. – С-Пб.: СПбГУТ, 2005.
2. Забродская К.А. Инфокоммуникационные услуги: сущность, особенности, классификация. – Вестник связи, 2013, №5 – 27с.
3. Оганезов Э.С., Кузнецова С.Э. Особенности функционирования сферы инфокоммуникационных услуг в постиндустриальной экономике. – Вестник СибГУТИ, 2011, №1 – 54с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ РАЗРЯДА В СИСТЕМЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УДЧ**

**Калинин С.А., Яшкардин Р.В., Герасимов М.А., Сорокин К.С.**  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
mopsless7@gmail.com

При разработке системы получения УДЧ в импульсном дуговом разряде, необходимо иметь достаточно точное представление о процессах, которые происходят в ней. Обычно при решении подобных задач необходимо применение предварительных исследований либо на экспериментальных образцах, либо на математических моделях этих систем. Однако, нередко также бывают случаи, когда такие подходы к решению проблем являются почти нереализуемыми. Связано это может быть с трудностью идентификации параметров процесса, неравновесностью условий, сложным нелинейным характером воздействия и т.д.

В частности, это относится к системам с использованием мощного импульсного дугового разряда, перемещающегося по поверхности электрода. При описании процессов на электродах прямые измерения представляют значительную трудность по ряду причин:

- во время разряда выделяется значительная мощность - порядка 10 МВт;

- длительность импульса очень мала – менее 100 мкс;

- разряд, параметры плазмы которого сложно определить, во время горения перемещается по электродам.

Методы прямых измерений параметров плазмы с такими условиями являются очень дорогостоящими. Поэтому для анализа остаются лишь интегральные характеристики. Проверять каждую операцию при помощи сканирующего зондового микроскопа, исследуя получающиеся подложки, слишком долго и дорого. Одной из самых информативных характеристик является динамика изменения напряжения на электродах.

**Цель:** определение параметров плазмы разряда путём сравнения экспериментальных и теоретических зависимостей изменения напряжения на основных электродах во времени.

**Задача:** составление математической модели, позволяющей описать процессы в плазме, составить схему замещения и получить теоретические данные о параметрах для последующего сравнения с экспериментом.

Для составления математической модели, необходимо предварительное описание физики процессов в системе. После зажигания вспомогательного разряда в цепи, ток протекает по контуру, включающему в себя высоковольтный трансформатор, Ток от конденсаторов, протекающий по системе согласования, идёт по контуру, и доходит до основных электродов, а инициирующий искровой разряд вызывает

повышение температуры до 4000К, после чего газ приобретает проводимость и начинает ионизоваться. Затем расширение областей ионизированного газа, при их пересечении, приводит к возникновению основного разряда. Ток начинает проходить по плазменному шнуру. Под воздействием силы, возникающей при взаимодействии магнитных полей токов электродов и плазмы, разряд начинает двигаться вдоль рельсов от точки подключения электродов. При этом в плазменный сгусток происходит вклад больших мощностей.

В данной системе параметры являются распределёнными, то есть, в каждой точке свойства её не зависят от времени. Поэтому, необходим переход к системе с сосредоточенными параметрами. После этого перехода, из отдельных элементов стало возможным воздать схему замещения системы питания и плазмы разряда. С помощью расчётной среды численно реализовали математическую модель. Математическая модель – совокупность уравнений Кирхгофа, записанных для этой схемы замещения с учётом того, что многие элементы этой схемы нелинейные.

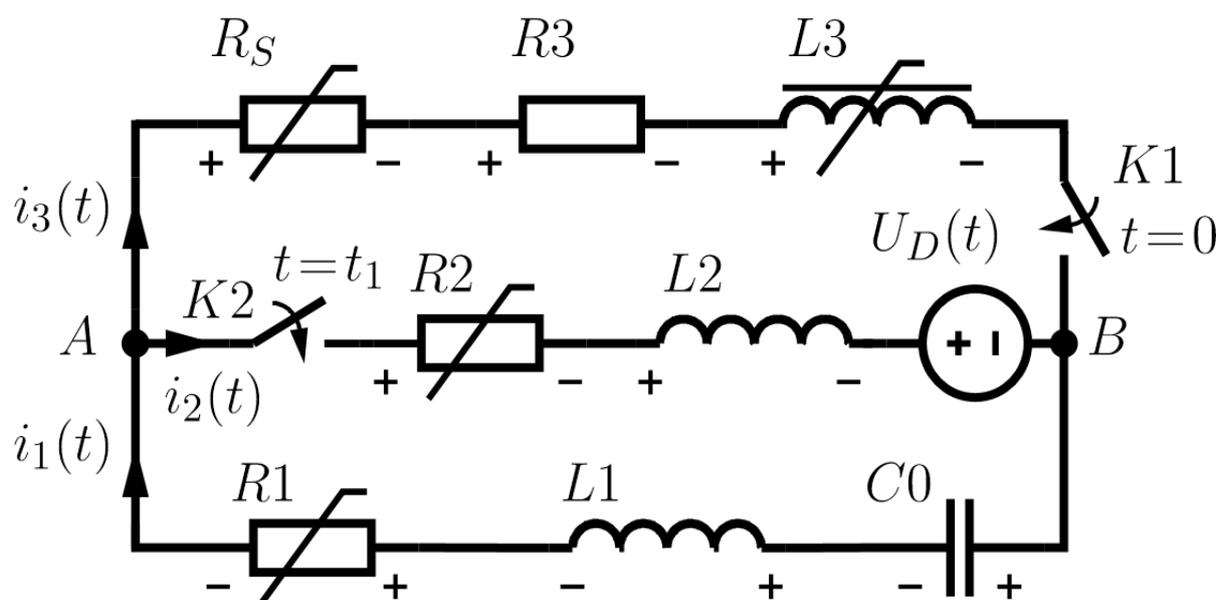
В предварительных исследованиях был получен ряд осциллограмм, по которым может быть составлена схема замещения. Сопоставляя экспериментальной осциллограмме теоретические данные, полученные для этой схемы замещения, можно найти параметры каждого из элементов этой схемы, кроме единственного –  $R$  плазмы. Известно, что сопротивление плазмы больше, чем сопротивление у электрода. Значит, напряжение на ней тоже значительно больше, следовательно, измеряя системой диагностики динамику напряжения на электродах, превалирующая часть получаемого падения напряжения – на плазме.

Нелинейности и линейности элементов определялись путём прямых измерений, выполненных на разных частотах, а их зависимость от времени и от формы импульса, учитывалась эффективная глубина проникновения тока формы, которая получалась при расчёте процессов в схеме замещения.

В результате сравнения эксперимента и теории, оказалось возможным методом подбора сопоставить теоретический результат и эксперимент.

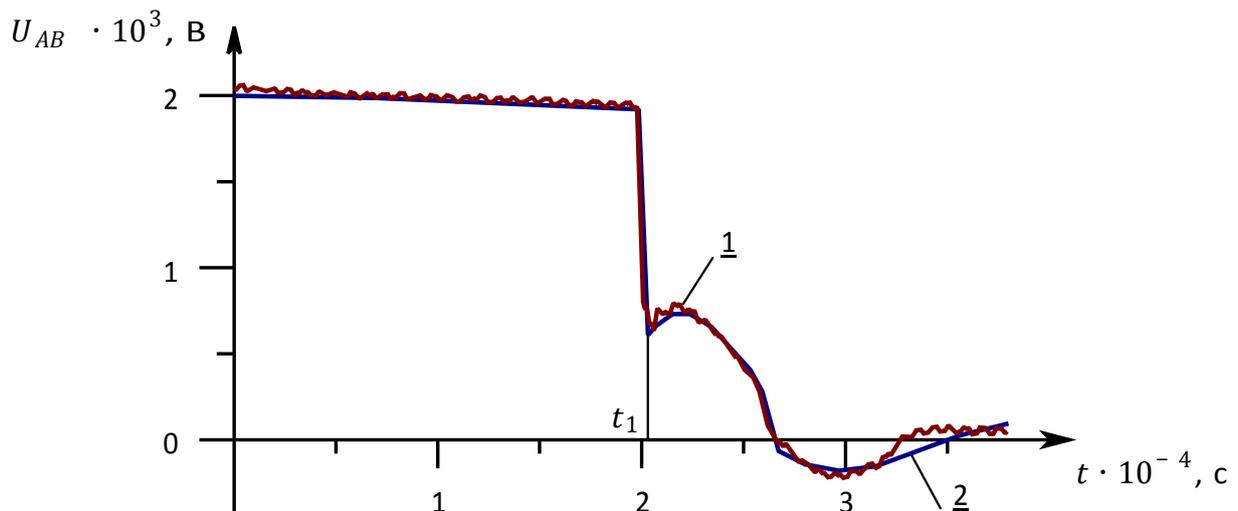
В цепи питания для согласования ёмкостного накопителя с основными электродами используется коаксиальный кабель. Для процессов длительностью  $10^{-6}$  секунды, можно рассматривать его как цепь с сосредоточенными параметрами (нижняя ветвь Рисунка 1). При этом необходимо учесть, что его активное сопротивление будет существенно зависеть от формы протекающего через его материалы тока (1). Также, чтобы не рассчитывать происходящие во вторичной обмотке трансформатора электромагнитные процессы, её можно заменить на нелинейную индуктивность и активное сопротивление (верхняя ветвь Рисунка 1). Сопротивление плазмы разряда определялось согласно (2), а

его характеристики относительно времени были выведены согласно модели, представленной в (3). Острийные электроды включены параллельно вторичной обмотке повышающего трансформатора. Инициация основного разряда происходит при подаче на вторичную обмотку трансформатора импульса высокого напряжения, вследствие чего происходит искровой пробой двух промежутков между парами основных и острижных электродов (закрывается ключ  $k1$  и ток начинает течь по средней ветви). Ключ  $K2$  замыкается когда ток начинает течь по установившемуся плазменному каналу дугового разряда.



**Рисунок 1** Эквивалентная схема замещения системы для получения УДЧ в импульсном дуговом разряде

В предложенной схеме замещения  $C_0$  — суммарная емкость накопителя энергии (в опытах 500мкФ),  $L_1$  и  $R_1$  — индуктивность и активное сопротивление токоподводов и рабочей части основных электродов,  $L_3$  и  $R_3$  — индуктивность и активное сопротивление вторичной обмотки выходного повышающего трансформатора источника питания системы предварительной ионизации,  $L_2$  и  $R_2$  — индуктивность и активное сопротивление плазмы основного разряда,  $U_D(t)$  — ее противо-ЭДС,  $R_S$  — активное сопротивление плазмы иницирующего разряда.



**Рисунок 2 Сопоставление экспериментальных (1) и теоретических (2) данных.**

Полученная схема замещения при подстановке в неё необходимых параметров позволила получить существенное сходство экспериментального значения с тем, что было рассчитано для математической модели. При этом видно, что в момент времени  $t_1$ , происходит пробой и ток от конденсаторов, заряженных до 2 кВ, начинает течь через плазменный канал – напряжение очень сильно начинает падать по мере увеличения тока (вплоть до 50кА) и снижения сопротивления плазмы, а значит, формирования плазменного канала. Затем начинают играть роль процессы, связанные с энергией, накопленной в индуктивности коаксиальных кабелей, после чего энергия из них постепенно уходит и импульс затухает.

В приведённой ниже таблице, определены результаты теоретических расчётов параметров системы для предварительных экспериментов.

**Таблица 1 Параметры технологической системы в разных опытах**

№ опыта	$U_0$ , кВ	$I_{max}$ , кА	$L_2$ , мкГн	$R$ , Ом	$T_1$ , мкс	$T_2$ , мкс	$\Delta T$ , мкс ( $T_2 - T_1$ )	$T_{Gap}$ , мкс
1	1,5	13,60	0,5	0,035	431	518	87	370

2	2	19,15			345	416	71	286
3	2,5	24,84			260	328	68	203
4	3	32,69	0,4	0,03	126	189	63	66
5	1,5	13,69	0,5	0,035	321	400	79	265
6	2	18,81			258	325	67	199
7	2	18,89			244	311	67	186
8	2,5	23,95			200	264	64	141

В приведённой таблице  $T_{Gap}$  – время до пробоя,  $R$  – сопротивление плазмы,  $U_0$  – заряд конденсаторной батареи,  $\Delta T$  – время энерговклада индуктивности кабелей,  $I_{max}$  – максимальный ток в цепи.

Как видно, проведённые исследования позволили произвести математическое моделирование процессов в цепи, а, значит, на основе этой математической модели может быть создана система диагностики процессов в плазме разряда, применение которой позволит существенно упростить контроль технологического процесса получения УДЧ.

### *Библиографический список*

1. Гончаров В.Д. Самсонов Д.С. Горбачёв Н.П. Оценка ширины спектра физического импульса.
2. Яшкардин Р.В. Система диагностики технологической установки для получения ультрадисперсных частиц.
3. Самсонов Д.С. Электроимпульсная технология получения ультрадисперсных материалов
4. Калинин С.А. Элементы технологической установки получения ультрадисперсных частиц в импульсном дуговом разряде

## **РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО АДАПТЕРА ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

**Латыпов Е.С., Лисишин А.Р., Пинкин А.А., Фискина М.М.**

Иркутский государственный технический университет

office@ntckumir.ru

В эпоху глобального энергетического кризиса и попытки энергоресурсосбережения, в нашей стране также был принят закон о более эффективном энергетическом потреблении и учёте всех видов ресурсов. Производителей приборов учёта достаточно много, которые параллельно под свои приборы создают оборудование и системы для дистанционного сбора данных. Но зачастую система и GSM-модемы одного производителя не подходят под оборудование другого. Это создает неудобства потребителям: жилищным компаниями, бюджетным организациям, так как парк оборудования, зачастую, состоит из приборов разных производителей. Есть и другие производители оборудования дистанционного сбора данных, но нужна универсальная система. В итоге от потребителя требуется либо устанавливать много стороннего ПО на ПК и при этом платить за каждую программную лицензию отдельно, либо искать универсальную систему учёта, которая бы была способна работать с приборами GSM-модемом любого производителя, которых не так много.

Одной из таких универсальных систем является информационно-измерительной системы «КУМИР-Ресурс». Данная система работает на территории Иркутской области, республики Якутия, а также в городах: Тюмень, Владимир, Санкт-Петербург и др. Для подключения объектов в этих городах использовались модемы собственного производства КУМИР-М31, М32 и модемы американской компании Enfora — Enfora GSM1318.

Для работы с системой «КУМИР-Ресурс» модемы должны иметь ТСР/IP стек и возможность работы в режиме сервера, но не все модемы имеют такие возможности. К примеру, в городе Тюмень было установлено большое количество модемов компании «Взлёт», не имеющих необходимых возможностей, поэтому возникла проблема подключения приборов учёта к системе. Проблема была решена при помощи написания альтернативной микропрограммы для модема. Такое решение проблемы невозможно применить для всего разнообразия решений от других производителей, поэтому было решено разработать устройство, которое обеспечивало бы работу с системой модемов любых производителей.

Кроме проблемы описанной выше, существует ещё одна, связанная с работой самих счётчиков. При опросе прибора учёта, он (например «ТЭМ-

05») может отправить такой объем данных, что модем просто не сможет его передать на сервер, так как у модема есть ограничения по объёму передаваемых данных.

Таким образом ключевыми задачами разработки стали:

1. Работа с любым прибором учёта имеющего интерфейс RS-232/485.
2. Работа с любым модемом связи.
3. Поддержка протоколов обмена с большими объёмами передаваемых данных (больше 512 байт).

В качестве основы для разрабатываемого адаптера было решено использовать 32-ти битный ARM процессор STM32F103 компании STMicroelectronics. Данный процессор имеет относительно невысокую стоимость, высокую производительность по сравнению с микроконтроллерами фирмы AVR, а так же низкое энергопотребление. Ниже приведён список некоторых его характеристик:

1. процессор – ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU Core
2. максимальная частота процессора – 75МГц
3. объем Flash-памяти – 1 МБайт
4. объём оперативной памяти — 96 КБайт

В связи с тем, что архитектура ARM процессоров значительно отличается от наиболее распространённых архитектур, таких как архитектура контроллеров Atmel и Microchip, для ускорения разработки и отладки устройства была использована отладочная плата STM32F103 discovery изображённая на рисунке 1.

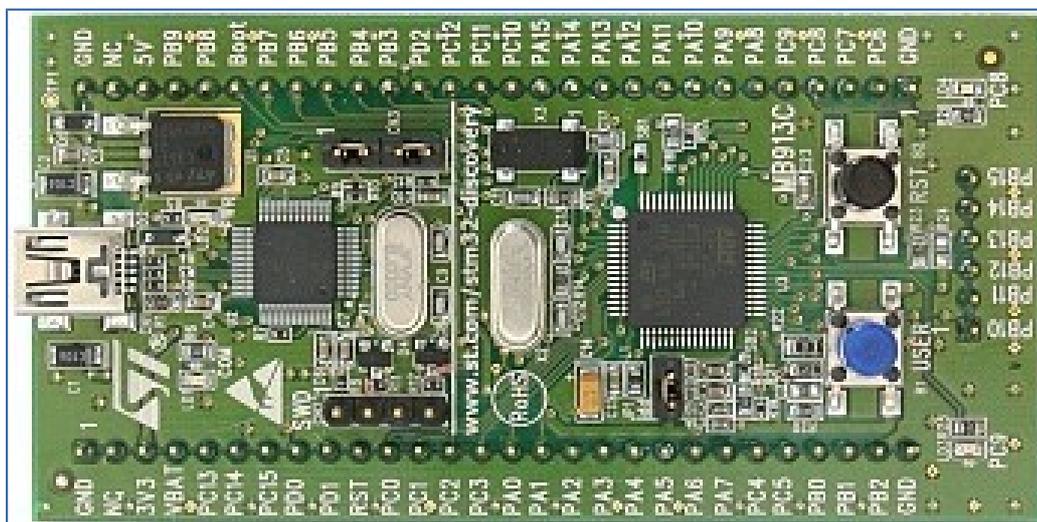


Рис. 1. Отладочная плата для STM32F103

Её преимуществами являются встроенный программатор, наличие USB, RS-232/485 интерфейсов, выводы управляющих портов, наличие

светодиодов для индикации работы программы, несколько кнопок, возможность вывода всей отладочной информации. Кроме того к плате прилагается необходимое программное обеспечение, а так же стартовый проект, на примере которого можно ознакомиться с возможностями ARM процессора и написать программу.

Сам адаптер является связующим звеном между прибором учёта и любым имеющимся модемом. Он же и управляет модемом, настраивая канал связи. На рисунке 2 представлена структурная схема.

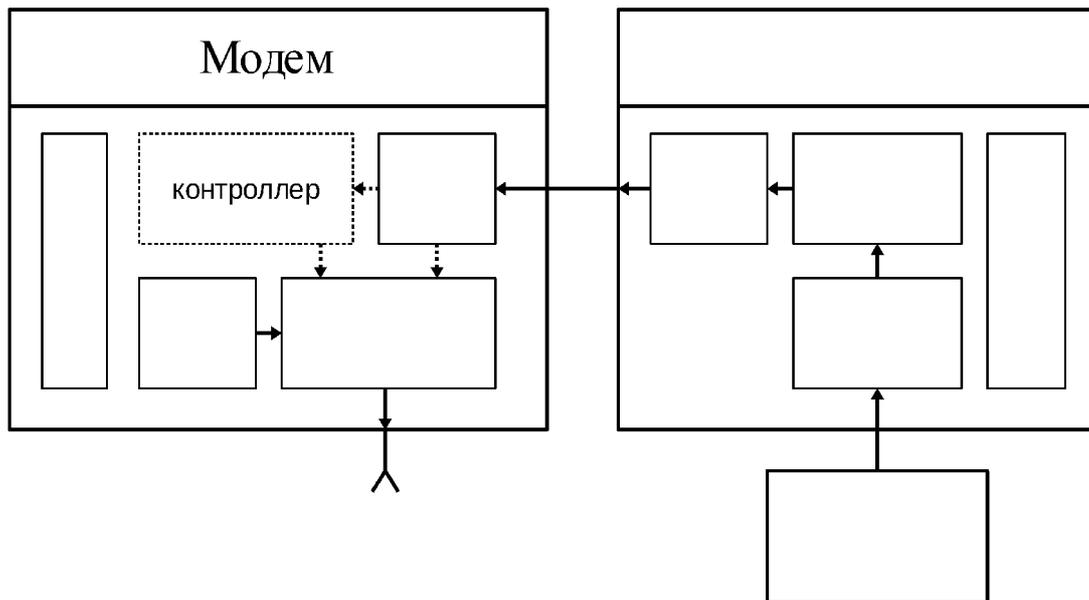


Рис. 2. Структурная схема

Адаптер представляет собой устройство с двумя com-портами, один из которых предназначен для подключения GSM - модема, другой для подключения любого прибора учёта имеющего промышленные интерфейсы RS-232/485.

В связи с тем, что модемы различных производителей имеют различные настройки rs-232/485 интерфейса (такие как скорость, чётность, количество стоп бит, количество передаваемых бит), поэтому на начальном этапе адаптер осуществляет перебор настроек интерфейса rs-232/485 и отправку тестовых команд для установления связи с модемом. После того, как связь с модемом установлена, адаптер настраивает модем таким образом, чтобы он отвечал за передачу данных по GPRS каналу напрямую без обработки, т.е. модем выступает, в данном случае, только в качестве приемопередатчика. Такая настройка осуществляется в несколько этапов. Сначала адаптер отправляет модему команды, чтобы тот зарегистрировался в сети оператора и был готов передавать информационные пакеты по сети GSM. Далее по PPP-протоколу происходит регистрация модема в системе

«КУМИР-Ресурс». После регистрации модем получает IP-адрес. Адаптер после регистрации модема переходит в режим ТСР/IP сервера.

После того как адаптер получил IP-адрес и создал ТСР/IP сервер, устройство переходит в режим ожидания данных от прибора учёта либо запроса от системы. В случае прихода данных происходит обработка принятых пакетов и отправка их к прибору учёта и наоборот.

Адаптер позволяет сохранять в памяти управляющего контроллера запрошенные данные, превышающие лимит возможно передаваемых промышленными модемами. При этом контроллер по протоколу разбивает данные на пакеты заданного размера и, управляя модемом, обеспечивает последовательную их передачу.

Результатом проделанной работы является устройство, которое может работать с GSM-модемами любого производителя. Устройство было протестировано с GSM-модемами компаний Пульсар, Взлёт, Siemens и др. На рисунке 3 представлен опытный образец изготовленного устройства и его испытание.

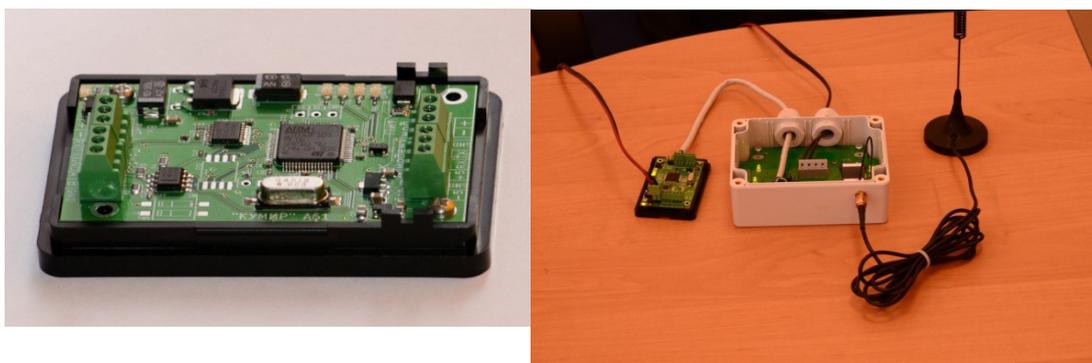


Рис. 3. Опытный образец и его испытание

#### ***Библиографический список***

1. [http://www.st.com/stonline/stappl/resourceSelector/app?page=fullResourceSelector&doctype=application\\_note&LineID=1565](http://www.st.com/stonline/stappl/resourceSelector/app?page=fullResourceSelector&doctype=application_note&LineID=1565)
2. Пинкин А.А. Организация учёта ресурсов на базе системы «КУМИР-РЕСУРС» // Современные проблемы радиоэлектроники и связи. Иркутск, 2012.-292 с.
3. Бирючев А.Д., Ныркова Н.В., Фискин Е.М., Фискин М.Е. Универсальный адаптер для GPRS модемов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2013. - Том 2 - 392 с.

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОПЕЧАТАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ, ПРИБОРА КОНТРОЛЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПКВ/М6Н

Парфентьев Н.А., Просвирякова Л.В.

Иркутский государственный технический университет

E-mail: rts\_lab@istu.edu

Целью настоящей работы является разработка системы управления термопринтером SeikoInstrumentsLPT1245. Для создания системы управления было необходимо изготовить кросс-плату управления, которая подключается к микроконтроллеру NXPLPC1768. Термопринтер используется в приборе безразборного контроля высоковольтных выключателей ПКВ М6Н.

Данный принтер состоит из двух основных частей: печатающей головки и системы подачи бумаги. Печатающая головка представляет собой аппарат, который нагревает необходимые нам точки. Информация к ней приходит через односторонний SPI интерфейс. Данные переданные принтеру записываются в буфер принтера при помощи сдвигового регистра, далее нагреваются те точки, на которых пришла логическая единица.

Для управления шаговым двигателем принтера, была использована микросхема питания шаговых моторов малой мощности LB1831M.

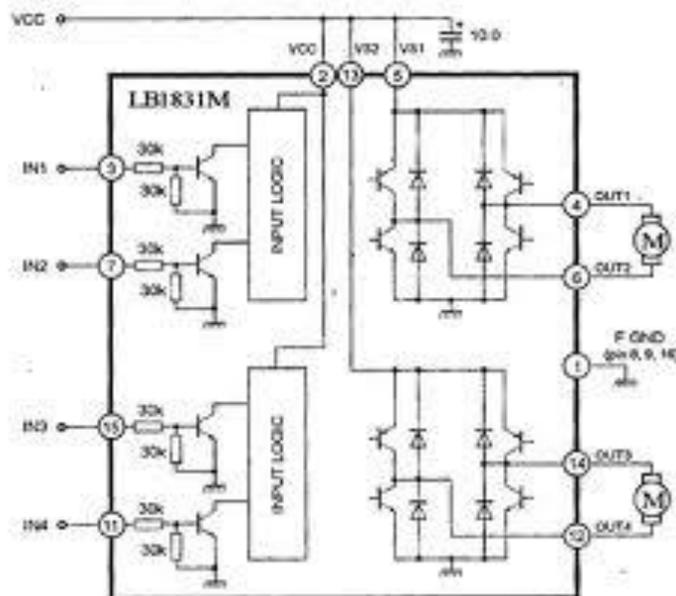


Рисунок 1 – принципиальная внутренняя схема микросхемы LB1831M

Для запуска шагового двигателя необходимо формировать две пары противофазных импульсов, сдвинутых на четверть периода друг относи-

тельно друга. Эта группа импульсов формируется на микроконтроллере и подается на вход микросхемы LB1831M.

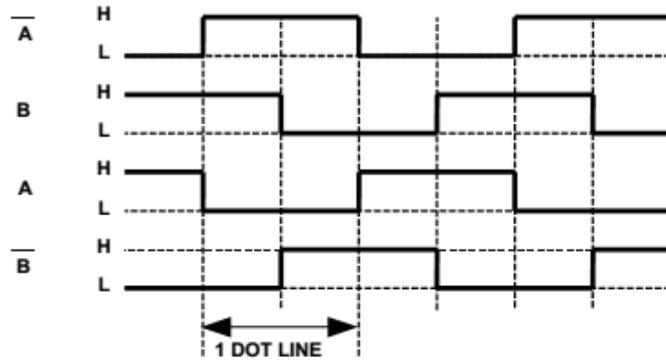


Рисунок 2 – График групп противофазных сигналов, для управления шаговым двигателем.

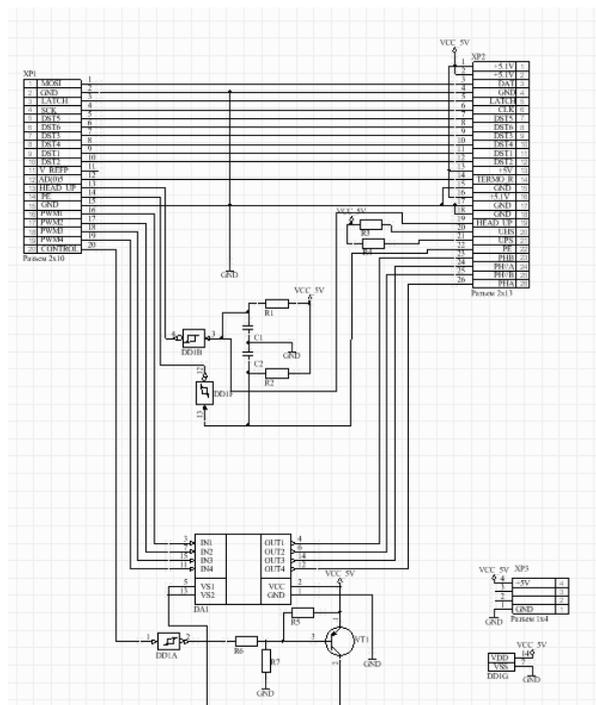


Рисунок 3 – Принципиальная схема кросс-платы для управления термопринтером.

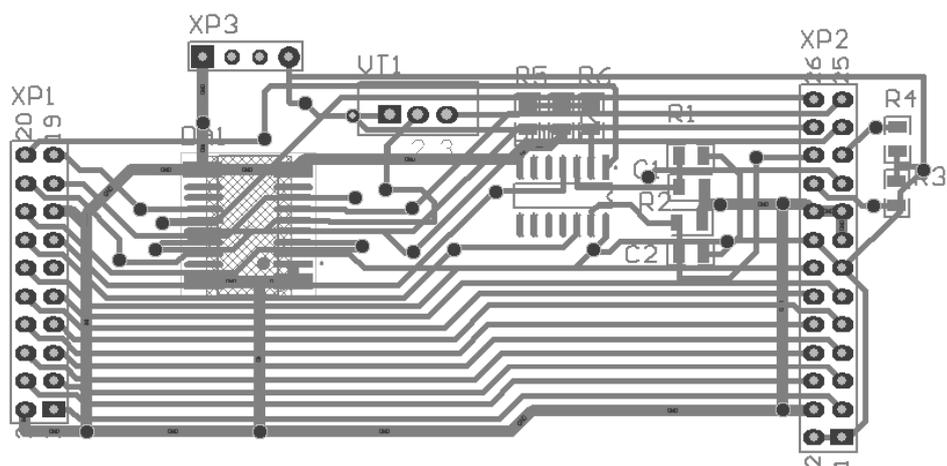


Рисунок 4 –Топология кросс-платы принтера

После изготовления кросс-платы принтера была написана программа управления для устройства термопечати, которая представляет собой драйвер принтера с подключенной к нему графической библиотекой.

Основные требования к созданию графической библиотеки:

- создание аппаратно-независимую библиотеку для устройств термопечати

- библиотека должна быть совместима с драйверами устройств термопечати

- библиотека должна быть выполнена на языках С/С++(предпочтительно С++ для реализации объектно-ориентированной библиотеки графических объектов)

- поддержка термопринтеров APSEPM203 и SeikoInstrumentsLPT1245

Настоящий проект является отладочным макетом системы термопечати прибора безразборного контроля высоковольтных выключателей ПКВ М6Н. Необходимость создания данного проекта возникла в связи с устареванием микроконтроллера Z80, поскольку графическая библиотека и программы управления были написаны на ассемблере, было необходимо писать новые программы управления и графическую библиотеку.

#### ***Библиографический список***

1. Сабунин А. AltiumDesigner. Новые решения в проектировании электронных устройств.

2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1998. -704 с.

3. [http://www.nxp.com/documents/user\\_manual/UM10360.pdf](http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10360.pdf).

4. [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LPC1769\\_68\\_66\\_65\\_64\\_63.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1769_68_66_65_64_63.pdf) .

5. <http://www.skbpribor.ru/about/>

6. Тревор М. Микроконтроллеры ARM7. Семейство LPC2000 компании Philips:Пер. с англ. – Додэка XXI.

**ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ  
КОМПЛЕКС СБОРА И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ  
ИНФОРМАЦИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО  
ПЛАЗМООПТИЧЕСКОЙ МАСС-СЕПАРАЦИИ**

**Казанцев А.В.**

Иркутский государственный технический университет  
kazanets@gmail.com

**Введение**

Метод плазмооптической масс-сепарации включает получение квазинейтрального аксиально-симметричного потока плазмы с помощью плазменного ускорителя, транспортировку потока через азимутатор, в котором в поперечном радиальном магнитном поле ионы получают импульс в азимутальном направлении, прохождение потока через сепарирующий объем, где создается стационарное радиальное электрическое поле и который находится в области слабого продольного постоянного магнитного поля, замагничивающего электроны, собирание ионов на кольцевые приемники ионов, расположенные в расчетных по длине и радиусу сепарирующего объема положениях [1, 2].

Исследуемый плазмооптический масс-сепаратор (ПОМС-Е-3) [2, 3] предназначен для разделения трехкомпонентного потока ионов, извлекаемого из плазмы смеси газов (азот, аргон, криптон). Особенность ПОМС-Е-3 – способность разделять немонотонные потоки ионов. Таким образом, масс-сепаратор состоит из источника плазмы – плазменного ускорителя с анодным слоем, азимутатора – области радиального (поперечного к направлению движения ионов) постоянного магнитного поля и сепарирующего пространства, где ионы, разделенные по массам в азимутаторе собираются на индивидуальные коллекторы.

На текущей стадии исследования основное количество результатов получается с применением зондовой (ленгмюровские и эмиссионные зонды) и корпускулярной (энергоанализаторы) диагностики.

Энергоанализаторы заряженных частиц позволяют получать информацию о функции распределения ионов по энергии. Среди них выделяют энергоанализаторы с задерживающим потенциалом (ЭЗП; многосеточные) и дифференциальные энергоанализаторы. ЭЗП – универсальный широкоапертурный с высокой светосилой прибор, имеющий малые размеры и помещаемый непосредственно в плазму в точку измерения ее параметров. Сигнал с коллектора – кривая задержки  $I_i = f(E_i)$  для получения спектра ионов по энергии дифференцируется:  $dn_i/dE = -dI_i/dU$ , где  $I_i$  – ток ионов на коллектор,  $E_i$  – энергия иона,  $U$  – изменяющийся с максимального, эквивалентного максимальной энергии ионов, до нуля потенциал задерживающей сетки.

Дифференциальные энергоанализаторы дают непосредственно спектр ионов по энергии. Это узкоапертурные приборы, имеющие высокое пространственное разрешение, малую, по сравнению с ЭЗП светосилу – поэтому снабжаются умножителями потока частиц и усилителями и, в основном, имеют собственную вакуумную систему, что затрудняет их использование для локальных измерений в низкотемпературной плазме.

На сигналы с обоих энергоанализаторов при работе с плазмой, плазменными ускорителями накладываются помехи – «шумы» плазмы, локальные пробои, электромагнитные наводки.

### **Постановка задачи**

Разработка универсального плазмооптического масс-сепаратора, который может использоваться, например, для разделения на три фракции отработавшего ядерного топлива, требует проведения большого числа предварительных экспериментов по определению траекторий разделяемых ионов многокомпонентной смеси. При этом ионы имеют широкий спектр по энергиям (от нескольких потенциалов ионизации до 2 кэВ) и большой угловой разброс, что требует применения перемещаемых в пространстве распространения потока ионов энергоанализаторов с широкой апертурой и большой светосилой. Масс-сепарация предполагается квазистационарным процессом, когда интересуются изменениями параметров потока плазмы с характерным временем  $t \leq 1$  с.

Энергоанализаторы для диагностики результатов масс-сепарации должны иметь автоматическую систему регистрации и обработки сигналов. Существующие системы регистрации с ЭЗП [4, 5] не обеспечивают помехозащищенный прием и обработку сигналов, поэтому в докладе сообщается о разработанной системе регистрации и обработки сигналов, в которой обеспечена помехозащищенная регистрация сигналов энергоанализатора ЭЗП и приведены первые результаты ее использования в составе плазмооптического масс-сепаратора ПОМС-Е-3.

### **1. Аппаратное обеспечение**

Структурная схема комплекса показана на рис. 1. Аппаратное обеспечение включает персональный компьютер (ПК), аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи, регулируемый встроенный источник высокого ( $0 \div 2$  кВ) напряжения типа БНВ-30. ПК NI PXIe-8115, АЦП и ЦАП NI PXIe-6361 сконфигурированы в шасси NI PXIe-1078. Коммуникации между ПК и АЦП/ЦАП осуществляются по интерфейсу PXI [6].

Основные характеристики элементов комплекса:

ПК NI PXIe-8115:

- процессор: Intel Core i5-2510E 2,5 ГГц;

- ОЗУ: 2ГБ;
- ОС MS Windows 7x86.

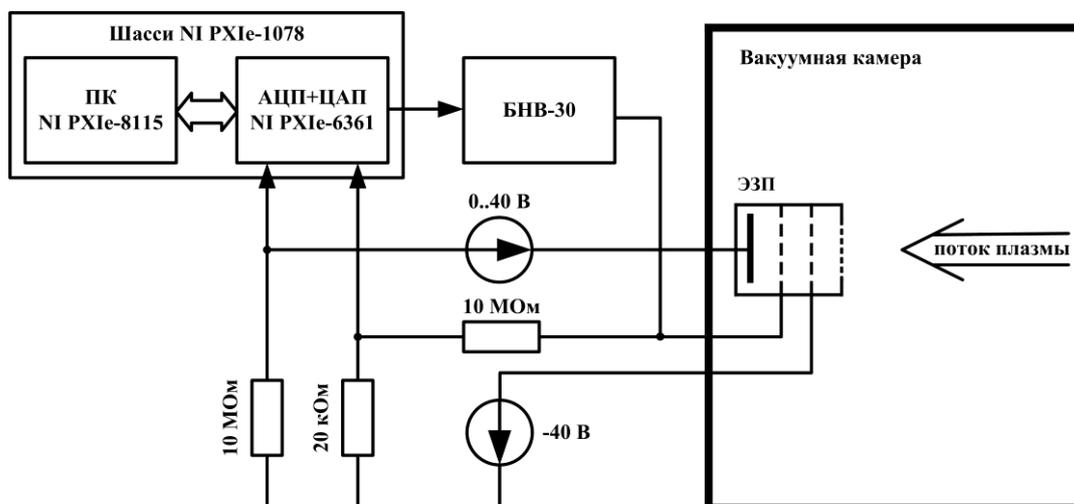


Рис. 1. Структурная схема комплекса

АЦП NI PXIe-6361:

- количество каналов: 16 несимметричных или 8 дифференциальных;
- разрядность: 16 бит;
- диапазон входного напряжения: от  $\pm 0,1\text{В}$  до  $\pm 10\text{В}$ ;
- частота дискретизации: 2МГц в одноканальном режиме; 1МГц – в многоканальном.

ЦАП NI PXIe-6361:

- количество каналов: 2;
- разрядность: 16 бит;
- диапазон выходного напряжения:  $\pm 5\text{В}$ ,  $\pm 10\text{В}$ ;
- частота вывода: до 2,86МГц.

Источник высокого напряжения БНВ-30:

- диапазон выходного напряжения: от 0 до 4000В;
- диапазон выходного тока: от 0 до 3мА;
- пульсации выходного напряжения: не более 20 мВ.

Для управления величиной выходного напряжения блока БНВ-30 (задерживающего потенциала ЭЗП) используется ЦАП, выход которого заведён в схему обратной связи БНВ-30. Для управления используется постоянное напряжение, при этом управляющее и выходное напряжения связаны соотношением  $U_{упр}/U_{вых} = 1/558$ .

Измерение напряжения на задерживающей сетке и тока коллектора ЭЗП производится АЦП, на один из входов которого через резисторный делитель напряжения с коэффициентом 1/500 подаётся напряжение с вы-

хода блока БНВ-30, а на другой – падение напряжения на резисторе номиналом 10 МОм, включенном последовательно в цепь коллектора.

## 2. Программное обеспечение комплекса

Программное обеспечение комплекса выполнено в среде графического программирования LabVIEW 2013 и реализует следующие функции:

- управление задерживающим потенциалом;
- измерение тока коллектора;
- построение графика ток-напряжение (кривой задержки);
- устранение влияния помех на форму кривой задержки;
- вычисление в задаваемом диапазоне энергий производной  $dI/dU$ ;
- построение спектра ионов по энергии  $dn_i/dE = -dI/dU$ ;
- сохранение результатов в графическом и текстовом видах.

Упрощённый алгоритм программы регистрации и первичной обработки представлен на рис.2.

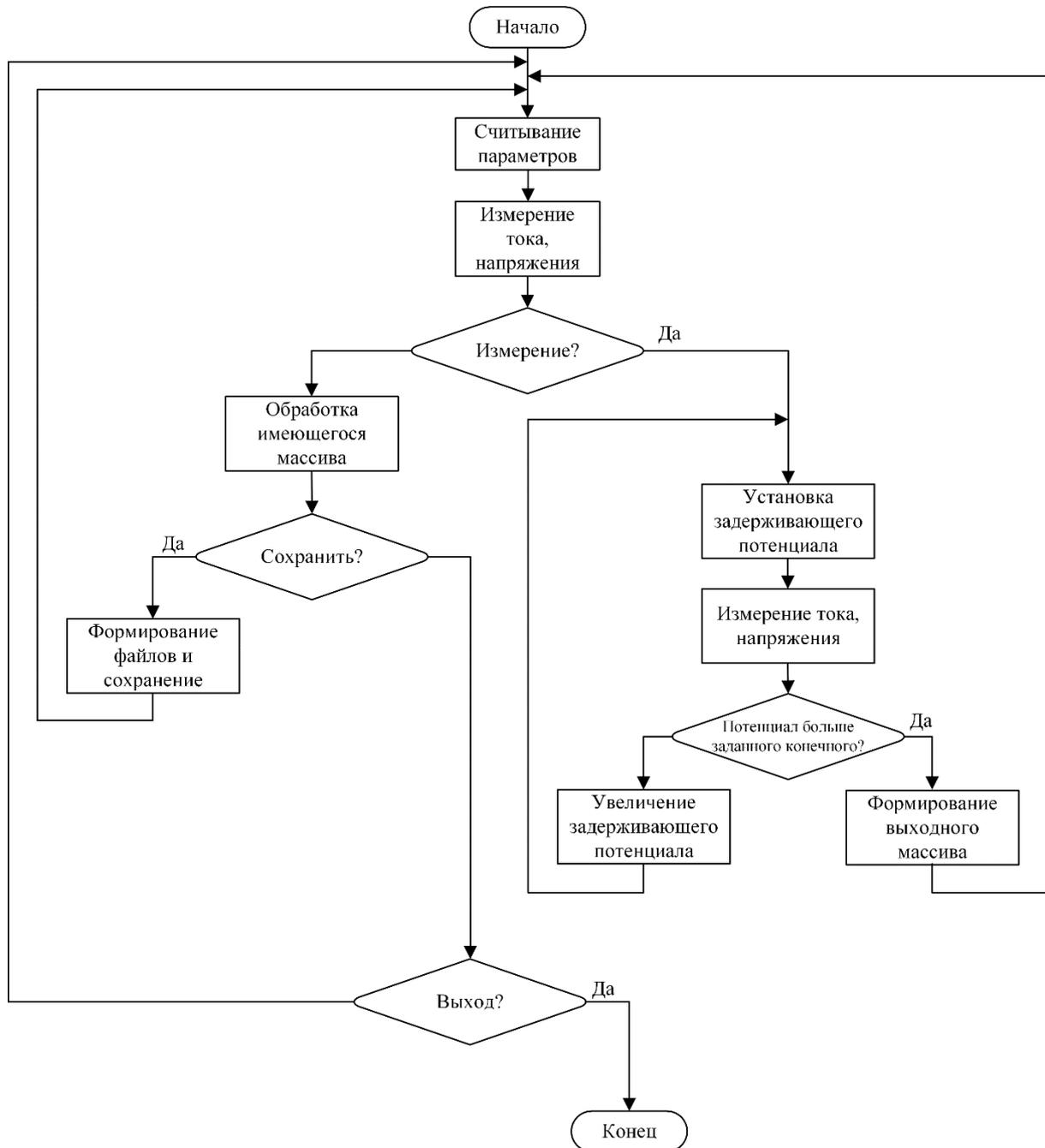
Как видно из алгоритма, программное обеспечение комплекса имеет три основных режима: «Измерение»: непосредственно работа с ЭЗП; «Сохранение»: сохранение результатов измерений и режим «Простоя».

В режиме простоя осуществляется ввод параметров измерения и сохранения, измерение и вывод текущего значения тока коллектора и потенциала на задерживающей сетке анализатора, графическое представление результата измерений и их редактирование. Значение текущего тока коллектора указывает на наличие и плотность потока плазмы при данном пространственном положении энергоанализатора и / или режиме работы плазменного ускорителя.

Параметры измерения:

- «Диапазон напряжений» – задаётся начальное и конечное напряжение в диапазоне от 0 до 2000В с шагом 10В на задерживающей сетке, соответствующее интересующему диапазону энергий ионов исследуемого потока плазмы;
- «Шаг по напряжению» – значение инкремента напряжения на задерживающей сетке энергоанализатора; изменяется в диапазоне от 1 до 500В с шагом 1В;
- «Длительность ступени» – время в миллисекундах, в течение которого напряжение на задерживающей сетке не изменяется и происходит измерение тока коллектора и задерживающего потенциала, может изменяться в диапазоне от 10мс до 10секунд с шагом 1мс;
- «Усреднение» – указывается, использовать ли усреднение и по скольким измерениям;

- «Неравномерный проход по напряжению» – функция увеличивает длительность ступени в 10 раз от указанного значения в диапазоне напряжений задерживающей сетки от 0 до 50В и в 5 раз в диапазоне от 50 до 100В.



**Рис. 2. Алгоритм программы**

Параметры сохранения:

- «Папка для сохранения» – указывается директория для сохранения файлов с результатами измерения и обработки; имена файлов формируются автоматически.

Параметры «Длительность ступени» и «Усреднение» при включенной функции усреднения связаны с частотой дискретизации АЦП соотношением  $f_D = 1,5n/\tau$ , а при выключенной  $f_D = 1/\tau$ , где  $n$  – количество измерений для усреднения,  $\tau$  – указанная длительность ступени;  $f_D \leq 1$  МГц.

При инициировании режима «Измерение» запускается цикл, осуществляющий управление задерживающим потенциалом и регистрацию зависимости кривой задержки. Значение указанного начального напряжения делится на 558 и записывается в ЦАП, выход которого подключен к источнику питания БНВ-30. От источника на задерживающую сетку подаётся потенциал. Далее, если включена функция «Усреднение», производится указанное количество изменений тока и напряжения, выводится среднее арифметическое для измеренных значений. Если функция «Усреднение» отключена, измерение тока и напряжения происходят однократно. Данные добавляются в массив и выводятся на график. По истечении времени, указанного в параметре «Длительность ступени», к текущему напряжению ЦАП прибавляется значение «Шаг по напряжению», делённое на 558, и измерение повторяется. Выход из цикла «Измерение» происходит при условиях: если значение текущего потенциала задерживающей сетки больше или равно указанному конечному напряжению, если пользователь остановил цикл нажатием кнопки «Стоп» (в алгоритме на отображено) или, если текущее напряжение на выходе ЦАП превышает 3,6В. Последнее условие используется для предотвращения ухода программы в бесконечный цикл в случае, если источник БНВ-30 по каким-либо причинам не достиг указанного конечного напряжения или оказался выключен. По окончании цикла «Измерение» на задерживающей сетке устанавливается потенциал 0В.

По окончании цикла «Измерение» массив с измеренными значениями тока и напряжения сортируется по напряжению и проходит первичную обработку, которая включает в себя вычисление производной  $dI/dU$  покривой задержки, построение графиков, их сглаживание и обрезку по заданным значениям интервала энергий.

В режиме «Сохранение» формируются имена файлов в виде: ДАТА\_ВРЕМЯ\_ЛИТЕРА. Литера в имени файла указывает, какие данные в него записаны: «А» – «сырые» кривая задержки ток-напряжение и спектры  $dI/dU$ , тип файла – текстовый; «В» – обработанный массив  $dI/dU$ , тип файла – текстовый; «С» – параметры программы, при которых производилось измерение (диапазон напряжений, шаг, длительность ступени, параметры усреднения), тип файла – текстовый; «D» – кривая задержки, тип файла – графический; «D» – распределение по энергии  $dI/dU$ , тип файла – графический.

### 3. Помехозащищённость

Помехи в системе проявляются в появлении на кривой задержки не имеющих отношения к физике процесса масс-сепарации всплесков возрастания или спада тока. В случае применения энергоанализатора с задерживающим потенциалом возрастания тока принципиально не должно быть; спад тока – результат пробоев – не рабочий режим, который также не должен отражаться в кривой задержки.

Наряду с аппаратными методами борьбы с помехами в рассматриваемой системе регистрации применены программные методы снижения помех, в которые включены функции устранения всплесков возрастания или спада тока (пробоев). Оператор может активировать эти функции с помощью соответствующих элементов пользовательского интерфейса.

При совместной работе кривая задержки вначале обрабатывается с применением функции устранения пробоев. Критерием для определения, что это «пробой» выступает величина отрицательной производной  $dI/dU$  в момент пробоя, граничное (устранять / не устранять) значение которой экспериментатор устанавливает, исходя из опытных данных для исследуемого процесса. В результате устранения пробоев формируется выходной массив с исключёнными элементами кривой задержки, соответствующими пробую, которые заполнены методом линейной аппроксимации.

Функция устранения роста исключает из кривой задержки точку, если значение тока в ней больше, чем измеренное на предыдущем напряжении управляющей сетки. Исключённые элементы заменяются методом линейной аппроксимации.

На рис. 3, 4 показаны кривая задержки и распределение ионов по энергии без применения программных функций помехозащищённости; на рис. 5, 6 – после процедуры очистки и выбора диапазона энергий построения спектра.

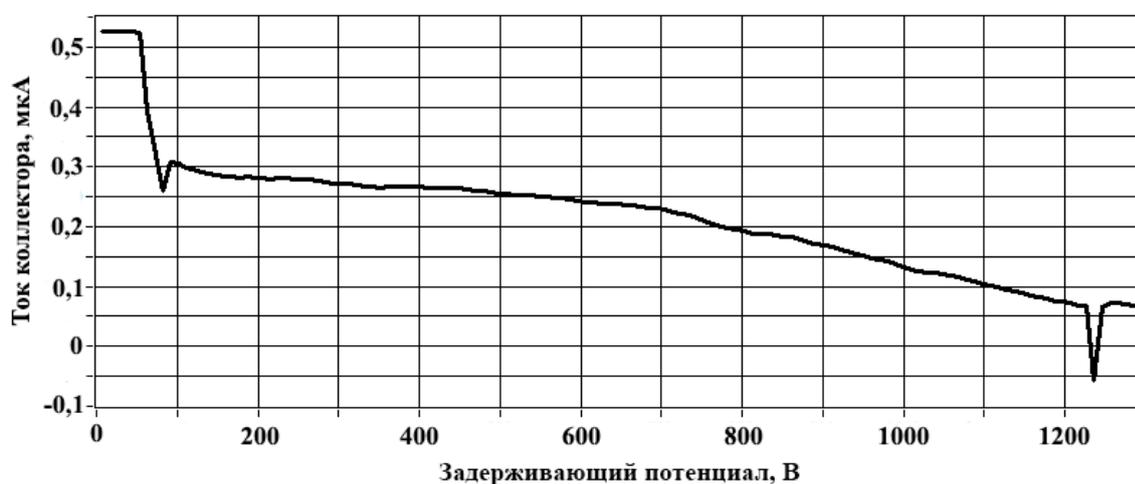
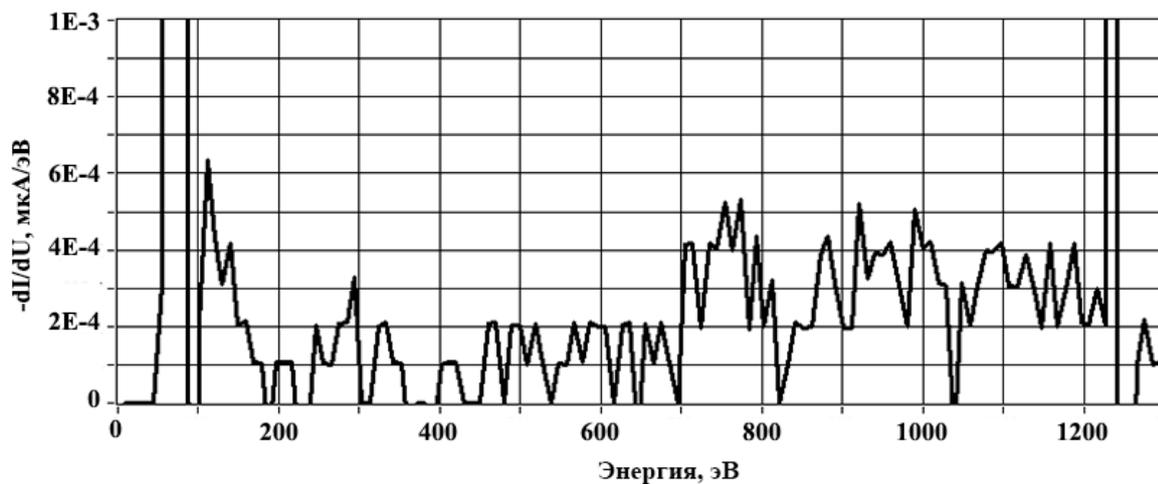
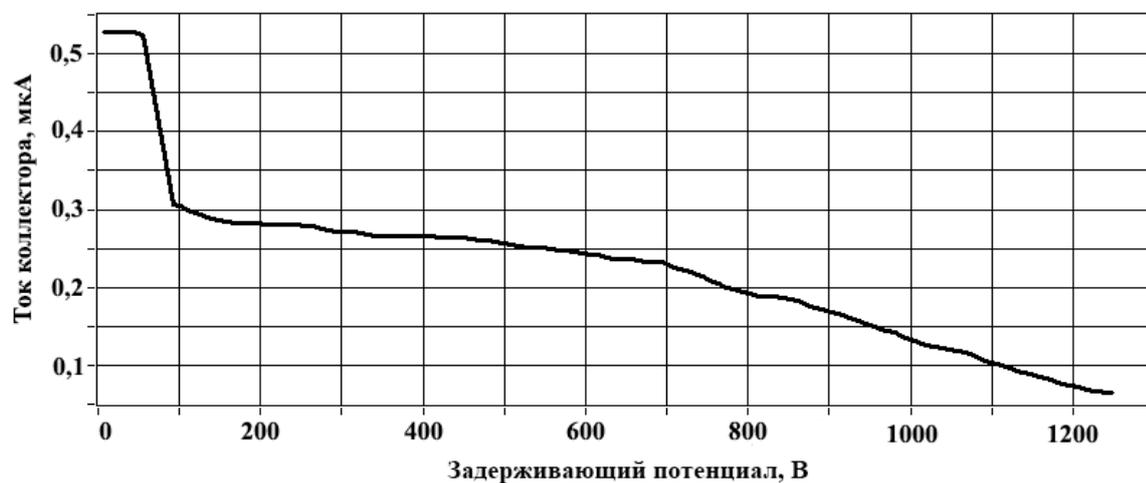


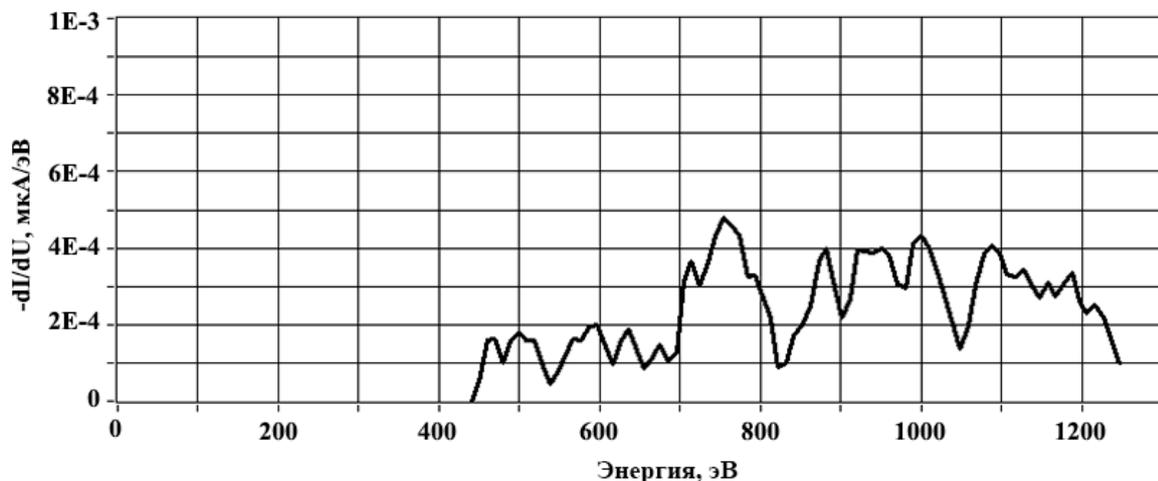
Рис. 3. Кривая задержки без обработки



**Рис. 4.** Распределение ионов по энергии, соответствующее кривой задержки рис. 3



**Рис. 5.** Кривая задержки с применением программных функций помехозащищённости



**Рис. 6.** Распределение ионов по энергии, полученное с применением программных функций помехозащищённости и выделения диапазона энергий– по кривой задержки рис. 5

#### 4. Заключение

Разработанный аппаратно-программный комплекс для работы с энергоанализаторами с задерживающим потенциалом прошёл проверку в ходе серии испытаний плазмооптического масс-сепаратора при различных режимах его работы: изменялись магнитные поля, разрядные напряжения, плазмообразующие газы. К выявленным достоинствам комплекса можно отнести:

- эффективная работа в условиях помех;
- достоверность выдаваемых результатов: комплекс не оказывает влияния на информационный сигнал в процессе измерений и не искажает функциональную зависимость при программной обработке;
- возможность внесения корректировок перед сохранением результатов измерений;
- удобное наглядное представление информации.

Выражаю благодарность Строкину Н.А. за постановку задачи, участие в экспериментах и активное обсуждение результатов.

#### *Библиографический список*

1. Морозов А.И., Семашко Н.Н. О сепарации по массам квазинейтральных пучков // Письма в ЖТФ, 2002. Т. 28. № 24. С. 63.
2. Бардаков В.М., Кичигин Г.Н., Строкин Н.А. Масс-сепарация ионов кольцевого плазменного потока// Письма в ЖТФ, 2010. Т. 36. № 4. С. 75.
3. Бардаков В.М., Иванов С.Д., Казанцев А.В., Строкин Н.А. Плазмооптический масс-сепаратор для разделения веществ сложного состава. Обзор// Вестник ИрГТУ, 2014. №3. С. 128-135.
4. Plasmalab – ionsbeamprobeset [Электронный ресурс] // PLASMALAB [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.plasmalab.ru/zond.htm>, свободный.
5. Долгов А.Н., Марков В.Г., Окулов А.А., Прохорович Д.Е., Садилкин А.Г., Юрков Д.И. // Успехи прикладной физики, 2013. Т. 1. № 6. С. 739.
6. PXI Platform - National Instruments [Электронный ресурс] // National Instruments [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/global/lang/ru/pg/1/sn/n24:PXI-FSLASH-CompactPCI>, свободный.

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ ЗВУКА**

**Губин Н.А., Ченский Д.А., Полетаев А.С.,**

**Ченский А.Г.** – научный руководитель

Иркутский государственный технический университет

skb@istu.edu

При проведении подводных изысканий используются различные средства звукового обнаружения подводных объектов с помощью акустического излучения. Такими средствами звукового обнаружения наиболее часто являются различные гидроакустические устройства

Которые по назначению, месту расположения на носителе и виду выполняемых работ можно условно разделить на несколько групп:

- I. Гидролокаторы кругового и секторного обзора.
- II. Гидролокаторы бокового обзора.
- III. Эхолоты.
- IV. Профилографы морского дна.

### **I. Гидролокаторы кругового и секторного обзора**

Гидролокаторы кругового и секторного обзора применяются при выполнении широкого ряда задач, начиная с поиска и до поиска подводных объектов том числе для экспедиционно исследовательских нужд до подводной навигации, построения охранных зон и периметров. Использование гидролокаторов в качестве подводного измерительного инструмента и используя возможности специализированного программного обеспечения, можно измерить расстояния и углы между элементами отображаемого объекта, что необходимо при обследовании различных подводных структур. Гидролокаторы кругового и секторного обзора устанавливаются при входе в гавани и порты, на кораблях, нефтяных платформах, обитаемых подводных аппаратах, подводных лодках, телеуправляемых подводных аппаратах, применяются в переносном исполнении водолазами. Существуют специальные гидролокаторы, работающие с летательных аппаратов при погружении на кабель-тросе в воду. Программное обеспечение в таких системах является ключевым элементом. С его помощью можно не только обрабатывать и выводить полученные данные, но и изменять сектор обзора гидролокатора, определять дистанцию и пеленг до объекта, изменять частоту работы, менять мощность излучаемых импульсов, осуществлять функцию зуммирования и примерно определять материал облучаемого объекта.

### **II. Гидролокаторы бокового обзора**

Гидролокаторы бокового обзора (ГБО) в основном применяются для поиска объектов, находящихся на морском дне и исследования рельефа дна для прокладки и обслуживания кабелей связи и трубопроводов. В

настоящее время стало актуальным построение на основе ГБО и телеуправляемого подводного аппарата систем поиска на внутренних водоёмах и реках. Традиционно ГБО выполняется в виде буксируемого подводного аппарата в форме торпеды с двумя приёмопередатчиками по правой и левой стороне и буксируется на расстоянии 30-50 метров от дна со скоростью до 5 узлов. При угле обзора каждого приёмопередатчика 45°, полоса сканирования дна достигает 100 метров. В некоторых случаях, особенно при прокладке трубопроводов и кабелей связи, целесообразна установка ГБО на телеуправляемый подводный аппарат или обитаемый подводный аппарат.

### III. Эхолоты

Эхолоты являются измерительными приборами, предназначенными для промера глубин, отображения профиля и примерной структуры дна, поиска и классификации различных объектов на дне и в толще воды, а также для выполнения различных навигационных задач. Независимо от сферы использования и типа все эхолоты имеют примерно одинаковую конфигурацию: приёмопередатчик, блок обработки сигналов и надводный блок отображения информации. Приёмопередатчик эхолота имеет коническую вертикальную диаграмму направленности с углом обзора от 10 до 30°. При этом эхолот, как бы “освещает” полосу дна непосредственно под килем судна.

При этом первичными данными, получаемыми от приёмопередатчика, являются параметры огибающей линии морского дна. В зависимости от типа, технического насыщения эхолота и программного обеспечения эхолот только формирует эти данные в графическом виде на экране монитора или, используя информацию с других информационных систем и устройств, а также электронную карту районов работ, может создавать трехмерные карты морского дна с привязкой к географическим координатам.

### IV. Профилографы морского дна

Профилографы дна предназначены для поиска заглубленных на дне объектов, например трубопроводов или кабелей, нахождения заиленных подводных объектов, исследования и классификации состава грунта дна, например при проведении инженерных изысканий для проектирования и строительства подводных объектов или прокладки трубопроводов, разведки полезных ископаемых и экологического мониторинга. По своей сути донные профилографы представляют собой практически тот же эхолот, но с очень низкой частотой излучаемого сигнала ППА, менее 12 кГц. За счет физических особенностей проникновения низкочастотных звуковых волн в твёрдых средах и большей мощности сигналов, акустический сигнал проникает в донный грунт на глубину более 100 метров, чем меньше частота сигнала, тем больше проникающая способность.

Крупнейшими производителями таких устройств являются компании Kongsberg и Reson, а также американские компании Marine Sonic Technology и SeaBeam.

Все эти устройства, направленные на обнаружения подводных объектов имеют схожую основу, которую составляет приёмопередатчик посылающий звуковые импульсы в требуемом направлении, а также принимающий отражённые импульсы, если посылка, встретив на своём пути какой-либо объект, отразится от него. Основным параметром который влияет на показания таких устройств это скорость звука. Как известно скорость звука увеличивается в более солёной и более тёплой воде, следовательно, при работе таких устройств необходимо учитывать изменения скорости звука в воде. Для отслеживания таких изменений используются скоростемеры которые и определяют изменения скорости распространения звука в воде.

Для оценки погрешности и калибровки скоростемеров был разработан проект лабораторного стенда. Данный стенд спроектирован для того чтобы определить погрешность измерений скорости распространения звука скоростемерами и произвести калибровку скоростемеров или внести поправки в уже полученные данные.

Поправки получаются путем отслеживания скорости распространения звука при изменении параметров водной среды.

В первую очередь для работы такого стенда был создан термозащищённый бокс для минимизации влияния внешней среды на воду в которой происходит измерение скорости звука.

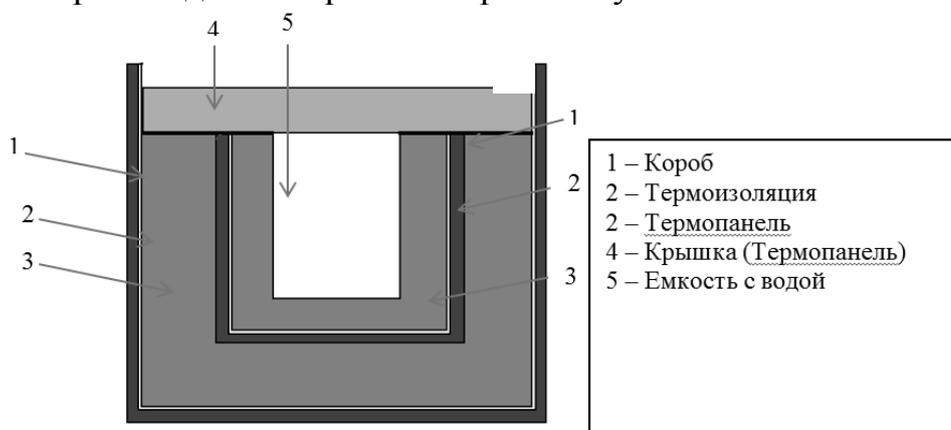


Рисунок – 1 Термозащищённый бокс

Влияние температуры помещения на термозащищённый бокс является минимальным, а наибольшее изменение скорости распространения звука происходит при изменении температуры, то необходимо производить управляемое изменение температуры внутри бокса. Для выполнения данной задачи в бокс был помещён водонагреватель мощностью 300 ватт. Управление обогревателем осуществляется посредством модуля NI 9481 - это 4-х канальное, однополюсное электромеханическое реле позволяющие

производить включение и выключение водонагревателя на определенный период времени. Данный модуль установлен в электронное шасси cDAQ посредством которого может производиться управление реле с персонального компьютера.

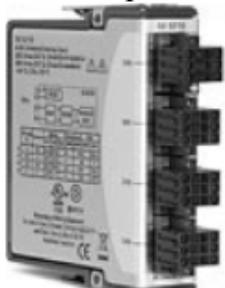
Для измерения изменений температуры используется трехпроводной платиновый термистор фирмы National Instruments RTD-100.



- Характеристики термистора RTD-100 Изготовлен из платины.
- Имеет сопротивление 100 Ом.
- при 0 °C (альфа = 0,00385)
- Максимальная измеряемая температура 204 °C
- Точность измерений 0.01°

Рисунок – 2 Термистор RTD-100

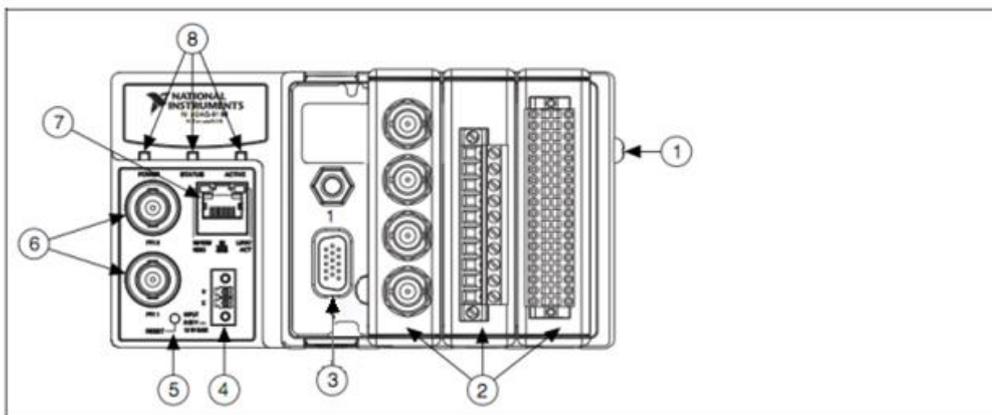
Термистор подключается к модулю NI 9219, который посредством аналого-цифрового преобразователя передает значение сопротивления на конце термистора в электронное шасси cDAQ.



- Характеристики модуля NI 9219 4-канальный, 24-разрядный модуль аналогового ввода
- Измерение термопарного, терморезисторного, сопротивления, напряжения и тока
- Поканальная компенсация холодного спая (С/С) для точных термопарных измерений
- Максимальная скорость измерений 100 Гц на канал

Рисунок – 3 модуль NI 9219

NI CompactDAQ 9183 (cDAQ-9183), данное электронное шасси разработано для использования совместно с модулями ввода-вывода С серии, и позволяет производить сбор и генерацию широкого диапазона аналоговых и цифровых сигналов. Управление шасси осуществляется через Ethernet.



- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 Винт заземления шасси        | 5 Кнопка сброса                        |
| 2 Установленные модули С серии | 6 BNC разъем для сигналов PFI 0 PFI 1  |
| 3 Слоты для модулей            | 7 Ethernet разъем 10/100/1000 ACT/LINK |
| 4 Разъем питания 9-30 В        | 8 Индикатор POWER, STATUS, ACTIVE      |

Рисунок – 4cDAQ-9183

Стенд был проверен на работоспособность посредством подключения к нему двух измерителей скорости звука miniSVS и ЦС-5.

miniSVS – (SoundVelocitySensors) скоростемер, имеющий набор команд для управление работой и калибровки посредством подключения к персональному компьютеру через RS-232.



- Диапазон: 1375 - 1900 м/сек
- Разрешение: 0.001 м/сек
- длина датчика 100 мм
- Случайные помехи  $\pm 0.002$  м/сек

Рисунок – 5miniSVS

ЦС-5 – циклический скоростемер измерение скорости звука выполняется путем послыки одного ультразвукового импульса на известное расстояние, при этом скоростемер посылает следующий импульс сразу после получения отражения предыдущего из этого следует, что происходит не прерывная генерация импульсов частота которых прямо пропорционально зависит от скорости звука. Получаемое значение не зависит от ошибок, при вычислении исходных данных, присутствующих во многих измерителях скорости распространения звука в воде.

В итоге стенд представляет из себя следующую конструкцию термо-изолированная емкость с водой, в которую установлен измеритель температуры, водонагреватель для контролируемого изменения температуры, помпа для перемешивания воды что позволяет обеспечить более равномерный нагрев.

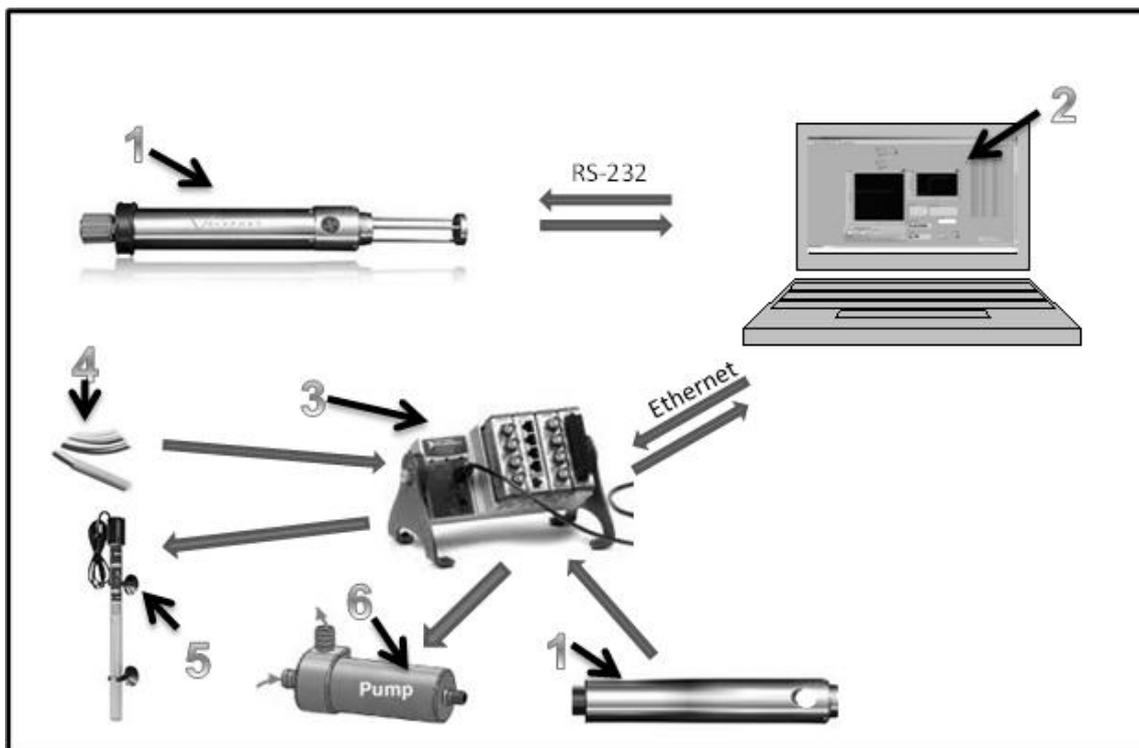


Рисунок –5 Структурная схема стенда:

- 1 - Скоростемеры; 2 – ПК; 3 – cDAQ с подключенными модулями; 4 – Термистор ;  
5 – Водонагреватель; 6 – водяная помпа;

Программное обеспечение для решения поставленной задачи было выполнено в среде программирования NI LabVIEW 2013. Посредством которого обеспечивается обработка получаемых данных и управление всем оборудованием. Написанная программа осуществляет включение и выключение помпы и водонагревателя, как по заданному времени так и в ручном режиме. Благодаря гибкой системе настроек можно изменять время и интервалы измерений, задать количество измерений либо время необходимое на получение данных. Также в написанном программном обеспечении происходит сопоставление данных с скоростемеров со значениями скорости распространения звука в воде полученными при помощи различных эмпирических формул.

Например, с формулой выведенной согласно теории Вильсона в 1960 году для нулевой глубины:

$$c = 1449,2 + 4,623(T) - 0,0546(T^2) + 1,39(S - 35),$$

где  $c$  — скорость звука в метрах в секунду,  $T$  — температура в градусах Цельсия,  $S$  — солёность в промилле.

Также скорость звука можно определить по формуле Лероя:

$$c = 1492,9 + 3(T - 10) - 0,006(T - 10)^2 - 0,04(T - 18)^2 + 1,2(S - 35) - 0,01(T - 18)(S - 35) + z/61$$

где  $z$  — глубина в метрах. Эта формула обеспечивает точность порядка 0,1 м/с для  $T < 20$  °C и  $z < 8000$  м.

Для пресной воды используется наиболее известная на текущий момент формула

Чена-Миллера:

$$C(T, S, P) = 1402.388 + 5.0371T - 5.8085 * 10^{-2}T^2 + 3.342 * 10^{-4}T^3 - 1.478 * 10^{-6}T^4 + 3.146 * 10^{-9}T^5 + (1.322 - 7.01 * 10^{-3}T + 4.9 * 10^{-5}T^2)S + [0.15564 + 4.046 * 10^{-4}T - 8.15 * 10^{-7}T^2 - 5.58 * 10^{-5}S]P + 1.593 * 10^{-5}P^2$$

Данное программное обеспечение позволяет с легкостью сохранить полученные данные по изменению скорости звука в любой удобной форме, тем самым позволяя вносить поправки в данные получаемые с МЛЭ, ГБО либо профилографа. Также имеется возможность сравнить получаемые данные с разных скоростемеров.



Рисунок – 6 Фронтальная панель программы написанной в LabView

Средняя скорость звука	Отличия от значений полученных по формуле		Начальная Температуры град.ц.
SVS 1447,12	минимально SVS 4,2784	минимально ЦС-5 3,77173	5,381
ЦС-5 1449,69	максимально SVS 17,2082	максимально ЦС-5 11,4385	Конечная Температуры град.ц. 18,838
Формула 1455,39			

Рисунок 7 – Пример полученных данных

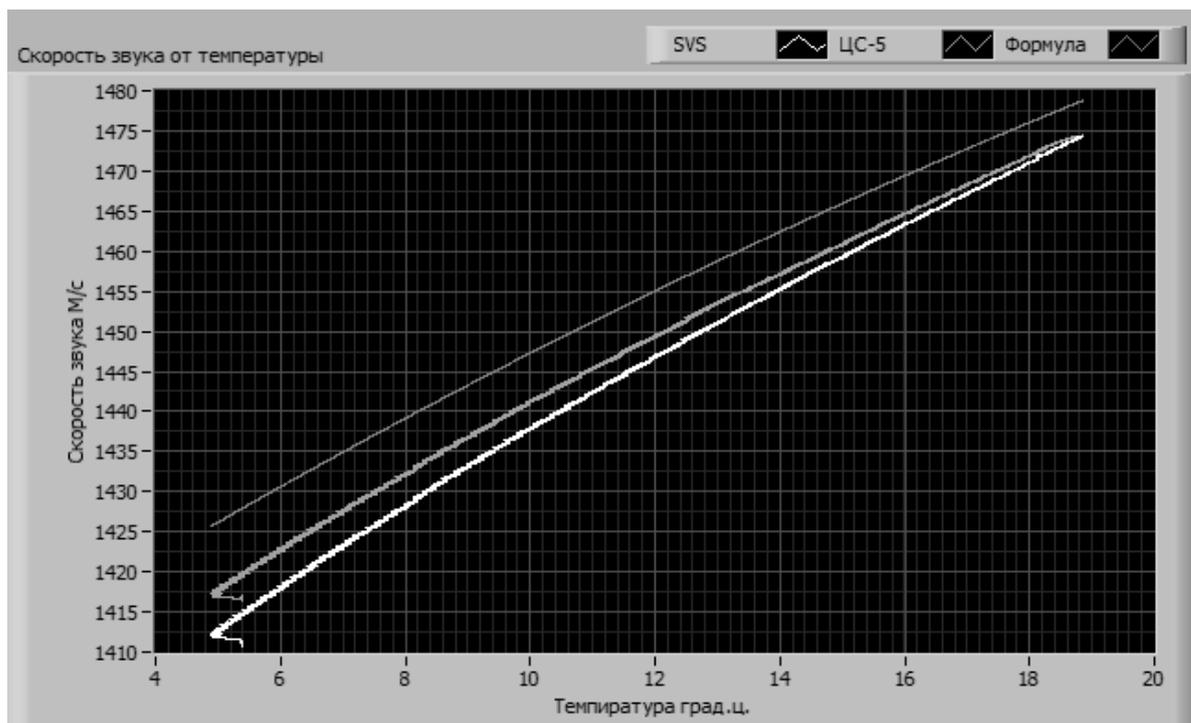


Рисунок 8 – Пример полученных графических данных

Благодаря стенду можно получить данные калибровки которые используются для коррекции уже измеренных данных или для расчёта погрешности данных получаемых со скоростимера, что и позволит увеличить точность средств звукового обнаружения подводных объектов.

### *Библиографический список*

1. Техническая документация и сертификаты [Электронный ресурс] /NationalInstruments– Режим доступа :<http://russia.ni.com/datasheet> ,свободный
2. ValeportMiniSVS [Электронный ресурс] /Seatronics – Режим доступа :<http://www.seatronics-group.com/assets/uploads/resources/2011/2/2b32a596-2aeb-493f-a296-4051d328da26.pdf>, свободный
3. Википедия [Электронный ресурс] – Режим доступа : [http://ru.wikipedia.org/wiki/Скорость\\_звука](http://ru.wikipedia.org/wiki/Скорость_звука) ,свободный
4. Колесников А. Е., Ультразвуковые измерения, М., 1970;
5. Федосов В.П. Цифровая обработка звуковых и вибросигналов в LabVIEW / Москва ДМК Пресс,2010
6. Корякин Ю.А. Гидроакустические системы // Сб. «Наука Санкт-Петербурга и морская мощь России», СПб: Наука, 2002.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ОАО «ИРКУТСКЭНЕРГО» С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ**

**Ныркова Н.В.**

Иркутский государственный технический университет  
reierm@istu.edu

Иркутская энергосистема образована 21 октября 1954 года. С этого момента и до сегодняшнего дня ее развитие не прекращалось. Ударными темпами строились и вводились в работу ТЭЦ и ГЭС по всей территории Иркутской области. Установленная мощность этих электростанций и темпы ввода мощностей определялись темпами развития потребления энергии основным производством.

Развитие тепловых сетей в нашем регионе обусловлено климатическими условиями. Средняя годовая температура Иркутской области отрицательная. В нашем регионе зима самый длинный период года. Его продолжительность на большей части территории 180-190 дней, а в северных и горных районах 195-200 дней. Данный факт объясняет в Иркутской энергосистеме наличие уникальных по своим масштабам, мощности, разнообразию и количеству ТПС (трубопроводных систем) тепло- и водоснабжения.

Тепловые электростанции энергосистемы, сооружались в первую очередь как источники теплоэнергии для крупных химических, нефтехимических и лесохимических производств, а также для теплоснабжения прилегающих городов: Ангарска, Усолье-Сибирского, Саянска, Братска, Усть-Илимска. В состав Иркутской энергосистемы входили ТЭЦ среднего давления ТЭЦ №№ 5,2,3,7,12 и 16, которые отапливали города Шелехов, Иркутск, Черемхово, Зиму, Братск и Железногорск-Илимский. В настоящее время эти ТЭЦ преобразованы в участки более крупных соседних ТЭЦ и тепловых сетей, кроме ТЭЦ-12 в г. Черемхово и ТЭЦ-16 в Железногорск-Илимском. Таким образом мы унаследовали большое количество разветвленных трубопроводных систем которые поставляют тепло в наши дома.

В настоящее время сложились условия для быстрого развития информационной инфраструктуры в энергетике. За рубежом это вылилось в концептуальную программу инновационного развития энергетики- Smart Grid. Концепция Smart Grid первоначально сформулирована в промышленно развитых странах Запада (в первую очередь США и ЕС), и принятая там, в роли стратегического направления инновационного развития энергетики. Правительство РФ так же поддерживают зарубежную концепцию развития. В России она носит название «Интеллектуальная энергетическая система с активно-адаптивной сетью» (ИЭС ААС). Ведущие специалисты считают, что международный опыт будет полезен

России в области практической реализации Smart Grid. На базе этого опыта Россия формулирует и намерена эффективно реализовать собственную программу, руководствуясь принципом: брать все лучшее, при этом учитывая национальную специфику. При детальном изучении некоторых разделов концепции напрашивается вывод, что применительно к российским условиям становление интеллектуальных энергетических систем, включая трубопроводные системы (ТПС) - это закономерный процесс, объективно обусловленный накоплением достижений науки, техники и социально-экономического развития общества. Причем, именно в силу местной специфики, нецелесообразно ограничиваться только электроэнергетическими системами. Поэтому необходимо инновационное преобразование трубопроводных систем в интеллектуальные трубопроводные системы (ИТПС), что следует рассматривать как долгосрочную перспективу теплофикации в России и Иркутской области, в частности.

При изучении текущего состояния эксплуатации теплосетей, актуальной задачей является разработка единой концепции развития технологической базы, унификация используемого оборудования с целью создания единой информационной платформы, для включения части теплосетей в информационные системы планирования ресурсов предприятия, предназначенные для автоматизации учёта, планирования и управления на предприятии. Необходимо сохранить бесперебойную работу трубопроводных систем до момента логического их вымирания. Который наступит судя по развитию ядерной энергетики не ранее чем через 30-50 лет.

Сегодня город отапливается почти полностью от НИ-ТЭЦ, если не считать нескольких котельных расположенных на энергозатратных предприятиях города. Электрокотельные существовавшие до 2005-2008 г. закрыты в связи с возрастанием потребления электроэнергии ОАО «РУСАЛ-ИркАЗ». Таким образом исчезло резервирование по теплоснабжению г.Иркутска. Если произойдет авария на трубопроводе Иркутских тепловых сетей, то город полностью останется без тепла. Поэтому необходимо вовремя фиксировать предпосылки и предотвращать аварийные ситуации.

Трубопровод иркутских тепловых сетей содержится в исправном состоянии, но нет четко продуманной концепции по обеспечению насосных станций универсальными цифровыми ИИС (информационно измерительными системами) которые в наше время значительно надежнее и дешевле стрелочных приборов, а так же не существует определенной системы мониторинга, которая обеспечит наблюдаемость процесса происходящего в теплосети. На насосных станциях установлены разнотипные приборы для контроля параметров теплосети. Данные с них поступают на УСД (устройство сбора данных), затем по не резервируемым

каналам связи поступают на АРМ оперативного диспетчера, где осуществляется контроль за работой сети. Каналы связи используемые на сегодняшний день не обладают резервированием, насосные станции оборудованы без проводными каналами связи. О наличии ИТП(индивидуальный тепловой пункт) которые устанавливаются со стороны потребителя, пока можно только говорить, как о перспективе качественного предоставления теплоресурса.

Так как обеспечение теплом и горячим водоснабжением процесс статичный никогда не стоял остро вопрос о средствах мониторинга за состоянием теплосети в реальном времени. Но в последние годы вопрос об обеспечении энергосетей умной электроникой безусловно поддерживается. Поэтому необходима разработка плана комплексной модернизации теплосети иркутского района, поскольку простая замена старого оборудования на новое не даёт максимально возможного эффекта. Только комплексный подход позволит достичь максимальной энергоэффективности, как и требует современная политика.

Как уже указывалось выше процесс отопления города имеет весьма статичный характер. Температура теплоносителя устанавливается в момент включения отопления и изменяется в небольших пределах от температуры окружающей среды. По окончанию отопительного сезона производится сброс воды и так до следующего отопительного сезона.

Необходимость иметь возможность постоянного наблюдения за процессом порождает и общее техническое состояние трубопроводных систем в нашем регионе. Многие участки теплосети нуждаются в постоянном контроле в основном за показателями давления, для предотвращения аварийных ситуаций. Так же желательно иметь удаленное управление исполнительными механизмами для своевременного воздействия на ситуацию сложившуюся в сети.

Нельзя не учитывать, что в энергосистеме Иркутской области накоплен огромный опыт по эксплуатации цифровых измерительных приборов. Поэтому нужно принять его во внимание и использовать наиболее хорошо зарекомендовавшие себя ИИС как со стороны генерирующей компании так и потребителя. С 2003 года ведется массовое оснащение линий электропередач, подстанций и гидроэлектростанций цифровыми измерительными приборами (ИП). На фидерах, трансформаторах тока и напряжения установлены ИП, которые позволяют контролировать следующие параметры:

1. Вычисление  $P_f$  ( $P = \int i * u dt$ ) Активная мощность
2. Вычисление  $I_f$  ( $I = \int \text{abs } idt / 10000 = I_{\text{max}} / \sqrt{2}$ )
3. Вычисление  $U_f$  ( $U = U_{\text{max}} / \sqrt{2}$ )
4. Вычисление  $S_f$  ( $S = I * U$ ) Полная мощность
5. Вычисление  $Q_f$  ( $Q = \sqrt{S - P}$ ) Реактивная мощность
6. Вычисление  $f_f$  (число периодов  $U$  в секунду)

7. Вычисление  $W_{\phi}$  ( $W = \int p dt$ )
8. Вычисление  $W_{p\phi}$  ( $W = \int Q dt$ )
9. Вычисление симметричных составляющих  $I$  и  $U$
10. Вычисление высших гармоник  $I$  и  $U$  до 63
11. Вычисление длительности провалов  $I$  и  $U$
12. Вычисление всплесков тока и напряжения
13. Вычисление средних значений  $I$ ,  $U$ ,  $ZP$ ,  $Q$ ,  $W$  для 3-х фаз
14. Автоматическая регистрация измеряемых и вычисляемых величин при авариях
15. Вычисление расстояния до места повреждения линии
16. Отключение нагрузки при снижении частоты
17. Сигнализация отключения и включения фидера
18. Отключение и включение фидера по команде диспетчера

Измерительные преобразователи включают в себя и УСПД (устройство сбора и передачи данных)

1. Сигнализация отключения и включения фидера
2. Отключение и включение фидера по команде диспетчера
3. Формирование меток времени
4. Опрос ИП и других датчиков
5. Преобразование протоколов передачи данных
6. Масштабирование и преобразование данных ИП
7. Фильтрация данных ИП
8. Ручной ввод информации
9. Контроль достоверности данных
10. Контроль состояния устройств КП и каналов связи
11. Управление сеансами обмена данными с ОИК

Со стороны диспетчерского пульта управления - это диспетчерский щит (мнемосхема), ЦППС (центральная приемо-передающая станция), сервер и ПК с установленным на них ОИК (оперативно-информационный комплекс).

ЦППС: 1. Сигнализация отключения и включения фидера; 2. Отключение и включение фидера по команде диспетчера; 3. Формирование меток времени; 4. Опрос ИП и других датчиков; 5. Преобразование протоколов передачи данных; 6. Масштабирование и преобразование данных ИП; 7. Фильтрация данных ИП; 8. Ручной ввод информации; 9. Контроль достоверности данных; 10. Контроль состояния устройств КП и каналов связи; 11. Управление сеансами обмена данными с ОИК; 12. Архивирование данных; 13. Управление отображением измерений на мониторах и щите; 14. Прием информации от УСПД, ОИК и ИП

По аналогии организации АРМ диспетчера энергосети нужно организовать и работу диспетчера теплосети. На АРМ должен быть установлен оперативно-информационный комплекс. Экономически выгодно использовать существующую инфраструктуру и дублированные

каналы связи которые соединяют все ТЭЦ и Исполнительную дирекцию ОАО «Иркутскэнерго». Где для контроля за производством, а также для планирования работы целесообразно иметь достоверную информацию. «ОИК Диспетчер» представляет собой сложную многоуровневую иерархическую систему, нижний уровень которого составляют автоматизированные системы диспетчерского управления технологическими процессами на подстанциях (АСДУ ПС) и в электрической части электростанций (АСУ ТП ЭЧС). Эти системы управления обеспечивают ввод и обработку всей информации, необходимой для диспетчерского и организационно-технологического управления объектом. В состав системы входят устройства автоматического и автоматизированного управления технологическими процессами, средства коммуникации для передачи информации на верхние уровни диспетчерского управления и приема от них управляющих команд.

В общем случае ОИК предназначен для:

Диспетчерского управления энергообъектами в нормальном и аварийном режимах;

Организационно-технологического обслуживания;

Связи с верхними уровнями иерархии в энергосистеме;

Обработки, документирования и архивирования режимных параметров и данных технологического процесса.

ОИК позволяет осуществлять дистанционное управление всей сетью, исключая постоянный обслуживающий персонал непосредственно на подстанциях или сводя его к минимуму, за счёт передачи выполняемых функций на верхние уровни управления.

ОИК –позволяет производить:

1. Ручной ввод информации
2. Контроль достоверности данных
3. Контроль состояния устройств КП и каналов связи
4. Управление сеансами обмена данными с ОИК
5. Архивирование данных
6. Управление отображением измерений на мониторах и щите
7. Прием информации от УСПД, ОИК и ИП
8. Восстановление поврежденной информации
9. Организация базы телеизмерений и телесигналов
10. Организация эффективного интерфейса к БД
11. Организация управления интеллектуальным диспетчерским щитом
12. Контроль показателей надежности и качества электроснабжения
13. Автоматическое формирование документации диспетчера
14. Построение математической модели режима сети
15. Контроль достоверности измерений на основе математической модели сети

## 16. Планирование режимов сети

## 17. Оптимизация режима сети в реальном времени

Таким образом, есть специалисты работающие в принципе в одной системе, которые способны дать практические рекомендации и проконтролировать развитие АСУ ТП теплосети. Опираясь на опыт поколения тех же высококвалифицированных специалистов можно сказать, что объединение двух информационно измерительных систем может осложнить эксплуатацию оперативно-информационного комплекса. А так же если возникнет неисправность в общей точке комплекса то данные будут недоступны для мониторинга тепло- и электросетей. Что не допустимо для энергосистемы. А точек соприкосновения будет очень много. Поэтому рассмотрев оба варианта предпочтительнее подумать над созданием отдельного целостного комплекса с учетом интересов потребителя, как и требует современный подход.

Нетрудно спрогнозировать, что следующий этап — это модернизация существующей АСДК (автоматизированная система диспетчерского контроля) и создание единого информационного пространства, обеспечивающего наблюдаемость процесса выработки, распределения и потребления ресурса для всех участников этого процесса с целью достижения поставленной задачи.

Необходимо внедрить автоматизированную систему дистанционного контроля и управления объектами теплоснабжения района (ИТП, ЦТП, автоматизированными теплоисточниками, тепловыми сетями), позволяющую контролировать и управлять оборудованием, не выезжая на удаленные объекты. Это повысит оперативность работы и качество теплоснабжения. Система должна быть построена на модульном оборудовании и позволять, в случае необходимости, наращивать без больших изменений существующую структуру системы. Восприятие текущих параметров на мнемосхемах тепловых схем, показаний приборов технологического и коммерческого учета тепловой энергии, параметров электроэнергии, состояние работы насосов, клапанов, заданных режимов работы, а также контрольных сигналов состояния тепловых сетей.

Все основные параметры объектов должны архивироваться с неограниченной глубиной хранения на главном сервере. Информация должно храниться в специально оборудованном ЦОД (центр обработки данных). Соответствующие данные автоматически обрабатываться и в виде расчетной коммерческой информации направляться в отдел сбыта энергоресурсов.

Все объекты должны быть охвачены АСУ ТП. Учитывая удаленность контролируемых объектов, существенным фактором являются каналы связи. В АСУ ТП необходимо применить систему, позволяющую использовать различные каналы связи. К ним относятся как проводные

сети (выделенные линии, оптоволоконные линии, телефонные линии), так и беспроводные (WIFI сети, GSMGPRS сети, CDMA).

Система диспетчеризации должна обеспечивать циклический опрос объектов с периодом от 1мин до 24часов, а также по запросу диспетчера ОДС, накопление и сохранение полученной информации. В комплексе необходимо предусмотреть возможность выдачи накопленной информации за любую дату на экран дисплея и на печать. Сбор информации от датчиков осуществляется контроллерами или приборами учета, которые анализируют полученную информацию на достоверность, контролируют исправность каналов связи с датчиками и преобразуют полученные сигналы в физические величины (показатели энергопотребления, параметры состояния объекта), контролируя заданные предельные значения (уставки).

При возникновении неисправности диспетчеру на экран выдается сообщение с наименованием того объекта, состояние которого изменилось, и описанием происшедшего события. Дополнительно сообщение должно сопровождаться звуковой сигнализацией. Диспетчеру необходимо нажатием клавиши подтвердить полученное сообщение. Таким образом система узнает о том что событие зафиксировано диспетчером. Система диспетчеризации позволяет осуществить задачу контроля состояния объекта по энергопотреблению объектов в разрезе дня/декады/месяца, передавать данные для автоматического расчета и выставления счёта потребителям, позволяет определять качество предоставляемых услуг, получение заявленной нагрузки потребителем. И в случае отклонений, не видимых диспетчеру по параметрам температуры и давлениям или из-за большого количества объектов, система выявляет их в кратчайшие сроки. Автоматическая система аналитики потребления, должна быть одной из составляющих системы планирования ресурсов предприятия(ERP-Enterprise Resource Planning), которая в данный момент находятся на стадии осмысления.

### ***Библиографический список***

1. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие Электроэнергетики на базе концепции SMART GRID. –М.:ИАЦ Энергия, 2010г
- 2.Бердников Р.Н., Бушуев В.В и др, под редакцией академиков РАН Фортова В.Е, Макарова А.А. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. – М: ОАО НТЦ ФСК ЕЭС, 2012г
3. Концепция Энергетической стратегии России на период до 2030г.(проект)// Прил. к научн, обществ. -дел, журналу «Энергетическая политика». –М.ГУ ИЭС, 2007. -116с.

# **РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

**Болотников С.С., Просвирякова Л.В.**

Иркутский государственный технический университет

E-mail: rts\_lab@istu.edu

Целью настоящей работы является разработка диагностического стенда для прибора контроля высоковольтных трансформаторов. 1 Назначение аппаратно-программного комплекса, комплекс предназначен для автоматического функционального контроля печатных узлов (измерительной платы и платы источника питания) для прибора миллиомметра МИКО-7. Проверяемый печатный узел подключается к контрольно-диагностическому оборудованию через штатные разъемы, в рабочем режиме. Дефекты, обнаруженные в результате контрольно-диагностических операций, устраняются на стадиях ремонта.

Для создания диагностического стенда было необходимо разработать комплекс выполняемых диагностик для двух печатных узлов прибора МИКО-7: измерительной паты и платы сетевого источника, после спроектировать и в дальнейшем изготовить диагностический стенд, который по средствам запрограммированной программы, выполняет диагностику печатных узлов.

Источник питания предназначен для получения ряда питающих напряжений, необходимых для работы прибора: +5 В (цифровое), +15 В, +12 В. Источник питания состоит из сетевого источника, предназначенного для получения напряжения +24 В из которого в свою очередь в дальнейшем получают все рабочие напряжения, независимого импульсного преобразователя, предназначенного для получения рабочих напряжений, а также регулируемого понижающего источника, предназначенного для питания генератора тока измерительной части. Регулируемый понижающего преобразователь функционально посредством ШИМ-контроллера обеспечивает стабилизацию выходного напряжения, при помощи обратной связи. Опорное напряжение для ШИМ-контроллера задаётся процессором, управляемого по шине I2C. Для защиты от превышения выходного тока применяется специальная схема, которая управляет сигналом включения/отключения драйвера полумоста, также этим сигналом можно управлять с процессора. Также применяется реле для подключения напрямую к выходу напряжения 24 В, при малых выходных токах.

Измерительная часть включает в себя следующие основные узлы:

– два аналого-цифровых преобразователя, предназначенных для измерения напряжений и токов. Измеренные данные по шине SPI передаются на плату управления;

- генератор тока, служащий для получения стабильного тока, который протекает через измеряемое сопротивление;
- блок шунтов с ключами, служащими для выбора определённого шунта, отвечающего за определённый диапазон сопротивлений;
- предварительный усилитель, усиливающий слабый сигнал, снимаемый с шунтов;
- для сигнализации о превышении максимального тока служит компаратор, который подаёт сигнал блоку управления.

С учетом всех основных узлов, измерительной платы, платы питания, были разработаны необходимые тесты выполняемые диагностическим стендом.

Сетевой источник:

- проверка правильности работы ШИМ-контроллера;
- проверка выходного напряжения без нагрузки/с нагрузкой;
- проверка срабатывания реле подключения аккумулятора/отключения ШИМ-контроллера;

Независимый источник:

- проверка правильности работы ШИМ-контроллера;
- измерение выходных напряжений без нагрузки/с нагрузкой.

Регулируемый понижающий преобразователь:

- проверка правильности работы ШИМ-контроллера и драйвера полумоста;
- проверка линий управления работой преобразователя;
- проверка выходного напряжения в нескольких точках без нагрузки/с нагрузкой.

Измерительная часть:

- проверка работоспособности опорных генераторов АЦП, а также наличия опорного напряжения;
- проверка связи с АЦП ;
- проверка работы измерительных линий;
- проверка задания напряжения генератора тока;
- проверка усилителя ошибки;
- проверка выбора необходимых шунтов;
- проверка работы компаратора;
- Проверка защиты от превышения тока.

С учетом разработанных тестов для основных узлов проверяемых печатных узлов была разработана структурная, а после электрическая принципиальная схемы приборов.

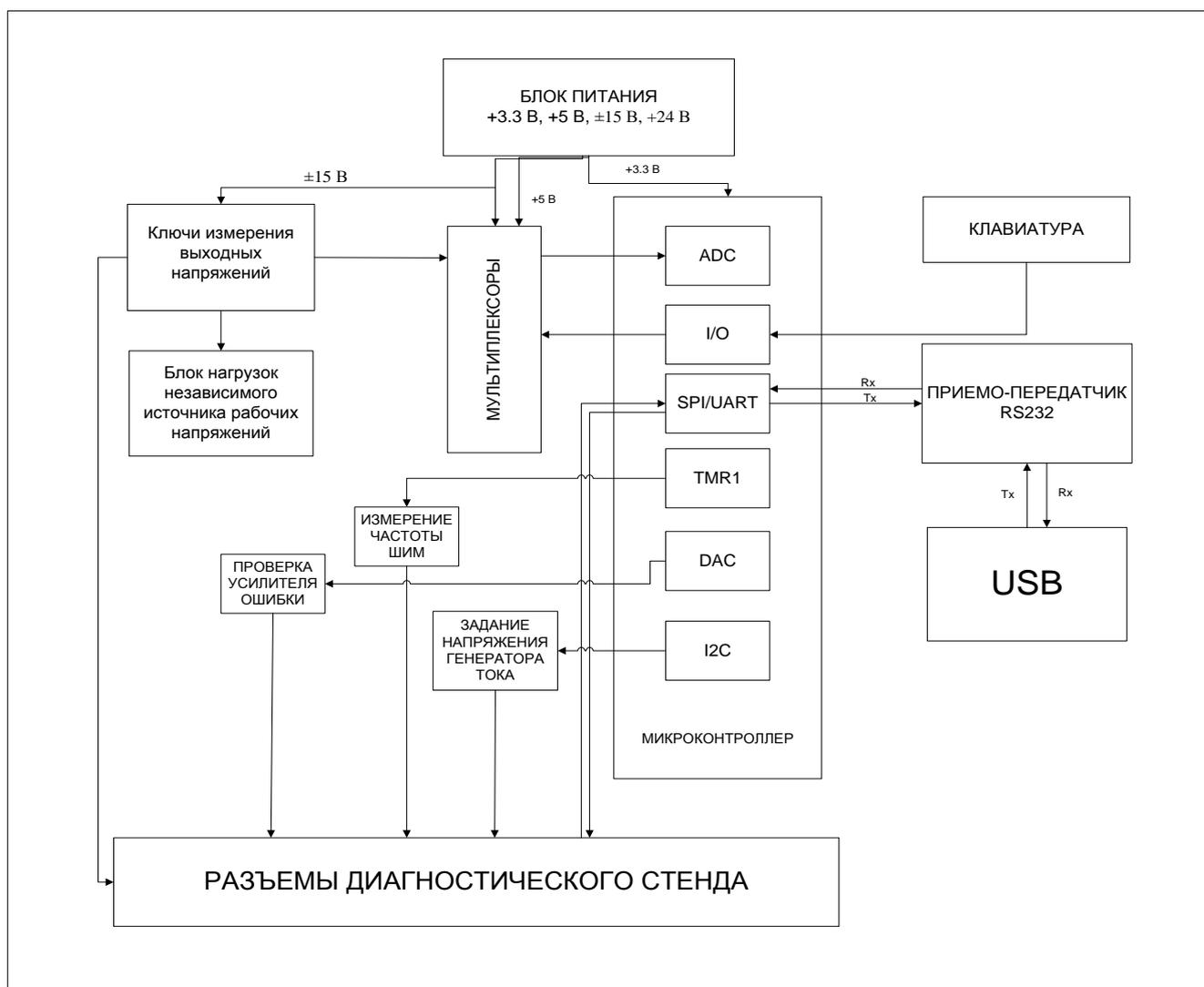


Рисунок 1 – Структурная схема диагностического стенда

В структуре диагностического стенда можно выделить следующие блоки:

- микроконтроллер;
- ключи измерения входных напряжений;
- блок нагрузок независимого источника рабочих напряжений;
- мультиплексоры;
- приемопередатчики RS232, USB разъем;
- клавиатура;
- разъемы диагностического стенда;
- блок питания +5 В, +24 В, +15 В, +12 В.

Микроконтроллер является центральным звеном в устройстве. На него возложены основные задачи стенда. Микроконтроллер будет выполнять функции: аналого-цифрового, цифро-аналогово преобразования, приема и передачи данных между различными интерфейсами измеряемых и измеряющими узлами. Для того чтобы минимизировать количество

дополнительных элементов, нужно выбрать микроконтроллер, интегрирующий в себе как можно больше запрашиваемые функции.

Измерение напряжений платы необходимо проводить в двух режим: нагруженном и ненагруженном, для этих целей применим блок ключей измерения выходных напряжений, который в нужный момент коммутирует напряжение на нагрузку.

Так как в выбранном микроконтроллере АЦП имеет только 6 каналов, а этого недостаточно для измерения всех необходимых напряжений, для расширения линий измерения необходимо применять мультиплексоры. Также мультиплексоры необходимо чтобы коммутировать нужное напряжение на нагрузку. После мультиплексоров сигнал подается непосредственно на выводы АЦП.

Для программирования стенда и вывода протоколов проверки на ПК, через USB разъем, используем приемопередатчик RS232, который преобразует уровни сигнала последовательного потока данных микроконтроллера в сигнал интерфейса RS232 и наоборот.

Для управления диагностическим стендом используется матричная клавиатура, подключенная непосредственно к линиям I/O МК

Блок питания обеспечивает напряжение питания стенда +5В, +24В, +15В, -15В. Именно такие напряжения необходимы для питания микросхем, используемых в данном устройстве.

На основе электрической принципиальной схемы, была разведена и изготовлена печатная плата диагностического стенда.

После чего на языке C++, было написано программное обеспечение под микроконтроллер на базе ядра ARM Cortex M3 LPC1768 компании NXP.

Диагностический стенд выполнен в виде самостоятельного устройства, снабжённого микроконтроллером, осуществляющим связь с блоками прибора и компьютера по средствам различных интерфейсов.

### ***Библиографический список***

1. Сабунин А. AltiumDesigner. Новые решения в проектировании электронных устройств.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1998. -704 с.
3. [http://www.nxp.com/documents/user\\_manual/UM10360.pdf](http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10360.pdf).
4. [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LPC1769\\_68\\_66\\_65\\_64\\_63.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1769_68_66_65_64_63.pdf) .
5. <http://ru.wikipedia.org/wiki/arm>
6. <http://www.skbpribor.ru/about/>
7. <http://www.ti.com/datasheet/tp5410D>
8. Тревор М. Микроконтроллеры ARM7. Семейство LPC2000 компании Philips: Пер. с англ. – Додэка XXI.

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Онишкевич С.А., Петров А.В.

«Иркутский государственный технический университет»

E-mail: rts\_lab@istu.edu

В различных системах реального времени осуществляется анализ состояния (измерения параметров) текущего объекта управления и изменение состояния объекта управления. Для систем, предназначенных преимущественно для целей измерений, (которые будем далее называть информационно-измерительными – ИИС) характерно наличие преимущественно первой составляющей – собственно измерений. Управление же в ИИС обычно ограничивается только «внутренними» нуждами (выбор режимов работы измерительных преобразователей, управление памятью и т.п.); управление внешними объектами в ИИС часто отсутствует или является второстепенной задачей.

Широко распространенным частным случаем режима работы ИИС является длительный многоканальный сбор данных с различных измерительных датчиков; при этом основной задачей является «привязка» с заданной точностью моментов всех измерений к всемирному координированному времени (UTC) или в некоторых случаях просто стабильность интервалов между отдельными измерениями. Для технического решения такой задачи обычно применяют синхронизацию ИИС (её аппаратно-программного комплекса) с некоторой высокостабильной шкалой времени (т.е. с высокостабильным опорным генератором). В настоящее время наибольшее распространение получили системы синхронизации с глобальными навигационными спутниковыми системами GPS (NAVSTAR) и ГЛОНАСС. Непосредственно в составе ИИС обычно имеется местный опорный генератор, который и синхронизируется с сигналами навигационной системы. Синхронизация обычно осуществляется на основе построения петли фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ, PLL – Phase-Locked Loop). Современные приемники сигналов глобальных навигационных спутниковых систем обычно имеют электрический выход импульсов с частотой повторения 1 Гц (PPS – Pulse Per Second), причем фронты этих импульсов синхронизированы с началом каждой секунды UTC с погрешностью не более десятков наносекунд. Существуют также специальные готовые модули приема навигационных спутниковых систем, обеспечивающие высокостабильную частоту (или несколько частот) и собственно часовой календарь, для возможности осуществления синхронизации процессов (например, обеспечения постоянства интервала дискретизации АЦП) и «привязки» этих процессов к шкале времени UTC (т.е. для определения моментов измерений в формате даты и времени).

Под нестабильностью частоты обычно понимают относительное изменение частоты, измеряемую за небольшой (кратковременная нестабильность) или длительный (долговременная нестабильность, уход частоты) интервал наблюдения. Так например, если кратковременная нестабильность работающего на частоте 5 МГц кварцевого генератора составляет  $10^{-7}$ , то это означает, что реальная частота такого генератора может составлять  $(5 \cdot 10^6 \pm 5 \cdot 10^6 \cdot 10^{-7})$  Гц =  $(5\,000\,000 \pm 0,5)$  Гц, причем частота может со временем меняться в этих пределах. Часто нестабильность задается за конкретный промежуток времени (например, долговременная нестабильность за сутки). Минимальная (наилучшая) нестабильность РС-автогенераторов может иметь значения  $10^{-3} \dots 10^{-4}$ , нестабильность кварцевых генераторов обычно составляет  $10^{-5} \dots 10^{-6}$ ; в случае термостатированных кварцевых генераторов нестабильность может составлять  $10^{-7} \dots 10^{-8}$ ; нестабильность различных стандартов частоты может быть  $10^{-10} \dots 10^{-15}$  и меньше.

В общем случае следует различать задачи обеспечения частоты и обеспечения шкалы реального времени.

В ряде случаев требуется обеспечить только временную эквидистантность (равномерность) процесса, при этом «привязка» к шкале времени не требуется. Примером может служить задача обеспечения равномерности интервала выборки (стабильности частоты дискретизации) аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Нестабильность частоты дискретизации в этом случае приведет к различным ошибкам при спектральном анализе, цифровой фильтрации и т.п.

Часто требуется не просто обеспечить стабильность частоты дискретизации, но и знать точные моменты (дату и время с заданной точностью) измерений (или иных событий). В зависимости от решаемой задачи, точность временной «привязки» может быть равна требуемой точности установки частоты, а может и отличаться от нее. Пусть генератор работает на частоте  $f_0$ , а относительная нестабильность частоты равна  $\delta_f$ , тогда соответствующее максимально допустимое значение абсолютной погрешности «привязки» по времени не должно быть больше чем абсолютное изменение периода частоты:

$$\Delta t \leq \frac{1}{f_0} - \frac{1}{f_0 + f_0 \cdot \delta} = \frac{1}{f_0} \cdot \left( \frac{\delta}{1 + \delta} \right).$$

Однако это очень жесткое требование, выполнение которого в большинстве реальных задач не требуется. Действительно, пусть  $f_0 = 5$  МГц;  $\delta_f = 10^{-7}$  (что во многих случаях соответствует реальным требованиям), тогда

$$\Delta t = \frac{1}{10^6} \cdot \left( \frac{10^{-7}}{1+10^{-7}} \right) \approx 5 \cdot 10^{-13} \text{ с};$$

обеспечить такую точность временной «привязки» к UTC, во-первых достаточно сложно, а, во-вторых, почти никогда не нужно.

Следует отметить, что в составе ИИС достаточно часто используют персональные компьютеры, которые имеют собственные энергонезависимые часы-календарь «реального времени» в виде специальной микросхемы на материнской плате, однако системные часы персональных компьютеров обычно имеют большую нестабильность и низкую точность (формально системное время IBM-совместимых персональных компьютеров может устанавливаться с точностью до миллисекунды, но реальная точность может быть намного хуже: до десятых долей секунды). Синхронизация «стандартного» компьютерного системного времени по специальным сетевым протоколам может несколько повысить точность установки времени (и точность хода часов, т.е. абсолютную погрешность системного времени относительно UTC в любой момент времени); но в любом случае предельная точность составляет 1 мс, кроме того при сетевой синхронизации трудно оценить реальное значение этой точности.

Принцип формирования шкалы времени во всех цифровых системах заключается в подсчете импульсов от высокостабильного опорного генератора с известной частотой (периодом). Счет импульсов осуществляется системой счетчиков, как правило, в виде специализированной интегральной микросхемы (ИМС). При этом, во-первых, имеется некоторая неточность (погрешность) из-за нестабильности частоты опорного генератора. Во-вторых, считывание и анализ значений времени также может занять некоторое время, причем без специальных мер это время может отличаться в зависимости от разных обстоятельств (самих значений, реализации алгоритмических конструкций с ветвлениями, циклами и т.п.). В-третьих, неоптимальная аппаратная конфигурация счетчиков в часах-календаре или неоптимальная программная реализация обеспечения режимов работы этих счетчиков может привести к дополнительной погрешности отсчета времени из-за нарушения счетного цикла в процессе чтения значений счетчиков или из-за неправильности многоразрядного считывания (в этом случае счетный цикл не нарушается, но значения могут быть считаны некорректно).

Современные ИИС, как правило, являются цифровыми и реализованы или на основе компьютера (персонального или промышленного); или на основе специализированной микропроцессорной / микроконтроллерной системы, или на основе реализованной на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) системы. Возможны также комбинации этих вариантов.

Если система реализована на основе микропроцессоров / микроконтроллеров (компьютеры, специализированные системы), то следует учитывать возможную погрешность при синхронизации, связанную с неодинаковостью времени (или скорости) выполнения различных участков программного кода, что приводит к неодинаковости времени реакции системы на различные события.

Один класс причин неодинаковости времени (или скорости) исполнения различных действий связаны непосредственно с конструкциями алгоритмов. Например, при наличии в программе любого алгоритмического ветвления последовательности действий, выполняемые при выполнении и при невыполнении контрольного условия, могут оказаться различными. Различное время (принципиально непредсказуемое) занимают циклические алгоритмы с неизвестным заранее числом повторений. Кроме того, время одной итерации цикла может отличаться от времени другой итерации, если в теле цикла есть ветвления или вложенные циклы.

Другой класс причин неодинаковости времени или скорости исполнения различных действий связан с особенностями систем команд конкретных процессоров / контроллеров. Во-первых, разные команды могут выполняться за различное число тактов (это известно заранее, и учет этого фактора труда обычно не представляет); во-вторых, некоторые команды (одна и та же команда) могут выполняться за разное число тактов в зависимости от дополнительных обстоятельств (состояния какого-нибудь флага и т.п.).

Для многозадачных систем одни и те же участки кода могут выполняться с разной скоростью при неправильном распределении ресурсов, неправильных установках приоритетов и т.п.

Кроме указанных факторов, на процесс выполнения программы будет непосредственно влиять и собственная нестабильность частоты тактового генератора.

Совместный учет всех перечисленных факторов является чрезвычайно сложной задачей, и в большинстве случаев практически выполнен быть не может. При этом следует иметь в виду, что если конкретная ИИС является «медленной» и при этом не требует высокой стабильности частоты или временной «привязки», то вышеперечисленные факторы могут считаться несущественными. С повышением требований к точности и стабильности частоты и времени влияние указанных факторов возрастает и требует мер для устранения либо самих факторов, либо результатов их влияния. Выше отмечалось, что применение языков программирования высокого уровня, по сравнению с использованием языка *Assembler*, существенно сокращает время разработки, повышает надежность и гибкость программного продукта. В настоящее время для сложных ИИС применение программ, написанных на языках высокого уровня, является неизбежным. Вместе с тем, программы написанные на языках высокого уровня, в

ряде случаев могут иметь меньшее быстродействие и большее ресурсопотребление из-за неоптимальности кода. В ИИС целесообразно для особо критичных к времени исполнения участков алгоритмов применение подпрограмм, написанных на языке Assembler.

Одним из наиболее применимых в различных системах сбора данных методов обеспечения необходимого временного режима работы является обеспечение аппаратной синхронизации измерительных преобразователей (и некоторых других элементов системы) и применение аппаратных прерываний или процедуры прямого доступа к памяти для считывания готовых результатов и их записи в память.

Прерывание – это аппаратно-программный способ обработки внешних по отношению к микропроцессорной / микроконтроллерной системе событий. При установке на физической линии запроса прерывания соответствующего уровня (или при соответствующем фронте сигнала) процессор приостанавливает выполнение текущей команды и передает управление по заранее обусловленному адресу (вектору прерывания), где находится программный код обработки прерываний. После выполнения процедуры обработки прерывания, управление вновь передается основной программе в то место, где было прервано ее выполнение. Т.к. подпрограмма обработки прерываний использует те же регистры процессора, что и основная программа, для успешного продолжения выполнения прерванной программы необходимо чтобы или процедура обработки прерывания вообще не изменила состояния регистров (естественно, если это специально не предусмотрено алгоритмом), или значения регистров необходимо сохранить перед выполнением основных действий процедуры обработки прерывания, а после окончания этих действий (перед выходом из процедуры обработки прерывания) – восстановить. Обычно для сохранения и восстановления значений регистров используют специальным образом организованную область памяти – стек. В некоторых языках программирования высокого уровня сохранение и восстановление содержимого регистров при вызове прерываний осуществляется автоматически.

Кроме механизма прерываний, многие микропроцессорные / микроконтроллерные системы поддерживают прямой доступ к памяти (ПДП, DMA – Direct Memory Access): режим, когда внешние данные в пакетном режиме (возможен и одиночный цикл обмена) записываются непосредственно в память системы без непосредственного участия центрального процессора (при этом процесс передачи данных обеспечивает или специальный вспомогательный контроллер прямого доступа к памяти или арбитр шины). Режим ПДП реализован, например, в IBM-совместимых компьютерах. [1]

Применение ПДП во многих случаях оптимально подходит для систем сбора данных, т.к. в них как раз и требуется передача данных в память. Однако организовать «бесконечный» цикл ПДП невозможно, поэто-

му режим ПДП применим только для организации покадрового сбора данных.

Рассмотрим в качестве примера следующую ситуацию. Пусть требуется создать четырехканальную систему сбора данных, состоящую из собственно модуля сбора данных и персонального компьютера. Необходимо организовать сбор данных по четырем каналам с частотой дискретизации 100 кГц по каждому. При этом абсолютная «привязка» к UTC не требуется (достаточно знать время начала измерений с точностью системных часов ПК), а стабильность частоты дискретизации должна быть не хуже  $10^{-7}$ . Сам модуль сбора данных пусть представляет собой 14-разрядный АЦП последовательного приближения с входным мультиплексором; модуль может иметь до 16 однополюсных или до 8 дифференциальных входов; интерфейс связи модуля с компьютером – PCI; на плате имеется встроенный программируемый трехканальный 16-разрядный счетчик-таймер (подобные модули широко представлены на рынке, примером таких устройств могут служить модули ЗАО «Руднев-Шиляев»). [2]. Анализ задачи показывает, что системные часы компьютера принципиально не могут обеспечить необходимую стабильность работы. Поэтому необходимо запускать модуль от опорного генератора, обеспечивающего необходимую частоту с заданной стабильностью; в данном случае:  $(100 \text{ кГц}) \times (4 \text{ канала}) = 400 \text{ кГц}$  с нестабильностью  $(400\,000 \pm 400\,000 \cdot 10^{-7}) \text{ Гц} = (400\,000 \pm 0,04) \text{ Гц}$ . В качестве опорного генератора можно применить имеющийся в модуле кварцевый генератор частотой 50 МГц, при этом необходим делитель с коэффициентом  $50\,000\,000 / 400\,000 = 125$ . Т.е. необходимо соединить вход канала счетчика-таймера с кварцем, канал программно сконфигурировать на коэффициент деления 125, а выход канала подать на вход «Запуск преобразования». Тем самым, будет обеспечен запуск модуля АЦП (со всеми дополнительными внутренними цепями модуля) с заданной частотой дискретизации (и с заданной стабильностью). Для считывания данных в память компьютера можно реализовать различные способы. Например, при готовности данных модуль формирует запрос на аппаратное прерывание (предполагается, что такая возможность существует). Обработчик прерывания считывает результат в оперативную память (например, один из двух буферных массивов). При заполнении текущего буферного массива для обработчика прерывания меняется ссылка на буферный массив (т.е. сменяется активный буферный массив); при этом сбор данных без сбоя продолжается. Далее заполненный массив записывается в файл на диск. Программа продолжает работать в цикле; процесс сбора данных может длиться вплоть до полного заполнения диска. В рассмотренном примере процесс сбора данных синхронизирован с кварцевым генератором модуля сбора данных, а процесс чтения и записи данных происходит независимо (асинхронно) от процесса сбора данных. Естественно при этом необходимо, чтобы время сбора данных объемом в один буферный массив было больше, чем время записи

данных из массива на диск (если же вычислительная подсистема «не успевает» за сбором данных, то она принципиально непригодна для такой ИИС).

Если для рассмотренного примера требуется не только стабильность частоты дискретизации, но и точная «привязка» к UTC, то в систему можно ввести приемник сигналов навигационной спутниковой системы. Как уже отмечалось, все такие приемники выдают электрический сигнал прямоугольной формы частотой 1 Гц с фронтами, которые с заданной (в технических характеристиках приемника) точностью (обычно не хуже десятков наносекунд) соответствуют началам секунд UTC. Для рассматриваемой системы необходимо, чтобы начало измерений началось не в произвольный момент, а с началом секунды UTC (т.е. по фронту сигнала PPS). Очевидно, если запуск измерений осуществлять программно по прерыванию от импульса PPS, то будут иметь место характерные для выполнения программ вариации скорости их выполнения. Вместе с тем, т.к. непосредственно для запуска измерений требуется выполнение всего нескольких простейших команд, то для большинства случаев имеющаяся задержка исполнения программы (время от фронта импульса PPS до запуска измерения) может быть предсказана достаточно точно и в ряде случаев (если она много меньше, чем допустимое расхождение во времени) просто не учитываться. Если все же программная задержка для конкретной ИИС превышает допустимую, либо если стабильность длительности этой задержки оказывается недостаточной, то необходима аппаратная реализация запуска измерительного модуля от импульса PPS (при этом модуль должен иметь соответствующую аппаратную возможность).

В ряде случаев требуется синхронизация системного времени компьютера (потенциальная точность для этого случая описана выше) или иной вычислительной системы от приемника спутниковой навигационной системы. В этом случае, как правило, применяют следующий алгоритм действий:

- 1) в произвольный момент времени из вычислительной системы запрашивают значение даты времени через интерфейс приемника;
- 2) оценивают актуальность полученных значений (по дополнительным служебным данным) и интервал времени, оставшийся до наступления следующей секунды;
- 3) если интервал значительный (заведомо превышает наибольшую задержку выполнения программного кода установки системного времени), то содержащую значение устанавливаемого времени переменную устанавливают на ближайшую целую следующую секунду с нулевой дробной частью (или в некоторых случаях с дробной частью, равной оцененной величине задержки времени);

4) если интервал незначительный (сравним или меньше, чем наибольшая возможная задержка выполнения программного кода установки системного времени), то повторяют п. 1;

5) по сигналу PPS навигационного приемника устанавливают подготовленное в п. 3 значение времени и запускают счет времени; при этом используется или механизм прерываний (для этого случая оценки возможных задержек описаны выше), или непосредственная электрическая связь выхода PPS с управляющим входом «Загрузка-запуск»; во втором случае потенциальная задержка времени меньше.

Для систем, реализованных на основе ПЛИС, характерно значительно большее (до нескольких порядков) быстродействие, чем для систем на основе микропроцессоров / микроконтроллеров. Указанный фактор является причиной все более широкого применения ПЛИС в ИИС. При этом можно определить две основных концепции применения ПЛИС: 1) реализация (по существу, симуляция) на основе ПЛИС быстродействующей версии существующих микропроцессоров / микроконтроллеров и исполнение соответствующих программ (написанных для микропроцессоров / микроконтроллеров) в этой быстродействующей системе; 2) реализация необходимого алгоритма непосредственно на основе ПЛИС из ее элементарных цифровых узлов (подобно построению цифровых схем из дискретных логических элементов). Основное преимущество первой концепции – возможность использования существующего прикладного ПО. Преимуществом второй концепции является большее потенциальное быстродействие из-за оптимальности реализации алгоритма; недостатком можно считать сравнительную большую сложность программирования (программирование ПЛИС имеет иной стиль и язык программирования) и, в некоторых случаях, несколько большие временные затраты.

Большинство современных быстродействующих ИИС строится или полностью на основе ПЛИС, или на структуре, содержащей и микропроцессор / микроконтроллер, и ПЛИС.

#### ***Библиографический список***

1. Гук М. Ю. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. – С.-Пб.: Питер, 2006
2. Продукция. Платы сбора данных. [Электронный ресурс] / [www.rudshel.ru](http://www.rudshel.ru) – Сайт ЗАО «Руднев-Шиляев» – Режим доступа: <http://www.rudshel.ru>, свободный

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОХРАННО-ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ В СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

А.В. Ретивых, Е.М. Фискин (научный руководитель)  
Иркутский государственный технический университет  
[reierem@istu.edu](mailto:reierem@istu.edu)

Домашняя автоматизация на сегодняшний день является быстроразвивающимся сегментом рынка. На данный момент наиболее развитыми его сегментами в сибирском регионе являются охранно-пожарные системы и системы мониторинга и учета энергоресурсов. Альтернативой этим системам можно представить систему «умный дом» [1], сочетающую в себе эти системы, а также функции домашнего микроклимата и управления бытовыми приборами. Для рядового потребителя использование подобных систем позволит, в режиме реального времени наблюдать за своим имуществом и дистанционно управлять бытовой техникой и микроклиматом в доме.

Рассмотрим одно из существующих решений для системы «умный дом». Данная система представлена на рисунке 1.

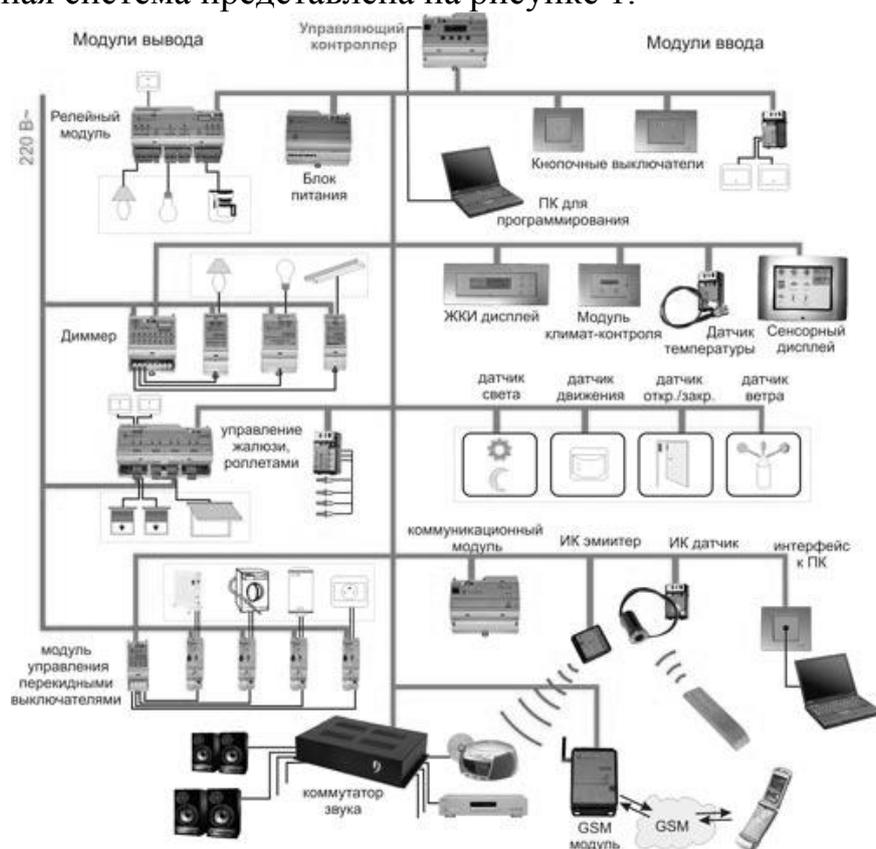


Рисунок 1 – Система «умный дом»

Силовая часть этой системы располагается в электрическом щите и скрыта от глаз пользователя, также в щит помещается блок контроллера и коммутационный модуль. Для данного типа системы применяются как проводные, так и беспроводные виды связи. Управление сетью питания

220 В осуществляется по технологии PLC (Power Line Communication), дополнительно к этому модулю ставится блок защиты от бросков напряжения. Управление модулями происходит по интерфейсу RS-485, также присутствует и ИК-порт. Для удаленного управления используется GSM-модуль. Стоимость подобной системы для трех комнатной квартиры составляет 40-55 тысяч рублей.

Для среднестатистического потребителя данная стоимость является весьма высокой. Исходя из вышесказанного, было принято решение разработать недорогую, многофункциональную систему, включающую в себя охранно-пожарную сигнализацию, систему мониторинга и учёта энергоресурсов и систему управления микроклиматом.

Основной частью данной системы будет приёмно-контрольный прибор охранно-пожарной сигнализации [2]. Прибор способен контролировать 4 шлейфа ОПС, каждый из которых может включать в себя до 8 охранных или 4 пожарных безадресных извещателей. Заметим, что ППКОП, доступные сегодня на рынке контролируют не более двух датчиков на шлейфе. Это связано, прежде всего, с тем, что с увеличением числа датчиков растёт количество анализируемых прибором состояний шлейфа. Если принять за  $n$  число извещателей в шлейфе, то количество состояний "норма" и "срабатывание" будет равно  $\sum_{k=0}^n C_k^n$ , где  $C_k^n$  – биномиальные коэффициенты. Так в случае с восьмью датчиками число таких состояний равно 256. Кроме них, полезно отслеживать 8 вариантов короткого замыкания датчиков. Естественно, что такое большое число состояний шлейфа, которое следует обрабатывать контроллеру, может стать причиной ложных тревог. С другой стороны, встроенные в МК STM32 [3] 12-разрядные АЦП позволяют контролировать 4096 состояний, что даёт возможность разместить состояния шлейфа с большими расстояниями на шкале напряжений. Так при равномерном распределении состояний и напряжении питания 3,3 В расстояние между состояниями составит 0,0125 В, что соответствует 15 промежуточным состояниям АЦП. То есть при грамотно составленной модели контроллера шлейфа, задача качественного мониторинга нескольких зон может быть решена.

Для подключения приборов учёта будут использоваться два способа:

1. Проводной (интерфейс RS-485);
2. Беспроводной (радиомодули).

Первый способ: подключение приборов учёта к головному прибору осуществляется по топологии «шина». Подключение приборов учёта к головному прибору по топологии «шина» имеет как достоинства так и недостатки. К достоинствам можно отнести:

- Простой монтаж;
- Отсутствие дополнительных устройств;
- Низкая стоимость.

В качестве недостатка выделим сложность расшифровки пакетов при одновременной передаче двух и более устройств.

Для работы с датчиками, отвечающими за микроклимат в доме, применяется технология 1-Wire [4]. Достоинством данной технологии является подключение датчиков по топологии «шина» и применение специализированного, стандартизованного протокола общения между головным прибором и датчиками.

Второй способ: подключение датчиков и приборов учета осуществляется по топологии «звезда». Топология «звезда» была выбрана из-за достаточно простой программной реализации, которая позволяет разработчику использовать как стандартизированные, так и собственные протоколы передачи данных.

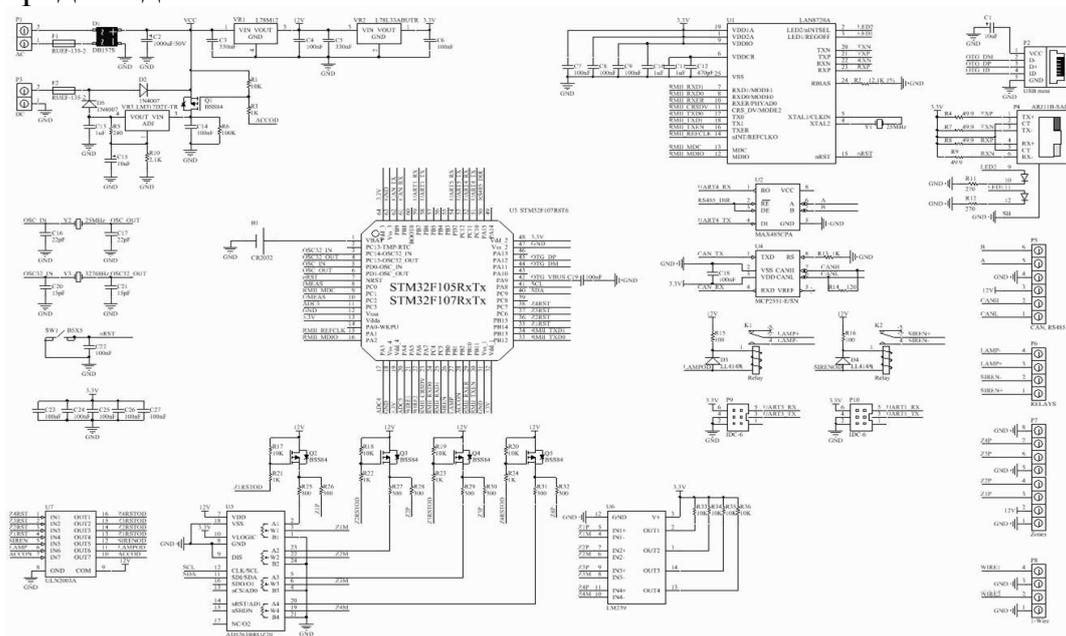


Рисунок 3 – Схема тестового прибора ОПС

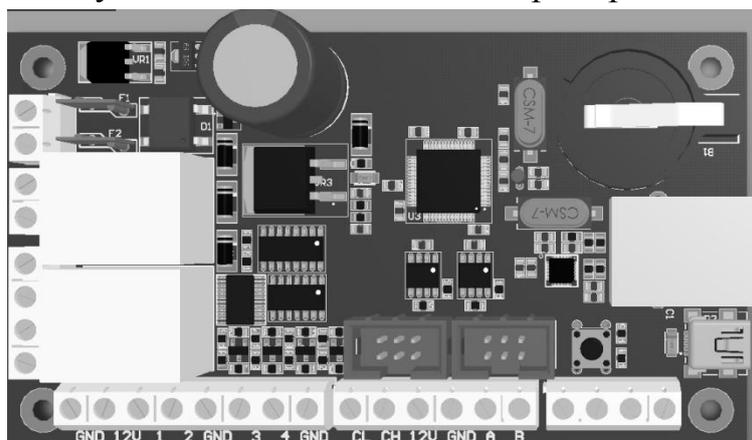


Рисунок 4 – 3D-модель тестового прибора ОПС

Тестовая реализация прибора ОПС представлена в «одноплатном» исполнении на рисунке 4. Схема прибора показана на рисунке 3. Учитывая опыт проектирования сложных радиоэлектронных систем [5], которые могут привести к увеличению слоев платы, применению более высокого класса точности и сложности нахождения ошибок в конечном приборе, была пересмотрена концепция прибора ОПС, и исходя из опыта работы с одноплатными ОПС. Было выбрано модульного исполнение как самого прибора, так и всей системы «умный дом». Что позволит варьировать и конфигурировать систему под конкретные потребности пользователя. Модульная реализация не лишена недостатков, основным можно выделить подключение модулей к плате централизации и их взаимодействие между собой. На рисунке 5 представлена структурная модульного прибора ОПС и дополнительных модулей.



Рисунок 5 – Структурная схема модульной реализации прибор ОПС

В заключении отметим, что проектируемый прибор получится многофункциональным и недорогим. Модульная реализация головного прибора придаст определенную гибкость при установке самого прибора и модулей подключаемых к нему.

#### ***Библиографический список***

1. Р.К. Элсенпитер, Т.Дж. Велт. «Умный дом строим сами». – М.: Кудиц-Образ, 2004. 362 с.
2. Современная охранно-пожарная сигнализация для офисов и зданий. [http://www.armosystems.ru/system/fire\\_security\\_alarm\\_1.ahtm](http://www.armosystems.ru/system/fire_security_alarm_1.ahtm).
3. STM32L100. Ultra-low power 32-bit ARM MCU based CORTEX-M3. ST Microelectronics. 2014 – 103 p.
4. Технология сетей 1-Wire. <http://www.elin.ru/1-Wire/>.
5. Ретивых А.В., Белоусов Р.А., Фискин Е.М., Фискина М.М. Отладочный стенд устройств мониторинга энергоресурсов. Повышение эффективности производства и использование энергии в условиях Сибири. Том 2. 2013 – 340 - 344 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ MRF49XA И SPIRIT1 ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Ретивых А.В., Сизых М.С., Фискин Е.М. (научный руководитель)

Иркутский государственный технический университет

*reierem@istu.edu*

На сегодняшний день существует широкий спектр решений для системы «умный дом». От проводных: PLC [1], C-Bus [2], до беспроводных решений: ZigBee [3], Z-Wave [4] и других. В данной статье мы представим краткое описание существующих решений и обоснуем свой выбор в пользу субгигагерцовых решений для этой системы.

Технология PLC или Power Line Communication предназначена для передачи данных по сети 220В, на скоростях до 1 Мб\с. Пример работы PLC технологии представлен на рисунке 1.

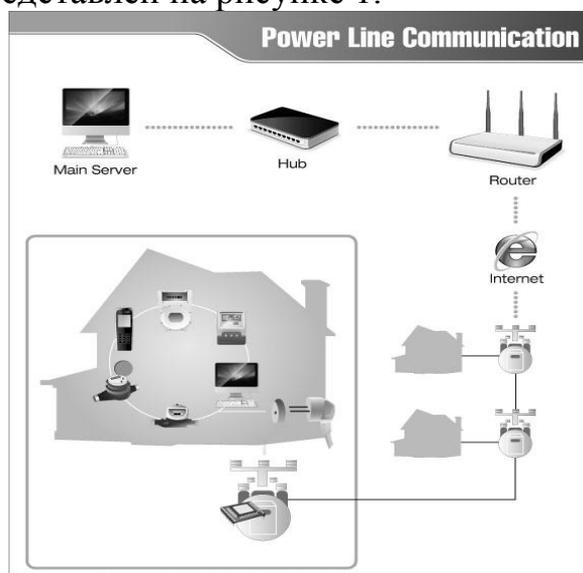


Рисунок 1 – Технология Power Line Communication

Данная технология позволяет в короткие сроки развернуть любую систему, т.к. передача данных идет по проложенным ранее электрическим проводам. Но также при этом существует масса недостатков, которые приходится решать по мере расширения сети. Необходима полная замена большинства электроприборов (розеток, выключателей и т.п.), т.к. использование оборудования без специальных микросхем будет вносить ослабление сигнала от 5 до 50%. Также на качество, скорость и надежность связи оказывает отрицательное влияние исполнение, топология и качество электропроводки и наличие скруток снижают скорость передачи данных до полного ее пропадания. Для применения данной технологии в многоквартирных домах существует еще один недостаток, при наличии более одной системы, к примеру двух или трех, системы будут работать не корректно, т.к. топология подключения всех устройств «общая шина» и подключены они к общей сети дома, следовательно системы будут влиять друг на друга, и их работа будет некорректной.



ет от 3 до 5 лет от одной батарейки АА или ААА. Основным минусом для этих стандартов являются закрытые протоколы. Что не позволяет разработчику гибко использовать данные стандарты для проектирования систем автоматизации.

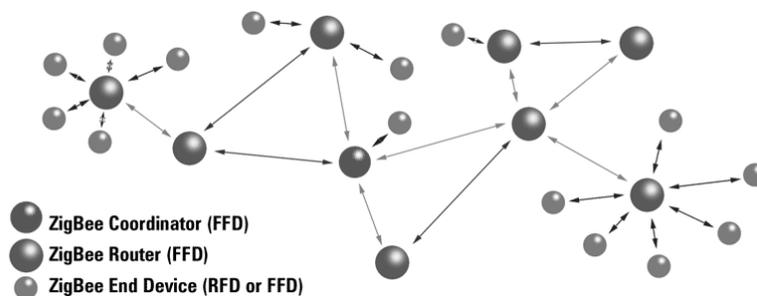


Рисунок 3 – Mesh-структура сети ZigBee

В качестве базы для разработок системы «умный дом» было выбрано направление беспроводных сетей, и два варианта их исполнения. Первый вариант построен на основе приемопередатчика SPIRIT1. Второй выполнен на базе приемопередатчика MRF49XA. Рассмотрим основные характеристики этих приемопередатчиков.

1. SPIRIT1:

- Рабочие частоты (МГц): 169, 315, 433, 868, 915, 920;
- Модуляция: FSK, GFSK, MSK, GMSK, ASK;
- Скорость передачи данных: от 1 до 500 Кб/с;
- Максимальная выходная мощность: 16 дБм;
- Чувствительность приемника: -118 дБм;
- Аппаратное кодирование: AES-128;
- Интерфейс общения с МК: SPI;

2. MRF49XA:

- Рабочие частоты (МГц): 433, 868, 915, ;
- Модуляция: FSK;
- Скорость передачи данных: от 2.4 до 115.2 Кб/с;
- Максимальная выходная мощность: 10 дБм;
- Чувствительность приемника: -110 дБм;
- Интерфейс общения с МК: SPI;

Выбор данных приемопередатчиков в качестве основных узлов обусловлен следующими факторами: использование нелицензированных частот и мощностей, отсутствие лицензированных протоколов, низкая стоимость.

В отличие от других систем умного дома построенных на ZigBee или Z-wave использование трансиверов SPIRIT1 значительно снижает себестоимость готовой продукции, а также даёт разработчику неограниченные возможности для реализации своего протокола передачи данных. Ещё одним недостатком сетей ZigBee и Z-wave является закрытые протоколы пе-

редачи, что даёт ограничение на разработку коммерческих проектов. Для массового выпуска продукции на основе ZigBee и Z-wave необходимо получение лицензии на их использование. За счёт того, что в SPIRIT1 протокол организации сети создает сам разработчик, получение лицензии не требуется.

Для изучения приёмопередатчика SPIRIT1 была изготовлена тестовая плата, представленная на рис. 4. Основное её отличие от серийно выпускаемых плат компании ST - это отсутствие интерфейса USB и установленный микроконтроллер STM32F051. Этого набора достаточно для тестирования всех возможностей SPIRIT1.

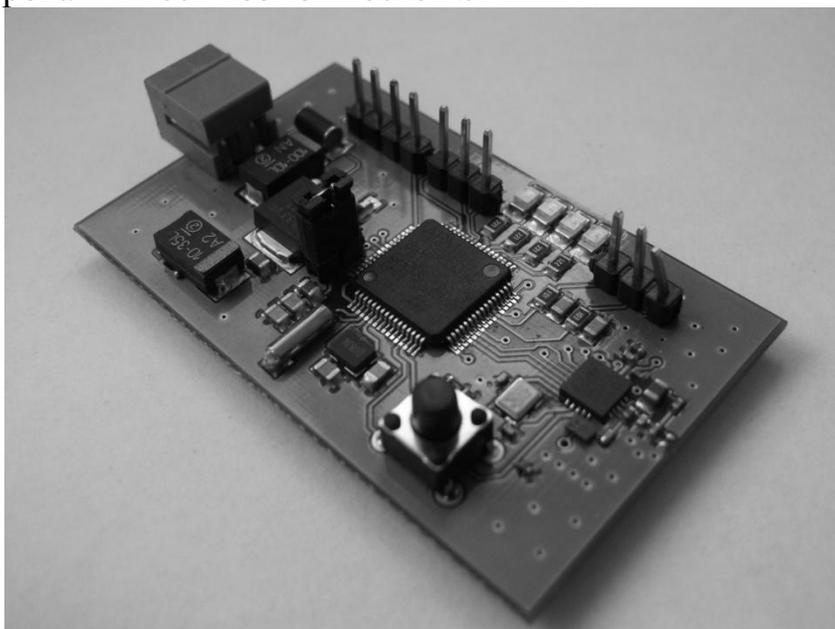


Рисунок 4 – Радиомодуль на базе SPIRIT1

Учитывая опыт разработки проводных приборов учёта энергоресурсов в компании НТЦ «КУМИР», планируется изготовление отдельных радиомодулей на базе SPIRIT1 и создание на их основе беспроводных поквартирных приборов учёта энергоресурсов.

Реализация модулей на базе приёмопередатчика MRF49XA обладает теми же положительными качествами, что и реализация на SPIRIT1. Тестирование данных приёмопередатчиков проводилось с помощью отладочных плат STM32F3DISCOVERY, STM32F3DISCOVERY. На рисунке 5 показан тестовый набор из отладочных плат и портативных модулей.

При тестировании модулей была определена «примерная» максимальная дальность связи, которая составила 15 метров. Тестирование проводилось на частоте 433МГц, выходная мощность составляла 10 мВт. Полученная дальность близка по значению с результатами представленными в [5]. Для устройств домашней автоматизации применение MRF49 позволит снизить стоимость готовых устройств, по сравнению с аналогами. Единственным недостатком трансивера является низкая скорость передачи

данных. Передача изображений или небольших видеопотоков для этого трансивера противопоказаны. Следовательно эти линии придется вести проводом, либо применять трансивер со скоростью передачи от 500 Кб/с до 1 Мб/с. Для этих целей будет применяться трансивер SI4464, поддерживающий данный скоростной интервал и обладающий широким частотным диапазоном.

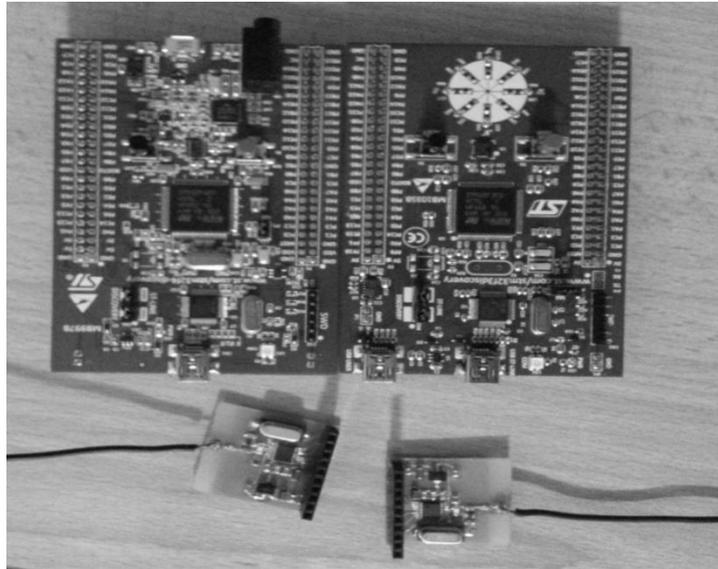


Рисунок 5 – Отладочные платы и радиомодули

В заключении отметим, что реализация радиомодулей для систем «умный дом» на базе трансиверов субгигагерцового диапазона, позволяет решать задачу разработки и программирования более гибко, чем реализации ZigBee, Z-Wave и проводных интерфейсов, а также является более дешевым. В данный момент проводятся тесты модулей на SPIRIT1 и MRF49XA. Результаты тестирования будет представлены в последующих публикациях.

#### ***Библиографический список***

1. Охрименко В. PLC-технологии. Часть 1. Электронные компоненты – 2009, 58-62 с.
2. C-Bus. Базовое пособие. <http://c-bus.ru/index.php/pro/training/cbus-training-manual-1>.
3. ZigBee e-learning. <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/index.htm>.
4. Z-Way Developers Documentation. 2013 – 111 p.
5. Елькин М.С. Сравнение дальности действия радиоканальных систем в диапазонах 433 и 868 МГц, 2.4 ГГц. "Системы безопасности" №3, 2010.

## РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ МОДУЛИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА АТМЕГА 8

Ретивых А.В.

Иркутский государственный технический университет  
[reierem@istu.edu](mailto:reierem@istu.edu)

В предыдущей статье [1] был представлен лабораторный стенд на базе микроконтроллера АТМega 8 [2]. Внешний вид стенда представлен на рисунке 1.

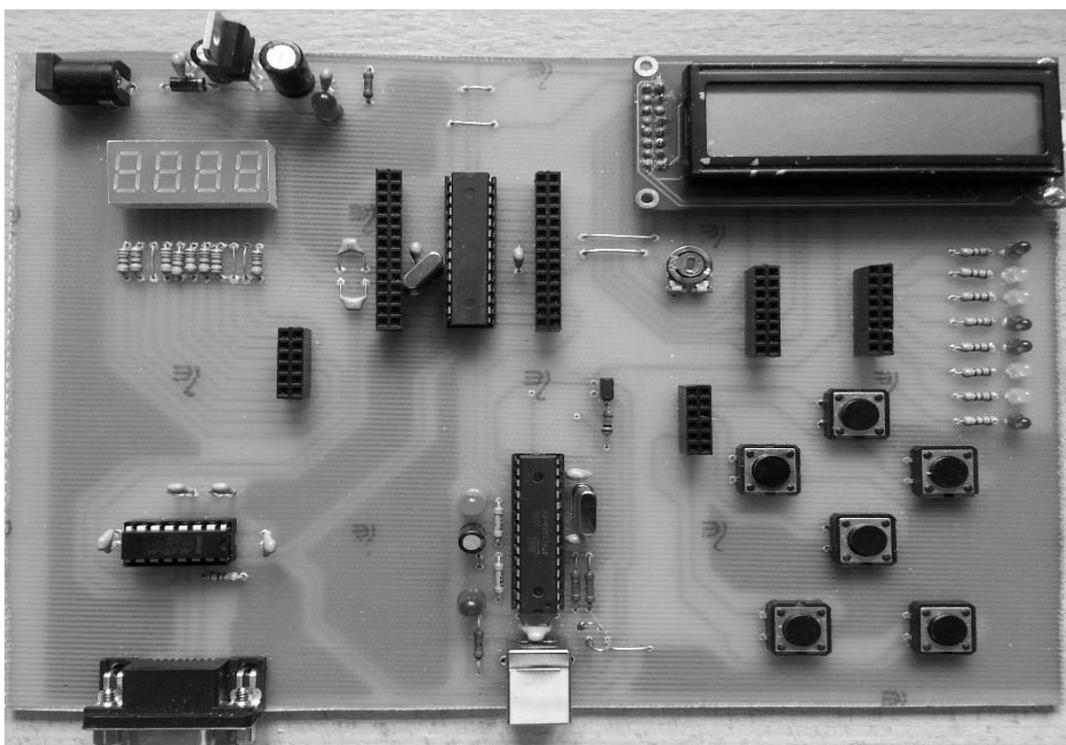


Рисунок 1– Внешний вид стенда

На данный момент стенд применяется для проведения лабораторных работ и хорошо себя зарекомендовал.

Как и любая современная техника, так и наш стенд необходимо периодически обновлять, а вместе с ним и лабораторные работы. С этой целью был разработан радиопередающий модуль на базе приемопередатчика MRF49XA[2]. Микросхема MRF49XA выполнена в миниатюрном корпусе TSSOP-16 и обладает следующими параметрами.

Основные параметры приемопередатчика MRF49XA:

- Диапазон рабочих частот: 433-920 МГц;
- Модуляция: FSK;
- Скорость передачи данных: 2,4 – 256 Кб/с;
- Максимальная выходная мощность: 10 дБм;
- Чувствительность приемника: -110 дБм;

- Количество каналов передачи информации: 207 для рабочей частоты 433 МГц;
- Программируемые полосовые фильтры в режиме прием и передачи;
- Низкое токопотребление: 11 мА в режиме приема, 15 мА в режиме передачи, 0.3 мкА в режиме сна;
- Напряжение питания: 2.8 – 3.6 В;
- Интерфейс общения с МК: SPI.

Рассмотрим схему модуля. Схема представлена на рисунке 2.

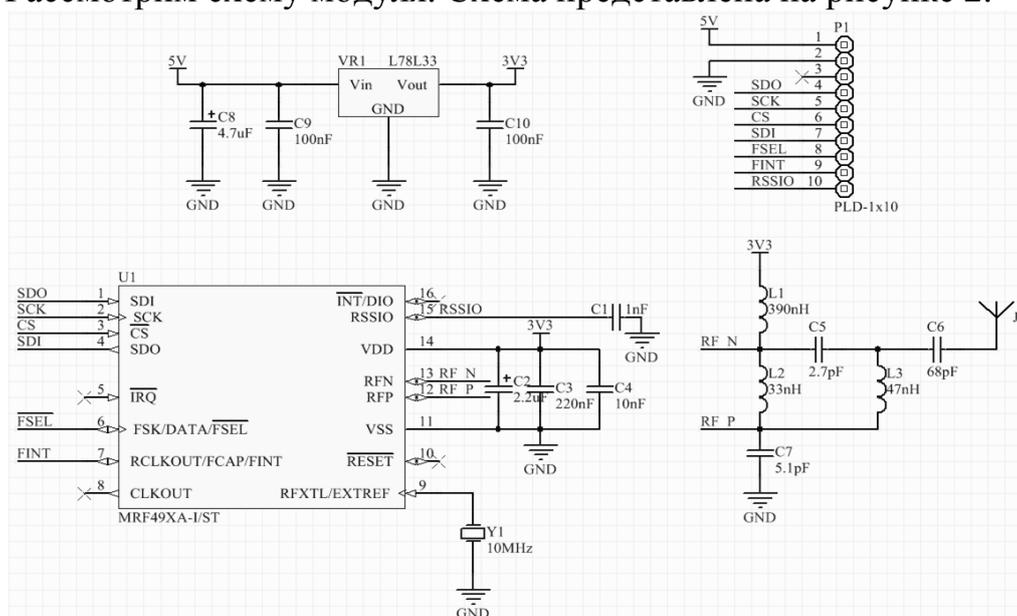


Рисунок 2 – Схема радиопередающего модуля

Для подключения модуля к стенду используется разъём PLD10, позволяющий соединить модуль к любыми выводами микроконтроллера. Понижающий стабилизатор напряжения применяется в связи с необходимостью уменьшения напряжения питания для корректной работы микросхемы передатчика. Для работы с микросхемой будет использоваться семь линий, шесть цифровых и одна аналоговая для работы с аналого-цифровым преобразователем микроконтроллера. Две линии микросхемы подключены через согласующую цепь к антенне.

Подробнее остановимся на выборе антенны для модуля. Рабочая частота передатчика 433 МГц. Для данной частоты существует огромное количество различных типов антенн. Остановимся на трёх видах антенн: четверть волновой штырь, спиральная антенна и РСВ-антенна.

1. Четверть волновой штырь – один из самых распространенных типов антенн, представляет собой отрезок провода равный  $\frac{\lambda}{4} = 17,33 \text{ см}$ , не имеет ограничений по размеру платы.

2. Спиральная антенна – менее распространенный тип антенн, из-за большой возможности механической деформации и ограничению по раз-

меру платы. Антенна представляет собой спираль в 17 витков диаметром 6 мм длиной 22 мм.

3. РСВ-антенна – распространенный тип антенн, т.к. необходимо использовать лишь замкнутый проводник на плате. Антенна представляет собой петлю 12×35 мм. Единственное ограничение – размер платы.

Все перечисленные типы антенн представлены в [3].

Плата модуля представлена на рисунке 3.

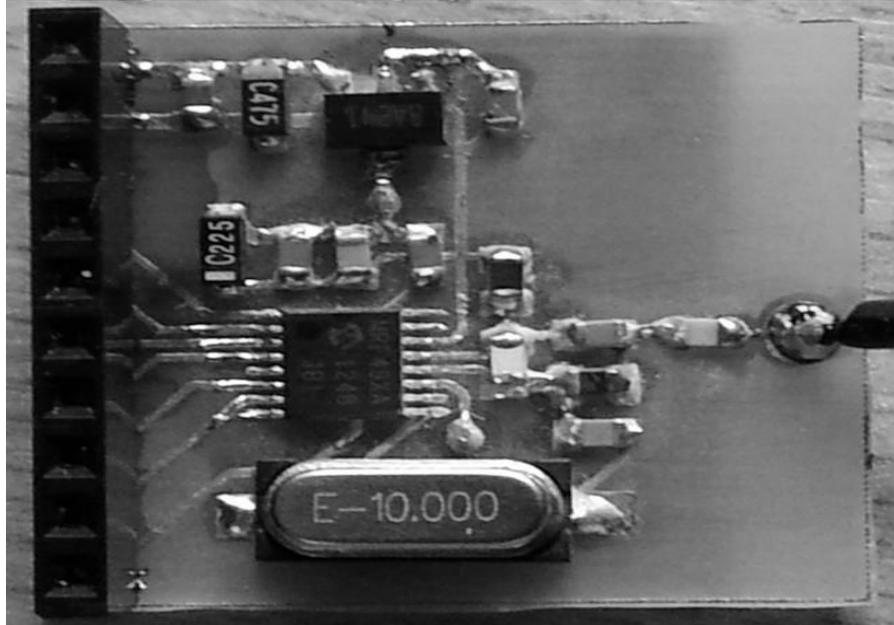


Рисунок 3 – Радиопередающий модуль

С данным модулем планируются следующие лабораторные работы:

- Программный и аппаратный SPI;
- Передача данных по нажатию кнопки;
- Индикация работы модуля;
- Работа с терминальными программами;
- Определение мощности входного сигнала;
- Вывод информации на ЖКИ.

В заключении отметим, что данный модуль позволит студентам работать со специализированными микросхемами, широко применяемыми в промышленных устройствах.

### ***Библиографический список***

1. А.Д. Бирючев, Д.П. Куренкин, А.В. Ретивых, Л.В. Просвирякова. Лабораторный стенд для изучения цифровых и микропроцессорных устройств на базе микроконтроллера ATmega 8. Современные проблемы радиоэлектроники и связи. 2012. – 63-66 с.

2. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «ATMEL» – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.

3. Kent Smyth. Antennas for low power applications. 16 с.: ил.

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ И ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЗАСЫПКЕ НА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ КОНТУРЕ ИСЭМ СО РАН**

**Ощепков А.А., Сенский И.А., Просвирякова Л.В.**

Иркутский государственный технический университет

E-mail: rts\_lab@istu.edu

Во многих отраслях промышленности кипение является основой технологического процесса. На атомных электростанциях (АЭС) [1], тепловых электростанциях (ТЭС) и котельных [2] процесс преобразования воды в пар является основополагающим. Также, этот процесс очень важен в нефтяной [3], металлургической и химической промышленности, в биологии, медицине и фармацевтике [4]. Гидродинамика двухфазных потоков в засыпках частиц интенсивно исследуется в связи с перспективами применения ядерного топлива в форме шаровых тепловыделяющих элементов в активных зонах водяных реакторов с водой под давлением. Например, замена стержневой тепловыделяющей сборки (ТВС) ВВЭР второго и третьего поколений на насыпную ТВС с микротвэлами позволяет поднять показатели безопасности установки до уровня техники четвертого поколения.[5]

Две эти проблемы изучаются на высокотемпературном контуре (ВТК) в Институте систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской Академии наук (ИСЭМ СО РАН), который был запущен еще в 1974 году. На сегодняшний день ВТК нуждается в модернизации, отвечающей последним техническим требованиям. По этой причине был спроектирован телеметрический комплекс, структурная схема которого представлена на рисунке 1.

Главной частью телеметрического комплекса является экспериментальный модуль (ЭМ), через который циркулирует жидкость. Так как на ВТК исследуются два различных процесса, то и ЭМ был сделан двух типов: для исследования процесса кипения и для исследования жидкости в засыпке.

ЭМ для исследования процесса кипения представляет собой полую стеклянную шестиугольную призму с длиной 410 мм, радиусом круга, в которую вписан шестиугольник, 85 мм и толщиной стенки 10 мм. Для прочности стеклянная призма вставлена в металлический корпус с толщиной стенки 8 мм. Внутри ЭМ вставляется нагревательный элемент, представляющий собой полый цилиндр либо нихромовую ленту, на поверхности которого в результате вскипания жидкости образуются пузырьки. Исследование процесса образования пузырьков, их размер и форма представляют собой одну из целей эксперимента, поэтому поверхность нагревательного элемента фиксируется двумя

высокоскоростными камерами "ВидеоСпринт" фирмы «Видеоскан»[6]. Для качественных и понятных фотографий необходимо осветить внутренний объем ЭМ, так, чтобы отраженный от нагревательного элемента свет не оставлял белых пятен на фотографиях. Именно для этого применяется шестиугольная форма ЭМ, что позволяет разместить четыре осветительных элемента и две фотокамеры. В металлическом корпусе предусмотрены вырезы на каждой из стенок размерами 270x25 мм. Так как камера имеет максимум чувствительности на длине волны 530 нм, что соответствует зеленому свету, то было принято решение об использовании в качестве осветительных элементов светодиоды зеленого цвета, мощностью 15 Вт каждый.

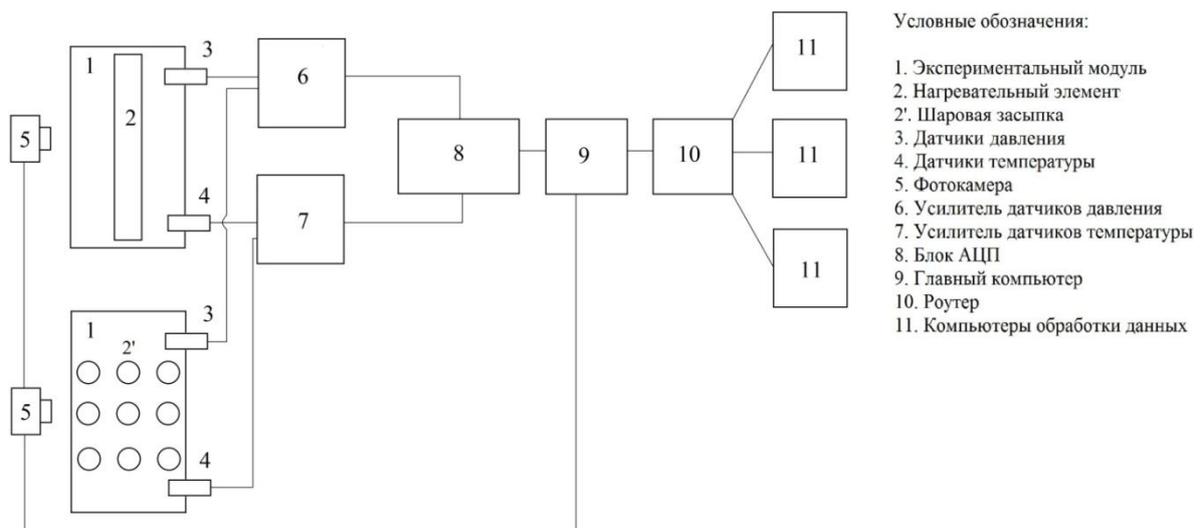


Рисунок 1 – Структурная схема телеметрического комплекса

ЭМ для исследования жидкости в засыпке представляет собой призму длиной 410 мм, основанием которой является квадрат со сторонами 72мм. Внутренняя часть также выполнена из стекла с внешним металлическим корпусом и вырезами, чтобы была возможность наблюдать и фиксировать процесс. В качестве нагревательного элемента здесь используется шаровая засыпка. Весь процесс, как и в случае ЭМ для исследования процесса кипения фиксируется двумя высокоскоростными камерами "ВидеоСпринт" фирмы «Видеоскан».

В качестве датчиков давления использованы датчики МИДА ПИ-51, принцип которых основан на явлении тензоэффекта – преобразования деформации в электрический сигнал [7]. Датчиком температуры является термопара типа К (хромель-алюмель) [8].

Так как в самой имеется большое силовых кабелей, в частности кабель питания нагревательного элемента, по которому протекает ток до 13 кА, на провода от датчиков давления и температуры наводится большая помеха, сильно ухудшающая качество эксперимента. Для решения этой

проблемы были спроектированы шестнадцатиканальные дифференциальные усилители для датчиков давления и датчиков температуры, ликвидирующие эту помеху [9].

Усилитель для датчиков давления создан на основе микросхемы AD8421 фирмы AnalogDevices, представляющей собой инструментальный усилитель, коэффициент усиления которого задается только одним резистором. Так как датчик давления МИДА ПИ-51 имеет восемь диапазонов измерения, то коэффициент усиления AD8421 должен быть переключаемым, для чего на передней панели для каждого канала предусмотрены галетные переключатели на восемь позиций для грубого переключения и потенциометр для точной подстройки. Помимо этого, на передней панели установлено 2 цифровых вольтметра для контроля за выходным напряжением. Каждый вольтметр служит для контроля напряжения 8 каналов, переключение между которыми производится с помощью DIP – переключателей на восемь позиций, располагающихся под вольтметрами. На задней стенке прибора установлены 16 разъемов РСГ4ТВ для подключения датчиков давления и разъем DRB-37М для подключения усилителя к плате L-780.

Усилитель для датчиков температуры создан на основе микросхемы AD8495 фирмы AnalogDevices представляющей собой инструментальный усилитель, коэффициент усиления которого задается только одним резистором. Выходное напряжение также фиксируется с помощью цифрового вольтметра. На задней стенке прибора установлены 16 разъемов для подключения датчиков температуры и разъем DRB-37М для подключения усилителя к плате L-780.

Важным моментом при питании каналов усилителей и датчиков является стабилизация напряжения питания. Для этой цели были использованы линейные стабилизаторы напряжения на микросхемах L7805 и L7809 фирмы STMicroelectronics для датчиков температуры и микросхем AD8421 и AD8495 соответственно.

После прохождения через усилитель сигнал уже без помехи поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), в качестве которого была использована многофункциональная плата L-780 фирмы L-CARD. На плате расположены микросхема PCI9050-1, полностью обеспечивающая PCI интерфейс платы с РС, и цифровой сигнальный процессор (ЦСП), управляющий всей периферией на плате. На данной плате установлен современный высокопроизводительный сигнальный процессор фирмы AnalogDevices ADSP-2184, работающий на частоте  $2 \cdot fq$ , где  $fq = 14745,6$  кГц – частота кварца. Максимальная пропускная способность обмена данными между сигнальным процессором и компьютером составляет 10 Мбит/с. [10]

В лаборатории, где установлен ВТК и ЭМ, создаются специальные условия (давление, температура), поэтому во время проведения

эксперимента там запрещено находиться людям. По этой причине усилители и компьютер, к которому подключаются плата L-780 и фотокамеры, был установлен в соседнем с лабораторией помещении.

Анализом и обработкой результатов занимаются несколько групп ученых, располагающихся в соседних с лабораторией помещениях. Для удобства получения данных была организована беспроводная передача данных по технологии Wi-Fi. Для этого к главному компьютеру был подключен роутер TL-WR1043ND фирмы TP-LINK, а на компьютеры обработки данных Wi-Fi адаптеры TL-WN821N фирмы TP-LINK.

Для работы с экспериментальными данными была создана программа обработки данных на основе графического языка программирования LabVIEW.

В настоящий момент телеметрический комплекс находится в завершающей стадии запуска его в эксплуатацию и в скором времени на нем будут проведены первые исследования.

#### ***Библиографический список***

1. Петухов, Б.С. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учеб. пособие / Б.С. Петухов, Л.Г. Генин, С.А. Ковалев – М. : Атомиздат, 1974. – 5 с.

2. Лавыгина, В.М. Тепловые электрические станции: учеб. пособие / В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 9 с.

3. Иванец, К.Я. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация: учеб. пособие / К.Я. Иванец, А.Н. Лейбо, – М. : Химия, 1966. – 9 с.

4. Никольский, Б.П. Справочник химика. Сырье и продукты промышленности неорганических веществ. Процессы и аппараты: учеб. пособие / Б.П. Никольский – М. : Книга по Требованию, 1967. – 574 с.

5. Кириллов, П.П. Тепло-массообмен в ядерных энергетических установках: учеб. пособие / П.П. Кириллов, Г.П. Богословская – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 207 с.

6. Научно-производственная компания Видеоскан [Электронный ресурс] / Videoscan.ru/ – Сайт технической поддержки. – Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/731>, свободный.

7. Микроэлектронные датчики давления [Электронный ресурс] / Midaus.com – Сайт технической поддержки. – Режим доступа: <http://www.midaus.com/cgi-bin/sheet.cgi?gp51&rus&transducers>, свободный.

8. Термопары типа К [Электронный ресурс] / Delexgroup.ru – Сайт технической поддержки. – Режим доступа: <http://www.delexgroup.ru/catalog/datchiki/termopary/>, свободный.

9. Матавкин, В.В. Инструментальный усилитель / В.В. Матавкин, / ChipNews, Инженерная микроэлектроника. – 2005. – № 1. – С. 54–65.

## БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧАТЬЮ И МОНИТОРИНГА

Якимов М.И.<sup>а</sup>, Труфанов А.И.<sup>а</sup>, Якимов И. Б.<sup>б</sup>, Захаров А. Л.<sup>б</sup>

<sup>а</sup> Иркутский Государственный Технический Университет

<sup>б</sup> Иркутский авиационный завод

marksman33@yandex.ru

**Введение.** Сегодня перед организациями как никогда остро стоит вопрос информационной безопасности. Мировая и российская практика показывают что , последствия от утечек обходятся гораздо дороже, чем меры по их предотвращению. При этом организация не только несет прямые финансовые убытки, потеря репутации оборачивается уходом клиентов и снижением конкурентоспособности. Многие организации уже имеют достаточно зрелую систему ИТ безопасности, однако характерно, что печатающие и копировальные устройства , зачастую, остаются вне внимания ИТ-служб, поэтому инсайдеры останавливают на них свой взор[1].

**Описание проблемы.** Основные проблемы безопасности при использовании в бизнесе современных многофункциональных устройств печати (МФП) связаны с их доступностью большому количеству сотрудников, рабочим группам и посетителям. Организация офиса по типу «open space» подразумевает удобную коллективную работу, но обратной стороной этого удобства становятся риски утечки информации [2].

Если печать производится без присутствия пользователя, в виде задания, отправленного с удалённого компьютера, доступ к появляющимся из лотка бумагам потенциально может получить любой желающий. Не стоит недооценивать этот фактор – несмотря на то, что специалистам по безопасности известны эти риски, по данным исследований Infowatch [3], примерно 30% офисных сотрудников находят конфиденциальные документы в принтерах и копировальных устройствах.

**Решение.** В рамках инфраструктуры, обеспечивающей полный цикл управления печатью, сканированием и копированием документов, рекомендуется использование систем, позволяющих чётко контролировать все аспекты комплексной безопасности – от авторизации электронными средствами сотрудников, имеющих доступ к multifunctional устройствам печати, до разграничения прав и даже распознавания на лету данных, попадающих на печать или подвергающихся копированию. Принимая во внимание актуальность вопроса безопасности, можно предложить целый ряд решений как аппаратного, так и программного уровня [3]. Например, такие системы, как ULM, uniFLOW for SMB, uniFLOW, SafeQ [4], PaperCut MF [5] и т.п., которые позволяют существенно расширить возможности контроля за печатью и аффилированными

процедурами, вести детальный учёт расходов, менеджмент процесса печати в соответствии с требованиями бизнеса. Использование такой системы позволяет обезопасить бизнес во всех основных аспектах, связанных с печатью и копированием документов и контролем действий сотрудников, имеющих доступ к конфиденциальной и служебной информации.

Сама система управления печатью и мониторинга должна иметь возможности, аппаратного и программного решения такие как:

- Авторизация пользователя при контакте с устройством, по паролю, PIN-коду, магнитной или бесконтактной карте любого стандарта.
- Сбор статистических данных обо всех печатно-копировальных работах в организации по всем пользователям, как на сетевых, так и на локальных принтерах; построение отчетов, графиков, диаграмм на основе полученной статистики;
- Просмотр содержимого ранее распечатанных или откопированных документов;
- Автоматическое распознавание документов, содержащих конфиденциальную информацию, с целью предотвращения их несанкционированной печати и копирования;
- Установление финансовых квот на объемы печати и копирования по подразделениям, вплоть до конкретного пользователя;
- Перенаправление печатных заданий на оборудование с более низкой себестоимостью печати;
- Удаленный мониторинг текущего состояния всех сетевых и локальных принтеров для обеспечения бесперебойной работы оборудования.

Предлагаются следующие этапы, необходимые при внедрении системы управления печатью и мониторинга на предприятии.

**Этап – Подготовительный.** Оптимизация (реорганизация) структуры подразделения предприятия, отвечающего за ПФУ. Создание новых или назначение обязанностей (должностей- ведущий инженер) по системе управления печатью, инженер по системе управления печатью.

Результат:

1. Подразделение целью, которого состоит в оптимизации использования копировально-множительной техники
2. Поддержание в работоспособном состоянии автоматизированной системы управления печатью и мониторинга печати, а так же поиск и устранение неисправностей системы;
3. ведение отчетности о проделанных работах.

**Этап – Анализ.** Поэтапная инвентаризация. Обследование каждого печатающего устройства на предмет работоспособности, износа, ресурса, выявление неработающего оборудования. Определение объемов печати. Выявление объемов цветной и черно-белой печати, загруженности оборуду-

дования. Анализ финансовых данных. Определение стоимости печати при имеющемся парке техники. Выявление текущих прямых и косвенных затрат. Стоимость расходных материалов, сервиса, бумаги, а так же энергопотребления аппаратов. Выявление требований к печати. Объем, скорость, необходимое количество ч/б и цветных аппаратов, персональных принтеров и сетевых МФУ.

Результат:

1. Оцененная текущая стоимость отпечатка.
2. Оцененные реальные совокупные затраты на печать.

**Этап – Проектирование.** После завершения анализа на этапе проектирования формируются предложения по оптимизации документооборота, согласуется техническое задание, проект и финансовый план системы печати.

Проектирование включает:

- Разработку концепции и долгосрочного плана развития системы печати.
- Определение целевых показателей эффективности (стоимости печати), безопасности и работоспособности системы печати.
- Разработку и согласование технического задания и проекта системы печати.
- Разработку политики печати.
- Разработку технического задания на внедрение.

Результат:

1. Согласованное техническое задание.
2. Проект реализации.
3. Финансовый план системы печати.

**Этап – Развертывание.** Запуск в эксплуатацию корпоративной системы печати состоит из:

1. Внедрения специализированного программного обеспечения (ПО) для управления печатью. ПО позволит проводить мониторинг печати и следить за соблюдением политики работы с документами на предприятии.

2. Поставки, инсталляции и настройки нового ПФУ и перемещение имеющегося. Парк техники оптимизируется под нужды компании в зависимости от объемов печати, загруженности и производительности имеющегося оборудования.

3. Внедрения политики печати и инструкций. Оповещение сотрудников компании о новых правилах использования печатного оборудования: запрет печати конфиденциальных документов, цветных документов, ограничение по объемам печати.

4. Тестирования и запуска корпоративной системы печати. Каждая система индивидуальна и требует определенного подхода для

обеспечения наибольшей эффективности от внедрения.

Результат: Готовая к эксплуатации система.

**Этап – Эксплуатация.** В течение срока действия договора (в среднем 2-3 года) специалисты управляют согласованием изменениями инфраструктуры, соответствующих процессов и процедур, включая осуществление всех необходимых коммуникаций внутри компании; отвечает за работоспособность всей существующей офисной техники вне зависимости от марок и производителей, оценивает текущие показатели эффективности, безопасности и работоспособности системы печати.

Результат: Сопровождение системы управления печатью и мониторинга.

**Заключение.** Контроль многофункциональных печатных устройств приведет к тому, что услуги будут оплачиваться на основании конкретных параметров — по количеству напечатанных черно-белых и цветных страниц, приходящихся на пользователя или проект. Необходима система тщательного администрирования и мониторинга печати, предполагается наличие четырех часов сервисного обслуживания каждого устройства в месяц и постоянное обновление решений для оптимизации печатной среды. И как дополнение, расходы на печать возможно будут сокращены, при использовании системы контроля печати. У машиностроительного предприятия есть возможность оптимизации печатной среды и мониторинга процессов печати, эффективно задействовать все принтеры и копировальные устройства.

#### ***Библиографический список***

1. АРТИ - аутсорсинг печати, комплексные решения. URL : <http://www.arti.ru/solution/reshenie.php> (дата обращения 01/05/2014)
2. Шичкина Е. Информационная безопасность при печати и сканировании документов . Системный администратор// Спецприложение «БИТ. Бизнес & информационные технологии» . - 2013 .- Выпуск №3 (26). URL: <http://bit.samag.ru/archive/article/1251#maintitle> (дата обращения 01/05/2014)
3. Каналы утечек информации. URL : <http://www.infowatch.ru/analytics/panels/2578> (дата обращения 01/05/2014)
4. Чернов Д. Оптимальное использование печатающих ресурсов машиностроительного предприятия с помощью нового решения от Xerox. URL: <http://www.i-mash.ru/materials/automation/5540-optimalnoe-ispolzovanie-pechatajushhikh-resursov.html> (дата обращения 01/05/2014)
5. PaperCut - решение для контроля печати и копирования документов с возможностью авторизации и системой оплаты. URL:<http://www.arti.ru/services/PaperCut/?PHPSESSID=62b00a4534693e92df7f16081a73fe28> (дата обращения 01/05/2014)

# О ТОЧНОСТИ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ РУПОРНЫХ АНТЕНН В МЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

Ташлыков В.П.<sup>(1)</sup>, Лебедев В.П.<sup>(2)</sup>

Иркутский государственный технический университет<sup>(1)</sup>

Институт солнечно-земной физики СО РАН<sup>(2)</sup>

[Tashlycov.victor@gmail.com](mailto:Tashlycov.victor@gmail.com)

В технике СВЧ в качестве канализирующих устройств находят широкое применение волноводы. Однако волноводы могут использоваться не только для канализации электромагнитной энергии, но и для ее излучения. Например, открытый конец волновода можно рассматривать как простейшую антенну СВЧ (Драбкин, «Антенно-фидерные устройства, 1971, с266.»). Однако у такой антенны есть ряд существенных недостатков:

1. Антенны в виде открытого конца волновода являются принципиально слабонаправленными.

2. Другой особенностью волноводных излучателей является их относительно плохое согласование со свободным пространством.

В целях увеличения излучающей поверхности, т.е. для получения остронаправленных характеристик, а также улучшения согласования со свободным пространством применяют рупорные антенны. Таким образом, от внутренней задачи для волновода можно перейти в задаче о плавно расширяющемся волноводе. Чтобы найти диаграмму направленности такой антенны, необходимо, решив внутреннюю задачу, найти распределение электромагнитного поля на излучающей поверхности рупора.

Найти распределение поля в рупоре можно, решив уравнения Максвелла для заданных граничных условий. Аналогично волнам в волноводе, волны в рупоре можно разбить на два класса — электрические, для которых  $H_z \neq 0, E_z = 0$ , и магнитные волны, для которых  $H_z = 0, E_z \neq 0$ .

Рассмотрим секториальный рупор, в котором распространяется электрическая волна. Если считать стенки такого рупора идеально проводящими, то амплитуда электрической напряженности на стенках должна быть равна нулю. Это определяет граничные условия.

В технике расчета распределения поля в волноводе удобно использовать вектор Герца, который позволяет получить значения скалярного и векторного потенциалов, не решая уравнения Максвелла напрямую. Используя вектор Герца, можно получить выражения для электрической и магнитной напряженности:

$$E = \text{grad}(\text{div}(\Pi)) + k^2 \cdot \Pi, \quad H = -i \cdot k \cdot \text{rot}(\Pi)$$

При чем вектор  $\Pi$  есть решение уравнения Гельмгольца:

$$\Delta \Pi + k^2 \cdot \Pi = 0$$

Таким образом, введя вектор Герца, мы можем перейти от решения системы уравнений Максвелла к решению уравнения Гельмгольца. Следу-

ет отметить, что вектор Герца также можно разделить на электрический и магнитный, однако в нашей задаче мы рассматриваем только электрический вектор Герца.

Ограничимся двумерной задачей для Н-плоскостного секториального рупора и найдем распределения электромагнитного поля. Геометрия задачи, очевидно, диктует выбор цилиндрической системы координат. Считая стенки рупора идеально проводящими, запишем граничные условия:  $E_r=0$  при  $\varphi=0$  и  $\varphi=\alpha$  и, следовательно, при  $\varphi=0$  и  $\varphi=\alpha$ . Здесь  $\alpha$  — это угол раскрыва рупора.

При переходе от декартовой к полярной системе координат уравнение Гельмгольца имеет вид:

$$\frac{d^2\Pi_z}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\Pi_z}{dr} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{d^2\Pi_z}{d\varphi^2} + k^2 \cdot \Pi_z = 0$$

Примем вектор Герца, как независимую функцию двух переменных, т. е.:

$$\Pi_z^e = R(r) \cdot \Phi(\varphi)$$

Используя метод разделения переменных, получим уравнения:

$$\frac{d^2R}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dR}{dr} + \left( h^2 - \frac{v^2}{r^2} \right) \cdot R = 0, \quad h^2 = k^2 - g^2$$

$$\frac{d^2\Phi}{d\varphi^2} + v^2 \cdot \Phi = 0$$

Обобщая волноводную терминологию, можно назвать  $g$  — поперечным волновым числом, а  $h$  — продольным волновым числом, поскольку  $h$  определяет зависимость поля от радиальной координаты, вдоль которой происходит распространение волн.

Для заданных граничных условий  $\Phi=0$  при  $\varphi=0$  и  $\varphi=\alpha$ , поэтому  $\Phi=\sin(v\varphi)$ ,  $v=m\pi/\alpha$  ( $m=1,2,\dots$ )

Для тех же граничных условий уравнение Бесселя имеет решение:

$$R = C_1 \cdot H_v^{(1)}(k \cdot r) + C_2 \cdot H_v^{(2)}(k \cdot r)$$

$$H_v^{(1)} = J_v(k \cdot r) + i \cdot N_v(k \cdot r), \quad H_v^{(2)} = J_v(k \cdot r) - i \cdot N_v(k \cdot r)$$

Функции Бесселя (J) и Неймана (N) являются частными решениями уравнения Бесселя, соответственно конечным и бесконечным в точке 0. Функция Ганкеля первого рода  $H_v^{(1)}(k \cdot r)$  характеризует волну, двигающуюся в направлении убывающих значений  $r$ , т. е. к источнику (к вершине рупора), а функция Ганкеля второго рода  $H_v^{(2)}(k \cdot r)$  соответствует волне, распространяющейся от вершины рупора в сторону возрастающих значений  $r$ . Считая длину рупора бесконечной, когда отраженных волн не должно быть, положим  $C_1=0$ .

Значения функции Бесселя можно получить, численно решив интеграл Бесселя:

$$J_{\alpha}(x) = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} \cos(\alpha \cdot \tau - x \cdot \sin(\tau)) d\tau$$

Функция Неймана связана с функцией Бесселя соотношением:

$$Y_{\alpha}(x) = \frac{J_{\alpha}(x) \cdot \cos(\alpha \cdot \pi) - J_{-\alpha}(x)}{\sin(\alpha \cdot \pi)}$$

Действительной частью комплексной функции Ганкеля является функция Бесселя, а мнимой — функция Неймана. Окончательно вектор Герца примет вид:

$$\Pi_z^e = C \cdot H_v^{(2)}(k \cdot r) \cdot \sin(v \cdot \varphi)$$

Решая двумерную задачу, мы не рассматриваем поперечные волны и находим решение для волн вида  $H_n 0$ , поэтому продольное волновое число  $h$  равно волновому числу  $k$ .

Уравнения для  $E$  и  $H$  примут следующий вид:

$$E_r = 0, \quad E_{\varphi} = 0, \quad E_z = k^2 \cdot \Pi_z^e, \quad H_r = \frac{-i \cdot k}{r} \cdot \frac{d\Pi_z^e}{d\varphi}, \quad H_{\varphi} = i \cdot k \cdot \frac{d\Pi_z^e}{dr}, \quad H_z = 0.$$

В результате численного решения представленных уравнений векторное поле магнитной напряженности в плоскости  $H$  будет выглядеть следующим образом:

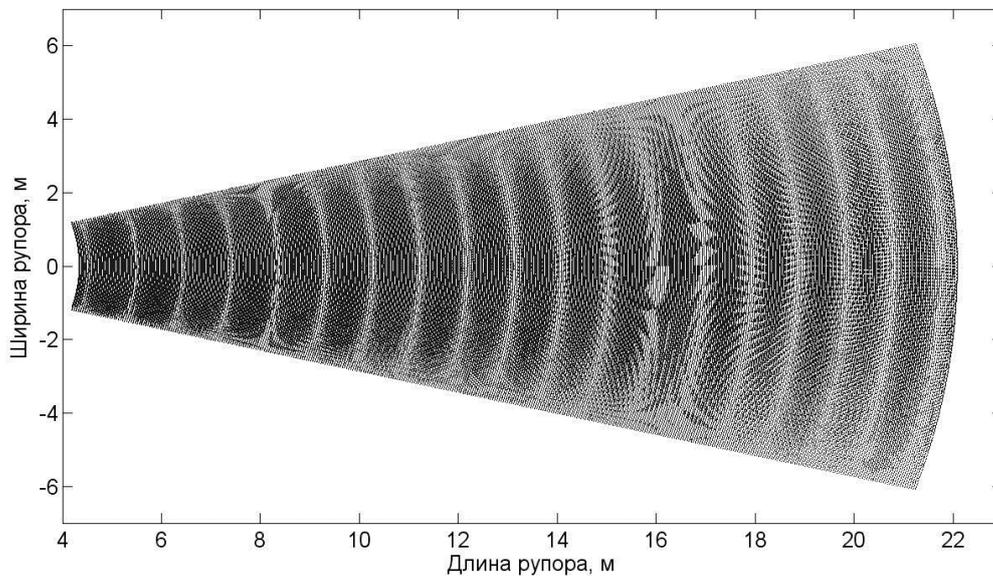


Рисунок 1. Поле  $H$  в рупоре для волны  $H_{10}$ .

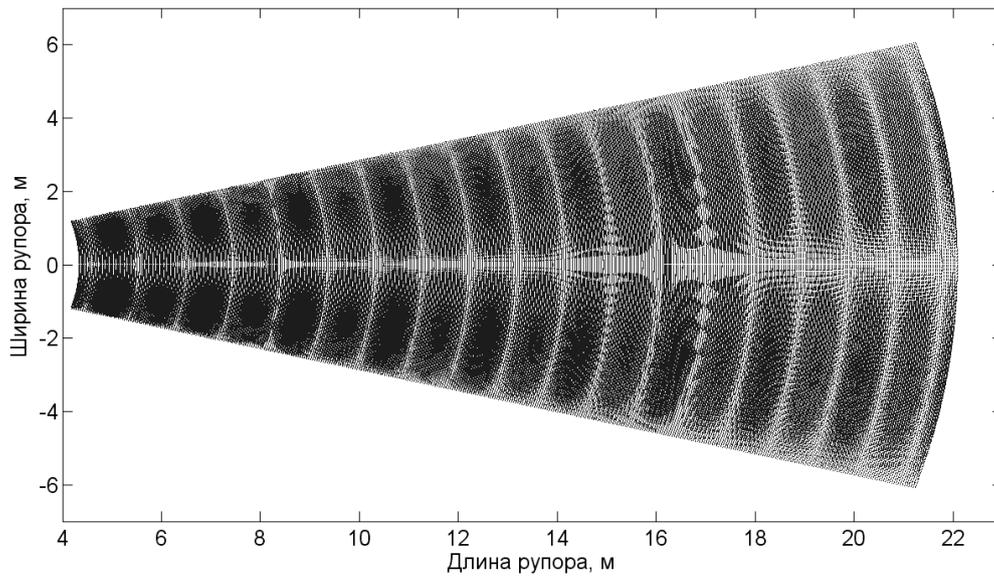


Рисунок 2. Поле Н в рупоре для волны Н20.

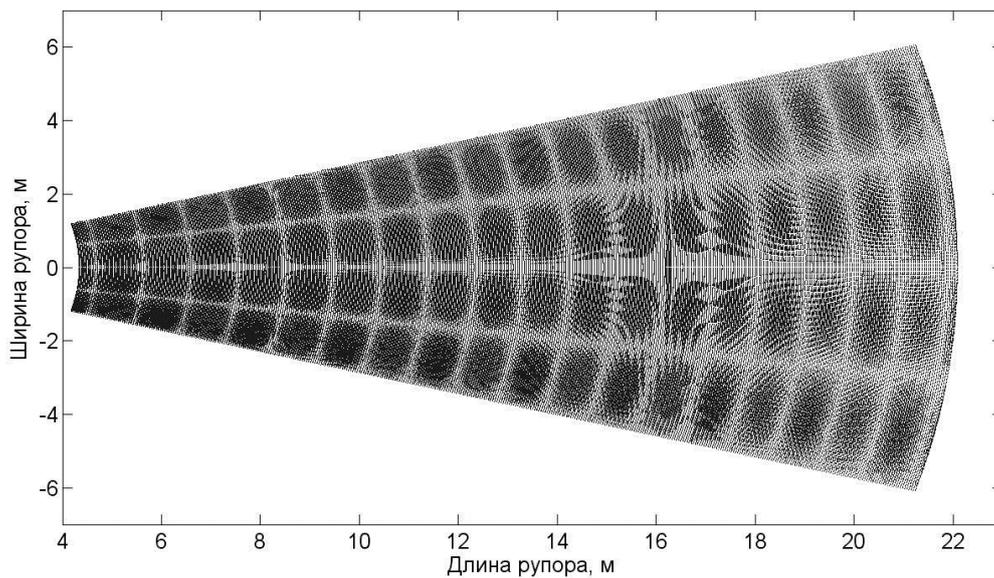


Рисунок 3. Поле Н в рупоре для волны Н40.

Радиальная составляющая поля  $H$  значительно меньше тангенциальной, обозначая фронт волны, распространяющейся в рупоре. Поэтому направление вектора  $H$  направлено по фронту волны и зависит от квазипериода функции Бесселя. Длина вектора  $H$  в каждой точке пространства рупора меняется квазипериодично в одном направлении (функция Бесселя) и периодически в другом согласно порядку волны. На рисунках 1, 2 и 3 густота линий означает лишь то, что изменяется длина векторов, которая принимает максимальное значение в точках наибольшей густоты. Таким образом, можно визуальнo оценить структуру магнитного поля. Очевидно, что и на плоскости раскрыва рупора амплитуда поля имеет синусоидальную форму.

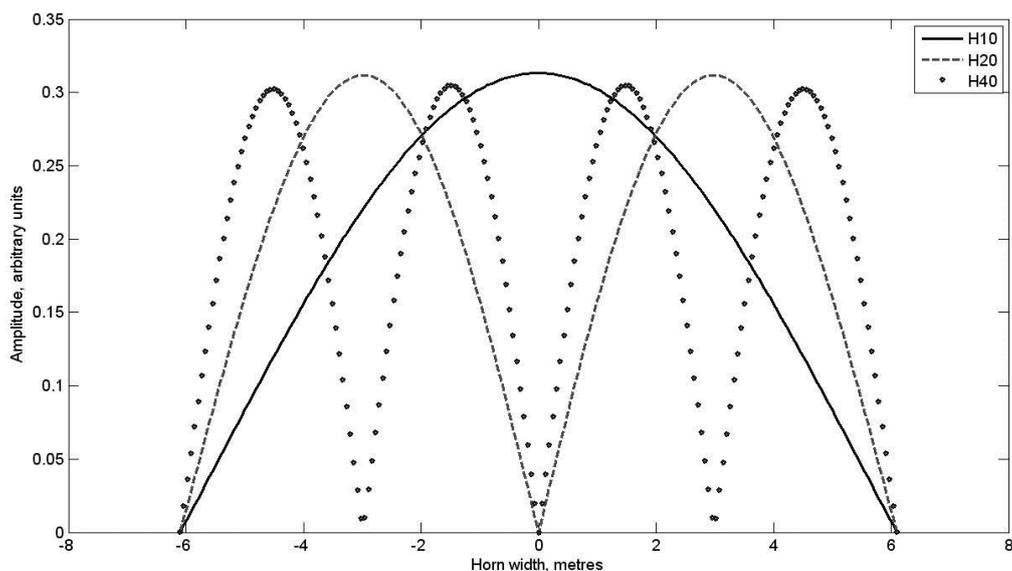


Рисунок 4. Распределения амплитуды поля в раскрыве рупора для волн H10, H20 и H40.

Учитывая, что радиальная компонента поля намного меньше тангенциальной, и представляя каждую точку излучающей поверхности источником Гюйгенса, мы можем найти значения поля в дальней точке и построить диаграмму направленности.

$$F(\Theta) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H(\Theta)| \cdot e^{-i \cdot k \cdot x \cdot \sin(\Theta) + i \cdot \text{angl}d(H(\Theta))} dx$$

Коэффициент направленного действия для антенны линейной поляризации равен

$$D = \frac{2}{\int_0^{\pi} F^2(\Theta) \cdot \sin(\Theta) d\Theta}$$

Для волн H10, H20 и H40 КНД соответственно равен  $D_{H10} = 270$ ,  $D_{H20} = 271$ ,  $D_{H40} = 282$ . Контурная карта значений КНД для технически приемлемых значений угла раскрыва (от 10 до 50 градусов) и ширины раскрыва рупора (от 10 до 50 метров) приведена на рисунке 5. Очевидно, что с увеличением ширины рупора КНД возрастает, т.к. площадь излучающей поверхности больше, а с увеличением угла раскрыва КНД меняется не значительно, т.к. сказывается большее затухание.

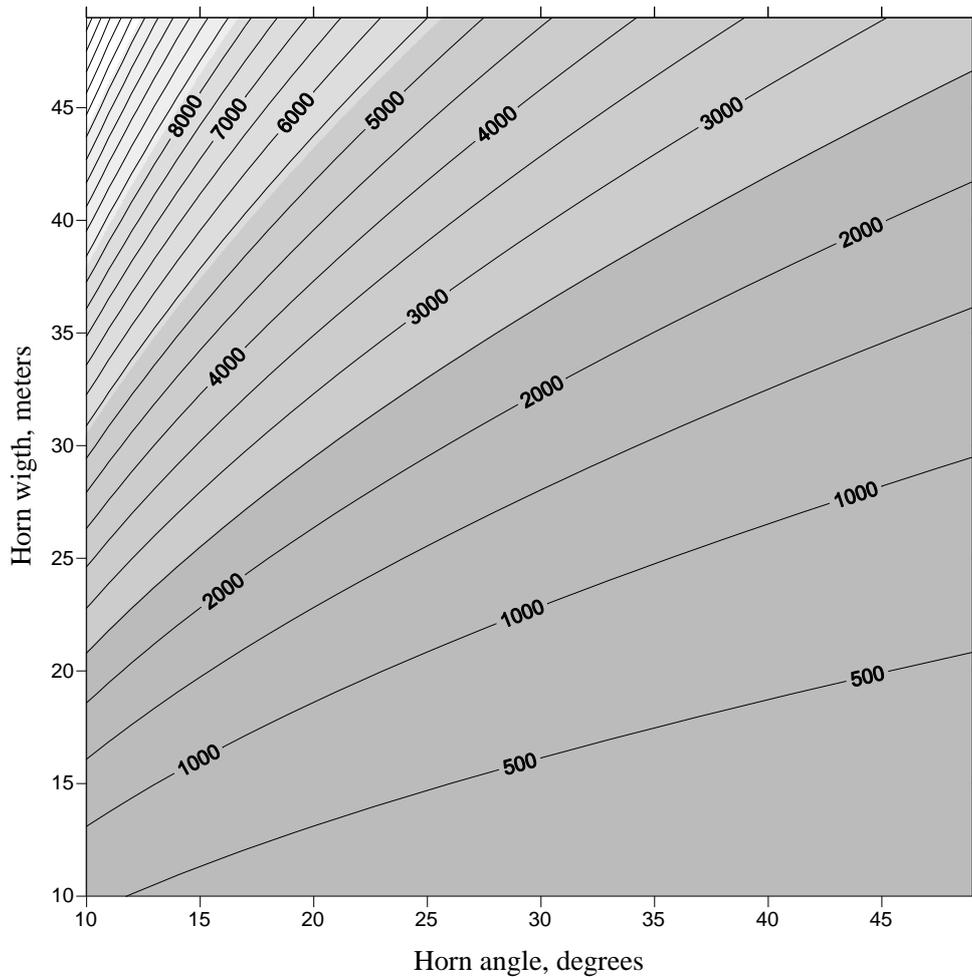


Рисунок 5. Коэффициент направленного действия антенны.

При условии  $k \cdot r \gg v^2$ , т. е. когда падение амплитуды функции Ганкеля становится несущественным, и ее можно считать периодичной, применяется следующее приближение для функции Ганкеля:

$$H_m(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot x}} \cdot e^{i(x - (2m+1)\pi/4)}$$

Поле в раскрытии рупора не будет синфазным, потому что мы рассматриваем плоский раскрыв рупора, а волна, распространяющаяся в рупоре, имеет цилиндрическую форму. Для определения фазовых искажений в раскрытии рупора рассмотрим продольное сечение рупора на рисунке 6.

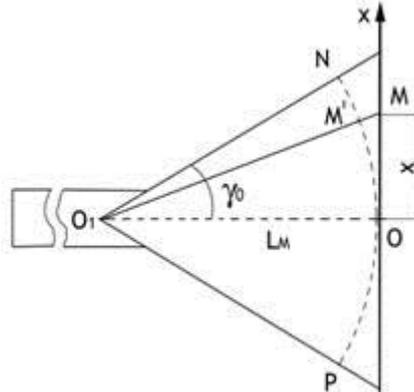


Рисунок 6. К определению фазовых искажений в раскрытии рупора.

Дуга окружности с центром в вершине рупора  $O$  проходит по фронту волны и, следовательно, является линией равных фаз. В произвольной точке  $M'$ , имеющей координату  $x$ , фаза поля отстает от фазы середины раскрыва на угол

$$\Delta\psi_x = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (OM' - R) = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (\sqrt{R^2 + x^2} - R) = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot \left( \frac{x^2}{2 \cdot R} - \frac{x^4}{8 \cdot R^3} + \dots \right)$$

Так как обычно в рупорах  $x \ll R$ , то можно ограничиться первым членом разложения, т.е. принять  $\Delta\psi_x = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot \frac{x^2}{2 \cdot R}$ . Таким образом, фаза поля в раскрыве рупора приблизительно меняется по квадратичному закону. Также, используя приближение  $\frac{\varphi}{\varphi_0} \approx \frac{x}{D}$ , справедливое для малых углов, мы можем снова построить диаграммы направленности и оценить, насколько используемые приближения справедливы.

Вопрос о точности данных приближений прежде не ставился, т.к. апостериори принятый метод решения внешней задачи для сантиметрового диапазона радиоволн имел ничтожную погрешность. Однако в метровом диапазоне отклонения диаграммы направленности не будут настолько несущественны. Например, волноводы и рупорные антенны метрового диапазона используются на радарх некогерентного рассеяния. С помощью метода некогерентного рассеяния можно исследовать структуру ионосферы во всем диапазоне высот. Для того чтобы зондирующий сигнал проник за главный ионосферный максимум, необходимы метровые и дециметровые волны. А так как рассеянный сигнал имеет очень малую мощность и очень низкое отношение сигнал-шум, требуется большая мощность передатчика, высокая чувствительность приемника и большие размеры апертуры. Именно размерами апертуры обуславливается необходимость решения внутренней и внешней задач теории антенн для метрового диапазона радиоволн. Как известно, в месте сочленения волновода и рупора возникают волны высших порядков, но в результате сильного затухания они не делают существенного вклада в формирование диаграммы направленности антенны. Но это справедливо только для сантиметровых волн. Для волн больших длин затухание слабее. Поэтому так важно исследовать, насколько принятый метод решения внешней задачи искажает диаграмму направленности для метрового диапазона.

На рисунках 7-12 приведено сравнение амплитудных и фазовых ДН, построенных в результате строго решения внутренней задачи, с диаграммами направленности, построенных с учетом указанных приближений.

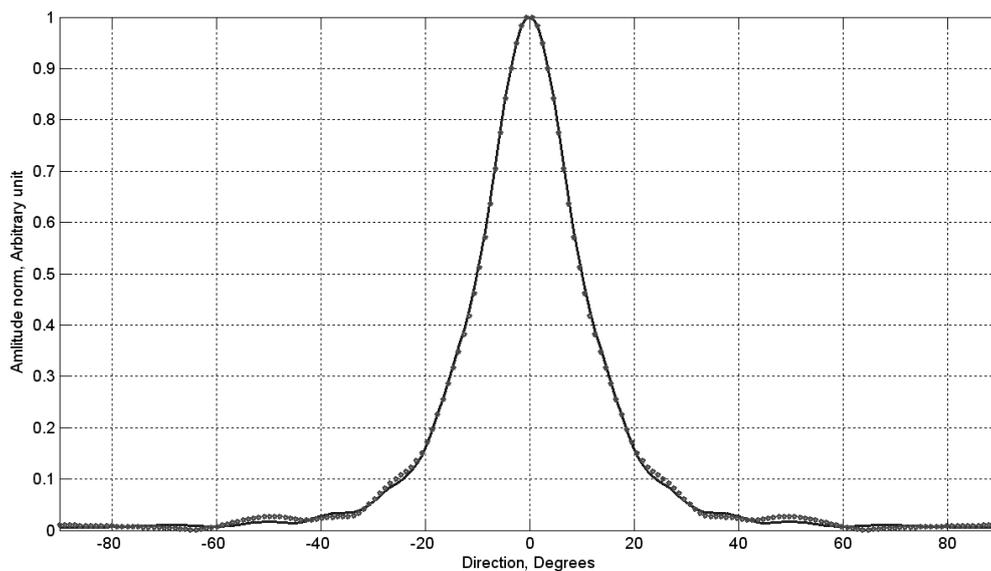


Рисунок 7. Амплитудная ДН для волны N10. Разность амплитуд ДН для двух решений. Сплошной линией показано точное решение, точками — решение с приближениями.

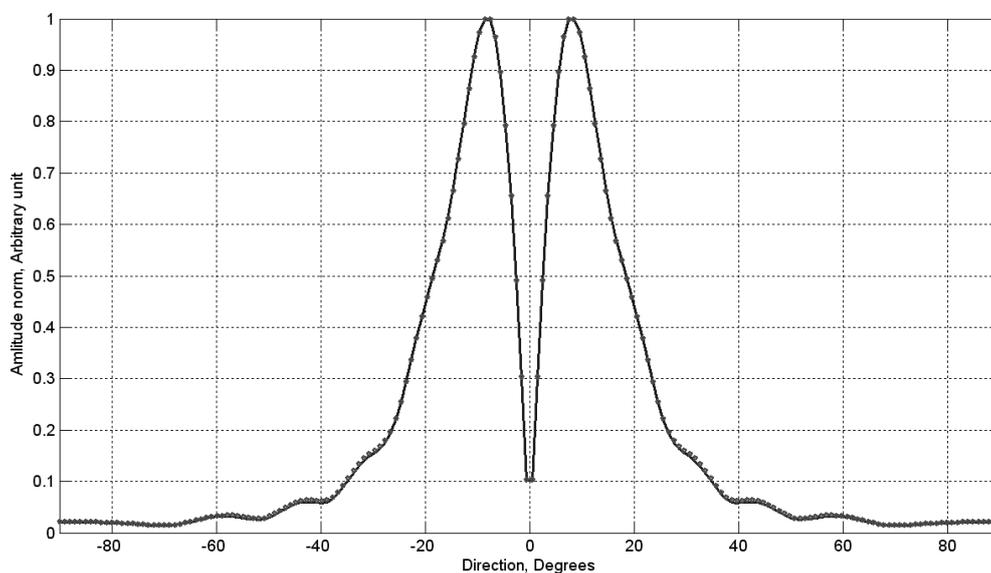


Рисунок 8. Амплитудная ДН для волны N20. Разность амплитуд ДН для двух решений. Сплошной линией показано точное решение, точками — решение с приближениями.

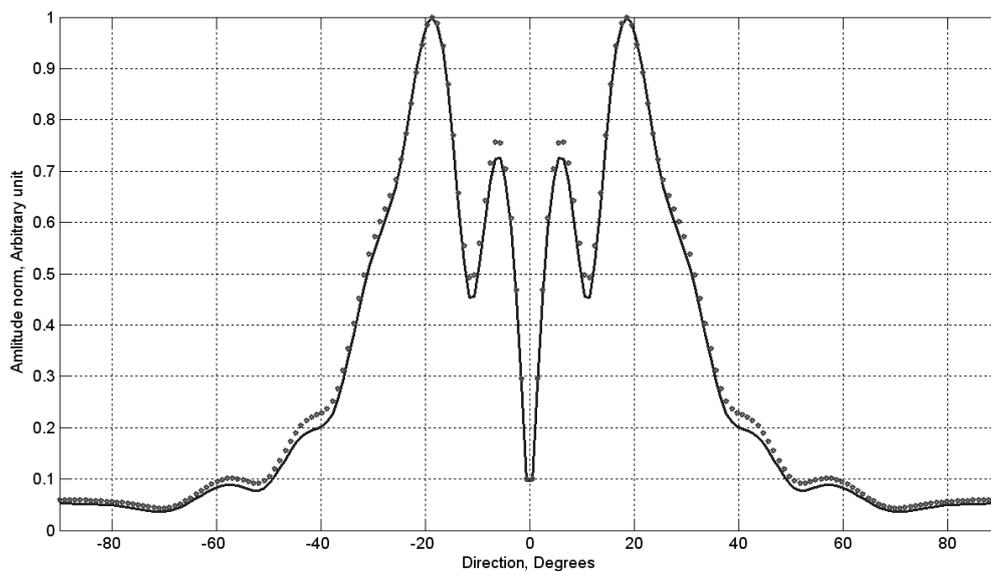


Рисунок 9. Амплитудная ДН для волны N40. Разность амплитуд ДН для двух решений. Сплошной линией показано точное решение, точками — решение с приближениями.

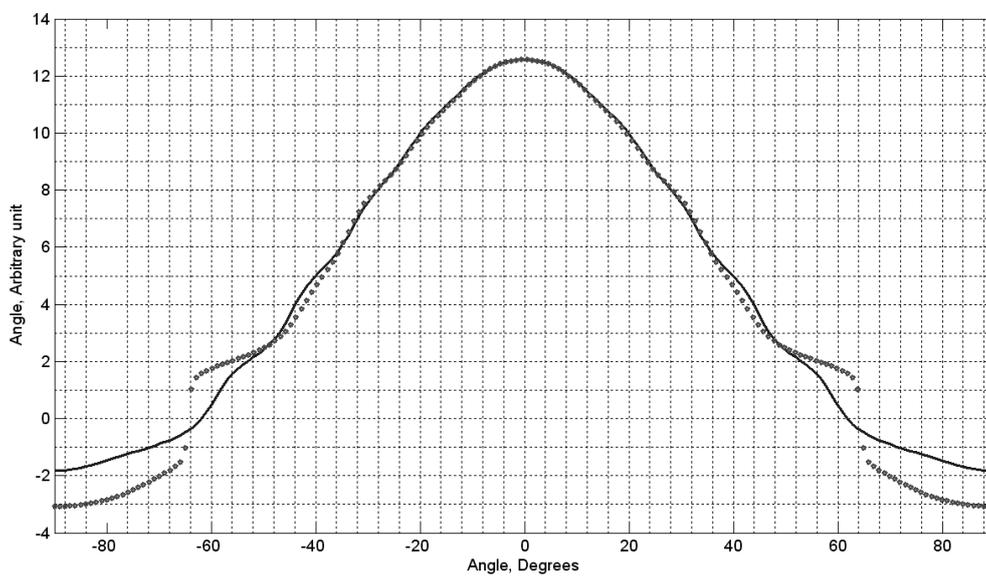


Рисунок 10. Фазовая ДН для волны N10 (штриховой линией — решение с приближениями). Сплошной линией показано точное решение, точками — решение с приближениями.

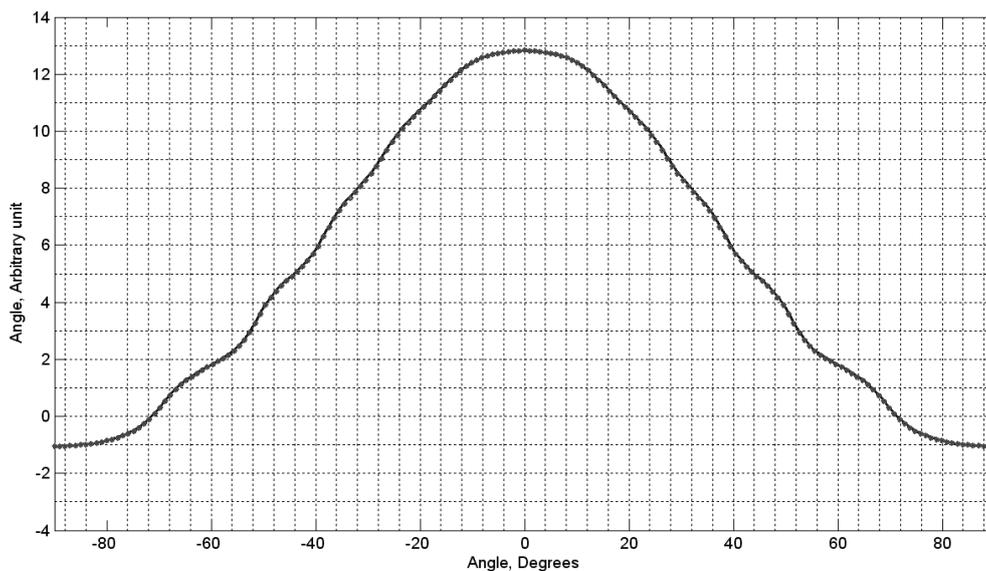


Рисунок 11. Фазовая ДН для волны N20 (штриховой линией — решение с приближениями). Сплошной линией показано точное решение, точками — решение с приближениями.

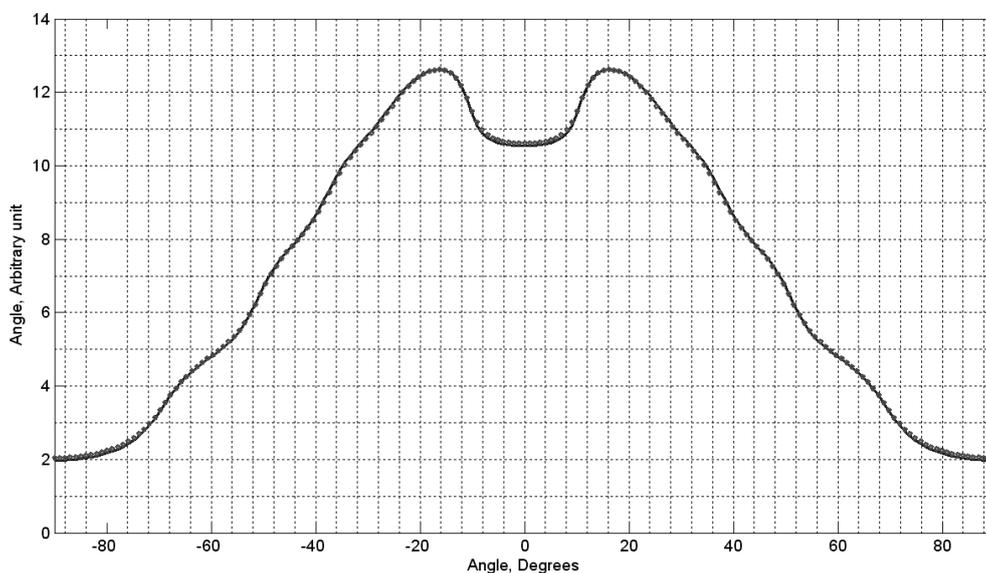


Рисунок 12. Фазовая ДН для волны N40 (штриховой линией — решение с приближениями). Сплошной линией показано точное решение, точками — решение с приближениями.

Оценив данные диаграммы направленности, можно прийти к заключению, что используемые приближения в технике расчетов характеристик рупорных антенн работают хорошо.

В заключение важно отметить, что в результате решения уравнений Максвелла для заданных граничных условий было получено распределение электромагнитного поля в рупоре, которое похоже на распределение поля в волноводе. Однако направленные характеристики значительно улучшены благодаря увеличению поверхности излучения и лучшему согласованию с пространством.

Распределение поля в рупоре для волн H10, H20 и H40 представлены соответственно на рисунках 1, 2 и 3. Распределение амплитуды поля в раскрыве рупора — на рисунке 4. Максимальное отклонение для амплитудных ДН составляет примерно 4.5 % для волн H40. Наихудшим образом допустимые приближения сказываются на фазовой ДН для волны H10, внося дополнительный (не кратный  $\pi$ ) фазовый скачок и образуя тангенциальный разрыв. В целом можно отметить, что принятые приближения распределения амплитуды и фазы поля на излучающей поверхности рупора достаточно точно отражают действительные значения. Однако при наличии аналитического решения внутренней задачи данные приближения нецелесообразно использовать, если необходима тонкая структура диаграммы направленности, например, при изучении мелкомасштабных неоднородностей ионосферы с помощью радара некогерентного рассеяния.

#### *Библиографический список*

1. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. радио, 1974.
2. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 6. Электродинамика.
4. Хмель В.Ф., Чаплин А.Ф., Шумлянский И.И. Антенны и устройства СВЧ. – Киев: Высшая шк., 1990.
5. Машковцев Б.М., Цибизов К.Н., Емелин Б.Ф. Теория волноводов. – М. и Л.: Наука, 1961.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ В ИОНОСФЕРЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Ташлыков В. П.<sup>(1)</sup>, Алсаткин С.С.<sup>(2)</sup>, Васильев Р.В.<sup>(2)</sup>, Щербаков А.А.<sup>(2)</sup>

Иркутский государственный технический университет<sup>(1)</sup>,

Институт Солнечно-Земной физики СО РАН<sup>(2)</sup>.

Иркутск, Россия, tashlycov.victor@gmail.com

## Введение

Одним из фундаментальных методов исследования ионосферы является метод некогерентного рассеяния. Он позволяет в большом диапазоне высот изучать поведение таких параметров ионосферной плазмы как ионные и электронные температуры, профиль концентрации, направление и скорость дрейфа.

Радары некогерентного рассеяния излучают импульсы на частотах, позволяющих зондирующим сигналам проникать на высоты выше главного максимума ионизации. Из-за того, что большая часть мощности зондирующего сигнала не отражается от определённых слоёв ионосферы, а рассеивается по всей её толщине, принимаемый сигнал имеет очень низкую мощность и, как следствие, низкий коэффициент отношения сигнал-шум. Поэтому радары НР имеют внушительные размеры апертуры, мощные передатчики (на ИРНР 2.5 - 3.2 МВт) и сверхчувствительные приемники.

Эксперименты, выполняющиеся на ИРНР, основаны на измерении сигнала отклика ионосферы на зондирующий импульс заданной частоты и длительности. Интенсивность принятого сигнала говорит о концентрации заряженных частиц в зондируемой ионосфере, а по спектру принятого сигнала достаточно точно определяются значения температур электронов и скорость дрейфа плазмы.

Иркутский радар НР имеет уникальную особенность. Структура антенн радара ориентирована на излучение и прием электромагнитных волн плоской поляризации. Поэтому необходимо учитывать поляризационный эффект, возникающий при распространении волн плоской поляризации в ионосфере при воздействии магнитного поля Земли. Данный эффект заключается во вращении плоскости поляризации под действием разности фазовых скоростей обыкновенной и необыкновенной волн. Это явление называется эффектом Фарадея.

При зондировании ионосферы радиоволнами, поляризованными в одной плоскости, возникают замирания принятого радиосигнала, обусловленные эффектом Фарадея. Типичная форма высотного профиля мощности радиосигнала, искаженная за счёт фарадеевских вариаций, показана на рисунке 1. Этот эффект имеет большое значение в технике определения параметров плазмы на ИРНР. Как показано в [3], концентрация электронов пропорциональна углу поворота вектора поляризации вдоль пути распростра-

нения сигнала. Это позволяет напрямую вычислять профиль концентрации электронов, не прибегая к другим методикам калибровки, например таким, как определение максимума концентрации при помощи ионозонда.

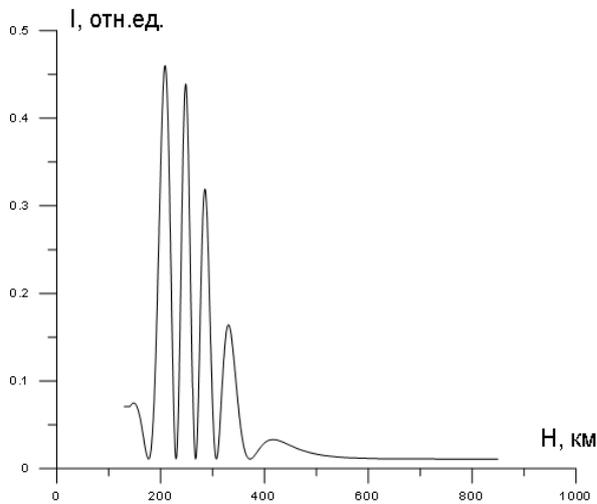


Рисунок 1. Типичный профиль фарадеевских вариаций.

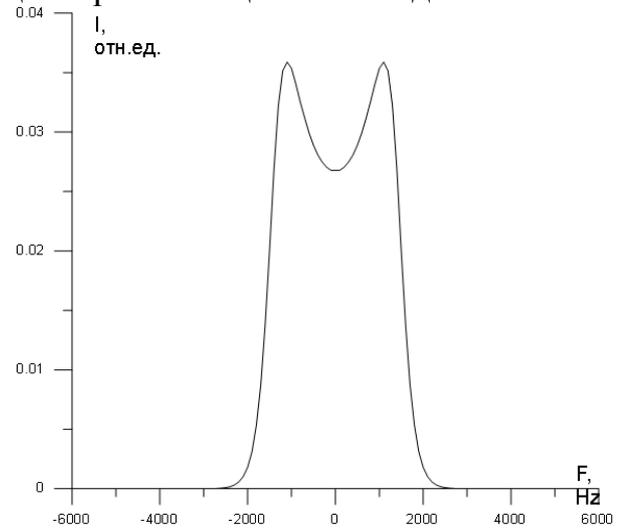


Рисунок 2. Аналитический спектр плазмы для  $T_e=3500$  К и  $T_i=2500$  К .

Очевидно, что эффект Фарадея вносит систематическую погрешность в метод определения ионных температур, поскольку добавляет дополнительную модуляцию в принимаемый радиосигнал, искажающую его спектр. Эту погрешность предполагается выявить с помощью численного моделирования. Имея достаточно гибкую модель взаимодействия среды с зондирующим сигналом, можно поэтапно изучать влияние на спектр НР всех фундаментальных характеристик ионосферы и радара. В работе [1] описана подобная модель для сигналов сложной формы. Задача построения адекватной модели ионосферы была поставлена и перед авторами статьи [4].

Для того чтобы имитировать реальный эксперимент по исследованию ионосферы, в предложенной нами модели рассматривается сложный радиоимпульс длительностью 900 мкс, состоящий из двух последовательных импульсов длительностями 700 мкс (для изучения спектральных характеристик) и 200 мкс (для изучения пространственных характеристик). Диапазон используемых частот соответствует рабочему диапазону частот ИРНР – 154-162 МГц. В модели предполагается, что импульс взаимодействует с некоторым множеством рассеивателей, распределённых равномерно по высоте. При этом каждый из рассеивателей вносит некоторый сдвиг по частоте в отражённый назад сигнал и задаёт случайную начальную фазу. Сигналы отражателей суммируются в соответствии с задержкой, связанной с их расположением по высоте, формируя сигнал отклика ионосферы на зондирующий импульс.

Прежде при моделировании сигнала некогерентного рассеяния [1] фазы рассеяния задавались случайно, исходя из равномерного распределения вероятности, при этом скорости рассеивателей определялись строго в соответствии со спектром доплеровских сдвигов для низкотемпературной плазмы. В данной работе предложен иной вариант моделирования, основанный на методе Монте-Карло. Спектр некогерентного рассеяния можно использовать как распределение вероятности для тепловых скоростей рассеивателей. Это, несомненно, более реалистично описывает природу сигнала НР. Такой подход в будущем может быть полезен при моделировании других физических эффектов. Таким образом, после усреднения спектров моделируемых сигналов по реализациям должно наблюдаться сходство со спектром НР.

### Спектр рассеянного сигнала

Важным шагом в определении входных данных модели является построение аналитического спектра частотных сдвигов сигнала, рассеивающегося в ионосферной плазме. Согласно [2] теоретический спектр монохроматического радиосигнала, рассеянного в низкотемпературной стационарной плазме, для максвелловского распределения скоростей частиц имеет вид:

$$S(\omega) = \frac{2\sqrt{\pi}}{ka} \left\{ \frac{Ae + Ai}{|\varepsilon|^2} \right\}, \text{ где}$$

$$Ae = \exp(-x_e^2) \left[ \left( 1 + \alpha^2 \frac{Te}{Ti} R_w(x_i) \right)^2 + \left( \alpha^2 \frac{Te}{Ti} I_w(x_i) \right)^2 \right];$$

$$Ai = \sqrt{\frac{m_i Te}{m_e Ti}} \exp(-x_e^2) \left[ (\alpha^2 R_w(x_e))^2 + (\alpha^2 I_w(x_e))^2 \right];$$

$$|\varepsilon|^2 = \left\{ \left[ 1 + \alpha^2 \left( R_w(x_e) + \frac{Te}{Ti} R_w(x_i) \right) \right]^2 + \left[ \alpha^2 I_w(x_e) + \alpha^2 \frac{Te}{Ti} I_w(x_i) \right]^2 \right\};$$

$$x_e = \omega / ka;$$

$$x_i = \omega / kb;$$

$$\alpha = 1 / k\lambda_D;$$

$$a = \sqrt{2 KTe / m_e};$$

$$b = \sqrt{2 KTi / m_i};$$

$$R_w(x) = 1 - 2x \exp(-x^2) \int_0^x \exp(p^2) dp;$$

$$I_w(x) = \sqrt{\pi} x \exp(-x^2)$$

Здесь  $k$  – волновой вектор,  $Te$  и  $Ti$  – температуры электронов и ионов соответственно,  $a$  и  $b$  – средние тепловые скорости электронов и ионов,  $\lambda_D$  – радиус Дебая,  $I_w(x)$  – мнимая часть, соответствующая затуханию Ландау,  $\varepsilon$  – продольная диэлектрическая проницаемость, а  $Ae$  и  $Ai$  – представляют соответственно выражения для электронной и ионной компоненты

рассеянного сигнала. Теоретический спектр, посчитанный для температуры электронов 3500 К и температуры ионов 2500 К изображен на рисунке 2, он имеет симметричную двугорбую форму.

По форме спектра можно качественно оценивать температуру частиц плазмы: положение его пиков определяется температурой электронов, а глубина провала между ними – отношением электронных и ионных температур. В предлагаемой модели важно учитывать, что форма входного спектра будет изменяться с изменением высоты. В соответствии с приведенными выше формулами была написана программа, позволяющая численно рассчитывать значения теоретического спектра рассеянного сигнала. Результат работы этой программы используется в качестве параметра на входе рассматриваемой модели. На рисунке 3 показан пример входного спектра доплеровских сдвигов рассеянного сигнала, который изменяется с высотой. Здесь температуры ионов и электронов увеличиваются линейно и равномерно, при этом отношение температур электронов к температурам ионов остается постоянным. Обычно с ростом высоты ионосферы температуры электронов и ионов повышаются, поэтому наименьшее значение температур сопоставляется с самым нижним слоем ионосферы и затем равномерно возрастает по мере увеличения высоты. Как видно из рисунка 3, с повышением электронных и ионных температур ширина спектра увеличивается, а уровень провала не меняется, т. к. отношение  $T_e/T_i$  задано постоянным.

Однако спектр сигнала несколько изменится по сравнению с описанным спектром вследствие его свертки со спектром радиоимпульса. Данная спектральная свертка заложена в описанной ниже модели. Для нахождения температур электронов и ионов по полученным спектральным характеристикам необходимо решить обратную задачу, которая является также и некорректной. Даже задача определения температур по теоретическому спектру некорректна вследствие наличия в его аналитическом описании интеграла Ландау. Поэтому строгое решение обратной задачи свелось к получению эмпирических формул, по которым можно определять искомые температуры. Высотный ход  $T_e$  и  $T_i$  может быть получен путем применения оконного преобразования Фурье к исследуемому сигналу. Таким образом, в каждом временном окне спектральные характеристики усредняются по некоторому набору высот.

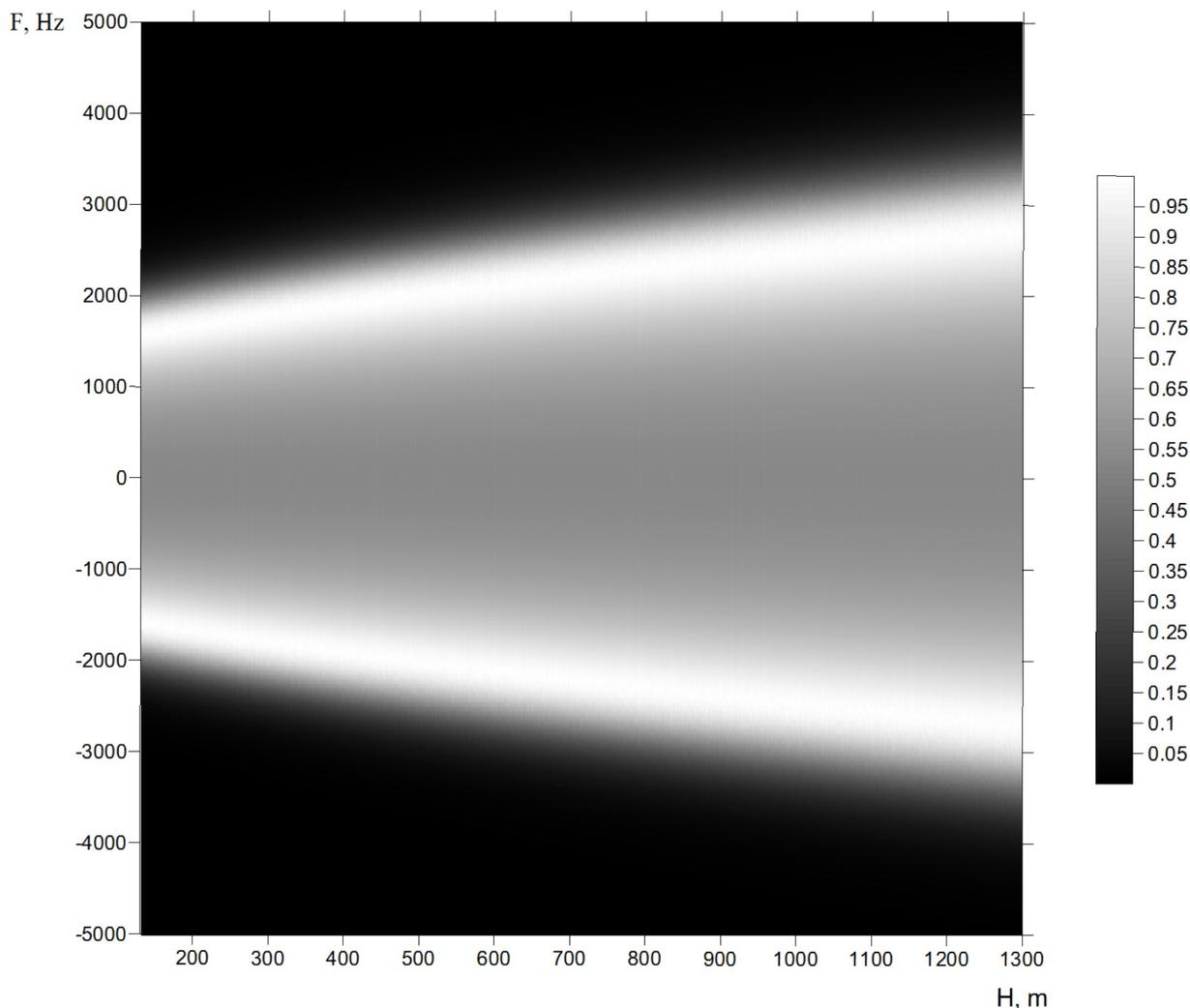


Рисунок 3. Спектр НР для линейного градиента температур.

### Описание модели

В первом приближении ионосфера представляется линейной одномерной системой. Рассеяние сигнала происходит в тонком слое, в котором находится некоторое количество рассеивателей. Разбив объем исследуемой ионосферы на множество таких слоев, и считая число рассеивателей в них постоянным, можно имитировать среду, в которой распространяется сигнал. Каждый рассеиватель имеет два параметра: сдвиг частоты, распределённый по определённому закону, и случайный, равномерно распределенный сдвиг фазы, с которой сигнал отражается от рассеивателя. В самом простом варианте модели входными данными будут длительность зондирующего импульса и закон распределения сдвигов частоты, который формально отражает распределение рассеивателей по скоростям для определенного значения температур ионов и электронов плазмы (см. предыдущий пункт).

Алгоритм, моделирующий сигнал отклика работает следующим

образом: после считывания входных данных запускается основной цикл, каждая итерация которого вычисляет единичный отклик модельной ионосферы на зондирующий сигнал. В основном цикле разыгрываются параметры рассеивателей, формируются квадратуры сигнала отклика, вычисляются и суммируются его спектр и автокорреляционная функция.

Выходные данные формируются и сохраняются в памяти компьютера в соответствии с форматом данных, используемом на ИРНР. Комплексный сигнал отклика, представленный в виде квадратур, содержится в массивах  $a(t)$  и  $b(t)$ , в которых порядковый номер элемента означает определённый момент времени, прошедший с момента предполагаемого излучения зондирующего импульса. Параметры рассеивателей – сдвиг по частоте и фазе – меняются для каждого сигнала отклика, и содержатся в двумерных массивах, в которых одно измерение представляет диапазон высот от 130 до 1300 км с шагом 0.6 км, а другое измерение представляет порядковый номер рассеивателя для конкретной высоты. Значения начальных фаз (от  $-\pi$  радиан до  $\pi$ ) разыгрываются с помощью генератора случайных чисел для равномерного распределения вероятностей, а значения частотных сдвигов разыгрываются с помощью генератора случайных чисел для распределения вероятностей, соответствующего входному спектру доплеровских сдвигов для определённой высоты.

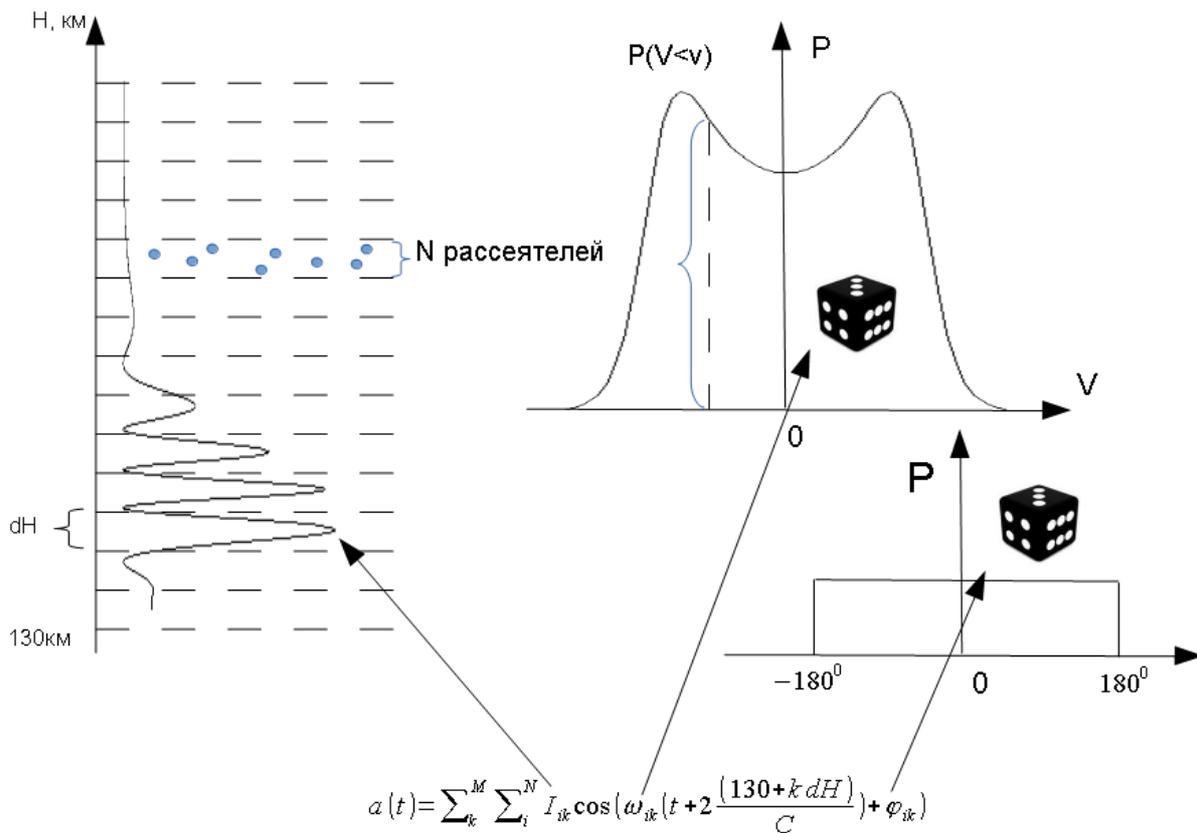


Рисунок 4.

Основной цикл содержит вложенные циклы, в которых сначала производится суммирование сигналов от отдельных рассеивателей, а затем суммирование результирующих сигналов в массивы  $a(t)$  и  $b(t)$  в соответствии с временем распространения сигнала от момента излучения до момента приёма. Импульсы, отраженные от каждого рассеивателя в одном слое, складываются друг с другом, образуя сложный многогармонический сигнал с длительностью, равной длительности зондирующего импульса:

$$\sum_{i=1}^N \cos((\omega + \omega_i)t + \varphi_i),$$

где  $\omega$  – угловая несущая частота радара,  $\omega_i$  и  $\varphi_i$  – указанные выше параметры рассеивателей,  $N$  – количество рассеивателей в одном слое. Сигнал отклика от каждого слоя имеет задержку, равную удвоенному времени распространения радиоволны от антенны радара до соответствующей высоты. Сигнал, отраженный от рассеивателей, расположенных на одной высоте, накладывается на часть сигнала, отраженного от расположенных на другой высоте рассеивателей, увеличивая длительность результирующего сигнала. С учетом вышесказанного и применением фильтрации нижних частот сигнала, которая в приёмном тракте ИРНР организована аналоговым способом, выражения для квадратур сигнала отклика можно записать следующим образом:

$$a(t) = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N I_{ik} \cos\left(\omega_{ik} \left(t + \frac{2(130 + k * dH)}{C}\right) + \varphi_{ik}\right)$$

$$b(t) = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N I_{ik} \sin\left(\omega_{ik} \left(t + \frac{2(130 + k * dH)}{C}\right) + \varphi_{ik}\right), \text{ где } \omega_{ik} \text{ и } \varphi_{ik} - \text{элементы}$$

двумерных массивов частотных сдвигов и начальных фаз,  $dH$  – шаг по высоте,  $C$  – скорость света,  $M$  – количество рассматриваемых слоев,  $I$  – интенсивность сигнала, отраженного от рассеивателя и заданного профилем фарадеевских вариаций (рисунок 4).



Рисунок 5.

После формирования одного результирующего сигнала отклика модельной ионосферы вычисляется его спектр с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье. Спектры всех реализаций сигналов отклика суммируются, чтобы получить усредненный спектр и уменьшить статистические вариации, которые в описываемой модели схожи по величине со статистическими вариациями реальных измерений на ИРНР. В результате накопления достаточной статистики можно судить о тех искажениях, которые вносят в спектр НР моделируемый сигнал и среда его распространения.

Важным пунктом данного алгоритма является то, что накопление спектров ведется по независимым реализациям, а значит – его легко распараллелить. Структура типичного параллельного алгоритма, в котором итерации параллельного цикла информационно независимы, представлена на рисунке 5. Наиболее подходящим программным инструментом ее реализации является интерфейс MPI. Обмен данными между управляющим и рабочими процессорами можно организовать с помощью стандартных блокирующих функции передачи и приема сообщений MPI\_Send() и MPI\_Recv(). Согласно закону Амдала предел ускорения задачи зависит от параллелизма реализующего ее кода. Однако если не учитывать работу управляющего процессора, то ускорение задачи будет

пропорционально количеству задействованных процессоров.

На рисунке 6 приведено сравнение графиков зависимости времени вычислений от числа рабочих процессоров для теоретической оценки и практического результата.

Необходимо отметить, что закон Амдала не учитывает сетевые затраты на передачу сообщений между процессорами. Поэтому практический результат всегда будет ниже теоретической оценки.

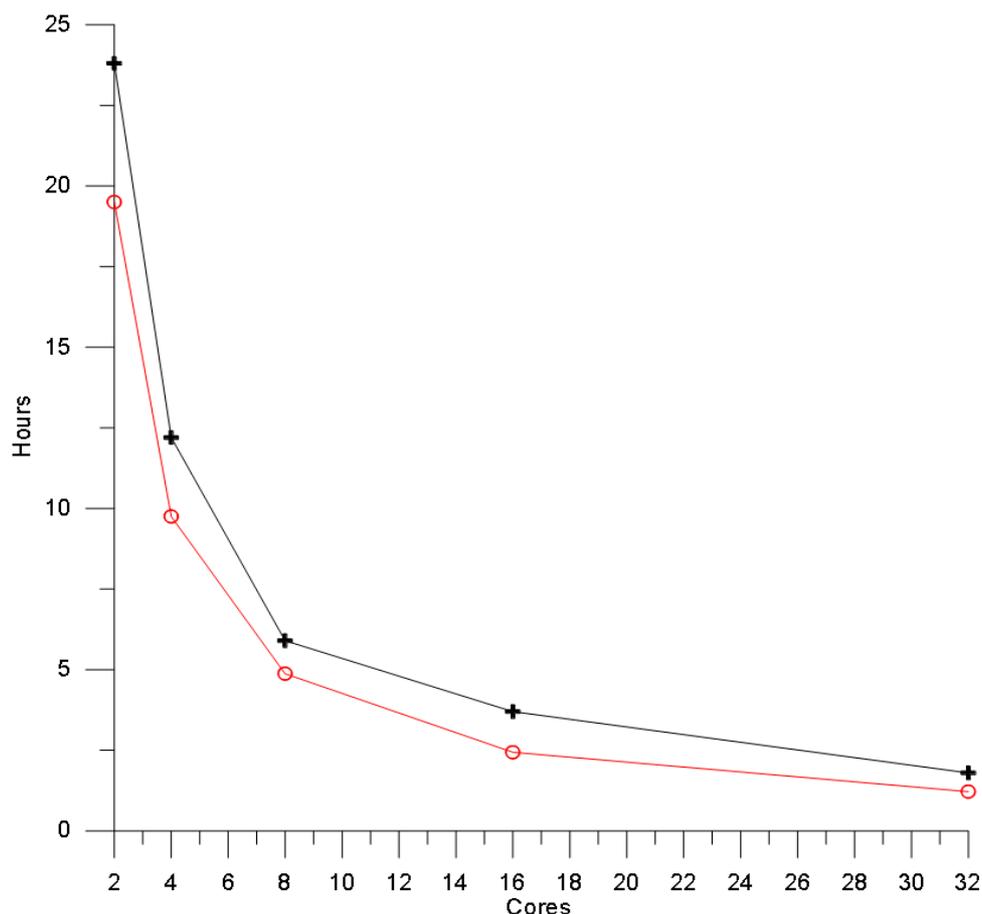


Рисунок 6.

Вычисления проводились на вычислительном кластере «Академик В.М. Матросов».

### **Моделирование рассеянного сигнала и обсуждение результатов**

В простейшем, детерминированном варианте модели случайными задаются лишь фазы рассеивателей, а значения доплеровских сдвигов равномерно распределены на описанном спектре. Результат накопления спектров на 4000 реализаций для 100 рассеивателей в каждом слое представлен на рисунке 6. Данные результаты приводятся без учета профиля фарадеевских вариаций.

В другом варианте модели доплеровские частоты также задаются случайно согласно закону распределения, заданному формой теоретического спектра. В таком приближении значения аналитического спектра определяют вероятность того, что рассеиватель будет иметь соответствующую доплеровскую частоту. Результат накопления спектров на 4000 реализаций для 100 рассеивателей в каждом слое представлен на рисунке 7. В сравнение с предыдущими спектрами наблюдается явно большая дисперсия. Для того чтобы приблизить форму моделируемого спектра к аналитической, приходится увеличивать количество рассеивателей, что сказывается на вычислительных объемах. Однако второй вариант является более приближенным к действительности и позволяет рассматривать в предлагаемом методе моделирования задачи, в которых спектр сигнала не детерминируется какой-либо определённой функцией, а задаётся, исходя из некоторых локальных физических соображений, как в модели Particle-in-cell [4].

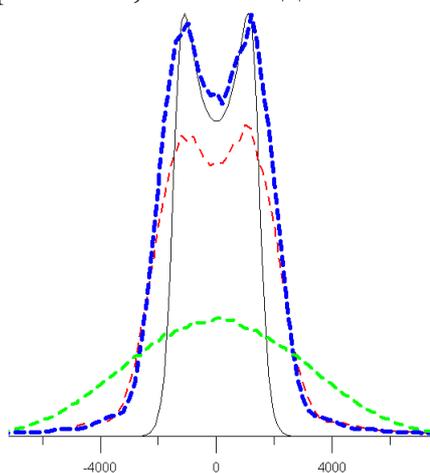


Рисунок 7.

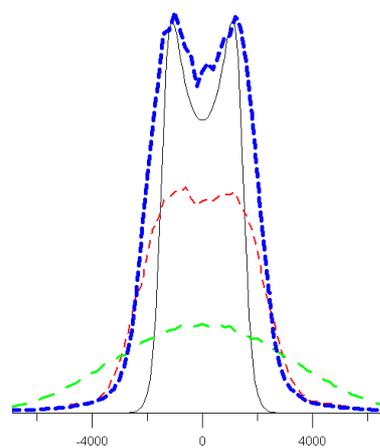


Рисунок 8.

На рисунках 7 и 8 сплошной линией обозначен аналитический спектр, штриховыми – полученные в результате моделирования спектры для импульсов длительностей 200, 700 и 900 мкс. Очевидно, что для импульса 200 мкс спектр имеет наибольшую ширину и при свертке со спектром плазмы полностью его «замывает». Для 700 мкс двугорбая форма проявляется отчетливо, и общая мощность спектра выше. Аналогично для спектра, свернутым со спектром импульса 900 мкс.

Полученный результат очевиден и говорит в первом приближении о правильности используемой модели, поскольку в процессе моделируемого рассеяния происходит свертка аналитического спектра со спектром зондирующего импульса – функцией sinc, а их энергетическое соотношение и относительная ширина зависят от длительности импульса. Положение максимумов спектра должно остаться прежним, а вот его ширина и форма (наклон) горбов несколько изменятся.

Используя теорему Винера-Хинчина, которая говорит о том, что спектр мощности и автокорреляционная функция сигнала взаимосвязаны

преобразованием Фурье, можно получить АКФ. Из действительной части АКФ по ее характерным точкам определяются температуры ионов и электронов, а из фазы – скорость дрейфа плазмы.

Помимо искажений, вносимых в спектр зондирующим сигналом, значительное влияние на него окажет и профиль фарадеевских вариаций. На рисунке 9 изображен результат моделирования ионосферы с использованием рассеивателей, обладающих не равномерными амплитудами по всей высоте, а меняющихся с высотой. Изменение амплитуды рассеяния с высотой описывает некий реальный профиль мощности, полученный на ИРНР и содержащий влияние эффекта Фарадея. Как видно из рисунка 9, эффект Фарадея сказывается на форме спектра НР, внося заметную асимметрию в спектр сигнала отклика.

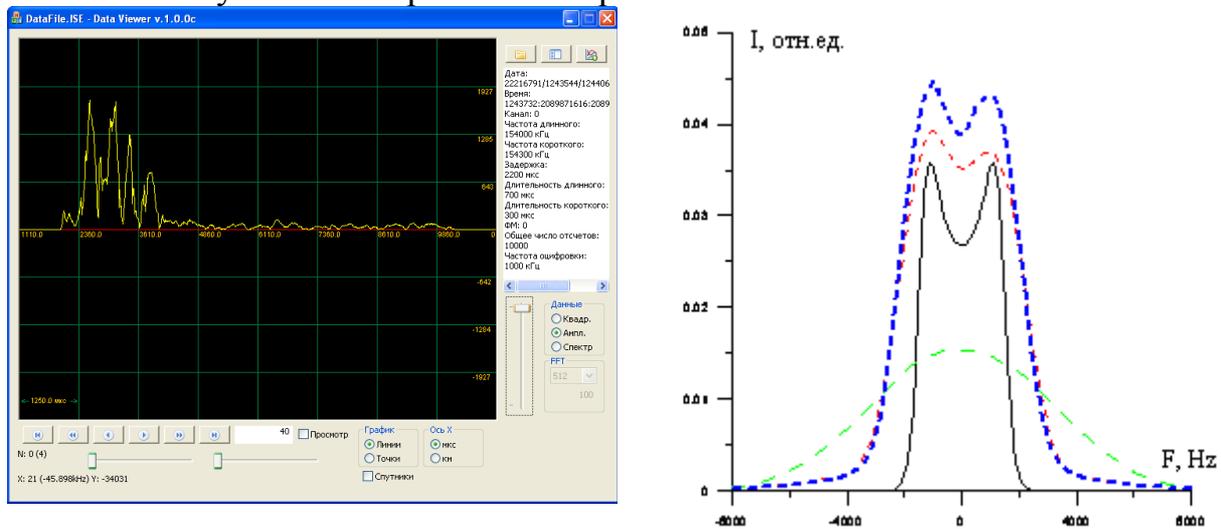


Рисунок 9. (слева) Результат моделирования (мощность сигнала) с учетом эффекта Фарадея на одной реализации. (справа) Усредненный спектр НР с учетом эффекта Фарадея по 4000 независимых реализаций.

Отметим, что для получения спектра мы используем преобразование Фурье во временном окне, соответствующем возможной длительности регистрируемого сигнала. Это усредняет обрабатываемые данные по высотам. Для того чтобы исследовать вариации спектра по высотам, необходимо несколько пересмотреть подход к преобразованию Фурье. Если при фиксированном интервале дискретизации применить скользящее преобразование Фурье с малым размером окна, значительно ухудшится спектральная картина. Поэтому размер окна Фурье преобразования нужно выбирать таким образом, чтобы выполнялись условия теоремы Котельникова, но при этом сохранялось удовлетворительное спектральное разрешение. Однако в задаче исследования высотных вариаций параметров ионосферы удобно напрямую вычислять АКФ. При этом величина окна, в котором вычисляется АКФ выбирается равной длительности импульса. Скользя данным окном по всей временной развертке, можно детально исследовать высотные вариации спектров.

На рисунке 10 приведены вариации реальной части АКФ при градиенте температур ( $T_e$  меняется линейно от 1000 до 4000 К, отношение  $T_e/T_i$  постоянно и равно 2). Характерные точки, по которым эмпирически вычисляются температуры ионов и электронов — это первый ноль и первый минимум АКФ. При изменении температур в данном диапазоне ширина спектра увеличивается, а значит — данные точки АКФ смещаются ближе к нулю.

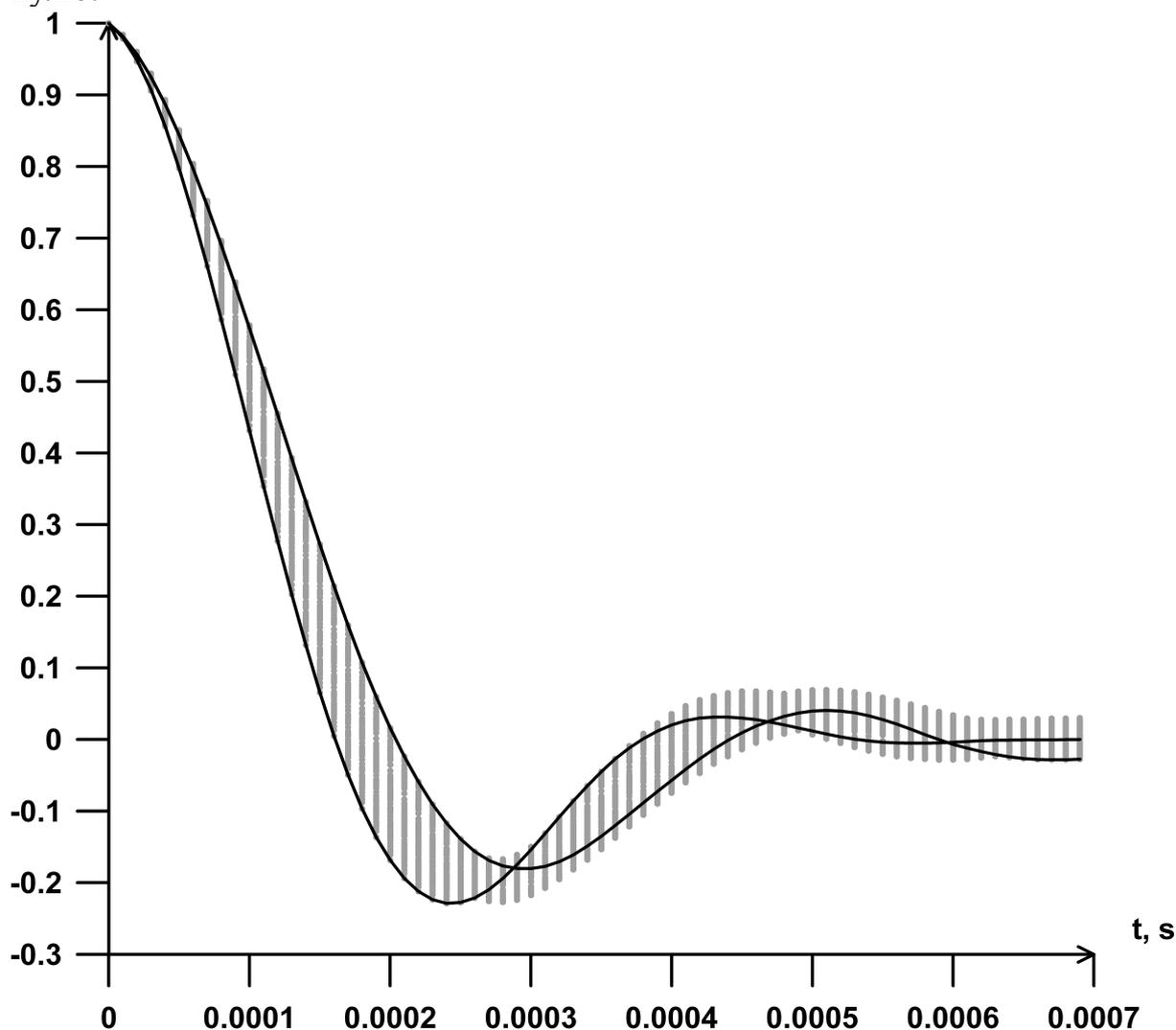


Рисунок 10.

### Заключение

Главной задачей, поставленной при моделировании, было исследование искажений спектра НР, вносимых зондирующим импульсом (в зависимости от длительности) и фарадеевским вращением плоскости поляризации электромагнитной волны. Как видно из приведённых результатов, существует зависимость спектра сигнала отклика от длительности зондирующего сигнала, причём эта зависимость не противоречит основным положениям теории сигналов.

Моделирование сигнала с учётом искажений, вносимых эффектом Фарадея, указывает на существование заметного влияния фарадеевских замираний на спектр сигнала отклика, выражающееся в появлении асимметрии в результирующем спектре. При этом преобразование Фурье от моделируемого сигнала бралось по всей временной развертке. Используя оконное преобразование Фурье, можно более детально исследовать природу таких искажений.

Заложенная в предлагаемую модель возможность использовать входные спектры, изменяющиеся с высотой, позволяет проводить исследования влияния фарадеевских вариаций на высотные профили электронных и ионных температур.

При необходимости в модели можно включить нормально-распределенный шум, имитирующий аппаратные и космические шумы. Также в результате накопления можно построить автокорреляционную функцию НР, из которой непосредственно вычисляются параметры ионосферной плазмы. В дальнейшем планируется увеличить размерность моделируемой среды с учетом всех значимых физических процессов, протекающих в ней, а также усовершенствовать модель с помощью метода частиц в ячейках, описанного в статье [4]. Также можно исследовать влияние на сигнал диаграммы направленности антенн радара. Таким образом, возможно конструктивно изучать влияние на спектр НР различных явлений и параметров, как отдельно, так и их различными комбинациями.

#### ***Библиографический список***

1. Алсаткин С.С., Медведев А.В., Кушнарев Д.С. Исследование возможности применения сложных сигналов в методе НР путем математического моделирования// Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы, БШФФ, 2007, с. 72-76.
2. Шеффилд Дж. Рассеяние электромагнитного излучения в плазме. М.: АТОМИЗДАТ 1978, 129 с.
3. Шпынев Б.Г. Методы обработки сигналов методом некогерентного рассеяния: Автореферат дис. ... к.ф.-м.н. Иркутск, ИСЗФ СО РАН, 2000, 85 с.
4. M. A. Diaz, J. L. Semeter, M. Oppenheim and M. Zettergren. Particle-in-cell simulation for the incoherent scatter radar spectrum// Radio Science, vol. 43.

## ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ДЛЯ НОВЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Карпов Д.С.<sup>а</sup>, Тихомиров А.А.<sup>б</sup>, Труфанов А.И.<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Иркутский Государственный Технический Университет

<sup>б</sup> Университет Инха, Инcheon, Республика Корея

dk.pochemu@gmail.com

**Введение.** На сегодняшний день большое внимание в сфере информационных технологий уделяется развивающемуся сектору мобильных устройств и приложений [1]. Множественные анализы современного рынка показывают, что смартфоны и планшеты являются перспективным направлением развития в ближайшем будущем, см., например, [2]. Такую популярность данным устройствам приносит концепция, которая была заложена в их основу - «мобильность». Т.е. всё, что вам может понадобиться для получения информации, можно уместить у себя в кармане! На их основе реализуются революционные технологии, подходы для взаимодействия людей между собой и окружающим их миром. Очевидно, что использование мобильных устройств в электронных обучающих системы (ЭОС) позволит резко увеличить не только количество пользователей, но также скорость, надежность и повсеместность доступа к образовательным ресурсам, и тем самым, повысив эффективность электронных обучающих систем. Безусловно, подобные высокие требования должны предъявляться к ЭОС в области информационной безопасности. Одновременно возникает надобность в сопутствующих инструментах интерактивного программного обеспечения, при этом перспективны следующие направления:

- Применение мобильных устройств и специальных программных обеспечений для создания электронных обучающих систем.
- Реализация дополненной реальности.
- Расшифровка информации, представленной в виде матричных кодов.
- Разработка специализированных приложений для повседневных нужд человека.
- Разработка систем для высокопроизводительного информационного обмена.

**Метод.** Дополненная реальность (*augmented reality, AR*) — среда с прямым или косвенным дополнением физического мира цифровыми данными в режиме реального времени при помощи компьютерных устройств - планшетов, смартфонов и инновационных гаджетов, а также программного обеспечения к ним [3]. Технология дополненной реальности создает и демонстрирует взаимосвязь между виртуальным и реальным миром. Данная технология привязывает к объектам реального мира цифровую информа-

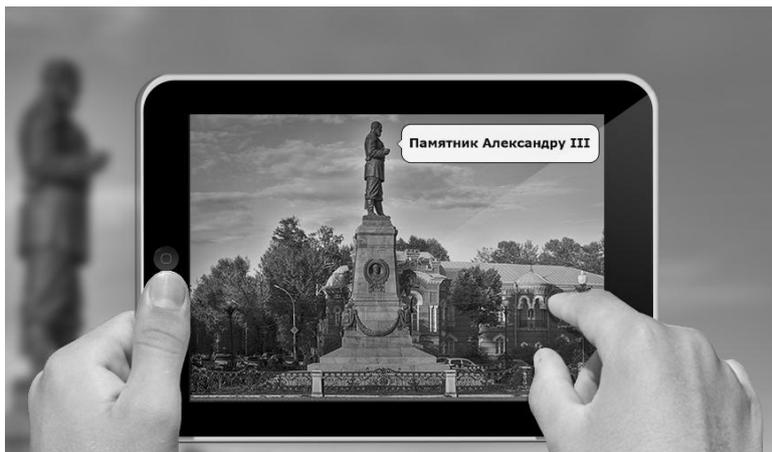


Рис. 1. Пример добавления цифрового описания к объекту из реального мира.

ствующих устройств и программ. Тем не менее сегодня все или почти все решения на основе дополненной реальности выполняют исключительно приведенную в названии функцию.

Дополненная реальность представляет собой новый этап развития интерактивного программного обеспечения. В технологиях одновременного взаимодействия пользователя с реальным и виртуальным мирами задействованы лишь слух и зрение, и, при условии встраивания в будущие системы AR сообщающих пользователю тактильные ощущения устройств, область их применения может быть значительно расширена, выйдя за рамки информационных, развлекательных решений, решения для бизнеса, военного дела, медицины. Данную технологию можно применять практически везде, где нужно предоставить человеку какую-либо информацию. Наибольший эффект от данной технологии можно ожидать в сфере образования и военного дела [3].

Мировой рынок дополненной реальности с игровыми, автомобильными, медицинскими, рекламными, оборонительными, образовательными и геолокационными приложениями вырастет до \$5 155,92 миллиона к 2016 году [4].

Потенциал этой технологий огромен, влияние технологии дополненной реальности на общество может оказать эффект, сравнимым с эффектом полученным от появления сети Интернет. Глобальная сеть сделала информацию более контекстно-зависимой, то есть определяемой окружающими условиями. Дополненная реальность закрепит и многократно преумножит эти успехи, благодаря чему наши отношения с информацией станут более эргономичными [5].

QR-код (англ. *quick response* — быстрый отклик) — матричный код (двумерный штрихкод), разработанный и представленный японской компанией «Denso-Wave» [6]. Появление технологии QR-кодов предоста-

цию в определенном контексте, предоставляя нам совершенно новый способ получения данных. Однако помимо своей основной функции «дополнять окружающий реальный мир», данная технология может и устранять из него объекты, делая их невидимыми - возможности AR ограничиваются лишь возможностями соответ-

вило развитие новому формату коммуникации (Рис.1). Данная технология позволяет закодировать любую информацию в «штрихкод», для распознавания которого необходимо специальное программное обеспечение (ПО) и поддерживающее это ПО устройство. Благодаря большому количеству достоинств, технология QR-кодов нашла применение в самых разных сферах. В российской практике наблюдается повышенный интерес к данной технологии в сферах логистики и производства.

**Основные результаты.** В настоящей работе было разработано решение, объединившее в себе технологию дополненной реальности с QR-кодами (quick response code), позволяющие шифровать графические данные

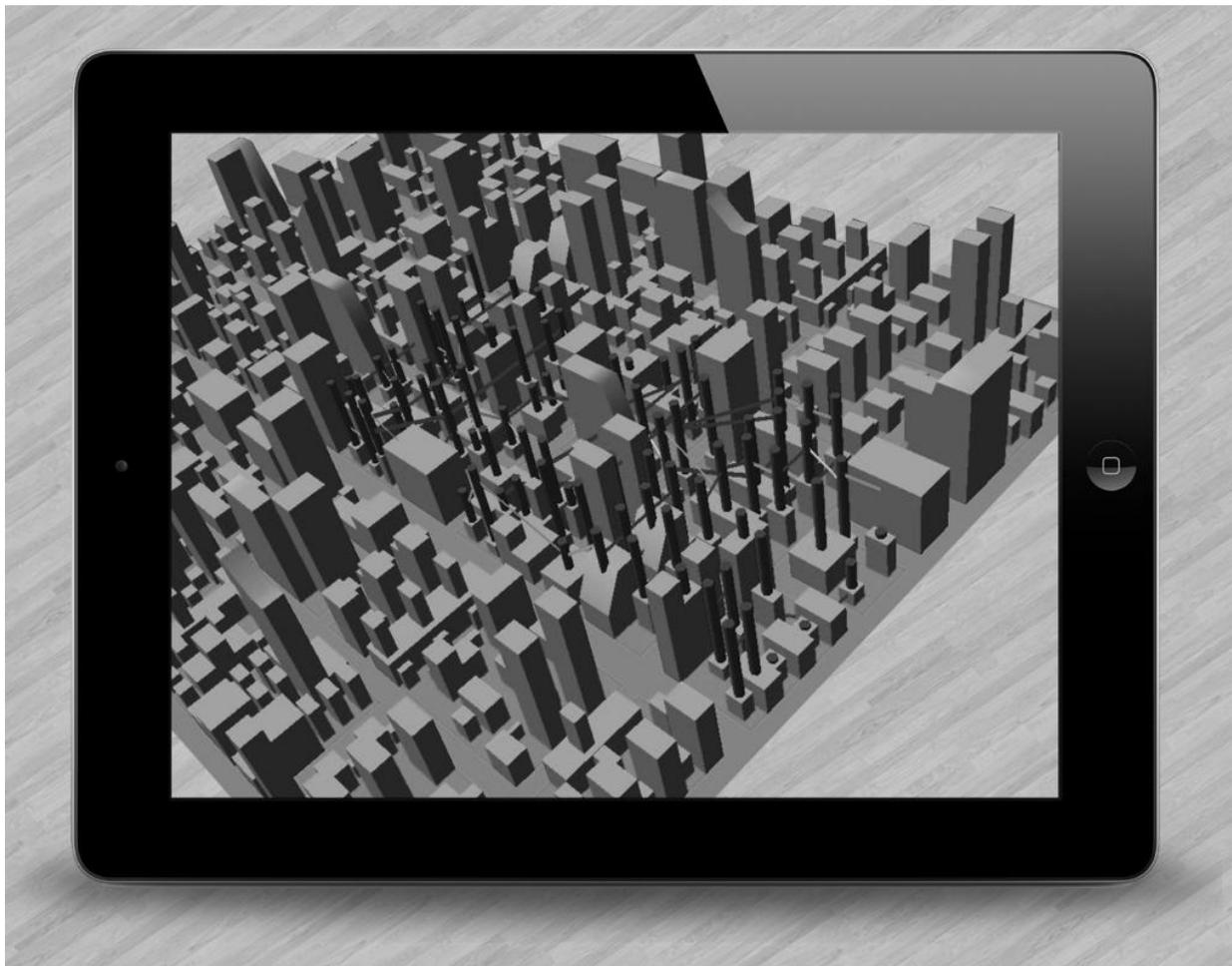


Рис.2. Визуализация построения комплексной сети городской инфраструктуры в густонаселённом городе.

(Рис.2) . Заявляемое решение представляет собой уникальную AR-систему и одновременно новый способ защиты информации. Слиянием двух технологий удалось добиться построения и визуализации наглядных макетов комплексных сетей. В данном подходе, QR-коды служат не только, как источник зашифрованных сведений, но и как маркер для отображения

виртуальных 3D моделей, построенных на основе информации, скрытой шифром. Благодаря такому подходу, появляется возможность наглядно представить изучаемую систему с помощью мобильных устройств. Данный инструмент нашел свое применение при освоении дисциплины «информационная безопасность и защита информации» студентами технических специальностей в Иркутском государственном техническом университете. Настоящая разработка позволяет значительно повысить интерес к теме занятия и уровень освоения материала у обучаемых. Такой эффект достигается благодаря синергическому эффекту от взаимодействию реальной и виртуальной составляющих объекта. Также, с помощью инструмента можно ограничивать доступ к цифровой информации.

**Выводы.** Приложения, системы и прочие решения на основе мобильных устройств, в ближайшем будущем станут основным компонентом образовательных технологий, смогут не только автоматизировать ЭОС но и сделать их интереснее, ярче и эффективнее, в т.ч., те, что ориентированы на курсы по направлению подготовки 090900 «информационная безопасность». Можно ожидать, что технологии дополненной реальности будут существенно способствовать повышению уровня общекультурных и профессиональных компетенций. Поскольку развиваемые AR-инструменты усиливают процесс познания за счет объединения виртуальной картины с реальной, эти инструменты окажутся полезными как при освоении учебных дисциплин, так и на практике.

#### *Библиографический список*

1. Андреичева Л.Н., Латыпов Р.Х. Современные технологии в образовании: мобильные электронные обучающие системы. Преподавание информационных технологий в российской федерации. Материалы Одиннадцатой открытой Всероссийской конференции . 16 – 17 мая 2013 года . Воронеж – 2013, Воронеж 2013г. с.120.
2. Mobile Marketing Statistics 2013.  
<http://www.smartinsights.com/mobile-marketing/mobile-marketing-analytics/mobile-marketing-statistics/> (дата обращения 11.09.14).
3. ARNext.ru – профессиональный информационный ресурс, посвящённый технологиям дополненной реальности. <http://arnext.ru/dopolnennaya-realnost> (дата обращения 05.10.14).
4. Агентство «Рейтер» – крупнейшее в мире международное агентство новостей. <http://ru.reuters.com/> (дата обращения 05.10.14).
5. Дополненная реальность. Xaker.ru – журнал об информационных технологиях. <http://xaker.ru/52409/> (дата обращения 05.10.14).
6. QR-код. Wikipedia.ru  
<https://ru.wikipedia.org/w/?title=QR%D0%BA%D0%BE%D0%B4&oldid=40574537> (дата обращения 05.10.14).

## РАЗРАБОТКА СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ СПОРТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ «ФЕДЕРАЦИЯ ПАУЭРЛИФТИНГА РОССИИ»

Адамович О.В.<sup>a</sup>, Труфанов А.И.<sup>a</sup>, Тихомиров А.А.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Иркутский Государственный Технический Университет

<sup>b</sup> Университет Инха, Инчeon, Республика Корея

adamovich\_olya@mail.ru

**Введение.** Пауэрлифтинг (от англ. Powerlifting; power– «сила» + lift – «поднимать») или силовое троеборье – силовой вид спорта, суть которого заключается в преодолении сопротивления максимального тяжелого для спортсмена веса. В России этот вид спорта организует и направляет «Федерация пауэрлифтинга России» (ФПР). В этой предметной области накопилось немало проблем, для решения которых могут быть полезны новые перспективные сетевые методы. Особое внимание следует уделить острой проблеме, связанной с применением запрещенных препаратов и веществ, которая тормозит вхождение этого вида спорта в состав Олимпийских игр[1].

**Методы.** Для анализа системы ФПР в работе предложено использовать инструменты из новейшей научной области комплексных сетей, основателем которой считают Альбертом-Ласло Барабаши [2-3]. Для современных сложных систем характерна высокая численность элементов, которая может достигать десятки и сотни тысяч, и нерегулярность связей. Таким системам и их сетевым моделям, обладающим нетривиальными топологическими свойствами в наибольшей степени отвечает термин «комплексные».

Теория комплексных сетей обратила на себя внимание и зарекомендовала, как надежный подход к решению сложных многоакторных задач. Потенциал теории сетей реализуется в отдельных дисциплинах, но все еще не использован в полной мере для того, чтобы раздвинуть временные и концептуальные границы и подступиться к надежным и эффективным решениям социально-экономических и биосоциальных задач различных масштабах в разнообразных предметных областях.

Построение эффективной сетевой модели сложной системы (в том числе организационной) невозможно без полного детального описания этой системы.

Разумным представляется использовать построение сетевой модели через онтологию [4-5], рассматривая такой путь как новый метод, на который обращают внимание исследователи в последнее время. Характерно, что в данной работе рассматривается оригинальная для научного изучения область, в которой присутствуют сознательные акторы (участники информационного взаимодействия). Основные элементы системы рассмотрены в той степени, чтобы продемонстрировать реализуемость модели.



туру слоя «допинг-контроль» можно будет сопоставлять с подобными структурами других видов спорта.

Сетевая модель в виде двухслойной конструкции была получена при связывании этих двух слоев в так называемое «кружево единых сетей».

На фрагменте сетевой модели (Рис.3) отметим присутствие нескольких видов связей на разных уровнях между объектами.



Рис.2. Слой «допинг-контроль»

Стоит отметить, что в настоящее время не существует таких программных инструментов, которые позволили бы эффективно визуализировать многослойную сетевую модель.

С помощью программы Gephi рассчитывались 7 метрик разрабатываемой сетевой модели. Для проведения сравнительного анализа рассматривались также метрики иных существующих социальных сетей, а именно – сети событий блогосферы накануне декабря 2011 года [6] и сети соавторов украинских специалистов в области медицины на ноябрь 2012 года [7]. Значение метрики «Средняя степень» для исследуемой сети составило - 2,22, тогда как значение этой же метрики у сети блогеров – 0,743, сети соавторов – 9.

Все это свидетельствует о достаточно высокой степени сложности сети ФПР. Плотность моделируемой сети ФПР оказалась равной 0,004. Это значение указывает насколько близок граф к полному. Диаметр сети Федерации пауэрлифтинга России равен 7, сети соавторов – 16, сети блогеров – 2, что означает об отсутствие цепочек коммуникационных взаимодействий между пользователями в сети блогеров, тогда как в сети «ФПР» и сети со-

авторов присутствуют связи между узлами не только своего окружения, но и соседних кластеров.

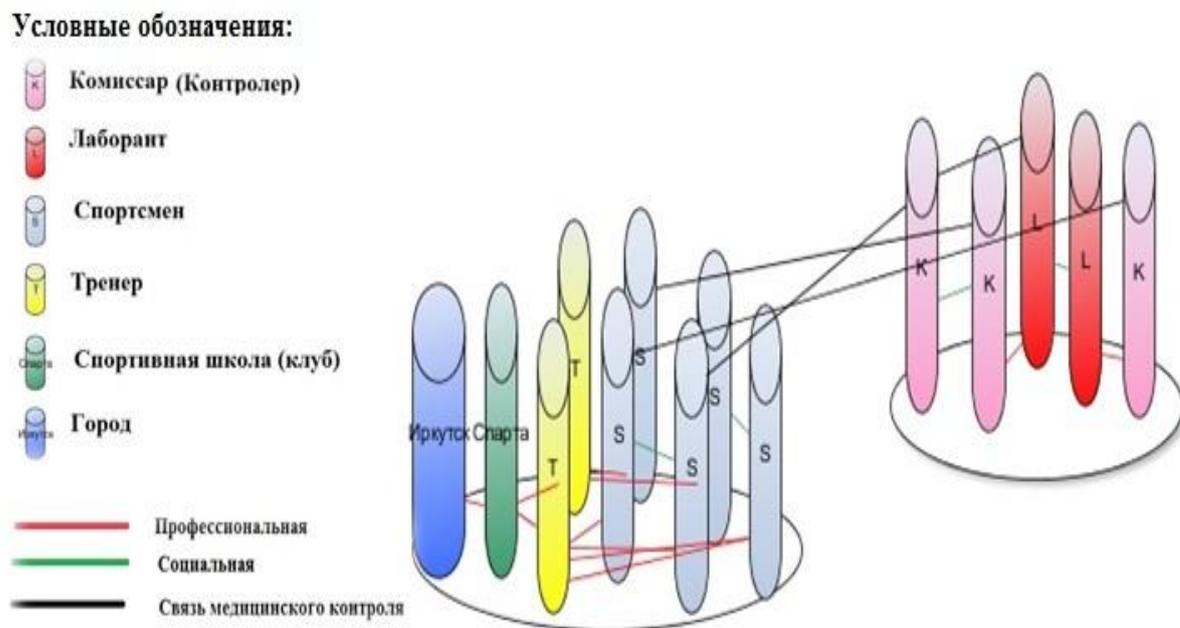


Рис.3. Фрагмент сетевой модели «ФПР»

Рассчитывался средний коэффициент кластеризации (насколько узлы упакованы в своем ближайшем окружении). Значение этой метрики для сети ФПР- 0.277, для сети соавторов - 0.771. Эти значения подтверждают кластерную структуру сетей.

Средняя длина пути, как метрика, полезна тем, что она соотносится с идеей шести рукопожатий, выдвинутой в 1969 году американскими психологами С. Милгрэмом и Дж. Трэверсом [8]. Значение данной метрики сети ФПР - 5,66. В среднем, между двумя случайными пользователями сети ВКонтакте находилось в 2011 году 5.65 друзей (т.е. 6.65 рукопожатий) [9]. Эта цифра вполне вписывается в изначально проверяемую теорию, к тому же довольно точно совпадает с результатом, полученным в Microsoft (там соответствующее значение составляло 6.6). В сети медицинских соавторов Украины средняя длина пути составляет 5. Так что полученный в настоящем исследовании результат соответствует теории шести рукопожатий [6].

Промежуточные центральности узлов определяют число присутствия вершины в кратчайших путях между любыми другими вершинами. Соответствующая метрика в сети ФПР указывает, что значение промежуточной центральности узлов гораздо ниже, нежели, чем в сравниваемых сетях.

Это связано с тем, что существует множество других, обходных путей между различными парами узлов.

С помощью метрики «Модулярность» (алгоритм выявления сообществ) можно увидеть, что в сети Федерации пауэрлифтинга России присутствуют 23 сообщества. Исследуемая сеть упорядочена и склонна к кластеризации.

**Выводы.** В результате выполненного исследования впервые были разработаны онтология и сетевая модель спортивной организации «Федерация пауэрлифтинга России». Выполнен расчет таких основных сетевых метрик, как средняя длина пути, плотность, модулярность, средний коэффициент кластеризации, средняя степень и степенное распределение и т.д.

Разработанная сетевая модель позволит ближе подойти к решению проблемы противодействия употреблению запрещенных препаратов и веществ, выявлению остальных, менее явных проблем и также предложить пути их решения.

#### *Библиографический список*

1. Сайт Самарской области. История пауэрлифтинга. URL: <http://samaraipf.narod.ru/history.html>(дата обращения 21/04/2014).
2. Barabási A.-L., Albert R., Jeong H. . Mean-field theory for scale-free random networks// Physica .1999, A 272, P. 173–187.
3. Albert R., Barabasi A.-L. Statistical mechanics of complex networks // Rev. Mod. Phys. 2002. V. 74 P. 47–97.
4. Смирнов А.П. Онтология порядка . 2008. 3 с. URL: <http://www.shaping.ru/download/pdf/file/smir07.pdf> (дата обращения 21/04/2014).
5. Смирнов С.В. Прагматика онтологий: объектно-ориентированная модель знаний о предметной области // XI Национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября-03 октября 2008 г., Дубна, Россия): Труды конф. Т.3. – М.: ЛЕНАНД, 2008. - С. 208-216.URL: <http://iccs.ru/Data/trud/smirnov/2008/1.doc> (дата обращения 21/04/2014).
6. Визуализация графа социальной сети. URL: <http://habrahabr.ru/post/164307> (дата обращения 21/04/2014).
7. Д. В. Ланде, И. В. Горбов, И. В. Балагура. Характеристики сети соавторов медицинских наук . Клиническая информатика и Телемедицина. 2013. т.9.вып.10. С. 141-144. <http://dwl.kiev.ua/art/klinika/klm.pdf> (дата обращения 21/04/2014).
8. Сайт Википедия, раздел - теория шести рукопожатий. URL: <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения 21/04/2014).
9. О теории 6 рукопожатий. URL: <http://habrahabr.ru/post/132558> (дата обращения 21/04/2014).

## СЕТЕВОЙ ВОЗРАСТ И ЕГО МЕТРИКИ

Кинаш Н.А.<sup>1</sup>, Труфанов А.И.<sup>1</sup>, Тихомиров А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный технический университет,

<sup>2</sup> INHA University, Republic of Korea

kinash\_family@mail.ru

**Введение.** Во многих предметных областях (геология, астрономия, физика, химия, биология, экономика и т.д.) важным свойством исследуемых объектов является их возраст (возраст Земли, горных пород, звезд, металлов, полимеров, живых организмов и т.д.). Интенсивно развиваемое в последние 15 лет направление комплексных сетей не

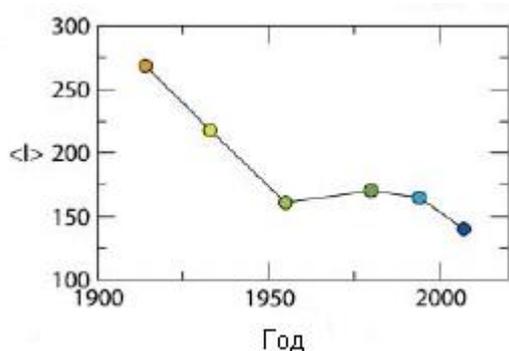


Рис.1. Пример временного изменения  $\langle l \rangle$  в дорожной сети.

оставило без внимания временные изменения (возрастную динамику) сетевых структур. Так, на рис.1 представлена зависимость от времени средней топологической длины пути  $\langle l \rangle$  в сети дорог в большой области к северу от г.Милана, Италия [1].

Однако, нет никаких указаний на то что, такой параметр как возраст, исследователями сетевых конструкций вводился, учитывался или использовался.

Предполагая, что возраст комплексных сетей существует, это новое понятие и методология его определения, открывает возможность более глубокого анализа сетей, в т.ч. дающего ответы на ряд вопросов. Как меняются топологические характеристики на этапе взросления, становления или старости? Как отличается эффективность атак на разных возрастных этапах? Как следует менять стратегию защиты с изменением возраста?

Разработка методологии требует решения двух задач:

1. Создание метрики, позволяющей оценить возраст сети одним числом
2. Определить, применимы ли для сетей понятия возрастных этапов детства (активного роста), зрелости и старости. В случае их применимости, разработать метрики для определения возрастного этапа по имеющемуся состоянию сети в данный момент времени, так называемому снимку(снимкам).

**Используемые инструменты.** В настоящей работе Для анализа была выбрана эволюционирующая сеть Интернет[2]. Преимущество этого дата сета состоит в том, что он содержит снимки сетей в широком временном интервале(с 1990 по 2014). Обработка сети производилась в программе networkX[3]. Построение графиков выполнялось в matplotlib [4]

**Основные результаты.** За основу была принята сеть первого поколения исследуемого дата сета Интернет(условное название группа).

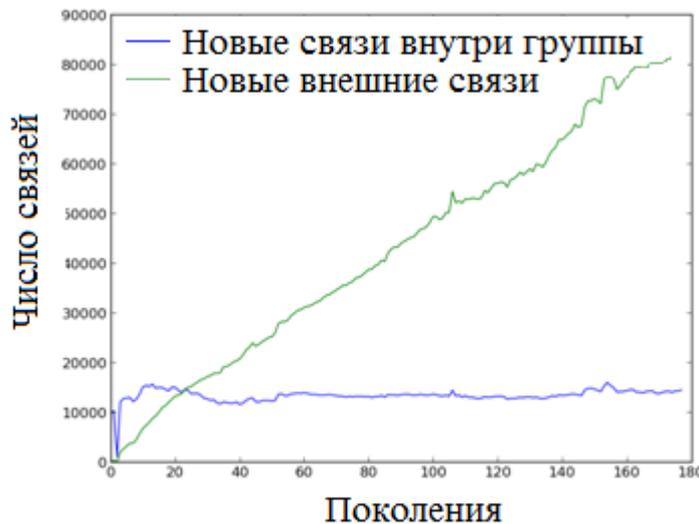


Рис. 2– Характер добавления связей с течением поколений с точки зрения группы.

Относительно нее исследовались все события добавления и удаления вершин и связей в дальнейших поколениях. Было выявлено, что узлы внутри группы создают связи между собой с малой вероятностью (рис.2).

Новые узлы создают связи между собой с малой вероятностью до определенного этапа (рис.3). За этим этапом наблюдается рост связей

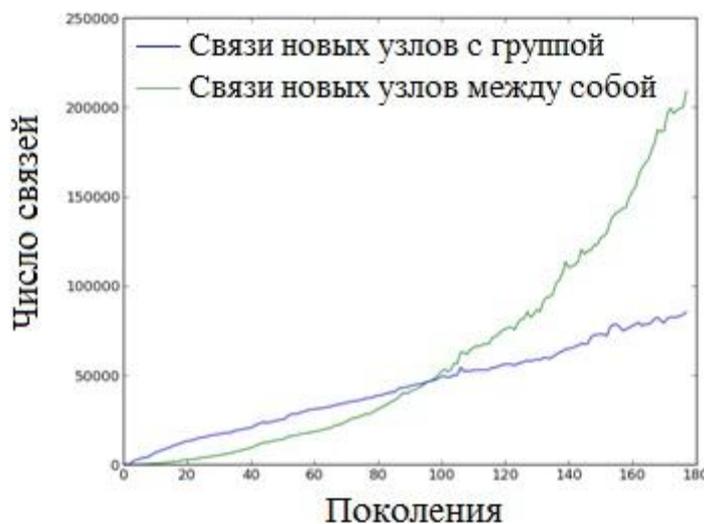


Рис. 3. Характер добавления связей с течением поколений с точки зрения новых связей.

формированию нового слоя, который начал перехватывать связи вновь пребывающих узлов следующих поколений.

между новыми узлами, что говорит о том, что сеть растет слоями, накладывающимися друг на друга. Вначале новые узлы активно присоединялись к группе, словно обрамляли ее и закрывали собой, что в конечном итоге привело к прекращению доступа группы к новым узлам и

Для анализа роста сети выполнялись визуальные снимки сети в разные

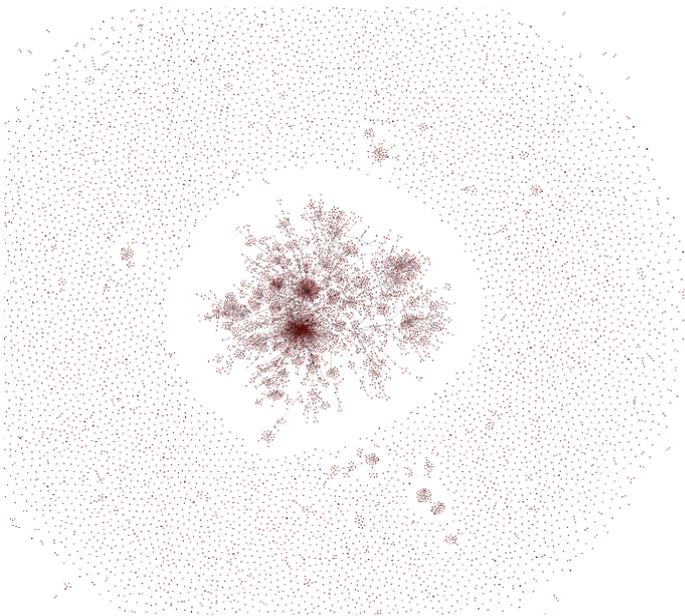


Рис. 4 . Очаги новых хабов в одном из дальних поколений.

эволюционные этапы. Поскольку визуализация сети с числом узлов более 1000 теряет всякую информативность, то для решения этой проблемы использовался фильтр. В каждом снимке скрывались узлы и связи первого поколения, таким образом стало возможным отследить как новые узлы «наслаиваются» с ходом поколений. Новые узлы, взрывообразно создавшие много связей, будем называть очагами. На снимках можно увидеть, создают ли новые узлы связи друг с другом, в каких

очагах и на каком этапе это начинает происходить. Первые пять поколений с наложением фильтра — представляли собой множество одиночных узлов. Это говорило о том, что все вновь прибывшие узлы не создают связей между собой. На пятом поколении обнаружился одиночный узел, создавший взрывным образом вокруг себя несколько связей. И в последующих поколениях появилось несколько таких же узлов, все они обрастали связями.(рис.4) Что может говорить о том, что сеть развивается слоями. Поскольку каждый такой узел представляет один из слоев. Со временем, эти узлы-очаги объединились. Алгоритм разбиения сети на слои, может помочь не только в оценке возраста сети, но и воссоздании всех ее предыдущих состояний.

Описанные наблюдения должны иметь отражение на кривой распределения связности.

В настоящей работе предлагается следующая гипотеза о том, как будет изменяться кривая распределения связности по сравнению с возрастом.(Рис. 5)

Описанные ниже явления в сети(когда, как и куда добавляются/удаляются узлы/связи) являются эталонным, идеальным описанием, без учета деталей. Пусть имеется некоторый начальный снимок сети. В нем узлы не создают связей между собой(в соответствии с наблюдением на рис.2). На каждом следующем поколении новые узлы создают связи преимущественно только с хабами первого поколения и не создают связей

между собой(в соответствии с законом предпочтительного присоединения и наблюдением на рис.2). Это приводит к тому, что в сети много

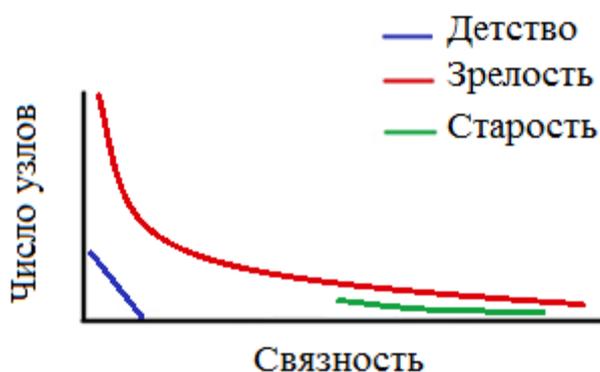


Рис. 5 . Эталонная кривая распределения в модели роста

становления в прямую линию. На этапе старости возникает множество одинарных узлов.

одинарных узлов, умеренное число средних хабов и несколько мощных хабов. Поэтому эталонная кривая степенного распределения для этапа детства(активной фазы роста) — будет прямая линия под углом в 45 градусов . На этапе зрелости, предполагаем, что новых узлов не появляется, но создается много связей внутри сети, поэтому кривая уходит вперед, вплоть до

**Выводы и перспектива исследований.** Существуют различные подходы к определению возраста сети, с той или иной степенью точности и применимости. Показана необходимость исследования возраста сетей. Рассмотрена в качестве гипотезы общая качественная модель старения сети. Перспективным методом определения возраста видится сравнение кривых распределения связностей. Для такого сравнения можно построить синтетическую сеть по модели Барабаши или Ердоша-Реньи с числом узлов, равным числу узлов в исследуемом поколении. Затем произвести сравнение этих зависимостей, например, методом Хи-квадрат .

### *Библиографический список*

1. E. Strano, V. Nicosia, V. Latora, S. Porta, M. Barthelemy "Elementary processes governing the evolution of road networks". Scientific Reports. 2012. vol 2, 296. 8 p.  
<http://www.nature.com/srep/2012/120301/srep00296/pdf/srep00296.pdf> (дата обращения 21/04/2014).
2. Internet AS-level Topology Archive  
<http://irl.cs.ucla.edu/topology/ipv4/monthly/> (дата обращения 21/04/2014).
3. High-productivity software for complex networks  
<https://networkx.github.io> (дата обращения 21/04/2014).
4. Python 2D plotting library: Matplotlib <http://matplotlib.org> (дата обращения 21/04/2014).

# СРАВНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ СЕТЕВОГО АНАЛИЗА WOLFRAM MATHEMATICA И GEPHI В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ

Кузьминых Е.В., Ниязов Т., Ушаков В., Труфанов А.И.—научный  
руководитель

Иркутский государственный технический университет  
[kredos007@gmail.com](mailto:kredos007@gmail.com)

**Введение.** В современном мире между различными объектами существуют сотни, тысячи, миллионы связей. Эти связи объединяются в определенную сеть (компьютерная/социальная/транспортная/телефонная и т.д.). Каждой из них присуща своя собственная структура (топология). Топология сети существенно определяет уязвимость сетей к различным угрозам. Для анализа топологий, выраженных в моделях графов специалистами разработан ряд программных средств. В данном сравнительном исследовании рассмотрены два из них: Wolfram Mathematica и Gephi как наиболее популярные и эффективные.

**Wolfram Mathematica.** Wolfram Mathematica — система компьютерной алгебры, используемая во многих научных, инженерных, математических и компьютерных областях. Изначально система была придумана Стивеном Вольфрамом, а в настоящее время разрабатывается компанией WolframResearch. Возможности системы очень масштабны, так лишь некоторые из них: решение систем полиномиальных и тригонометрических уравнений; интегрирование и дифференцирование функций; построение и манипулирование графами; разработка программного обеспечения; нахождение сумм и произведений; построение графиков функций; нахождение пределов; операции с матрицами. К списку достоинств программы WM можно добавить и то, что Mathematica — это интерпретируемый язык функционального программирования. Система Mathematica написана на языке Mathematica, хотя некоторые функции, особенно относящиеся к линейной алгебре, в целях оптимизации были подготовлены на языке C[1].

**Работа в системе Wolfram Mathematica. Построение графов и сетей.** В системе Wolfram Mathematica за построение графов отвечает функция Graph (с многочисленными производными TreeGraph, RandomGraph и другими).

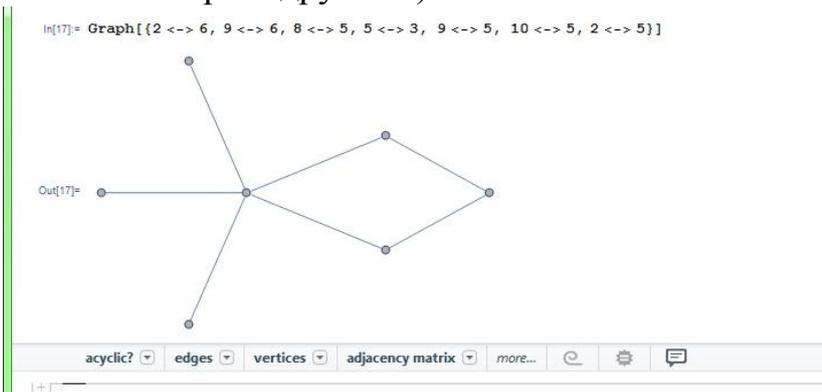


Рис. 1.  
Построение графа.

$\text{Graph}[\{e_1, e_2, \dots\}]$  - Граф с ребрами  $e_j$  (Рисунок 1).

$\text{Graph}[\{v_1, v_2, \dots\}, \{e_1, e_2, \dots\}]$  - Граф с вершинами  $v_i$  и ребрами  $e_j$ .

$\text{TreeGraph}[\{v_1, v_2, \dots\}, \{u_1, u_2, \dots\}]$  - Дерево, в котором  $u_i$  является предшественником  $v_i$ .

$\text{RandomGraph}[\{n, m\}]$  – Случайный граф с  $n$  вершинами и  $m$  ребрами.

**Анализ графов и сетей в WM.** Система Mathematica предоставляет современную функциональность для анализа и синтезирования графов и сетей. Расширяя значительные возможности системы Mathematica производить численные и символьные расчеты. В WM существуют возможности нахождения различных свойств графов. Для упрощения работы с графом есть возможность подстроить его изображение под необходимое назначение. Например, изменить тип/способ построения графа, цвета узлов, настроить различные маркеры и подписи к связям и соединениям (Рис. 2,3,4).

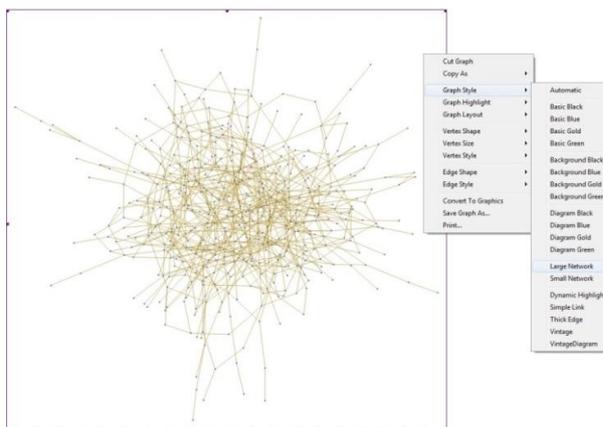


Рис. 2. Изменение типа графа

Возможности нахождения различных свойств графа.

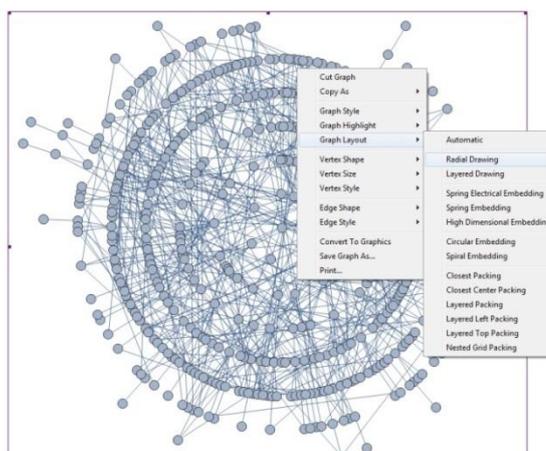


Рис. 3. Изменение способа построения графа

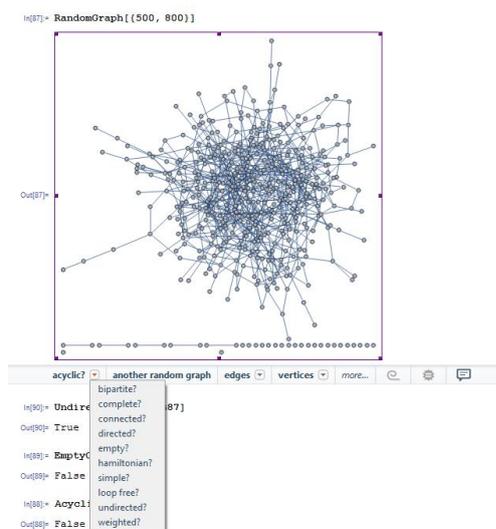


Рис.4. Проверка, является ли граф ациклическим/двудольным/полным/связным/направленным и т.д.

## Нахождение уязвимостей в сетях. Степенная центральность в социальных сетях. Нахождение влиятельных субъектов в социальных сетях.

В данном примере рассмотрим социальную сеть, состоящую из 18 человек, причем акторы связаны между собой каким-либо образом.

Дано:

```
people = {"1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10",  
"11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18"};
```

Отношения между некоторыми людьми:

```
relations =
```

```
Join @@ Table[UndirectedEdge @@@ Subsets[family, {2}],  
{family, {"1", "2"},  
{"3", "2", "4", "5", "6"},  
{"7", "8", "9"},  
{"4", "10", "11", "12"},  
{"5", "13", "14", "15"},  
{"3", "9", "16"},  
{"15", "17"},  
{"16", "18"}]};
```

Строим граф по отношениям:

```
g = Graph[people, relations, VertexSize -> Large,  
VertexLabels -> "Name", ImagePadding -> 30];
```

Переменной *cc* присваиваем значение степенной центральности:

```
cc = DegreeCentrality[g];
```

Раскрашиваем граф так, чтобы можно было по цвету узлов определить их важность (центральность). Вместо «SolarColors» можно подставить «Rainbow» или «TemperatureMap» и другие.

```
HighlightGraph[g, Table[Style[VertexList[g][[i]],  
ColorData["SolarColors"][cc[[i]]/Max[cc]],  
{i, VertexCount[g]}], ImageSize -> 500]
```

Таким образом, получился раскрашенный граф. Чем светлее цвет, тем больше центральность (важнее узел/субъект).

Если рассматривать данную сеть не как сеть отношений между людьми, а как транспортную/компьютерную/телефонную, то можно сделать вывод, что при атаке на нее большей угрозой подвергаются узлы с максимальной связностью, при разрушении (обесточивании) которых сеть пострадает больше всего.

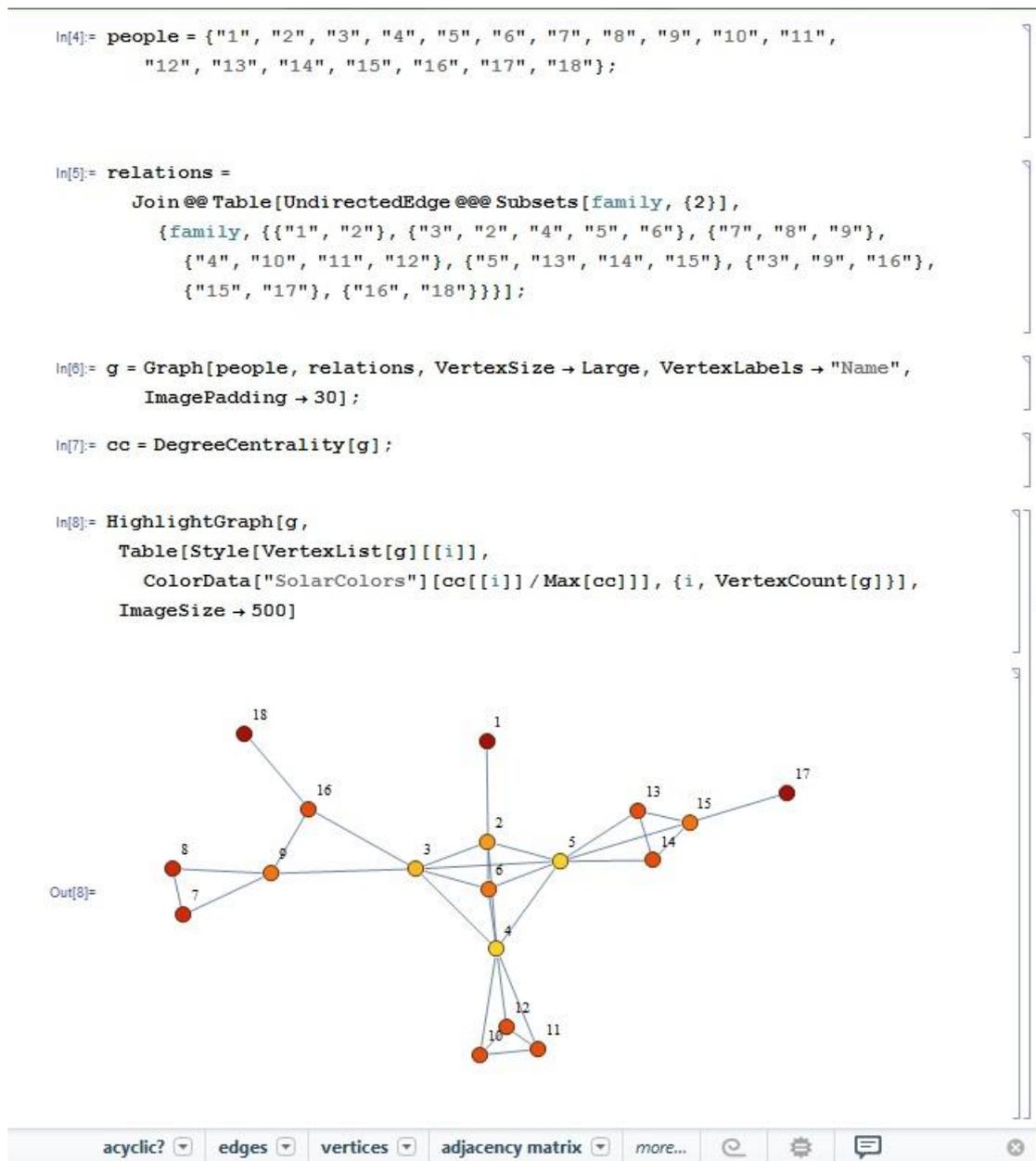


Рис. 5. Полученные данные.

**Gephi.** Gephi – мощный инструмент для генерации графов, расчета, обработки и вывода данных в двухмерном представлении.

Является открытым и бесплатным программным обеспечением на основе Netbeans (NetBeans IDE — свободная интегрированная среда разработки приложений (IDE) на языках программирования Java, Python, PHP, JavaScript, C, C++ и ряда других).

Gephi реализована на платформах ОС Windows, MacOS и Linux.

Программа предназначена, прежде всего, для простого и наглядного представления графов, быстрого и эффективного управления развернутой сетью, для автоматизированных и точных расчетов основных параметров графа.[4]

## Работа в Gephi. Построение графов и сетей.

Ввод данных возможен следующими способами:

1. Импорт из базы данных. Создается база данных на основе MySQL, SQLserver, PostgreSQL, SQLite или Teradata, в которую вносятся данные о ребрах графа. Затем данные из базы импортируются в Gephi, как показано на рисунке 6.

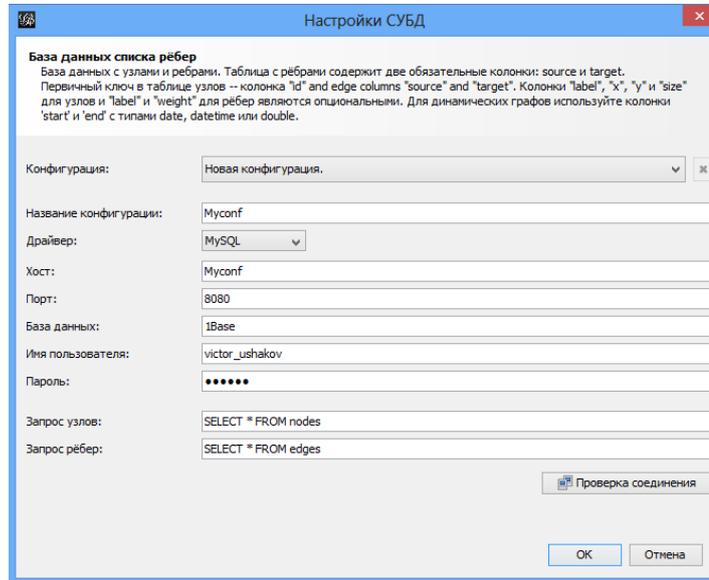


Рис. 6. Импорт из базы данных MySQL.

2. Импорт из таблицы Excel (рисунок 7) происходит следующим образом: сначала создается таблица, в которой указываются все ребра графа, затем таблица сохраняется с расширением \*.csv и после этого полученный файл импортируется в программу Gephi, которая по данным ребрам достраивает узлы графа и визуализирует проект, позволяя с ним работать.

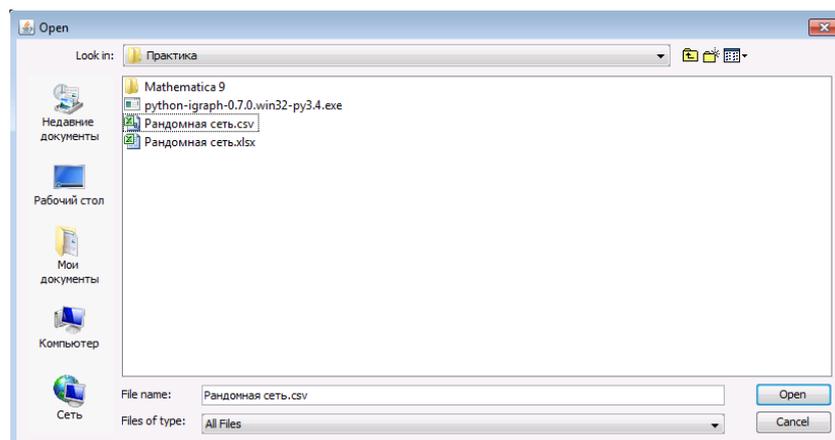


Рис. 7. Импорт списка ребер.

3. Генерация случайного графа с заданным числом узлов и определенной вероятностью связывания (рисунок 8). Открывается меню Файл=>Сгенерировать=>Случайный граф. Затем выставляются необходимые параметры – число узлов графа и вероятность связывания (в

расчете, что чем больше второе значение, тем больше ребер придется на один узел; значение 1 соответствует полностью связанной цепи)

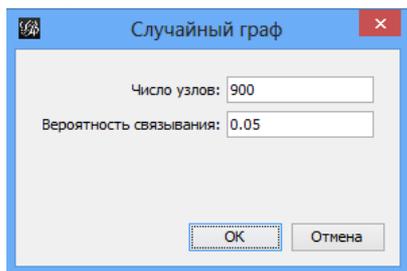


Рис. 8. Генерация случайного графа.

4. Имеется возможность подключения дополнительной совместимости Gephi с различными форматами данных путем добавления плагинов, т.е. модернизации программы (ядро Gephi рассчитано на такие нагрузки, о чем свидетельствует производитель).

**Нахождение уязвимостей в сетях. Нахождение влиятельных субъектов в социальных сетях с помощью Gephi.** Рассмотрим сеть, состоящую из 30 связанных между собой объектов. Для этого сгенерируем тестовую случайную сеть из 30 узлов с вероятностью связности 0,15. В результате получился запутанный граф (Рис. 9), который полезно уложить таким образом, чтобы с ним было удобно работать.

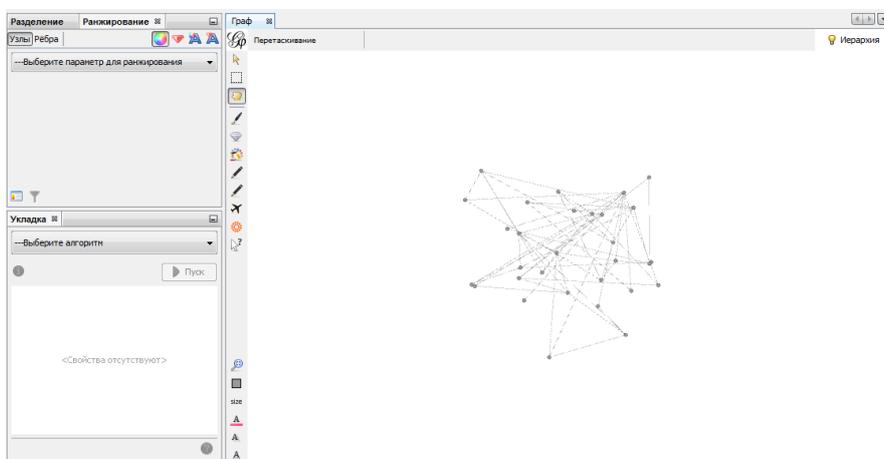


Рис. 9. Тестовый граф.

Можно применить на тестовый граф многоуровневую укладку Yifan Hu. Теперь граф представлен очень наглядно (Рис. 10).

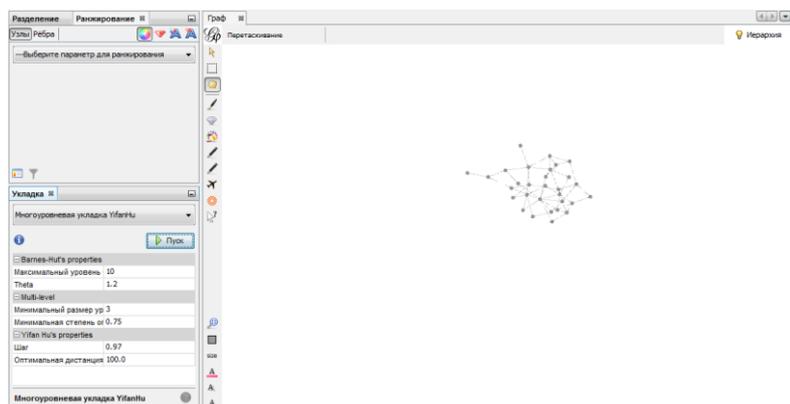


Рис. 10. Укладка Yifan Hu.

Устанавливаем Ранжирование по мощности узла и применяем со стандартными настройками (Рисунок 11). В итоге имеется уложенный граф с ранжированием по важности узла (количеству связей) цветовой гаммой. Выделяя самый темный узел, находим наиболее связанный с остальными и соответственно, самый важный узел.

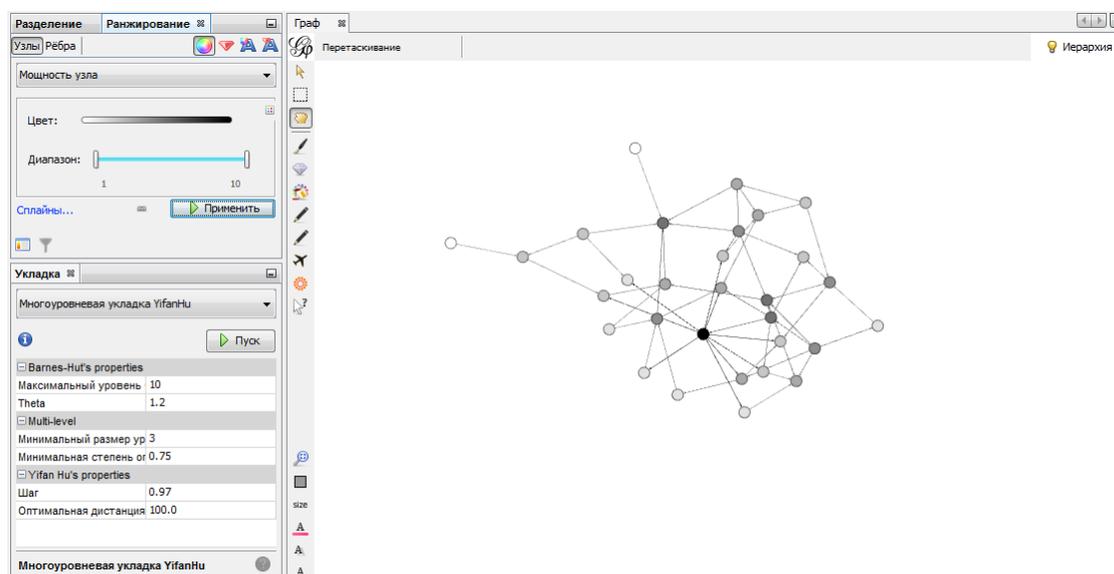


Рисунок 11. Граф с ранжированием по мощности узлов.

**Закключение.** В эпоху современных технологий нас повсюду окружают различные сети. Необходим постоянный контроль за работоспособностью всех объектов (узлов). При атаке на сеть злоумышленник с большей вероятностью повредит узел с максимальным количеством связей. Зная, какие объекты подвергаются большей опасности, можно усилить их защиту и предотвратить разрушение всей сети. В этом помогают программные инструменты, предназначенные для визуализации, моделирования и анализа сетей всевозможных топологий. Самыми популярными и функциональными являются: система Wolfram Mathematica и программа Gephi. Они с легкостью справляются с поставленными задачами и не требуют специальных навыков для работы с сетями и графами.

#### ***Библиографический список***

1. Mathematica. URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Mathematica> (дата обращения 11/10/2014)
2. Function Graph in Wolfram Mathematica. URL: <http://reference.future.wolfram.com/language/ref/Graph.html> (дата обращения 11/10/2014)
3. Прикладные области. Анализ графов и сетей. URL : <http://www.wolfram.com/mathematica/new-in-8/graph-and-network-analysis/index.ru.html?footer=lang> (дата обращения 11/10/2014)
4. Gephi. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Gephi> (дата обращения 11/10/2014)

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКЛОНЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ

Воронков А.А.

Иркутский государственный технический университет  
aleksei038@gmail.com

Работая над магистерской диссертацией на тему «Разработка электромагнитной отклоняющей системы для установки плазменного упрочнения колесных пар», и добившись определенных успехов в практической реализации этой системы, возникла необходимость в теоретическом описании электромагнитного способа отклонения пучка плазмы.

Если проводник, по которому проходит электрический ток (именно так мы представляем электрическую дугу плазмотрона), внести в магнитное поле, то в результате взаимодействия магнитного поля и проводника с током проводник будет перемещаться в ту или иную сторону. Направление перемещения проводника зависит от направления тока в нем и от направления магнитных линий поля.

Допустим, что в магнитном поле магнита NS находится проводник, расположенный перпендикулярно плоскости рисунка, по проводнику протекает ток в направлении от нас за плоскость рисунка.

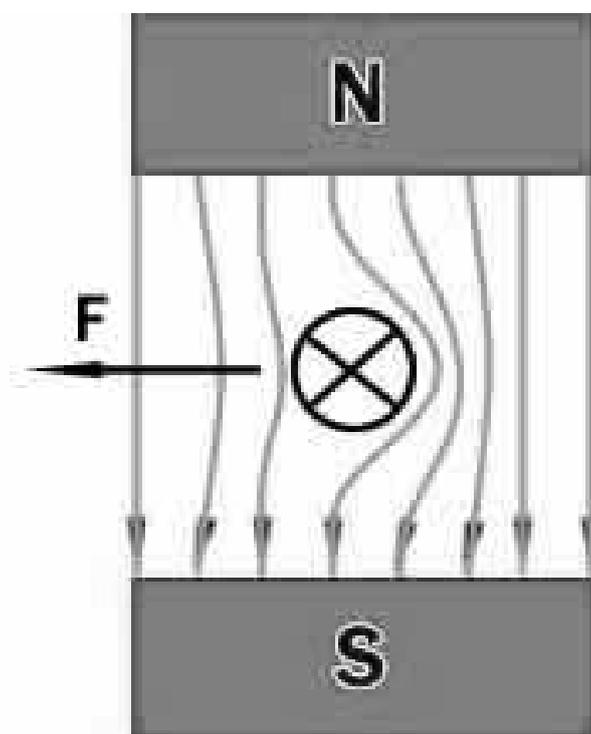


Рисунок 1 – Движение проводника с током в магнитном поле

Под действием тока вокруг проводника образуется свое магнитное поле. Применяя правило буравчика, легко убедиться, что в рассматриваемом

мом нами случае направление магнитных линий этого поля совпадает с направлением движения часовой стрелки.

При взаимодействии магнитного поля магнита и поля, созданного током, образуется результирующее магнитное поле, изображенное на рисунке 1.

Густота магнитных линий результирующего поля с обеих сторон проводника различна. Справа от проводника магнитные поля, имея одинаковое направление, складываются, а слева, будучи направленными встречно, частично взаимно уничтожаются.

Следовательно, на проводник будет действовать сила, большая справа и меньшая слева. Под действием большей силы проводник будет перемещаться по направлению силы  $F$ .

Перемена направления тока в проводнике изменит направление магнитных линий вокруг него, вследствие чего изменится и направление перемещения проводника.

Но проводник с током – это слишком простое представление о достаточно сложной системе: плазма-электромагнитное поле.

Поскольку концентрация электронов  $n_e$  примерно сравнима с концентрацией ионов  $n_i$  в струе плазмы, можно предположить, что электрический заряд струи плазмы электрически нейтрален  $n_e \approx n_i (= n)$ . Массовая плотность  $\rho$ , плотность заряда  $s$ , массовая скорость  $\vec{u}_i$ , и плотность тока  $\vec{j}$  в струе плазмы, также удовлетворяют электрически нейтральному состоянию, поэтому

выражаются следующим образом:

$$\rho = n_i M + n_e m \approx n(m + M) \approx nM \quad (1)$$

$$\sigma = (n_i - n_e)q \quad (2)$$

$$\vec{u} = \frac{n_i M \vec{u}_i + n_e m \vec{u}_e}{\rho} \approx \frac{M \vec{u}_i + m \vec{u}_e}{M + m} \approx \vec{u}_i + \frac{m}{M} \vec{u}_e \quad (3)$$

$$\vec{j} = q(n_i \vec{u}_i - n_e \vec{u}_e) \approx nq(\vec{u}_i - \vec{u}_e) \quad (4)$$

где:  $m, M$  - являются электронная и ионная масса, соответственно;

$\vec{u}_i$  - скорость ионов;

$\vec{u}_e$  - скорость электрона;

$q$  – заряд электрона.

Как правило, струя плазмы состоит из множества электронов и ионов, поэтому уравнения движения электрона и иона должны быть решены отдельно. В высоко-ионизированной струе плазмы, кулоновские столк-

новения преобладают над столкновениями с нейтральными атомами. Таким образом, получаем два уравнения движения с учетом кулоновских столкновений:

$$Mn_i \frac{d \vec{u}_i}{dt} = qn_i (\vec{E} + \vec{u}_i \times \vec{B}) - \Delta p_i + \vec{R}_{ie} \quad (5)$$

$$Mn_e \frac{d \vec{u}_e}{dt} = qn_e (\vec{E} + \vec{u}_e \times \vec{B}) - \Delta p_e + \vec{R}_{ei} \quad (6)$$

где:  $\vec{E}, \vec{B}$  - электрическое и магнитное поле;

$p_i, p_e$  - давление ионов и электронов;

$\vec{R}_{ie}$  и  $\vec{R}_{ei}$  - сопротивление от столкновения ионов и электронов;

Сложив уравнения 5 и 6 получим следующее уравнение:

$$\rho \frac{d \vec{u}}{dt} = \rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \Delta \vec{u} \right) = \sigma \vec{E} + \vec{j} \times \vec{B} - \Delta p \quad (7)$$

где:  $\rho = \rho_e + \rho_i$  - общее давление;

$\vec{R}_{ie}$  и  $\vec{R}_{ei}$  - компенсируют друг друга.

На практике, массовая скорость плазмы, как правило, преобладает у ионов, которые тяжелее, чем электроны, так что, нет различия между  $\vec{u}$  и средней скоростью ионов  $\vec{u}_i$ . Импульс, который переносится от ионов к электронам, выражается в разнице скорости и средней частоте столкновений (сопротивления плазмы).

$$\vec{R}_{ei} = mn(v_{ei}) \cdot \left( \vec{u}_i - \vec{u}_e \right) = \eta n^2 q^2 \left( \vec{u}_i - \vec{u}_e \right) = \eta n q \vec{j} \quad (8)$$

Предполагая, что плазменная струя является электрически нейтральной:

$$\vec{E} + \vec{u} \times \vec{B} = \eta \vec{j} + \frac{\vec{j} \times \vec{B} - \Delta p_e}{nq} \quad (9)$$

Расширение внешнего магнитного поля можно представить, как процесс достаточно статичный: плазма всегда в состоянии равновесия. Эти предположения позволяют нам пренебречь инертностью ионов так же, как и электронов, и заменить (7) следующим образом:

$$\vec{j} \times \vec{B} = \Delta p \quad (10)$$

Предположив, что внешнее магнитное поле есть только в направлении  $x$ , а градиент давления  $dp/dz$  и электрическое поле  $E_z$  находятся только в направлении  $z$ , то из уравнений (9) и (10) получаем уравнения перпендикулярных элементов скорости плазмы:

$$u_y = \frac{E_z}{B_x} - \frac{1}{2nqB_x} \cdot \frac{dp}{dz} \quad (11)$$

$$u_z = -\frac{\eta}{B_x^2} \cdot \frac{dp}{dz} \quad (12)$$

Уравнения 11 и 12 могут быть использованы только в расчете диффузии, перпендикулярной магнитному полю в сильно ионизированной плазме.

Отклонение дуги рассчитывается следующим образом:

$$\delta = \frac{u_y}{u_z} z = \frac{E_z - \frac{1}{2nq} \cdot \frac{dp}{dz}}{-\eta \frac{dp}{dz}} \cdot B_x \cdot z \quad (13)$$

где:  $z$  – расстояние по оси  $z$ .

Используя уравнение 13 можно достаточно точно определить угол отклонения струи плазмы и необходимую энергию электромагнитного поля для отклонения этой струи.

### ***Библиографический список***

1. Kang Y.H., Na S.J. A study on the modeling of magnetic arc deflection and dynamic analysis of arc sensor//Welding Journal. — 2002. №1. - P.8s-13s.
2. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы. М.: Атомиздат, 1966. — 200с.
3. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. Основы физики плазмы. — М.: Атомиздат, 1977. 384 с.
4. Донской А.В., Клубникин В.С. Электро-плазменные процессы и установки. -Л.: Машиностроение, 1979. 221 с.
5. Теория термической электродуговой плазмы. 4.1. Методы математического исследования плазмы/Жуков М.Ф., Урюков Б.А., Эн-гелынтВ.С. и др. — Новосибирск: Наука, 1987. 287 с.

# НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ MS EXCEL ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Архипенко М.О.

Иркутский государственный технический университет

E-mail: rts\_lab@istu.edu

Для реализации задач анализа и синтеза различных радиотехнических цепей и для реализации различных задач обработки сигналов требуется проведение ряда специфичных расчетов. При проведении таких расчетов широко применяются компьютеры. Существует большое число программ как универсального, так и узкоспециального назначения. Одним из наиболее распространенных программных продуктов является пакет Office фирмы Microsoft с входящей в его состав программой табличного процессора Excel. Указанный пакет относится к проприетарному (несвободному) программному обеспечению, несмотря на это он является очень популярным и установлен на большинстве компьютеров.

Программа MS Excel является универсальной и может использоваться для проведения самых разнообразных расчетов (экономических, статистических, физических и т.п.). В программе имеется большое количество встроенных математических и логических функций и надстроек. Следует также отметить, возможность полноценного программирования в среде MS Excel на языке Visual Basic for Application (VBA), однако рассмотрение этой возможности выходит за рамки настоящей работы.

n	t	n	t	s2(t)
				0
				0
				0
				0
0	0	0	=A20/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B20)+COS(2*ПИ()*1484*B20)+COS(2*ПИ()*8008*B20)
1	0,000025	=A20+1	=A21/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B21)+COS(2*ПИ()*1484*B21)+COS(2*ПИ()*8008*B21)
2	0,00005	=A21+1	=A22/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B22)+COS(2*ПИ()*1484*B22)+COS(2*ПИ()*8008*B22)
3	0,000075	=A22+1	=A23/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B23)+COS(2*ПИ()*1484*B23)+COS(2*ПИ()*8008*B23)
4	0,0001	=A23+1	=A24/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B24)+COS(2*ПИ()*1484*B24)+COS(2*ПИ()*8008*B24)
5	0,000125	=A24+1	=A25/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B25)+COS(2*ПИ()*1484*B25)+COS(2*ПИ()*8008*B25)
6	0,00015	=A25+1	=A26/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B26)+COS(2*ПИ()*1484*B26)+COS(2*ПИ()*8008*B26)
7	0,000175	=A26+1	=A27/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B27)+COS(2*ПИ()*1484*B27)+COS(2*ПИ()*8008*B27)
8	0,0002	=A27+1	=A28/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B28)+COS(2*ПИ()*1484*B28)+COS(2*ПИ()*8008*B28)
9	0,000225	=A28+1	=A29/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B29)+COS(2*ПИ()*1484*B29)+COS(2*ПИ()*8008*B29)
10	0,00025	=A29+1	=A30/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B30)+COS(2*ПИ()*1484*B30)+COS(2*ПИ()*8008*B30)
11	0,000275	=A30+1	=A31/\$i\$1	=COS(2*ПИ()*703*B31)+COS(2*ПИ()*1484*B31)+COS(2*ПИ()*8008*B31)

Рисунок 1 – Формирование отсчетов сигнала

В силу реализации рабочих листов MS Excel в виде отдельных ячеек одним из очевидных применений программы может служить моделирова-

ние или обработка цифровых сигналов. Рассмотрим применение программы MS Excel для моделирования цифрового сигнала и его частотной фильтрации.

Пусть необходим сигнал, представляющий собой сумму трех гармонических колебаний с одинаковыми единичными амплитудами, частотами 0,7; 1,5 и 8 кГц и нулевыми начальными фазами; сигнал дискретизирован с частотой 40 кГц. Очевидно, для моделирования выборки такого сигнала в одном столбце необходимо сформировать дискретные значения времени, а в другом – собственно отсчеты сигнала. Соответствующий фрагмент рабочего листа приведен на рисунке 1. График («осциллограмма») этого сигнала приведен на рисунке 2; график создан стандартными средствами MS Excel (тип: точечная диаграмма с гладкими кривыми).

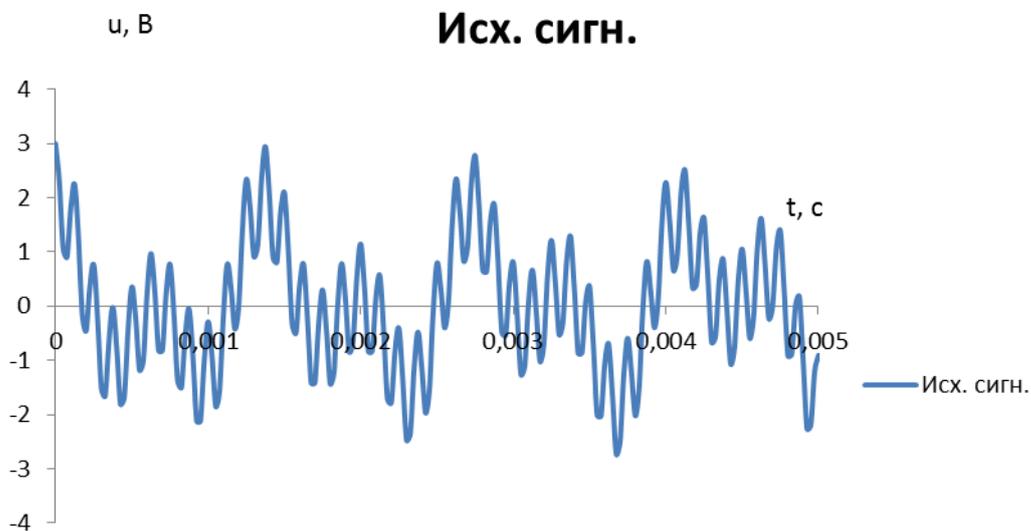


Рисунок 2 – Исходный сигнал

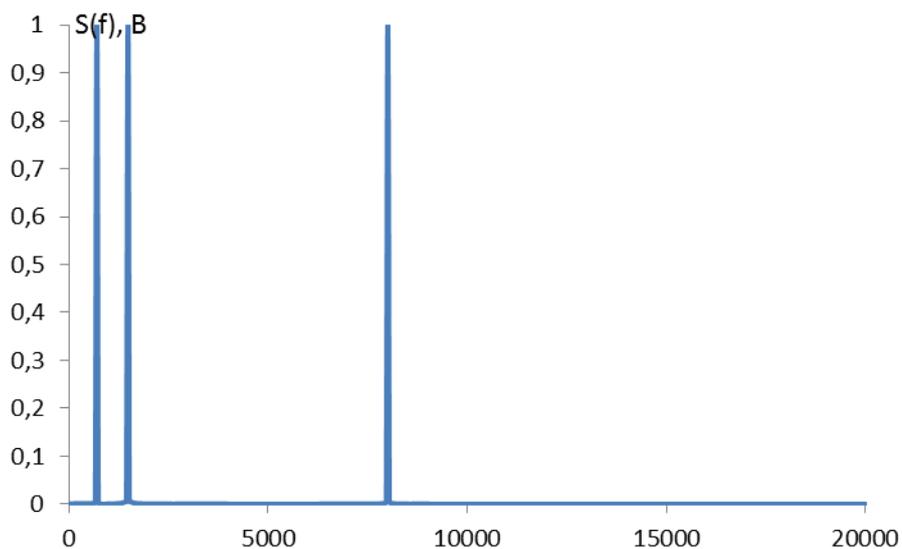


Рисунок 3 – Спектр исходного сигнала

Также стандартными средствами («Анализ данных – Анализ Фурье») построен амплитудный спектр этого сигнала. Следует отметить, что результатом дискретного преобразования Фурье являются комплексные значения, для вычисления амплитудного спектра используется встроенная функция нахождения модуля комплексного числа – МНИМ.ABS(). Полученный график амплитудного спектра показан на рисунке 3.

Далее реализован цифровой фильтр Баттерворта 4-го порядка с частотой среза 1,5 кГц. [1] Такой фильтр описывается следующим образом:

$$y_i = 0,00014x_i + 0,00058x_{i-1} + 0,00086x_{i-2} + 0,00058x_{i-3} + 0,00014x_{i-4} + 3,38497y_{i-1} - 4,33706y_{i-2} + 2,48914y_{i-3} - 0,53936y_{i-4},$$

где  $x_i$  и  $y_i$  – соответственно отсчеты входного и выходного сигналов.

Для реализации фильтра в MS Excel, очевидно, необходимо ввести в ячейки значения коэффициентов (рисунок 4) и ввести в выбранном столбце соответствующую формулу (рисунок 5). Т.к. применяются относительные или комбинированные ссылки на ячейки, то достаточно ввести формулу один раз, а в остальные ячейки – скопировать.

	A	B	C	D	E
1	a0=	0,00014			
2	a1=	0,00058		b1=	3,38497
3	a2=	0,00086		b2=	-4,33706
4	a3=	0,00058		b3=	2,48914
5	a4=	0,00014		b4=	-0,53936

Рисунок 4 – Коэффициенты фильтра

=COS(2*ПИ()*703*B20)+COS(2*ПИ()*1484*B20)+COS(2*ПИ()*8008*B20)	=SB\$1*L20+SB\$2*L19+SB\$3*L18+SB\$4*L17+SB\$5*L16+SE\$2*M19+SE\$3*M18+SE\$4*M17+SE\$5*M16
=COS(2*ПИ()*703*B21)+COS(2*ПИ()*1484*B21)+COS(2*ПИ()*8008*B21)	=SB\$1*L21+SB\$2*L20+SB\$3*L19+SB\$4*L18+SB\$5*L17+SE\$2*M20+SE\$3*M19+SE\$4*M18+SE\$5*M17
=COS(2*ПИ()*703*B22)+COS(2*ПИ()*1484*B22)+COS(2*ПИ()*8008*B22)	=SB\$1*L22+SB\$2*L21+SB\$3*L20+SB\$4*L19+SB\$5*L18+SE\$2*M21+SE\$3*M20+SE\$4*M19+SE\$5*M18
=COS(2*ПИ()*703*B23)+COS(2*ПИ()*1484*B23)+COS(2*ПИ()*8008*B23)	=SB\$1*L23+SB\$2*L22+SB\$3*L21+SB\$4*L20+SB\$5*L19+SE\$2*M22+SE\$3*M21+SE\$4*M20+SE\$5*M19
=COS(2*ПИ()*703*B24)+COS(2*ПИ()*1484*B24)+COS(2*ПИ()*8008*B24)	=SB\$1*L24+SB\$2*L23+SB\$3*L22+SB\$4*L21+SB\$5*L20+SE\$2*M23+SE\$3*M22+SE\$4*M21+SE\$5*M20
=COS(2*ПИ()*703*B25)+COS(2*ПИ()*1484*B25)+COS(2*ПИ()*8008*B25)	=SB\$1*L25+SB\$2*L24+SB\$3*L23+SB\$4*L22+SB\$5*L21+SE\$2*M24+SE\$3*M23+SE\$4*M22+SE\$5*M21
=COS(2*ПИ()*703*B26)+COS(2*ПИ()*1484*B26)+COS(2*ПИ()*8008*B26)	=SB\$1*L26+SB\$2*L25+SB\$3*L24+SB\$4*L23+SB\$5*L22+SE\$2*M25+SE\$3*M24+SE\$4*M23+SE\$5*M22
=COS(2*ПИ()*703*B27)+COS(2*ПИ()*1484*B27)+COS(2*ПИ()*8008*B27)	=SB\$1*L27+SB\$2*L26+SB\$3*L25+SB\$4*L24+SB\$5*L23+SE\$2*M26+SE\$3*M25+SE\$4*M24+SE\$5*M23
=COS(2*ПИ()*703*B28)+COS(2*ПИ()*1484*B28)+COS(2*ПИ()*8008*B28)	=SB\$1*L28+SB\$2*L27+SB\$3*L26+SB\$4*L25+SB\$5*L24+SE\$2*M27+SE\$3*M26+SE\$4*M25+SE\$5*M24
=COS(2*ПИ()*703*B29)+COS(2*ПИ()*1484*B29)+COS(2*ПИ()*8008*B29)	=SB\$1*L29+SB\$2*L28+SB\$3*L27+SB\$4*L26+SB\$5*L25+SE\$2*M28+SE\$3*M27+SE\$4*M26+SE\$5*M25
=COS(2*ПИ()*703*B30)+COS(2*ПИ()*1484*B30)+COS(2*ПИ()*8008*B30)	=SB\$1*L30+SB\$2*L29+SB\$3*L28+SB\$4*L27+SB\$5*L26+SE\$2*M29+SE\$3*M28+SE\$4*M27+SE\$5*M26
=COS(2*ПИ()*703*B31)+COS(2*ПИ()*1484*B31)+COS(2*ПИ()*8008*B31)	=SB\$1*L31+SB\$2*L30+SB\$3*L29+SB\$4*L28+SB\$5*L27+SE\$2*M30+SE\$3*M29+SE\$4*M28+SE\$5*M27
=COS(2*ПИ()*703*B32)+COS(2*ПИ()*1484*B32)+COS(2*ПИ()*8008*B32)	=SB\$1*L32+SB\$2*L31+SB\$3*L30+SB\$4*L29+SB\$5*L28+SE\$2*M31+SE\$3*M30+SE\$4*M29+SE\$5*M28
=COS(2*ПИ()*703*B33)+COS(2*ПИ()*1484*B33)+COS(2*ПИ()*8008*B33)	=SB\$1*L33+SB\$2*L32+SB\$3*L31+SB\$4*L30+SB\$5*L29+SE\$2*M32+SE\$3*M31+SE\$4*M30+SE\$5*M29
=COS(2*ПИ()*703*B34)+COS(2*ПИ()*1484*B34)+COS(2*ПИ()*8008*B34)	=SB\$1*L34+SB\$2*L33+SB\$3*L32+SB\$4*L31+SB\$5*L30+SE\$2*M33+SE\$3*M32+SE\$4*M31+SE\$5*M30
=COS(2*ПИ()*703*B35)+COS(2*ПИ()*1484*B35)+COS(2*ПИ()*8008*B35)	=SB\$1*L35+SB\$2*L34+SB\$3*L33+SB\$4*L32+SB\$5*L31+SE\$2*M34+SE\$3*M33+SE\$4*M32+SE\$5*M31
=COS(2*ПИ()*703*B36)+COS(2*ПИ()*1484*B36)+COS(2*ПИ()*8008*B36)	=SB\$1*L36+SB\$2*L35+SB\$3*L34+SB\$4*L33+SB\$5*L32+SE\$2*M35+SE\$3*M34+SE\$4*M33+SE\$5*M32

Рисунок 5 – Реализация фильтра

На рисунке 6 показаны входной и выходной сигналы, на рисунке 7 – спектр выходного сигнала.

По рисункам видно, что различные частоты проходят через цифровой ФНЧ неодинаково. Частота 0,7 кГц находится в полосе пропускания фильтра и практически не ослабляется. Частота 1,5 кГц соответствует частоте среза и ослабляется примерно в  $\sqrt{2}$  раз, что соответствует половинному ослаблению мощности. Частота 8 кГц находится в полосе задержива-

ния фильтра и практически полностью подавляется.

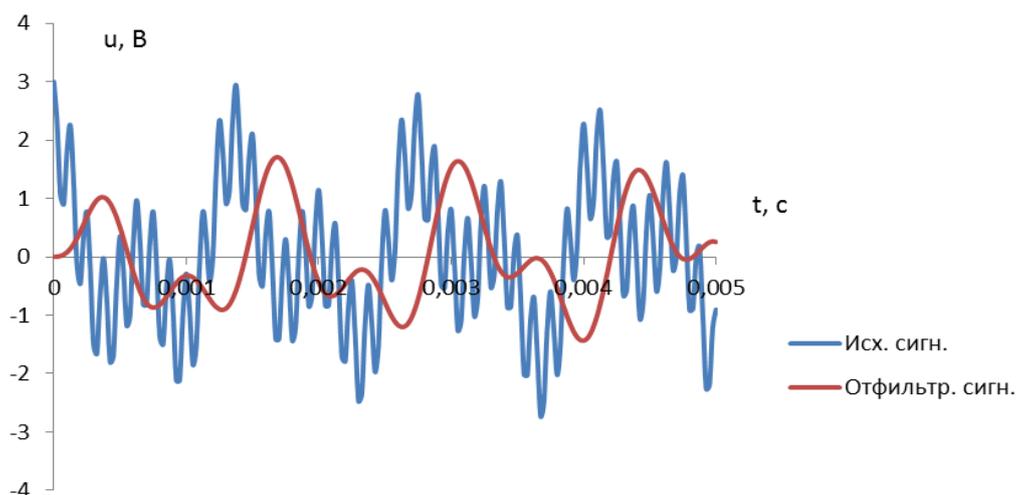


Рисунок 6 – Входной и выходной сигналы

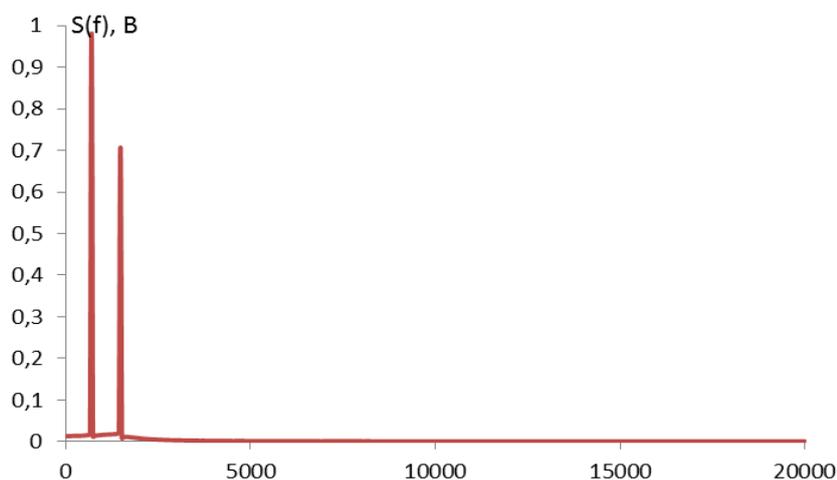


Рисунок 7 – Спектр выходного сигнала

Приведенный пример расчета иллюстрирует, что программа MS Excel может успешно применяться для радиотехнических расчетов, в частности, для моделирования цифровых сигналов и для реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов. Основными достоинствами применения программы MS Excel, по сравнению с применением для указанных целей специализированных программ, является факт чрезвычайно широкого распространения пакета MS Office. Вместе с тем наличие ряда встроенных функций и надстроек (мастера диаграмм, пакета анализа и т.п.) обеспечивает возможность быстрой реализации проведения сложных расчетов с возможностью визуализации результатов при невысокой трудоемкости.

#### ***Библиографический список***

1. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Уч. пособие.-М.: Высш.шк., 1990.

## АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Егоров М.А.

Иркутский государственный технический университет

E-mail: rts\_lab@istu.edu

Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые применяют специальные устройства – аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Существуют много типов АЦП, отличающихся принципом действия и параметрами.

В большинстве случаев АЦП преобразует аналоговый сигнал в двоичный код, который последовательно или параллельно передается на цифровую часть системы (шину данных, цифровой фильтр, память и т.п.). Одной из основных характеристик АЦП является разрядность. Разрядность  $r$  определяет количество уровней квантования сигнала  $N$ . Для двоичного кода, очевидно, число уровней квантования равно  $N = 2^r$ ;  $r = \log_2 N$ .

Иногда применяются АЦП, у которых выходной сигнал формируется не в виде прямого двоичного кода, а иным способом. Например, существуют АЦП для непосредственного отображения результата преобразования на семисегментных индикаторах (фактически в состав такого АЦП входит встроенный дешифратор или преобразователь кода).

Основной характеристикой АЦП является характеристика преобразования – зависимость выходного кода от входного напряжения. При преобразовании аналогового сигнала в цифровой из-за процесса квантования обязательно будут происходить специфичные ошибки, которые обычно называют шумом квантования. Минимальное изменение выходного кода называют младшим значащим разрядом (МЗР, LSB - Least Significant Bit). Теоретически, для АЦП с входным диапазоном аналогового сигнала от  $U_{\min}$  до  $U_{\max}$ , смене кода на единицу (на МЗР) должно соответствовать изменение

входного напряжения на величину  $\frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^r}$ , именно эта величина должна

определять разрешающую способность данного АЦП. Практически в любом сигнале имеется некоторый уровень шума, поэтому реальная разрешающая способность ограничена отношением сигнал/шум входного сигнала. По величине реальной разрешающей способности может быть определена эффективная разрядность (ENOB – Effective Number Of Bits).

Описанные выше параметры относятся к статическим. Другим важнейшим классом параметров любого АЦП являются динамические параметры, учитывающие скорость протекания процессов в преобразователе. Важнейшим параметром является время преобразования, т.е. время от начала преобразования (обычно по запускающему импульсу) до появления доступного цифрового кода на выходе АЦП. Если за время преобразования входной сигнал изменяется, то результат преобразования будет содержать

большую погрешность или станет неопределенным. Для устранения этого эффекта применяется устройство выборки и хранения (УВХ, sample and hold circuit), которое представляет собой высокодобротный конденсатор и электронный ключ, который может отключать конденсатор от входного сигнала. Т.к. ток утечки применяемого для УВХ конденсатора мал, то напряжение на заряженном конденсаторе не изменяется в течение достаточно большого времени. Практически необходимо, чтобы напряжение не изменялось за время, в течение которого АЦП измеряет входной сигнал (в зависимости от типа АЦП, это время, которое называется также апертурным интервалом, может совпадать с временем преобразования или быть меньше его). При применении УВХ требуется чтобы входное сопротивление подключаемого к нему каскада было очень большим; для обеспечения этого требования можно применять в качестве буферного каскада повторитель напряжения (на операционном усилителе, эмиттерный, истоковый). [1]

Предельная частота дискретизации АЦП определяется временем преобразования и минимальным интервалом между двумя преобразованиями. Основным критерием при выборе частоты дискретизации для системы сбора данных является теорема Котельникова (часто также называемая теоремой Найквиста-Шеннона или теоремой отсчетов). Согласно этой теореме, частота дискретизации должна быть не менее чем в два раза больше наивысшей частоты в спектре оцифровываемого сигнала. Следует учитывать, что определенная таким образом минимальная частота дискретизации (часто ее называют частотой Найквиста) является предельным минимально возможным значением. Чем больше частота дискретизации, тем технологически сложнее ее обеспечить (стоимость оборудования выше, результаты измерений занимают большие объемы данных, схемотехника высокочастотных устройств сложнее и т.п.). Поэтому в большинстве случаев по технологическим и экономическим причинам следовало бы выбирать наименьшую возможную частоту дискретизации. Для некоторых целей (например, при вычислении спектра сигнала с помощью алгоритма дискретного, в том числе быстрого, преобразования Фурье, а также при некоторых других задачах цифровой обработки сигналов) выбор минимально возможной частоты оправдан и никаких недостатков не имеет. Для ряда других задач, цифро-аналогового преобразования, цифрового амплитудного детектирования и цифровой фильтрации при минимально возможной частоте дискретизации хотя и можно получить требуемый результат, но для этого требуются дополнительные затраты ресурсов (повышается количество вычислений, существенно усложняются аналоговые тракты системы и т.п.). Если же повысить частоту дискретизации, то алгоритмы цифровой обработки и сложность аналоговых трактов могут существенно упроститься. [1, 2]

Если выбрана частота дискретизации меньше, чем удвоенная наивысшая частота в спектре сигнала, то произойдет эффект наложения

спектров (aliasing). Суть его состоит в том, что сигнал более высокой частоты в некоторые моменты проходит через те же значения, что и сигнал более низкой частоты, если при дискретизации «попасть» на эти моменты, то выборки ничем не будут отличаться (стробоскопический эффект). Практически это означает, что частотные характеристики устройств цифровой обработки сигнала (например, цифровых фильтров) имеют периодический характер. Например, если имеется АЦП с частотой дискретизации 100 кГц и оцифровывается гармонический сигнал с частотой 75 кГц (условие теоремы Котельникова нарушено), то в результате спектрального анализа этого оцифрованного сигнала (вычисления дискретного преобразования Фурье) будет обнаружено гармоническая составляющая частотой 25 кГц, хотя в реальном сигнале ее не было (была составляющая частотой 75 кГц). При тех же условиях цифровым фильтром сигнал также будет интерпретирован как гармоническая составляющая частотой 25 кГц. Для исключения наложения спектров необходимо перед АЦП установить аналоговый фильтр нижних частот с полосой пропускания от нуля до половины частоты дискретизации, который уберет из сигнала все высшие частоты. Этот фильтр (иногда его называют «антиальясинговый», используя транслитерацию соответствующего термина с английского языка) принципиально не может быть цифровым (ему потребовался бы свой АЦП со своим фильтром). В принципе возможно использовать эффект наложения спектра для переноса частоты, но и этом случае необходимо обеспечить предварительную аналоговую фильтрацию сигнала в полосе с шириной, равной половине частоты дискретизации. При этом соответствующий частотный интервал фактически переместится в частотный интервал от нуля до половины частоты дискретизации (подобно тому, как это происходит в аналоговом смесителе). При использовании эффекта переноса спектров следует также иметь в виду, что четные интервалы будут переноситься в область низких частот прямо, а нечетные – зеркально. Для рассмотренного выше примера частота 55 кГц «превратится» в 45 кГц, частота 95 кГц – в 5 кГц, частота 105 кГц – в 5 кГц, 145 кГц – в 45 кГц и т.д.

Обычно предполагается, что интервал дискретизации постоянен, но практически всегда имеется некоторая нестабильность генератора опорной частоты (тактового генератора), что приводит к неодинаковости интервала дискретизации (фазовое дрожание, «джиттер» – транслитерация англоязычного термина jitter). Это явление приводит к дополнительной погрешности преобразования, которую обычно называют апертурной погрешностью.

Основными метрологическими параметрами АЦП являются: число разрядов, время установления, время преобразования, нелинейность, дифференциальная нелинейность, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), фазочастотная характеристика (ФЧХ). Параметры АЦП определяются при подаче на его вход постоянных уровней напряжения во всем динамическом диапазоне преобразователя. Исключения составляют АЧХ и

ФЧХ, которые определяются при подаче на вход АЦП гармонических воздействий.

Все АЦП можно условно разделить на АЦП мгновенного действия, в которых выходной код пропорционален мгновенному значению сигнала (т.е. значению за сравнительно малый интервал), и интегрирующие АЦП, в которых выходной код пропорционален среднему значению сигнала за сравнительно большой интервал.

Наиболее применимыми типами АЦП являются параллельные АЦП, полупараллельные (параллельно-последовательные) АЦП, АЦП последовательного приближения, следящие АЦП, АЦП однократного интегрирования, АЦП двойного интегрирования, сигма-дельта АЦП.

Параллельные АЦП содержат линейку аналоговых компараторов. входной сигнал подается на параллельно соединенные одноименные (инвертирующие или неинвертирующие) входы компараторов. На другие входы компараторов от источника опорного напряжения и многозвенного резистивного делителя подаются отличающиеся на величину шага квантования опорные уровни напряжения. Выходы компараторов подключены к цифровому приоритетному шифратору. Цифровой сигнал на выходе шифратора является выходным параллельным кодом АЦП. Кроме того, обычно имеются логический вход «Начало преобразования» и логический выход «Готовность данных». Параллельные АЦП из-за принципа действия являются самыми быстрыми, поэтому в ряде случаев с такими АЦП не применяют УВХ. К основному недостатку параллельных АЦП относится необходимость применения большого числа ( $2^r$ ) компараторов и прецизионных резисторов; при большой разрядности структура компаратора становится громоздкой и технологически трудновыполнимой, а стоимость высокой.

Полупараллельный АЦП состоит из двух параллельных АЦП и цифроаналогового преобразователя (ЦАП) половинной разрядности. Сначала сигнал подается на первый АЦП, на выходе которого образуется код половинной точности, этот код образует старшие разряды полного выходного кода; этот же код подается на вход ЦАП. На выходе ЦАП образуется аналоговый сигнал, отличающийся от входного сигнала на величину ошибки оцифровки. Эта ошибка выделяется на вычитающем устройстве (на один вход подается входной сигнал, на другой – напряжение ЦАП) и оцифровывается вторым АЦП (его опорное напряжение меньше опорного напряжения первого АЦП в  $2^{\frac{r}{2}}$  раз). На выходе второго АЦП образуются младшие разряды полного выходного кода. За счет того, что в структуре такого АЦП используются два параллельных АЦП половинной разрядности, устройство содержит меньшее число компараторов и прецизионных резисторов, чем содержал бы параллельный АЦП полной разрядности. Полупараллельный АЦП получается дешевле и технологически проще, однако время преобразования получается больше, чем у параллельного АЦП (следовательно, пре-

дельная частота дискретизации оказывается меньше). В принципе, можно реализовать больше стадий разбиения, такой тип АЦП называют последовательно-параллельным, в нем применяются АЦП еще меньшей разрядности. Чем больше стадий, тем больше оказывается время преобразования, т.е. тем медленнее получается АЦП. Обычно выходной код номинальной разрядности становится доступным только после окончания последней стадии преобразования. Если же разряды кода появляются по мере готовности, то такой АЦП (или режим работы) называют конвейерным.

АЦП последовательного приближения содержит в своей структуре ЦАП полной разрядности и цифровую схему перебора кодов (которую называют регистром последовательного приближения – РПП); формируемый цифровой код подается на вход ЦАП, а выходной аналоговый сигнал ЦАП сравнивается компаратором с входным сигналом. Перебираемый код изменяется по принципу поиска методом деления интервала пополам; в двоичном виде делению на 2 соответствует изменение старшего разряда с 1 на 0. В зависимости от результата сравнения сигнала с ЦАП и входного сигнала, РПП либо оставляет этот бит в состоянии 0 (если входной сигнал оказался меньше, чем на выходе ЦАП), либо возвращает его в состояние 1 (если входной сигнал оказался больше, чем на выходе ЦАП). Далее аналогичные операции происходят со следующим разрядом кода. Такой метод еще иногда называют методом поразрядного уравнивания. АЦП последовательного приближения медленнее, чем параллельные и полупараллельные АЦП, что и является их основным недостатком. Для АЦП последовательного приближения обычно применяют УВХ. Однако такие АЦП обладают хорошей технологичностью, достаточно высокой точностью и приемлемой стоимостью. АЦП последовательного приближения широко применяются на практике.

Существуют также следящие АЦП, которые отличаются от АЦП последовательного приближения только алгоритмом перебора кода. В АЦП этого типа поиск следующего кода начинается не с середины рабочего диапазона, а с окрестностей предыдущего значения. Такой метод эффективнее метода последовательного приближения для «плавных» сигналов, в которых текущее значение с высокой вероятностью не сильно отличается от предыдущего; для случайного сигнала эффективнее будет метод последовательного приближения.

АЦП однократного интегрирования содержит конденсатор, который в момент начала преобразования начинает заряжаться постоянным током, что приводит к линейному нарастанию напряжения на нем. (На конденсаторе реализован интегратор, что и нашло свое отражение в названии этого типа АЦП.) Одновременно с началом преобразования запускается счетчик, на вход которого подаются импульсы от тактового генератора. Напряжение на конденсаторе сравнивается компаратором с входным сигналом; когда напряжение на конденсаторе достигнет уровня измеряемого входного сиг-

нала, счетчик останавливается (по фронту на выходе компаратора). Значение кода в счетчике будет пропорционально времени, за которое напряжение на конденсаторе достигло уровня входного сигнала, а т.к. скорость нарастания напряжения на конденсаторе постоянна, то это время пропорционально величине сигнала. Таким образом, код в счетчике и будет выходным сигналом АЦП однократного интегрирования. Такой тип АЦП применяется сравнительно редко, т.к. обладают сравнительно низкой точностью и низкой скоростью. В схеме предъявляются высокие требования к линейности интегратора (в т.ч. добротности конденсатора) и точности компаратора.

АЦП двойного интегрирования также содержит интегратор. Однако теперь сначала конденсатор интегратора заряжается входным сигналом в течение фиксированного интервала времени. Затем запускается счетчик тактовых импульсов и одновременно заряженный конденсатор начинает разряжаться до нуля постоянным током (т.е. с фиксированной скоростью). Когда конденсатор полностью разрядится (до нуля), счетчик останавливается. Код в счетчике будет пропорционален времени разряда. Т.к. скорость разряда постоянна, то, очевидно, время разряда пропорционально уровню, до которого конденсатор был заряжен. А поскольку заряд проходил за фиксированное время, то он определялся средним уровнем сигнала (энергией) за это время. Таким образом, код счетчика будет пропорционален уровню измеряемого входного сигнала, этот код и является выходным цифровым сигналом. Скорость преобразования АЦП двойного интегрирования еще меньше, чем у АЦП однократного интегрирования, но точность существенно выше. В схеме АЦП двойного интегрирования нет высоких требований к конденсатору интегратора и компаратору, т.к. обусловленные ими ошибки компенсируются при заряде и разряде конденсатора интегратора; отсутствуют также высокие требования к абсолютному значению частоты тактового генератора, т.е. к долговременной стабильности (хотя требуется кратковременная стабильность). АЦП двойного интегрирования достаточно широко применяются на практике. Дополнительным преимуществом АЦП двойного интегрирования является возможность практически полного подавления помех от конкретного периодического сигнала (например, от 50 Гц наводок промышленной сети) путем выбора времени интегрирования равным периоду помехи, если конечно такое время интегрирование приемлемо с точки зрения обеспечения необходимой частоты дискретизации.

Наибольшей разрядностью (при достаточно низкой скорости) обладают дельта-сигма АЦП. Идея дельта-сигма АЦП состоит в том, что сигнал оцифровывается с высокой частотой дискретизации, а затем осуществляется цифровая фильтрация этого сигнала. В результате достигается высокая точность, но при низкой скорости (т.к. для любой фильтрации требуется некоторое время, то, по существу, четкое определение понятия частоты дискретизации для дельта-сигма АЦП теряется, и точность преобразования становится зависимой от постоянной времени фильтра). При этом, есте-

ственно, все равно существует аппаратно обусловленная предельная разрядность. Фактически же при заданной скорости потока данных (частоте дискретизации) следует оперировать понятием эффективной разрядности. Практически дельта-сигма АЦП могут строиться по нескольким схемам. Простейшим вариант содержит охваченные отрицательной обратной связью аналоговый ФНЧ (интегратор) и тактируемый высокой частотой (обычно по выходу с помощью триггера) аналоговый компаратор (в качестве одноразрядного АЦП); далее сигнал подается на цифровой фильтр, в котором высокоскоростной, на одноразрядный поток, преобразуется в значительно более медленный, но многоразрядный цифровой поток, который и является выходным сигналом. В силу такого принципа действия шумы квантования системы получаются распределенными неравномерно, т.е. они как бы перераспределены в область высоких частот, поэтому работая только в низкочастотной области, можно обеспечить малый уровень шумов, т.е. высокую эффективную разрядность. Для лучшей реализации этого принципа можно модифицировать схему путем организации нескольких (практически до 3) петель обратной связи со своими интеграторами. Таким способом можно реализовать частоту дискретизации до нескольких десятков Герц. Дальнейшим способом увеличения скорости (например, для работы в звуковом и даже ультразвуковом диапазоне) может быть применение во внутренней структуре вместо одноразрядного АЦП (аналогового компаратора) параллельного АЦП более высокой (до 6 – 8) разрядности. При этом сложность реализации возрастает, но при высокой точности (эффективной разрядности) повышается скорость. Если же в структуре сигма-дельта АЦП применить вместо аналогового ФНЧ (интегратора) аналоговый полосовой фильтр (с соответствующим выбором полосы), то будет реализован перенос спектра с промежуточной частоты в низкую. Такой дельта-сигма АЦП применим для точной (многоразрядной) оцифровки узкополосного высокочастотного сигнала (таким сигналом часто является сигнал промежуточной частоты в различных радиотехнических системах).

Кроме описанных типов бывают и другие способы построения АЦП. Например, разновидностью интегрирующего АЦП можно также считать преобразователь напряжения в частоту с электронно-счетным блоком на выходе и др.

Все рассмотренные типы АЦП являются одноканальными. Часто требуется оцифровать не один, а несколько сигналов (типичным примером, может быть оцифровка стереозвука). Очевидным способом реализации такого процесса является применение двух одинаковых АЦП. Достоинством такого способа является возможность практически абсолютной синхронизации частот дискретизации сигнала. Однако такой способ является чрезвычайно дорогим. Поэтому, если не предъявляются жесткие требования к синхронности, то для нескольких сигналов можно использовать один АЦП с аналоговым мультиплексором на входе. При такой реализации частота дис-

кретизации становится меньше собственной частоты дискретизации АЦП в число раз, равное числу каналов. Мультиплексор, кроме понижения частоты дискретизации, вносит дополнительные погрешности (прежде всего, связанные с взаимным влиянием сигналов друг на друга из-за переходных процессов в аналоговых цепях). Мультиплексор для увеличения числа оцифровываемых каналов может быть как внешним устройством, так и входить в состав АЦП.

Современные АЦП обычно реализуются в виде интегральных микросхем (при построении АЦП на дискретных элементах практически невозможно получить хорошие метрологические характеристики). Существует обширная номенклатура микросхем АЦП с различными параметрами и стоимостью. Микросхемы АЦП разрабатывают и изготавливают различные фирмы, например, Analog Device, Texas Instruments, National Semiconductor, Maxim и др. [3, 4]

Для сокращения времени разработки и упрощения структуры систем сбора данных часто применяются не собственно микросхемы АЦП, а готовые модули сбора данных. Такие модули обычно состоят из входного аналогового мультиплексора, микросхемы АЦП (чаще одной) и схемы управления АЦП с каким-нибудь стандартным интерфейсом. Модули сбора данных могут быть выполнены в виде платы для персонального компьютера, например, с шиной PCI, или в качестве внешнего подключаемого к компьютеру устройства, например, с интерфейсом USB. Модули сбора данных могут содержать дополнительные устройства: цифровые порты ввода-вывода, встроенную память и т.п. Существует обширная номенклатура модулей сбора данных отечественных и зарубежных производителей (ЗАО «Руднев-Шиляев», Россия; ООО «Л Кард», Россия; компания ICP DAS, Тайвань; компания National Instruments, США и др.). [5–7]

### ***Библиографический список***

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т. 2. Пер. с англ. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Мир, 1993
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1978
3. Главная страница [Электронный ресурс] / <http://gaw.ru> – Сайт ООО «Рынок микроэлектроники» – Режим доступа: <http://gaw.ru>, свободный
4. Б.Г.Федорков, В.А. Телец. Микросхемы ЦАП и АЦП. / М.: Энергоатомиздат. 1990
5. Главная страница [Электронный ресурс] / <http://icpdas.ru> – Сайт компании ICP DAS – Режим доступа: <http://icpdas.ru>, свободный
6. Главная страница [Электронный ресурс] / <http://www.rudshel.ru> – Сайт ЗАО «Руднев-Шиляев» – Режим доступа: <http://www.rudshel.ru>, свободный
7. Главная страница [Электронный ресурс] / <http://www.lcard.ru> – Сайт ООО «Л Кард» – Режим доступа: <http://www.lcard.ru>, свободный

## **ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**Беляева Е.А.**

Иркутский государственный технический университет

E-mail: rts\_lab@istu.edu

Формальное определение систем реального времени неоднозначно, часто применяют следующую формулировку: система реального времени – это система типа возбудитель – отклик, в которой время реакции на возбудитель либо ограничено возникновением любого другого возбуждения, либо проходит параллельно с новым возбуждением. Часто также под вычислительной системой реального времени понимается аппаратно-программный комплекс, позволяющий сформировать определенные сигналы или параметры в темпе времени, соответствующем изменению данных на входе. [1]

Системы реального времени непосредственно «привязаны» к окружающим событиям. Любое действие или бездействие такой системы не остается без последствий. Организация действий системы на параллельные запросы является достаточно сложной задачей, поэтому особое внимание уделяется синхронизации процессов. Для программ реального времени одной из приоритетных проблем является распределение ресурсов и их управляемость.

Анализ результатов работы в жестких временных ограничениях и условиях параллелизма значительно труднее, чем в последовательных системах. В случае обнаружения ошибки в работе системы реального времени достаточно сложно локализовать причину ошибки. Все это обуславливает относительную сложность создания программного обеспечения (ПО) для систем реального времени. Операции, выполняемые в реальном времени и в режиме многозадачности, играют важную роль в любой системе сбора информации и управления, но основным препятствием к их реализации является несовершенство операционной системы компьютера. Необходимость режима реального времени объясняется тем, что требуется мгновенно распознавать процессы и реагировать на них. При этом система должна обладать способностью выполнять одновременно несколько задач.

После завершения сбора данных может возникнуть необходимость вывести их в графической или табличной форме, выполнить преобразования или расчеты, получить печатные документы или записать данные на диск. Многозадачность в реальном времени позволяет персоналу принимать решения во время работы системы. Кроме того, она позволяет анализировать данные ретроспективно (чтобы рассмотреть короткое или неожиданно возникшее событие, провести статистический анализ и т.п., не прерывая сбора данных).

Автоматизированное управление процессами может быть прямым либо диспетчерским. В случае прямого управления система имеет собственные

средства, в которых регулирующие воздействия формируются на основе оценки параметров процессов и их сравнения с установленными или расчетными значениями. Примером прямого управления может служить система автоматического поддержания климата и сигнализации в здании, в которой компьютер (или контроллер) опрашивает установленные на объекте датчики, сравнивает показания с установленными предельными и/или рабочими значениями и формирует необходимые управляющие и информационные сигналы. В случае диспетчерского управления центральный компьютер системы не выполняет прямых действий по измерению параметров процессов и управлению исполнительными устройствами. Компьютер в этом случае служит диспетчером для автономных контроллеров, соединенных цифровой шиной. Компьютер загружает информацию, необходимую контроллерам для работы в системе (предельные и/или рабочие значения параметров, константы, коды доступа и т.п.); далее контроллеры работают автономно.

Одна из наиболее серьезных проблем в процессе создания систем реального времени – производительность системы. Необходимы не только быстрые алгоритмы обработки данных, но и организация синхронизации различных частей системы. Части программ, которые работают в однопроцессорной системе, могут оказаться неэффективными или вообще не работать в многопроцессорной системе. Системы реального времени требовательны к ресурсам компьютера, поэтому часто в системах реального времени используется несколько процессоров.

Еще одной проблемой систем реального времени является корректная организация доступа к промежуточным результатам. Трудоемкость построения систем реального времени во многом связана с жесткой привязкой к конкретной аппаратуре. В принципе, независимость от аппаратуры может быть реализована на уровне операционной системы и/или за счет перекодирования программ. Если программа позволяет пользователю распределять задачи по процессорам (определять, какой блок программы выполняется тем или иным процессором) и определять необходимые временные интервалы, то пользователь может скорректировать распределение программных модулей между процессорами. Разработка таких систем непосредственно связана с новым направлением – параллельными вычислениями с использованием объектно-ориентированного подхода и представляет большой интерес для развития ИИС реального времени.

Использование языков высокого уровня в процессе создания систем реального времени позволяет облегчить создание ПО и повысить его надежность. В настоящее время для обеспечения синхронизации при использовании нескольких процессоров в основном используются низкоуровневые методы, основанные на прерываниях и сообщениях (статическое распределение задач). Все чаще в системах реального времени применяются программные средства, позволяющие организовать потоки, которые оптимально подходят для систем реального времени и реализуются на уровне операционной

системы. Суть указанного подхода состоит в том, что после инициализации части программы как потока, операционная система выполняет поток на свободном в данный момент процессоре. Для обеспечения полной параллельности необходимы не только специализированные алгоритмы, но и инструментальные средства программирования, а также операционные системы реального времени. [1]

Компьютеры и многие другие вычислительные системы обычно работают под управлением специального системного ПО – операционной системы (ОС). По существу, ОС является буфером между прикладным программным обеспечением (и даже пользователем) и системными ресурсами системы. Применяемые в персональных компьютерах (ПК) ОС обычно ориентированы на универсальный круг прикладных задач; а т.к. персональный компьютер ориентирован на работу непосредственно с пользователем, то временные требования к ОС персонального компьютера обычно соответствуют комфортной работе пользователя. Очевидно, такой подход не требует, чтобы применяемая ОС отвечала требованиям работы в системах реального времени. Примерами широко применяемых ОС могут служить версии MS Windows, Linux и др., такие системы не являются специальными операционными системами реального времени (тем не менее, и на их основе в ряде случаев можно создавать различные аппаратно-программные комплексы, работающие в реальном времени). Вместе с тем, существуют специальные ОС, оптимизированные для работы в системах реального времени, такие системы обычно называют операционными системами реального времени (ОС РВ).

Формальное определение операционной системы реального времени, как и самого понятия системы реального времени, является неоднозначным. Часто применяется такой вариант: операционная система, в которой успешность работы любой программы зависит не только от её логической правильности, но и от времени, за которое она получила этот результат; если система не может удовлетворить временным ограничениям, должен быть зафиксирован сбой в её работе.

Часто различают два типа ОС РВ: системы жесткого реального времени и системы мягкого реального времени. Операционная система жесткого реального времени обеспечивает выполнение всех задач в любых (в т.ч. наихудших) условиях. Операционная система мягкого реального времени обеспечивает правильное выполнение задач в среднем (при наихудших условиях работа системы может замедлиться или даже нарушиться). Таким образом, в строгом смысле под ОС РВ следует понимать только системы жесткого реального времени. Однако большинство существующего ПО работает в режиме «мягкого» времени. Выбор типа системы зависит от ее назначения и возможных последствий замедления или остановки работы такой системы. Очевидно, для систем обеспечения безопасности жизнедеятельности, бортовых систем управления, многих информационно-измерительных систем (ИИС) и т.п. требуется обеспечение режима жесткого

реального времени. Системы жесткого реального времени в принципе не допускают задержек в работе длительностью, более заданной. Если не выполняется обработка критических ситуаций либо она происходит недостаточно быстро, система жёсткого реального времени прерывает операцию и блокирует её, чтобы не пострадала надёжность и работоспособность остальной части системы.

Таким образом, под ОС РВ, как правило, следует понимать только те ОС, на основе которых можно построить технические системы жесткого реального времени.

Первые ОС РВ имели монолитную архитектуру, при этом прикладное ПО имело доступ к ресурсам только через сервисы (функции ОС). Следующим типом архитектуры для ОС РВ стала слоевая архитектура, при которой прикладное ПО имело доступ к ресурсам и через сервисы ОС и напрямую. Рядом преимуществ (надёжностью, масштабируемостью) обладает широко применяемая в современных системах архитектура «клиент-сервер», при которой микроядро выполняет функции диспетчера сообщений между клиентскими пользовательскими программами и серверами (системными сервисами ОС).

Ядро ОС РВ обеспечивает различные категории сервисов для прикладного ПО (некоторые ОС предоставляют только часть этих сервисов): управление задачами (планировщик задач); динамическое распределение памяти; управление встроенными счетчиками-таймерами; взаимодействие между задачами (в т.ч. разделение ресурсов) и синхронизация; управление устройствами ввода/вывода.

Примерами свободных ОС РВ являются: RTLinux (ОС жёсткого РВ на основе Linux); Android (ОС РВ на основе Linux для мобильных устройств); Embox (модульная ОС для встроенных систем); OSA (многозадачная ОСРВ с открытым исходным кодом для микроконтроллеров PIC фирмы Microchip, AVR фирмы Atmel и STM8 фирмы STMicroelectronics) и др.

Примерами проприетарных (несвободных) ОС РВ являются: RTOS-32 (ОС с открытым исходным кодом); RMX; RSX-11; VxWorks; Windows CE; UNIX-RTR; Virtuoso (ОСРВ для сигнальных процессоров DSP) и др. [2]

### ***Библиографический список***

1. Информационно-измерительные системы. Часть 1: Учебное пособие / В.В. Крюков [Электронный ресурс] / abc.vvsu.ru – Сайт цифровых учебно-методических материалов ВГУЭС. – Режим доступа: [http://abc.vvsu.ru/Books/I\\_i\\_s\\_1/default.asp](http://abc.vvsu.ru/Books/I_i_s_1/default.asp), свободный
2. Операционная система реального времени [Электронный ресурс] / ru.wikipedia.org – Сайт свободной общедоступной мультиязычной универсальной интернет-энциклопедии – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>, свободный

# АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАГНИТОДОМЕННОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ

Архипенко М.О., Беляева Е.А., Дёмин А.П.,

Егоров М.А., Кашапов Р.Р., Петров А.В.

Иркутский Государственный Технический Университет

rts\_lab@istu.edu

Магнитооптические плёнки, используемые в магнитодоменной дефектоскопии, позволяют регистрировать и визуализировать магнитные поля вблизи поверхности контролируемого изделия. Наибольшую чувствительность к магнитным полям проявляют плёнки с перпендикулярной анизотропией, когда ось лёгкого намагничивания лежит перпендикулярно поверхности плёнки, а сама плёнка лежит на поверхности объекта контроля.

Наличие зазора между магниточувствительной плёнкой и изделием или его увеличение существенно снижает результаты контроля. Для его улучшения необходимо сильнее намагничивать изделие. Направление намагничивания желательно проводить перпендикулярно направлению дефекта, используя вращающееся магнитное поле, создаваемое группой приставных электромагнитов.

Кроме намагничивания изделия необходимо воздействовать на магнитодоменную плёнку внешним магнитным полем, создаваемым осесимметричной катушкой (катушкой подмагничивания).

Структурная схема аппаратного комплекса магнитодоменного дефектоскопа показана на рисунке 1.

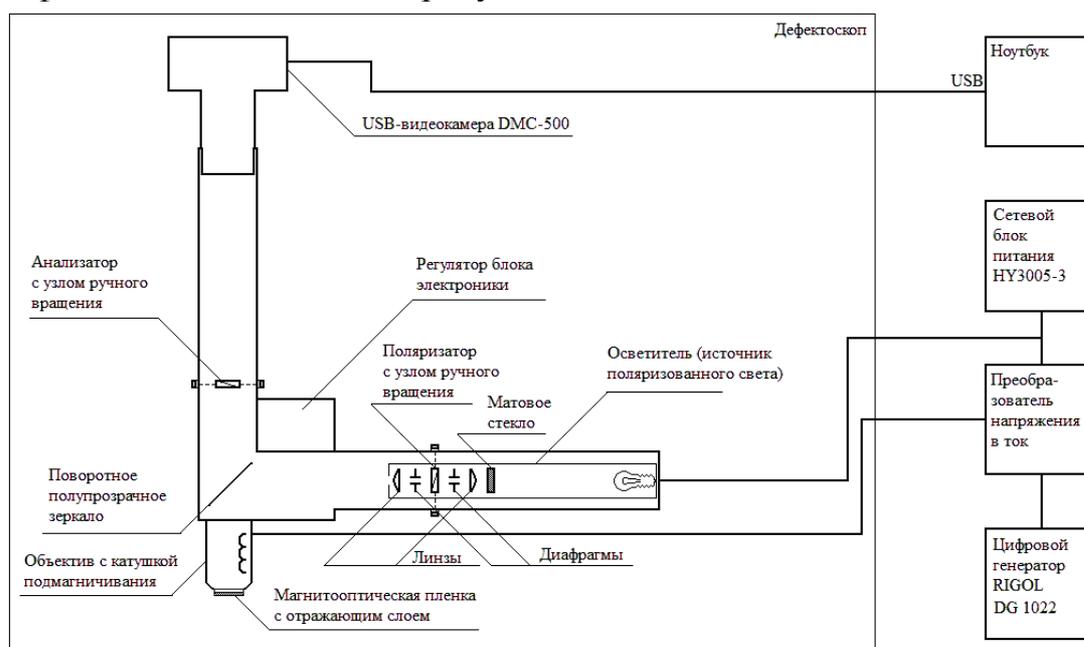


Рисунок 1 – Структурная схема аппаратного комплекса магнитодоменного дефектоскопа

Внешний вид экспериментальной установки показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид экспериментальной установки

Установка состоит из магнитодоменного дефектоскопа, цифровой видеокамеры DMC-500, поляризационного микроскопа, преобразователя напряжения в ток, компьютера и программируемого генератора RIGOLDG1022.

Магнитодоменный дефектоскоп, разработанный авторами проекта, используется для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов, а также контроля качества радиотехнических изделий.

Цифровая видеокамера DMC-500 используется для оцифровки и регистрации на компьютере полученного изображения доменной структуры датчика для последующей обработки. С ее помощью производятся измерения геометрических параметров: ширина «светлых» и «темных» доменов, их площадь и пространственной распределение.

Поляризационный микроскоп предназначен для визуализации доменной структуры магниточувствительной плёнки магнитооптическим методом Фарадея и увеличения полученного изображения.

Магнитное поле, создаваемое катушкой, прямо пропорционально току, поэтому поле намагничивания должно создаваться именно током. Для этой цели используется преобразователь напряжения в ток. Принципиальная схема преобразователя напряжения в ток представлена на рисунке 3.

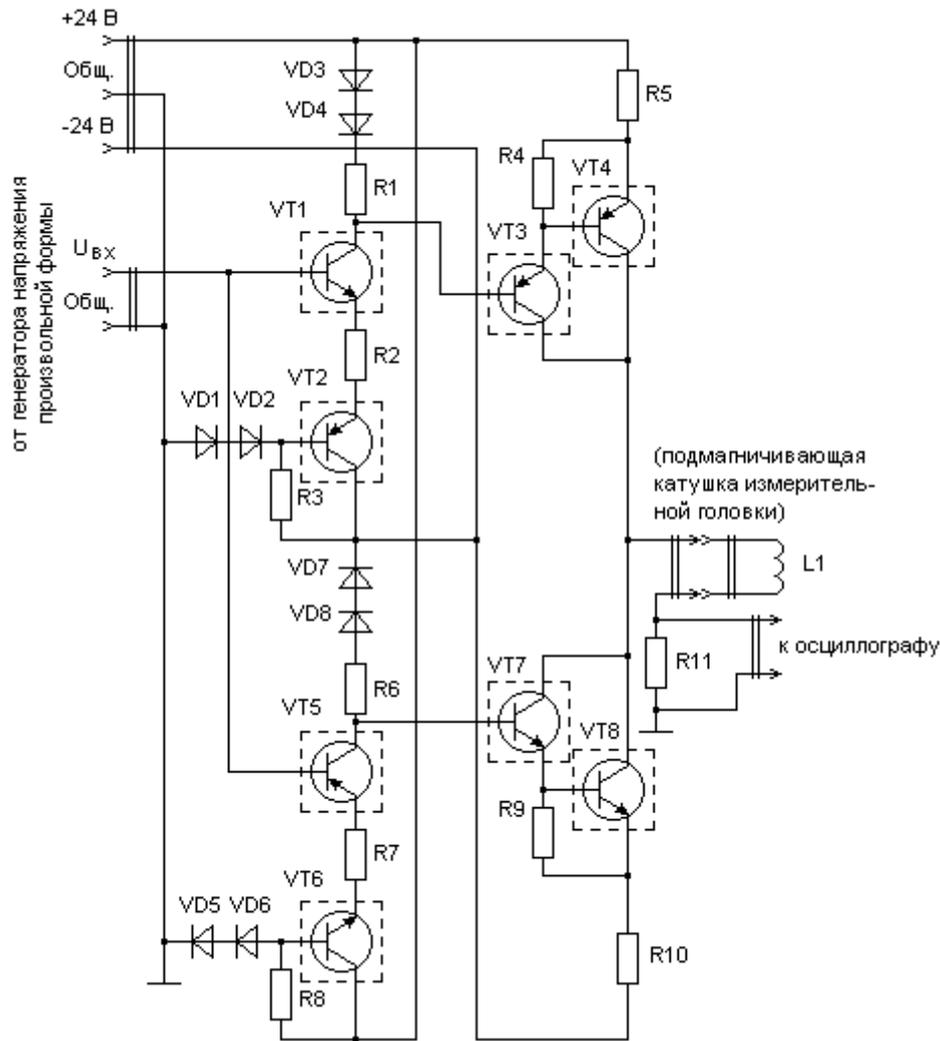


Рисунок 3 – Принципиальная схема преобразователя напряжения в ток

Преобразователь выполнен в виде двухтактного транзисторного источника тока на составных транзисторах. Составные транзисторы образуются парами VT3, VT4 и VT7, VT8. Транзисторы VT1 и VT5 образуют двухтактный каскад, преобразующий входное напряжение относительно общего провода в пропорциональное напряжение относительно соответствующей полярности сигнала шины питания; это напряжение с коллектора VT1 или VT5 (в зависимости от полярности) подаётся на базы составных транзисторов VT3, VT4 и VT7, VT8. Транзисторы VT2 и VT6 обеспечивают компенсацию падения напряжения на эмиттерных переходах транзисторов VT1 и VT5. Диоды VD3, VD4 и VD7, VD8 предназначены для компенсации падения напряжения на эмиттерных переходах составных транзисторов.

Для регулировки коэффициента преобразования (проходного сопротивления) номиналы резисторов R5, R10 могут переключаться

тумблером (на схеме не показано). Резистор R11 предназначен для преобразования выходного тока в пропорциональное напряжение для визуального наблюдения формы выходного сигнала на осциллографе.

Универсальный генератор сигналов RIGOLDG1022 предназначен для формирования сигнала методом прямого цифрового синтеза. Имеет два независимых выходных канала. Один канал подает сигнал на катушку подмагничивания пленки, второй канал – на приставной электромагнит, для намагничивания объекта контроля. Генератор способен создавать сигналы стандартных форм: синус, меандр, пилообразный, импульсный, шумовой, а так же сигналы произвольной формы с наложением на них дополнительного частотного сигнала. Использование дополнительного частотного сигнала снижает коэрцитивную силу пленки и повышает ее чувствительность к внешним магнитным полям рассеяния находящимся над поверхностью контролируемого изделия. С помощью программного обеспечения, а именно программы Ultrawave, можно создавать собственную форму сигнала подмагничивания для большой группы электропроводящих материалов.

Данный комплекс разработан, отлажен, проверен и используется по своему прямому назначению для регистрации магнитных полей над поверхностью контролируемого изделия. Данный комплекс позволяет документировать полученные результаты в виде цифровых фотографий и видео.

### *Библиографический список*

1. Вишневский В.Г., Бержанский В.Н., Козик Г.П. и др., Магнитооптический вихретоковый контроль: интроскопический и магнитографический методы. Ученые записки ТНУ, Серия «Физ.-мат. науки». Том 24 (63). 2011 г. № 2. С. 127-140.
2. Выставкин А.Н., Демин А.П., Обухов Ю.В., Фатьянов А.В., Покровский А.Д. Обработка информации магнитодоменных преобразователей при контроле сплошности ферромагнитных изделий с помощью ЭВМ. - Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Методы неразрушающего контроля", Челябинск, 1987 г.
3. Демин В.П., Демин А.П., Миронов В.Б., Покровский А.Д. Применение тонких магнитных пленок с управляемой доменной структурой для обнаружения усталостного разрушения – Дефектоскопия, 1991, №3, с.39-43.

## **РЕГИСТРАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ТРЕЩИН МАГНИТОПОРОШКОВЫМ И МАГНИТОДОМЕННЫМ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ**

**Архипенко М.О., Беляева Е.А., Дёмин А.П.,  
Егоров М.А., Петров А.В.**

Иркутский Государственный Технический Университет  
rts\_lab@istu.edu

Целью данной работы является изучение возможности регистрации и визуализации трещин при термической обработке стальных изделий магнитодоменным методом. Этот метод относится к магнитным методам неразрушающего контроля, который основан на взаимодействии магнитного поля рассеяния над поверхностью контролируемого изделия с магниточувствительным датчиком. Основой магниточувствительного датчика является магнитооптическая монокристаллическая  $\text{Vi}$ -содержащая феррит гранатовая пленка из галлий-гадолиниевого граната. В работе представлены результаты контроля одинаковых термических трещин магнитопорошковым и магнитодоменным методами.

При термической обработке различных видов изделий, в том числе и отжиге, для уменьшения уровня остаточных напряжений в отливках могут возникнуть временные температурные напряжения. Образованию этих напряжений также способствует неравномерный нагрев отливки и возникновение разницы температур между стенками малого сечения и более массивными.

Температурные напряжения, возникающие при неравномерном нагреве отливки, могут суммироваться с остаточными. Если же величина суммарных напряжений превысит предельные значения прочности или пластичности материала отливки, в ней могут образоваться трещины (термические трещины).

На рисунке 1 показано изображение термических трещин, выявленных с помощью магнитопорошкового метода контроля. Термические трещины расположены практически перпендикулярно линии периметра отверстия.

Магнитопорошковый метод основан на применении ферромагнитного порошка или магнитной суспензии, которыми покрывается предварительно намагниченный объект контроля. Ферромагнитные частицы порошка или суспензии (размером 5 – 10 мкм) под действием полей рассеяния собираются вблизи дефектов и позволяют обнаружить дефекты по индикаторному рисунку в процессе осмотра поверхности объекта. Этот метод широко применяется для обнаружения поверхностных и подповерхностных (на глубине до 2 мм) дефектов в ферромагнитных объектах контроля. Чувствительность метода высока, обнаруживаются трещины длиной и глубиной 10 мкм с раскрытием около

1 мкм. Магнитный порошок скапливается на поверхности контролируемого изделия, вблизи одной из границ трещины, тем самым, регистрирует и визуализирует ее расположение.

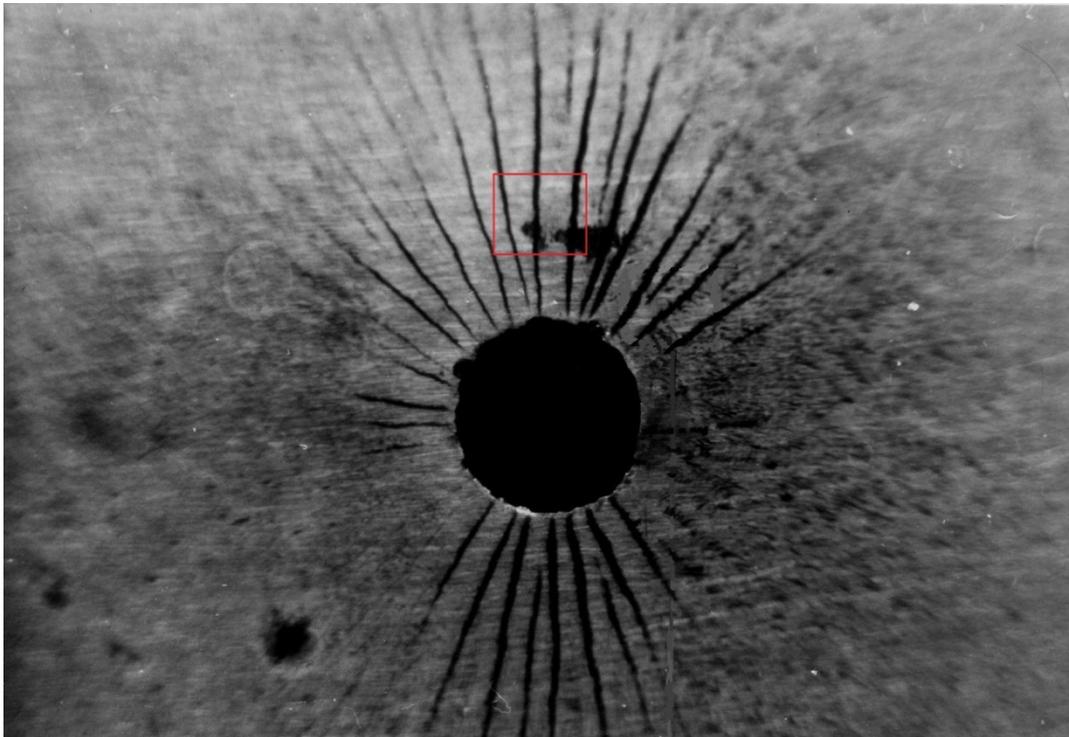


Рисунок 1 – Внешний вид расположения магнитного порошка на поверхности контролируемого изделия в зоне отверстия с находящимися рядом термическими трещинами

Недостатками данного метода является необходимость дополнительного создания системы нанесения порошка или суспензии на изделие, а так же их очистка.

Магнитоомный метод неразрушающего контроля основан на применении магниточувствительных пленок с лабиринтной доменной структурой. Данная структура визуализируется с помощью магнитооптического эффекта Фарадея. В момент отсутствия внешних магнитных полей ширина «светлых» и «темных» доменов равны. Домены намагничены в противоположные стороны под углом  $180^\circ$ . На рисунке 2 показана доменная структура пленки при подмагничивании слабым однородным магнитным полем. Ширина «светлых» доменов чуть больше ширины «темных».

При возникновении внешних неоднородных магнитных полей лабиринтная доменная структура пленки изменится, т.е. изменяется ее пространственное расположение.



Рисунок 2 – Внешний вид доменной структуры магниточувствительной пленки

При нахождении магниточувствительной пленки над контролируемым изделием, вблизи термических трещин, ее доменная структура, взаимодействуя с их магнитными полями располагается таким образом, что полностью копирует рельеф всех трещин. На рисунке 3 показан результат регистрации и визуализации расположения термических трещин вблизи круглого отверстия магнитопорошковым и магнитодоменным методами.

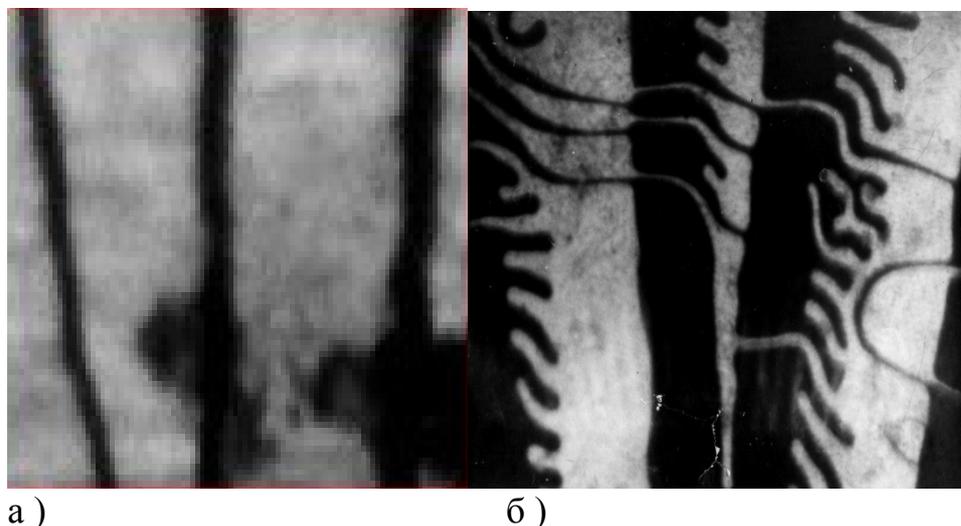


Рисунок 3 – Внешний вид регистрации термических трещин:  
а) магнитопорошковым методом, б) магнитодоменным методом

При увеличении зазора между объектом контроля и датчиком (магниточувствительной пленкой) изображение доменной структуры изменяется. Происходит уменьшение ширины «темных» доменов. Данное изменение показано на рисунке 4.

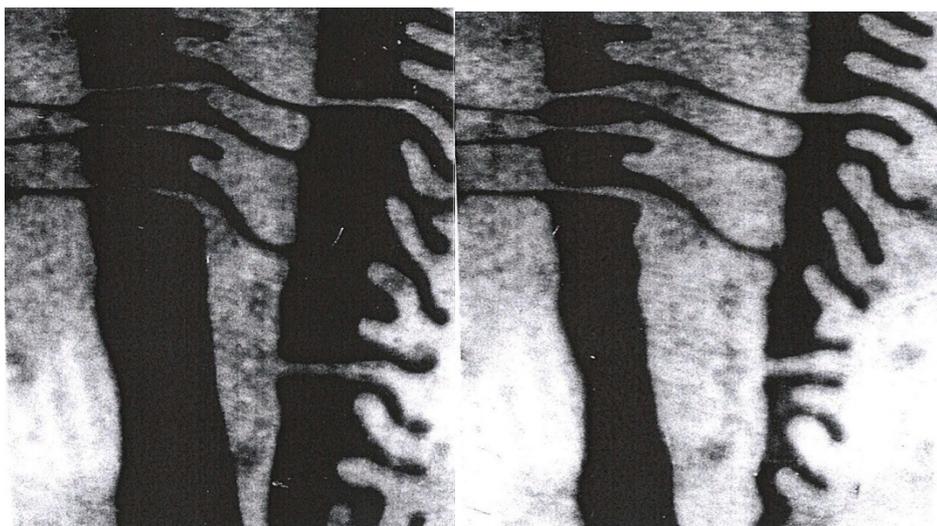


Рисунок 4 – Изображение доменной структуры пленки при увеличении зазора между датчиком и контролируемым изделием

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что магнитопорошковый и магнитодоменный методы дополняют друг друга. Для получения более точных результатов регистрации и визуализации близко расположенных друг к другу термических трещин, а также с их малой шириной раскрытия стоит использовать данные методы вместе.

#### ***Библиографический список***

1. Энциклопедия ж.д. » 3.5.1 Рельсовая дефектоскопия [Электронный ресурс] / Энциклопедия ж.д. – Режим доступа: <http://www.jd-enciklopedia.ru/3-put-i-putevoe-hozyajstvo/3-5-1-relsovaya-defektoskopiya/>, свободный.
2. Демин В.П., Демин А.П., Миронов В.Б., Покровский А.Д. Применение тонких магнитных пленок с управляемой доменной структурой для обнаружения усталостного разрушения – Дефектоскопия, 1991, №3, с.39-43.
3. Выставкин А.Н., Демин А.П., Демин В.П., Обухов Ю.В., Покровский А.Д., Фатьянов А.В. Автоматизация анализа изображений магнитооптических преобразователей при контроле сплошности ферромагнитных изделий. – Тезисы докладов XI Всесоюзной конференции "Неразрушающие физические методы и средства контроля", Москва, 1987 г.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ ПЛЕНОК Vi-МПФГ

Архипенко М.О., Беляева Е.А., Демин А.П.,  
Егоров М.А., Петров А.В.

Иркутский Государственный Технический Университет  
rts\_lab@istu.edu

Доменная структура Vi-содержащих магнитооптических пленок феррит-граната имеет лабиринтную доменную структуру. При воздействии на пленку магнитным полем, перпендикулярным ее плоскости, доменная структура изменяется.

Лабиринтная доменная структура пленки представляет собой набор чередующихся полос «светлого» и «темного» цвета. «Светлые» и «темные» полосы противоположно намагничены, их вектора намагниченности расположены под углом  $180^\circ$ . Ось легкого намагничивания (ОЛН) перпендикулярна плоскости пленки (Рисунок 1).

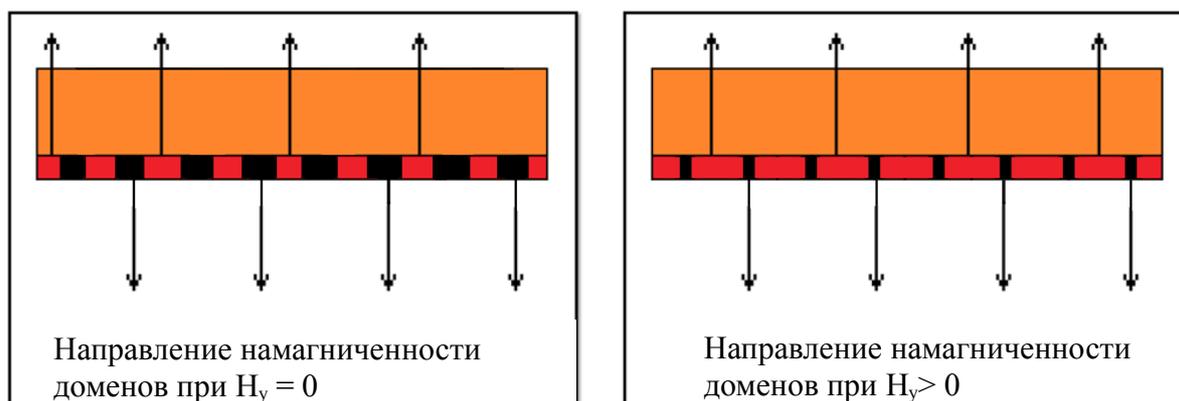


Рисунок 1 – Влияние внешнего однородного магнитного поля на лабиринтную доменную структуру пленки

Если направление внешнего магнитного поля совпадает с направлением намагниченности доменов («светлых») пленки, то ширина таких доменов будет увеличиваться, а «темных» уменьшаться.

При использовании пленок Vi-МПФГ в дефектоскопии, на её доменную структуру действует неоднородное магнитное поле. Внешний вид силовых линий магнитного поля вблизи трещины, а также нормальной  $H_y$  и тангенциальной  $H_x$  составляющих показан на рисунке 2.

В связи с тем, что ось легкого намагничивания расположена перпендикулярно плоскости пленки, следовательно, доменная структура пленки будет перемагничиваться под действием нормальной составляющей  $H_y$  магнитного поля (Рисунок 2, в).

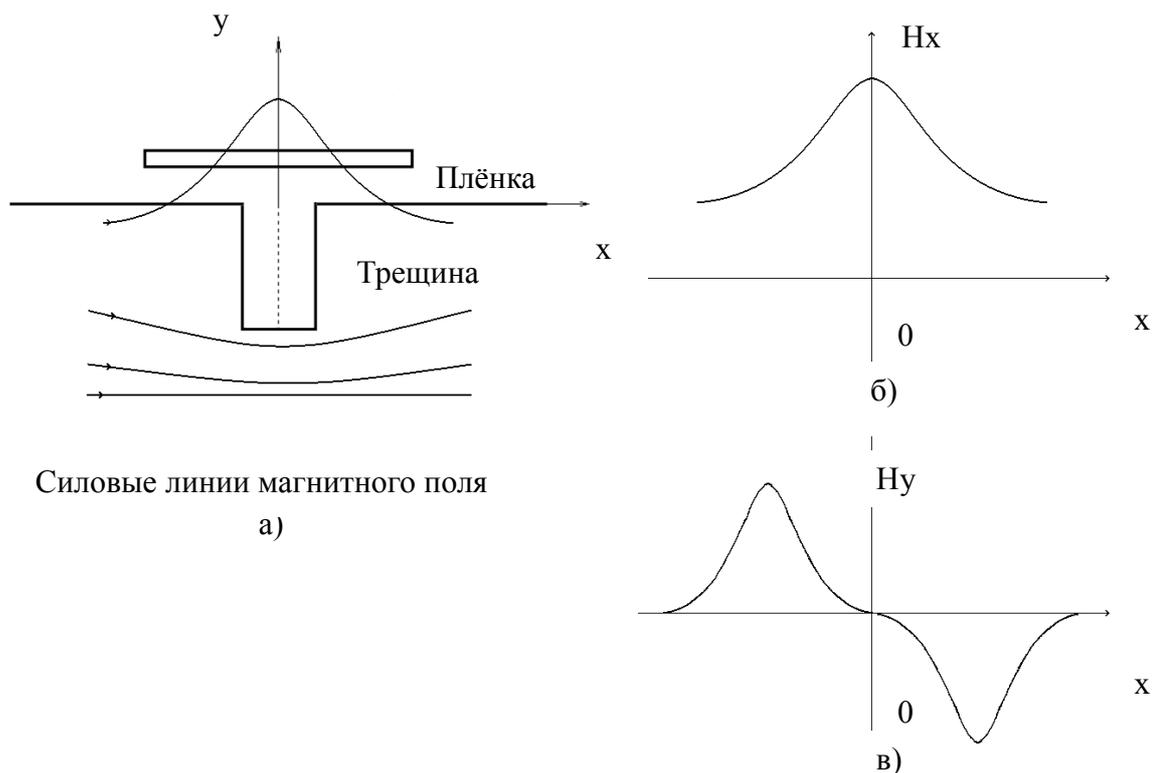


Рисунок 2 – Расположение пленки в магнитном поле трещины, где: а) расположение силовых линий магнитного поля над трещиной; б) тангенциальная составляющая  $H_x(x)$ ; в) нормальная составляющая  $H_y(x)$ .

На рисунке 3 изображена доменная структура пленки при минимальной ширине раскрытия трещины. При  $H_y = 0$  угол наклона  $\alpha$ , зависимости  $H_y$  от  $x$ , максимален и градиент магнитного поля имеет максимальное значение.

Граница расположения «светлого» и «темного» доменов максимальной площади находится на линии нулевого поля (ЛНП) и характеризует магнитное поле рассеяния от трещины и её расположение. При увеличении ширины раскрытия трещины до 1000 мкм (рисунок 4), линия нулевого поля искривляется и превращается в полосовые домены, в виде «гребенки», это связано с уменьшением градиента магнитного поля.

На рисунке 6 изображен график зависимости намагниченности пленки от ширины трещины, где  $H_s$  – ширина «гребенки» полосового домена, а  $h_{тр}$  – ширина трещины. Намагниченность пленки характеризуется шириной «гребенки» полосовых доменов  $H_s$  (рисунок 5) и шириной «темных» и «светлых» доменов находящихся ниже и выше «гребенки» (на рисунке 5 не показано). При уменьшении градиента магнитного поля трещины «гребенка» полосовых доменов исчезает и превращается в лабиринтную доменную структуру с незначительным изменением ширины и конфигурации доменов.



Рисунок 3 – Граница расположения «светлого» и «темного» доменов характеризует наличие трещины с максимальным значением градиентного магнитного поля

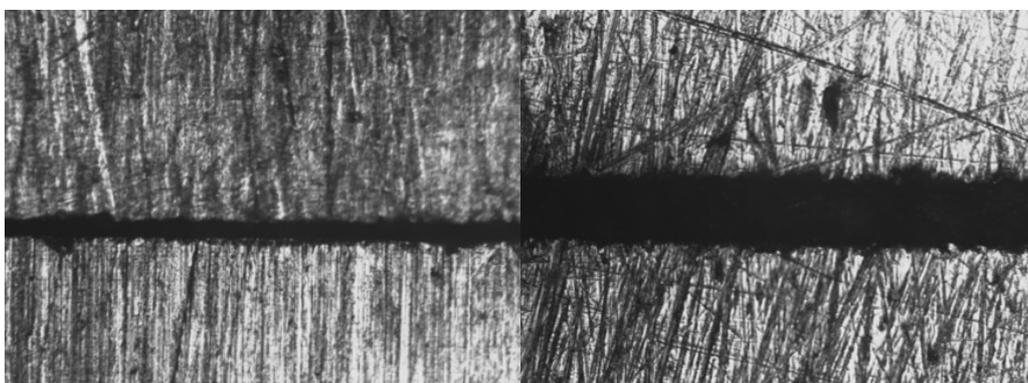


Рисунок 4 –Изменение ширины раскрытия трещины  $h_{тр}$

На рисунке 5 показана зависимость искривления линии нулевого поля от ширины раскрытия трещины и её градиента магнитного поля.

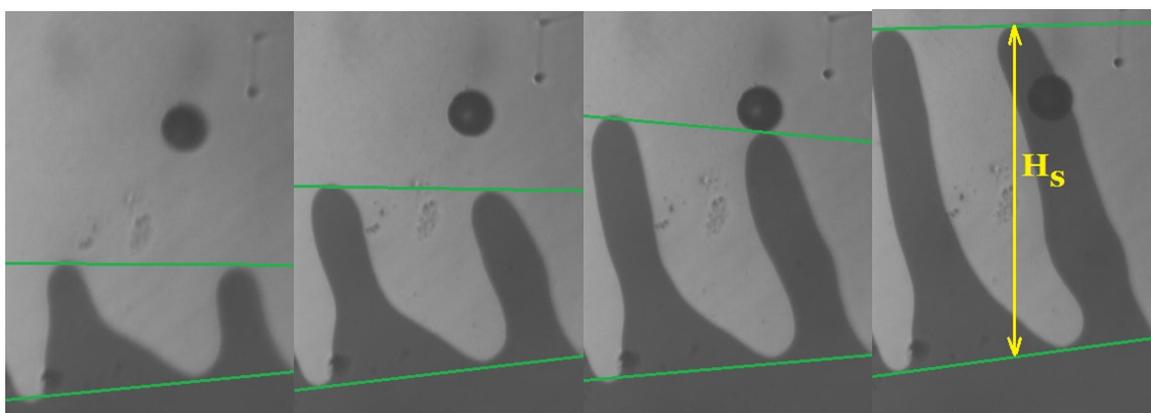


Рисунок 5 – Изменение ширины искривленной линии нулевого поля  $H_s$  («гребенки» полосовых доменов) от ширины трещины

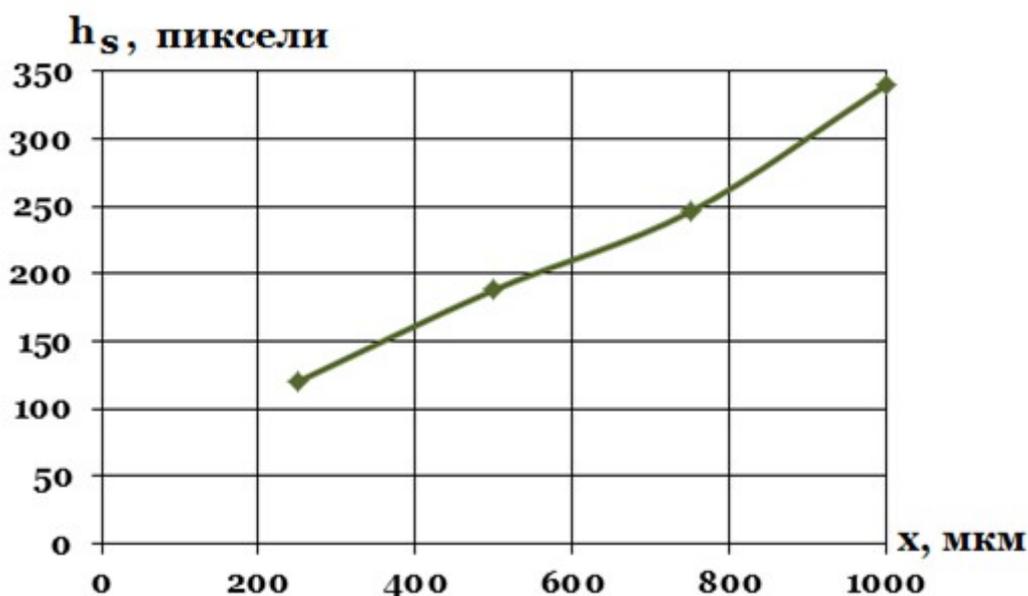


Рисунок 6 – График зависимости ширины «гребенки» полосовых доменов от ширины трещины

Ширина «гребенки» полосовых доменов может находиться в определенных значениях. Это определяется параметрами используемой пленки и градиентом магнитного поля рассеяния трещины.

### *Библиографический список*

1. Неразрушающий контроль. В пяти книгах. Книга 3. Электромагнитный контроль/ В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков./ Под редакцией проф. В.В. Сухорукова. М.: Высшая школа, 1992, 312 с.
2. Вишневский В.Г., Бержанский В.Н., Козик Г.П. и др., Магнитооптический вихретоковый контроль: интроскопический и магнитографический методы. Ученые записки ТНУ, Серия «Физ.-мат. науки». Том 24 (63). 2011 г. № 2. С. 127-140.
3. Выставкин А.Н., Демин А.П., Обухов Ю.В., Фатьянов А.В., Покровский А.Д. Обработка информации магнитодоменных преобразователей при контроле сплошности ферромагнитных изделий с помощью ЭВМ. - Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Методы неразрушающего контроля", Челябинск, 1987 г.
4. Демин В.П., Демин А.П., Миронов В.Б., Покровский А.Д. Применение тонких магнитных пленок с управляемой доменной структурой для обнаружения усталостного разрушения – Дефектоскопия, 1991, №3, с.39-43.

# РОЛЬ ОСОБЕННОСТЕЙ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОДОЛЖЕНИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ В МЕТОДЕ НУЛЕВОГО ПОЛЯ

Фискин М.Е.

Московский технический Университет Связи и Информатики

[FiskinME@Gmail.com](mailto:FiskinME@Gmail.com)

## Введение

Развитие радиолокации, радионавигации и ряда других направлений требуют решения задач, связанных с процессами излучения, отражения и дифракции волн с учетом характера поверхностей.

Примером таких задач является классическая задача дифракции плоской волны на периодической поверхности, которая до сих пор не утратила своей актуальности. Интерес к этой задаче связан с исследованиями в радиофизике, акустике и других областях науки.

Существует достаточно много приближенных методов расчета полей, рассеянных на неровных поверхностях: метод Рэлея, по которому полное поле над периодической поверхностью представлено в виде суперпозиции плоских волн; метод малых возмущений; метод Л.М.Бреховских для поверхностей с крупными неровностями; метод изображений, в котором рассеяние плоских звуковых и электромагнитных волн рассматривается на абсолютно отражающей поверхности, покрытой полуцилиндрами и полусферами; метод согласования полей, который может быть использован, если неровная поверхность может быть разделена на области, в каждой из которых волновое уравнение допускает решение методом разделения переменных и, наконец, метод интегрального уравнения, в котором решение волнового уравнения для полупространства записывается при помощи формулы Грина.

Ставший уже классическим метод интегральных уравнений относится к числу наиболее широко применяемых для решения задач дифракции. Используемые для этого метода интегральные уравнения Фредгольма I-го или II-го рода обладают сингулярными ядрами (т.к. поверхность источников, порождающих дифракционное поле, и поверхность, на которой выполняется граничное условие, совпадают), что вызывает определенные сложности при численной реализации соответствующих алгоритмов.

В данной работе предлагается решать задачу дифракции модифицированным методом нулевого поля (ММНП).

## Постановка задачи и вывод основных соотношений

При решении задачи дифракции на периодической поверхности методом нулевого поля учитываем роль особенностей аналитического продолжения волнового поля.

Пусть требуется найти функцию волнового поля  $u^1(r)$ , удовлетворяющую в  $R^3 \setminus \bar{D}$  (где  $\bar{D} = D \cup S$ ) однородному уравнению Гельмгольца:

$$\Delta u^1(r) + k^2 u^1(r) = 0 \quad (1)$$

и краевому условию Дирихле:

$$u(r)|_S = 0 \quad (2)$$

где  $u^0$  - падающая волна,  $u^1$  - отражённая волна,  $S$  - аналитическая поверхность,  $S_\delta$  - поверхность охватывающая все особенности аналитического продолжения волнового поля  $U^1(\vec{r})$  в область  $D$ .

Условие нулевого поля в формулировке Уотермена имеет вид:

$$\int_S \left\{ u(r') \frac{\partial G_0}{\partial n'} - \frac{\partial u(r')}{\partial n'} G_0(r, r') \right\} ds' + u^0(r) = 0, M(r) \in D \quad (3)$$

Однако данная формулировка не корректна для численного решения, поэтому воспользуемся условием нулевого поля представленного в работе [2].

Кроме того, для улучшения сходимости метода, поверхность  $S_\delta$  будем строить с помощью техники аналитической деформации поверхности  $S$ , которая впервые была представлена в работе [4].

Корректная формулировка МНП:

$$\int_S \left\{ u(r') \frac{\partial G_0}{\partial n'} - \frac{\partial u(r')}{\partial n'} G_0(r, r') \right\} ds' = -u^0, M(r) \in S_\delta \quad (4)$$

Упростим запись исходя из краевых условий Дирихле:

$$u^0(r) + \int_S \frac{\partial u(r')}{\partial n'} G_0(r, r') ds' = 0, M(r) \in S_\delta \quad (5)$$

Применим метод дискретных источников (МДИ), то есть заменим интеграл (4) конечными суммами в точках коллокации получим:

$$\sum_{n=1}^N a_n G_0(\vec{r}_n; \vec{r}'_m) = -U_{0n} \quad (6)$$

$$U_{0n} = e^{(-i(w_0 x_n - v_0 y_n))} \quad (7)$$

То есть надо решить систему линейных уравнений  $[N \times N]$ .

Главная вычислительная сложность состоит в вычислении функции Грина для периодической поверхности:

Рассмотрим способ вычисления функции Грина, описанный в [6]:

$$G = G^s + G^r \quad (8)$$

Где:

$$G^s = \sum_{q=-Q}^Q H_0^{(2)} \left( k \sqrt{(x + qd - x')^2 + (y - y')^2} \right) \exp(iq\xi) \quad (9)$$

$$G^r = J_0(k\rho) I_0(\xi) + 2 \sum_{l=1}^{\infty} (-1)^l J_l(k\rho) \cos(l\theta) I_l(\xi) \quad (10)$$

$$x - x' = \rho \cos \theta, \quad y - y' = \rho \sin \theta$$

$$I_l(\xi) = \frac{i^l}{\pi} \int_{-i\infty-\pi/2}^{\pi/2+i\infty} \frac{\exp(-i(Q+1)\alpha_+ - il\psi)}{1 - \exp(-i\alpha_+)} d\psi$$

$$+ (-1)^l \frac{i^l}{\pi} \int_{-i\infty-\pi/2}^{\pi/2+i\infty} \frac{\exp(-i(Q+1)\alpha_- - il\psi)}{1 - \exp(-i\alpha_-)} d\psi \quad (11)$$

$$\alpha_{\pm} = kd \cos \psi \mp \xi$$

$\xi = kd \cos \varphi_0$  – число Флоке.

### Численные результаты

Для расчетов будем использовать стандартный численный алгоритм, основанный на методе коллокации, реализованный на MatLab. Рассмотрим задачу рассеяния плоской монохроматической волны

$$U_0 = e^{(-i(w_0x - v_0y))}, w_0 = k \cos \varphi_0, v_0 = k \sin \varphi_0 \quad (12)$$

на бесконечной периодической поверхности, имеющей поперечное сечение  $S$  синусоидальной формы, которое описывается уравнением:

$$y = a \cos x. \text{ Угол падения волны } \varphi_0 = \frac{\pi}{2} \text{ (нормально падающая волна).}$$

Диаграмма рассеяния центрального элемента, т.е. угловая характеристика  $f(\varphi)$  волнового поля имеет вид:

$$f_0(\omega) = \frac{i}{4} \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \left[ \frac{\partial U(x, y)}{\partial n} - U(x, y) \frac{\partial}{\partial n} \right] e^{i(wx + f(x)\sqrt{k^2 - w^2})} \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx \quad (13)$$

где  $w = k \sin \omega$ ,  $\omega$  – угол, отсчитываемый от оси ОУ.

В случае краевого условия Дирихле  $U|_s = 0$ :

$$g_0(\omega) = \frac{i}{4} \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \left[ \frac{\partial U(x, y)}{\partial n} \right] e^{i(wx + f(x)\sqrt{k^2 - w^2})} \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx \quad (14)$$

Заменим интеграл суммой Римана:

$$g_0(\omega) = \frac{i}{4} \sum_{m=1}^N a_m e^{i(wx_m + f(x_m)\sqrt{k^2 - w^2})} \sqrt{1 + (f'(x_m))^2} \quad (15)$$

Покажем необходимость охвата поверхностью  $S_s$  особенностей аналитического продолжения волнового поля и построения ее с помощью аналитической деформации.

Рассмотрим пример  $a = 10, N = 70, k = \frac{d}{\lambda} = 2.1$ , где  $a$  – амплитуда синусоиды,  $d$  – период поверхности,  $\lambda$  – длина волны,  $N$  – количество точек коллокации.

На рис 1. представлены диаграммы рассеяния, где 1 – поверхность  $S_\delta$  получена при аналитической деформации границы рассеивателя вплоть до особенностей аналитического продолжения волнового поля, 2 – поверхность  $S_\delta$  получена при неаналитической деформации  $S$  с охватом особенностей (расстояние от поверхности  $S_\delta$  до множества особенностей составляет величину, равную  $10^{-3}$ ), 3 – поверхность  $S_\delta$  получена при неаналитической деформации  $S$  без охвата особенностей.

На рис 2. приведены невязки, полученные для рассматриваемой задачи, где 1 – поверхность  $S_\delta$  получена при аналитической деформации границы  $S$ , 2 – поверхность  $S_\delta$  получена при неаналитической деформации  $S$  с охватом особенностей (расстояние от поверхности  $S_\delta$  до множества особенностей составляет величину, равную  $10^{-3}$ ), 3 – поверхность  $S_\delta$  получена при неаналитической деформации  $S$  без охвата особенностей. Видно, что даже если алгоритм не расходится, то невязки для поверхности, построенной без учёта особенностей, слишком большие.

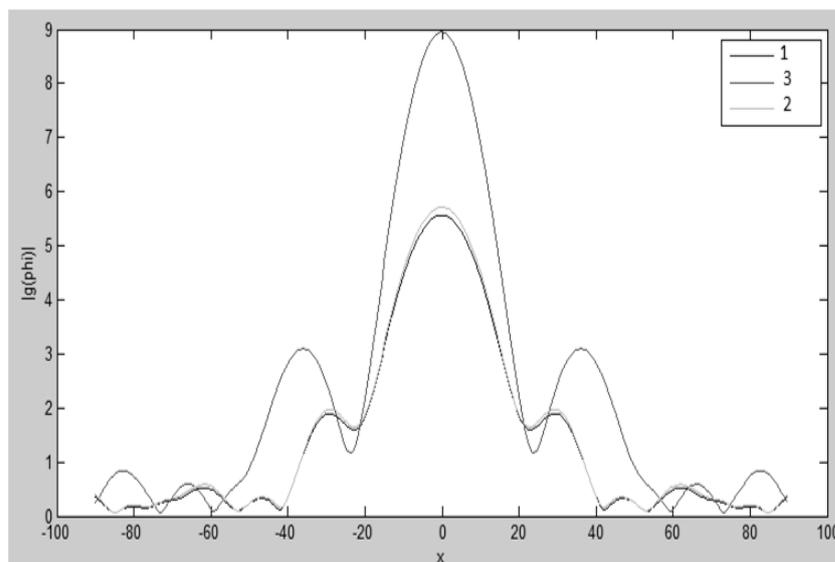


Рис.1. Диаграмма рассеяния

Диаграммы рассеяния на рис. 1 для аналитической деформации и для не аналитической деформации с охватом особенностей близки, но на рис. 2 достаточно хорошо видно, что наименьшие погрешности соответствуют случаю, когда поверхность  $S_\delta$  получена при аналитической деформации границы  $S$ . Можно сделать вывод, что для более точного решения, поверхность необходимо строить с помощью аналитической деформации.

В результате исследования продемонстрировано, что интегральные уравнения МНП для задачи дифракции на бесконечной периодической

поверхности корректно лишь при условии, когда поверхность, порождающая ИУ, охватывает все особенности аналитического продолжения волнового поля. Так же при построении вспомогательного контура с помощью аналитической деформации алгоритм МНП сходится быстрее и позволяет получить наименьшие погрешности при фиксированной размерности алгебраической системы, чем в случае, когда контур строится любым другим способом.

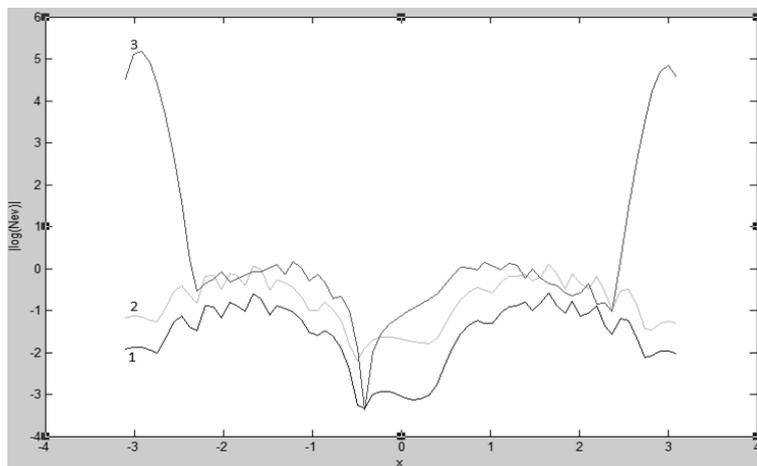


Рис.2.Невязка решения

### ***Библиографический список***

1. Кюркчан А.Г., Смирнова Н.И. Обобщение метода продолженных граничных условий // Радиотехника и электроника, 2008, том 53, N7, с.809-817.
2. Кюркчан А.Г., Смирнова Н.И. О решении задач дифракции волн методом нулевого поля//Акустический журнал, 2009, том 55, N 6, с.691-697.
3. Кюркчан А.Г., Смирнова Н.И. Учет особенностей аналитического продолжения волнового поля при использовании методов нулевого поля и Т-матриц //Электромагнитные волны и электронные системы, 2008, том 13, N8, с.78-86.
4. Кюркчан А.Г., Минаев С.А., Соловейчик А.Л. Модификация метода дискретных источников на основе априорной информации об особенностях дифракционного поля // Радиотехника и электроника, 2001, том 46, N6, с.666-672.
5. Кюркчан А.Г. Аналитические свойства волновых полей и диаграмм Препринт N12(384). – М.,1984г.
6. Маненков С.А. Применение сплайн-аппроксимации для решения задачи дифракции на периодической решетке, расположенной над киральным полупространством//Радиотехника и электроника, 2009, том 54, N10, с.1196-1206.
7. Кюркчан А.Г., Стернин Б.Ю., Шаталов В.Е. Особенности продолжения волновых полей//Успехи физических наук, 1996, том 166, №12
8. Галишникова Т.Н., Ильинский А.С. Численные методы в задачах дифракции.– М.: Изд-во МГУ, 1987. – 208 с.

**ENHANCING MEDICAL TOURISM GOVERNANCE  
MECHANIZMS THROUGH INTERSECTORAL APPROACH  
APPLICATION IN KOREA**

**Tikhomirov A., Ashurova Z.**

Inha University, Incheon, Republic of Korea

malikabegin2011@gmail.com

**Introduction.** Medical tourism area is not limited by national borders and required to take into consideration transition peculiarities of intersectoral governance in CIS countries. The world growth in the flow of patients and health professionals as well as medical technology, capital funding and regulatory regimes across national borders has given rise to new patterns of consumption and production of healthcare services over recent decades. Medical tourism is a significant new element of a growing trade in healthcare involving the movement of patients across borders in the pursuit of medical treatment and health [1].

In today's highly global competitive environment, a number of countries, such as Belarus, Latvia, Lithuania, Costa Rica, India, Malaysia, Singapore and Thailand, have responded to the opportunities offered by medical tourism to provide cross-border medical care for international visitors [2]. Asia, widely considered the region with the most potential in the world medical tourism market, generated \$3.4 billion in revenue in 2007 through medical tourism. Asia's revenues have increased annually by more than 20%, and are expected to total \$4.4 billion by 2012[3].

The review of existing literature about medical tourism governance and management shows the next issues:

There is a lack of full governance model for medical tourism accounting all existing factors. All existing investigations do not account for all stakeholders of medical tourism. They view the intersectoral network as the cooperation of only two units: state and private sectors. The network of medical tourism actors are examined only in one or two levels and without their infrastructures.

**Method.** The method is study of written publication involved a content analysis which we apply to the whole work, it requires a textual analysis of industrial or academic texts pertaining to international and Korean medical tourism. One aspect of the content analysis involved interpreting and analyzing the content of reports, newspapers, magazines, advertising materials, websites, books, and company or government documents issued by governments or industries involved in medical tourism. The other aspect was a review of the academic literature relating to medical or healthcare tourism. In this area, most information was drawn from comprehensive texts describing the reasons for medical

tourism, demand or supply, strategies and politics, management and governance issues, national trends, and quantifiable data.

Korea is expected to become a powerful engine for future medical tourism industry growth in CIS region where medical tourism is steadily growing. Further development of intersectoral governance mechanisms of Korea has to be expanded for CIS taking into consideration of transition peculiarities of these countries. In this regard the paper analyzing demand from transitional economy countries and elaborate intersectoral program mechanisms which promote coordination for all actors of medical tourism in transition economies. For this purpose the paper proposed application of organizational-technological frameworks to promote the cooperation and to provide feedback to intersectoral organisations in Korea.

We developed the next tasks:

To develop advanced conceptual model for medical tourism based on Comprehensive network approach. To consider the Intersectoral governance as a steering mechanism of state- private-citizen sectors network management. To define the all stakeholders of this governance with their infrastructure . To develop the instrument of intersectoral governance using the program approach.

**The development of medical tourism in Korea.** In 2009, the amendment of the Medical Service Act in 2009 aimed to position South Korea as a Global Healthcare hub, with the launch of a nation-branding project called “Medical Korea” [4]. According to The US-Korea Institute, “This campaign actively publicizes the Korean medical tourism industry at global medical conferences as well as through international television, radio, and newspapers. The Medical Korea campaign disseminates information about Korea’s medical services, special treatments, hospitals, and foreign-language communication services (targeting English-, Chinese-, Russian-, Japanese-, and Arabic-speaking patients). The Korean Wave coincides with the government nation-branding campaign. This explosion of Korean pop culture, including television dramas performed by flawlessly fashioned actors and actresses, also collaterally contributes to the promotion of the plastic surgery component of Korea’s medical tourism industry.” Because of the Korean Wave, Medical Korea has since then appointed Korean actors, singers and celebrities to be ambassadors of Korean medical tourism going the rounds of different countries to talk about South Korea as a premiere medical tourism destination. [5] mentioned that in June 2011, the Korean Ministry of Culture, Sports and Tourism and the Ministry of Health and Welfare announced a variety of measures to motivate and stimulate the Korean medical industry. These measures [5] included “insurance compensation for wrongful surgery or side effects following surgery, the integration of related laws, cooperation between related public agencies, the establishment of Korean medical

schools, improvements in the visa system, regular evaluations of hospitals, quality assurance systems, education of professionals in medical tourism, and the establishment of a cooperative medical tourism website”. Regional governments as small as districts like Busan, Daegu, Jeju, Daejeon and Gangnam District in Seoul are making an all-out effort to promote medical services in Korea in different parts of the globe [6]. Incheon City and Incheon Tourism Organization have formed a strategic partnership with Inha University Hospital to attract foreign patients from Russia and Mongolia.

Despite the amendments in legislations, the constant and consistent promotion of different government bodies – whether of national or regional levels, and the taking advantage of Korean pop culture, there are still some factors that hamper the tremendous growth on the medical tourism sector in South Korea. There are still legislations that prevent its growth. According to the Hyundai Research Institute, the weak performance of the medical tourism sector in South Korea is mainly attributable to excessive regulations on local hospitals wherein they are not allowed to have foreign patients exceeding 5% of their capacity, and medical specialists with foreign licenses have limited leeway in working for local institutions [7].

With the rise of new health organizations, various government support policies are needed. KHIDI’s Promotion Agency President Gyeong-hwa Goh and the Ministry of Welfare formed a joint-project in 2013 to pursue the distribution and awareness of South Korean medical centers throughout the world. Based on the study results and the prospective of Korean health organizations, Korean medical facilities have entered foreign markets in 19 countries for a total of 111 establishments.

According to the scoping results there are strengths and weaknesses of medical tourism in Korea. Medical tourism in Korea has several strengths:

First, Korea has high-quality medical staff and offers advanced medical services.

Second, hospitals specialize in specific treatment fields.

The third strength is that medical services in Korea are integrated with cutting-edge IT technologies.

The desire of the government to make Korea a major medical tourism destination provides Korean medical institutions with incomparable strength against their competitors. These efforts have resulted in the establishment of legal systems, the formation and cooperation of public and private supporting agencies, participation in medical exhibitions and conferences, and the establishment of familiarization (“fam”) tours inviting foreign medical staff, foreign tourists, and potential patients to participate in Korea's healthcare industry.

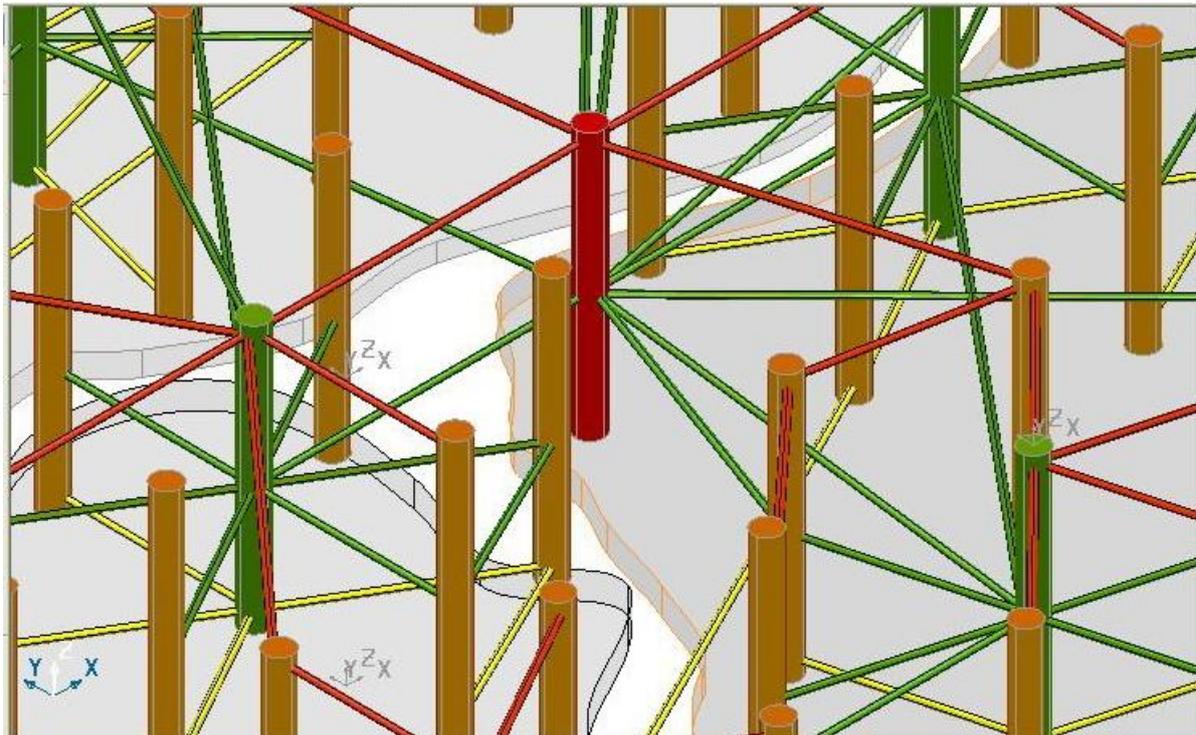
Weaknesses:

The first weakness of medical tourism in Korea is a lack of promotion of Korea as a medical tourism destination.

Second, governmental agencies or national institutions that promote the medical tourism business are not centralized.

Third, Korea lacks strategies to differentiate itself from competing Asian countries.

Fourth, there is a lack of supporting legal systems for medical visa issuance, medical disputes, insurance, or indemnification, especially with CIS countries.



Pic 1. Comprehensive Network Lace Interpretation of Connections in e-Governance.<sup>3</sup> Types of Connections in e-Governance

- E-Government
- E-Business
- E-Citizen

### **Intersectoral governance mechanisms of medical tourism in Korea.**

The listed before problems indicate the necessity of new type of governing- intergraded partnership of state, business and citizens. To achieve the global marketing goals in medical tourism it would be efficient using network approach of Comprehensive Network Lace theory with core stem which is conformable with metamediary concept with coordinator, facilitator and web-provider fea-

tures[8]. Optimizing Risk Management for the Sustainable Performance of the Regional Innovation System in Korea through Metamediation).

The recent type of this steering is e-governance. 'e-Governance' is the application, generically describes the use of information technology, and more specifically the internet and web, to provide information to the public, business structures, to deliver services, to enhance government performance, and to engage citizens.

For its efficient coordination within the program framework this article proposed application of new complex network models. Utilization of Complex Network approach is to develop good governance, management and organizational processes in international, national and corporation landscapes. Suggested by A. Tikhomirov, A. Trufanov and their cooperators the concept of Comprehensive Network Lace CNL (ART 2 Lace, or stem networks) is based on an end-to-end description of major categories of interactions for sets of entities (subjects and objects) using a multilayer (multi-level) variety of approach [9].

These actors include interconnected networks of a worldwide selection of Healthcare Providers, International Insurance Providers, Employers, Top Medical Tourism Facilitators, Travel Agents and Referring Physicians.

The following are suggested the intersectoral structure of Medical tourism in Korea.

State sector: Ministries of Health and Welfare, Foreign Affairs, KHMI, Accreditation companies;

Private sector: Private hospitals, insurance companies, banks, logistics companies, educational institutions, travel agencies, media, e-health providers;

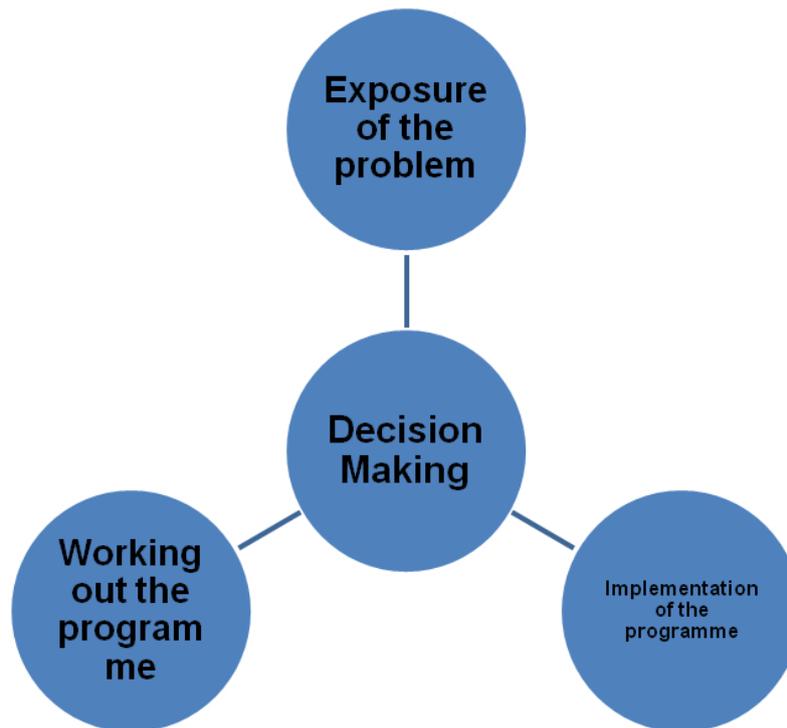
Citizen sector: NGO, SNS, customers.

At the same time each sector has its own infrastructure which is defined as metamediary with many intermediaries reflecting Comprehensive Network Lace.

The core stem is PPP organization. Korean government establish PPP organization named Korea International Medical Association(KIMA) which is a government-private joint initiative founded to promote Healthcare in Korea internationally. KIMA was established in 2007 with the name of CKMP(Council for Korea Medicine Overseas Promotion) and changed its name to KIMA as it has become an association. As an official organization for Medical Tourism, KIMA is supported by the Government, and serves as the "acting body" for a series of national policies in regard to medical travel. The primary function of KIMA includes promoting Korean healthcare to the international communities and fostering safe and reliable infrastructures. Currently over 30 hospitals and clinics are actively involved as KIMA members Korea Health Industry Development Institute(KHIDI) and Korea Tourism Organiza-

tion(KTO) are working with KIMA. In addition, The Ministry for Health, Welfare also supports KIMA activities.

**Conceptual characteristics of intersectoral governance mechanisms in transition economies.** CIS (Commonwealth of Independent States ) countries was created in December 1991. In the adopted Declaration the participants of the Commonwealth declared their interaction on the basis of sovereign equality. At present the CIS unites: Azerbaijan, Armenia, Belarus, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Russia, Tajikistan, Turkmenistan, Uzbekistan and Ukraine.



Pic.2. Technological Aspects of ISG

As the leading country Russia, in fact, is one of the top four nations sending medical tourists to Korea and the number of Russian tourists has more than doubled from 8,200 in 2009 to 17,600 in 2010. Russian tourists held most favorable attitudes toward medical tourism in Korea. Most favorable in cost, quality of service, ease of travel, access to information factors, effects of travel-related risks and access of information factor were prominent....[10]. The number of medical tourists from Central Asia in 2011 increased to 82% comparing with 2010 [11].

For promotion of Korean medical tourism services in CIS countries it is necessary to take into account their transitional peculiarities of governance.

- A new role of the government that relies less on state intervention, and more on market forces brought about by deregulation, decentralization, liberalization and privatization.
- Growing importance of the private sector not only in the economic sectors of growth, but also in developmental activities in the social sector.
- Civil-society organizations (CSOs), including non-governmental organizations (NGOs) are emerging as active participants in public policy processes during the transition period.
- Economic and financial crisis have changed the role of the public sector, its relations with non-public sectors, and accordingly e-Governance model in new IT era.
- Importance of intersectoral/engaged governance (ISG/EG) increased, which encourage the inter-organizational networks of state and non-state sectors by harnessing new ICT tools.

Successful Programme Fulfillment implies the next 10 Steps

- Step 1: Identification/exposure of a problem
- Step 2: Formation of a special intersectoral commission
- Step 3: Formulation of major objectives
- Step 4: Designation of a responsible agency
- Step 5: Working out a program
- Step 6: Development of a program
- Step 7: Assessment of a program
- Step 8: Issuance of a document
- Step 9: Implementation of a program
- Step 10: Review of results

These organizational-technological frameworks promote coordination of all actors( from different sectors) engaged in medical tourism in CIS countries.

### **Conclusions.**

In other to enhance intersectoral governance mechanisms in medical tourism, it is necessary to follow up:

- Conceptualizing ISG taking into account transition peculiarities of governance in CIS
- Review of the Legal/Regulatory Framework in the field of medical tourism
- Development of market-based Incentives for ISG
- Recording importance of Public-Private Partnership for medical tourism
- Provisioning Medical Services
- Strengthening & Capacity Building of CIS NGOs

The research has shown the missing link in cooperation between three main acting sectors: government, business and citizen. All above mentioned issues require the solutions not only in each field but in intersectoral perception. e-Governance is important because it is believed to contribute to the efficiency and effectiveness of interorganizational arrangements. Greater cooperation between host and source contexts would benefit the sustainable management of medical tourism for all involved, and cross-border, cross-sectoral, cross agency policy networks could be an instrument to enhance such cooperation. It is necessary to design the advanced model of governance of medical tourism based on network theory. This enhanced performance –oriented model based on intersectoral coordination hub—standards-based information technology (IT, ICT) platforms that are open to use by all qualified stakeholders. The Republic of Korea as an emerging destination in the Global medical tourism map, with strong and advanced infrastructure, the best professional medical staff, high technology, combination of western and oriental medicine through good governance has a big potential to be the Medical Tourism Hub is not only for CIS countries but also for other regions.

## References

1. Ormond, M. and Mainil, T. (2014, forthcoming) ‘Government strategies’, in N. Lunt, J. Hanefeld and D. Horsfall (eds), *Handbook on Medical Tourism and Patient Mobility*, London: Edward Elgar.
2. Connell, J. (2006). Medical tourism: Sea, sun, sand and surgery. *Tourism Management*, 27, 1093–1100.
3. RNCOS. (2008). *Asian medical tourism analysis (2008–2012)*. Noida, India: RNCOS E-Services Pvt. Ltd.
4. Korea’s medical services reach out to every corner of the world. Korea.net. Retrieved from <http://www.korea.net/NewsFocus/Business/view?articleId=106178> Medical Korea (2013, December 17).
5. Kim, S., Jung, J., and Lee, J. (2012). Assessment of medical tourism development in Korea for the achievement of competitive advantages. *Asia Pacific Journal of Tourism*
6. Foreigners victims of inflated medical fees. *Korea Times*, Feb 18. Retrieved from [http://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2010/02/116\\_61022.html](http://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2010/02/116_61022.html). Retrieved December 15, 2013. Limb Jae-un. (2013, March 7).
7. Medical Tourism: Globalization of the Healthcare Marketplace. *MedGenMed. International Medical Travel Journal* (2013, April 12).

8. Yongrok Choi & Eui Young Lee (2009) Optimizing Risk Management for the Sustainable Performance of the Regional Innovation System in Korea through Metamediation, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 15:2, 270-280, DOI: 10.1080/10807030902761189

9. N.A. Kinash, A.A.A. Naji, N.I. Nikulichev, A.I. Trufanov, A.A. Tikhomirov, S. Myong, Y. Choi, Z. Ashurova, A. Rossodivita, S.A. Gnatyuk, R.A. Umerov. Huge networks: studies and management practice. Vestnik ISTU (2013).

10. Daechun An, Asia Pacific Journal of Tourism Research (2013): Understanding Medical Tourists in Korea: Cross-Cultural Perceptions of Medical Tourism among Patients from the USA, Russia, Japan, and China, Asia Pacific Journal of Tourism Research retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/10941665.2013.840659>

11. Issue Briefing. Volume 118, 2013. [www.jthink.kr](http://www.jthink.kr)

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. Агарышев А.И., Жанг Н.М. Программа прогнозов углов декаметровых радиоволн, учитывающая горизонтальную и неоднородную, рассеивающую ионосферу	4
2. Илюшкин Р.А., Агарышев А.И. анализ математической модели метода компенсации девиантных отклонений при построении трека движущегося объекта с известными габаритными характеристиками	9
3. Мороз Н. В., Благодарный Н. С. Разработка трехмерного модуля к тренажеру по безопасной эксплуатации промышленного оборудования	15
4. Симоненко А.М., Агарышев А.И. Анализ суточных вариаций ионосферы на точность определения координат двухчастотных радионавигационных приёмников	23
5. Ченский Д.А. Безрукин А.Г. Ченский А.Г. Телекоммуникационная GSM система удаленного мониторинга	29
6. Губанова А.Ю., Эльхутов С.Н. Информационное обеспечение системы оценки рисков на железнодорожном транспорте	33
7. Ляпустина Л. Ю., Эльхутов С. Н. Разработка программных средств неразрушающего контроля поршневых машин	36
8. Черепанова Л.В., Засенко В.Е. Принципы построения модуляционных кодов для получения модуляции с минимальным сдвигом частоты	40
9. Кудрякова О.Н., Засенко В.Е. Помехоустойчивость сигнала, манипулированного методом минимального сдвига частоты без разрыва фазы	45
10. Нырков А.П., Засенко В.Е. Особенности и классификация инфокоммуникационных услуг	50
11. Калинин С.А., Яшкардин Р.В., Герасимов М.А., Сорокин К.С. Определение параметров плазмы разряда в системе для получения УДЧ	55
12. Латыпов Е.С., Лисишин А.Р., Пинкин А.А., Фискина М.М. Разработка универсального адаптера для диспетчеризации энергоресурсов	60
13. Парфентьев Н.А., Просвирякова Л.В. Разработка системы управления термопечатающим устройством, прибора контроля выключателей ПКВ/М6Н	64
14. Казанцев А.В. Помехозащищенный аппаратно-программный комплекс сбора и первичной обработки информации в экспериментах по плазмооптической масс-сепарации	67
15. Губин Н.А., Ченский Д.А., Полетаев А.С., Ченский А.Г. Лабораторный стенд для калибровки измерителей скорости звука	76
16. Ныркова Н.В. Исследование и развитие систем мониторинга тепловых сетей ОАО «ИРКУТСКЭНЕРГО» с учетом современных тенденций	84
17. Болотников С.С., Просвирякова Л.В. Разработка диагностического стенда для приборов контроля высоковольтных трансформаторов	91
18. Онишкевич С.А., Петров А.В. Аппаратно-программные аспекты	95

построения информационно-измерительных систем реального времени

19. Ретивых А.В., Фискин Е.М. Использование элементов охранно-пожарной сигнализации в создании системы «УМНЫЙ ДОМ» 103
20. Ретивых А.В., М.С. Сизых, Фискин Е.М. Применение приемопередатчиков MRF49XA И SPIRIT1 для построения системы «УМНЫЙ ДОМ» 107
21. Ретивых А.В. Радиопередающие модули для лабораторного стенда на базе микроконтроллера ATMEGA 8 112
22. Ощепков А.А., Сенский И.А., Просвирякова Л.В. Проектирование телеметрического комплекса для исследования процессов кипения и движения жидкости в засыпке на высокотемпературном контуре ИСЭМ СО РАН 115
23. Якимов М.И., Труфанов А.И., Якимов И. Б., Захаров А. Л. Безопасность систем управления печатью и мониторинга 119
24. Ташлыков В.П., Лебедев В.П. О точности метода построения диаграмм направленности рупорных антенн в метровом диапазоне радиоволн 123
25. Ташлыков В. П., Алсаткин С.С., Васильев Р.В., Щербаков А.А. Моделирование распространения сигнала некогерентного рассеяния в ионосфере методом Монте-Карло 134
26. Карпов Д.С., Тихомиров А.А, Труфанов А.И. Дополненная реальность для новых решений в области информационной безопасности 147
27. Адамович О.В, Труфанов А.И., Тихомиров А.А. Разработка сетевой модели спортивной организации «ФЕДЕРАЦИЯ ПАУЭРЛИФТИНГА РОССИИ» 151
28. Кинаш Н.А., Труфанов А.И., Тихомиров А.А. Сетевой возраст и его метрики 156
29. Кузьминых Е.В., Ниязов Т., Ушаков В., Труфанов А.И. Сравнение инструментов сетевого анализа WOLFRAM MATHEMATICA и GERNI в решении задач топологической уязвимости 160
30. Воронков А.А. Математическая модель отклоняющей системы для плазменной установки 167
31. Архипенко М.О. Некоторые вопросы применения программы MS EXCEL для радиотехнических расчетов 171
32. Егоров М.А. Аналого-цифровые преобразователи (Аналитический обзор) 175
33. Беляева Е.А. Общие вопросы реализации систем реального времени 183
34. Архипенко М.О., Беляева Е.А., Дёмин А.П., Егоров М.А., Кашапов Р.Р., Петров А.В. Аппаратное обеспечение магнитодоменного контроля изделий 187
35. Архипенко М.О., Беляева Е.А., Дёмин А.П., Егоров М.А., Петров А.В. 191

	Регистрация термических трещин магнитопорошковым и магнитодоменным методами контроля	
36	Архипенко М.О., Беляева Е.А., Демин А.П., Егоров М.А., Петров А.В. Исследование влияния градиентных Магнитных полей на доменную структуру пленок Вi-МПФГ	195
37	Фискин М.Е. Роль особенностей аналитического продолжения волнового поля в методе нулевого поля	199
37	Tikhomirov A., Ashurova Z. ENHANCING MEDICAL TOURISM GOVERNANCE MECHANIZMS THROUGH INTERSECTORAL APPROACH APPLICATION IN KOREA	204
38	СОДЕРЖАНИЕ	213

Научное издание

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ**

Материалы XIII Всероссийской  
научно-технической конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых

**(Иркутск, 22 мая, 2014 г.)**

Под редакцией А.И. Агарышева, Е.М. Фискина

Подписано в печать 11.12.2014. Формат 60 x 90 / 16.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 13,75.  
Тираж 100 экз. Зак. 240. Поз. плана 13.

Лицензия ИД № 06506 от 26.12.2001  
Иркутский государственный технический университет  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83