



**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ**

Материалы XV Всероссийской  
научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
с международным участием

**(Иркутск, 17 мая, 2018 г.)**

Под редакцией Н.А. Строкина, Е.М. Фискина



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
**Иркутского национального исследовательского**  
**технического университета**  
**2018**



Печатается по решению редакционно-издательского совета ИРНИТУ

**Современные проблемы радиоэлектроники и связи** : материалы XV Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием / под ред. Н.А. Строкина, Е.М. Фискина. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 264 с.

Представлены 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 вошли доклады студентов и аспирантов из Вьетнама и Китая, обучающихся в российских вузах, а также ученых из Кореи и Италии.

**Редколлегия:**

Семенов Е.Ю. – канд. экон. наук, проректор ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», председатель;

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

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

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

Елисеев С.В. – д-р техн. наук, профессор;

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

Башкуев Ю.Б. – д-р техн. наук, профессор;

Блинов Ю.И. – д-р техн. наук, профессор;

Гончаров В.Д. – д-р техн. наук, профессор;

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

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

Кудряшов Г.С. – д-р техн. наук, профессор;

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

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

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

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

Фискина М.М. – канд. техн. наук, доцент.

*Печатается с файлов, предоставленных авторами*

# АНАЛИЗ ПРОХОЖДЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ АЗИМУТАТОР ПЛАЗМООПТИЧЕСКОГО МАСС-СЕПАРАТОРА

Ступин А.Н., Бардаков В.М., Строкин Н.А.

ФГБОУ ВО “ИРНИТУ”

al.stupin1@yandex.ru

## I. ВВЕДЕНИЕ

Технология плазмооптической масс-сепарации (ПОМС) [1] включает этапы генерации многокомпонентной плазмы в процессе  $E \times B$  разряда, например, в плазменном ускорителе с анодным слоем (УАС), формирование компенсированного по заряду пучка ионов (КИП), разделение ионов по массам в магнитном поле азимутатора и фокусировку разделенных ионов на «свои» приемники в сепарирующем пространстве масс-сепаратора. Азимутатор ПОМС – это кольцевая щель со средним радиусом  $R$ , размером по радиальной координате  $\delta \ll R$ , длиной вдоль оси  $z$  равной  $\Delta$  с наложенным радиальным – поперечным к скорости ионов магнитным полем  $B_0$ , который для электронов плазменного потока, имеющих массу  $m$ , начальную скорость  $u_0$ , заряд  $e$ , является магнитным барьером (МБ): ларморовский радиус электронов  $a_e = \frac{u_0 m}{e B_0} \ll \Delta$ . Так как ларморовский радиус

ионов в МБ  $a_i = \frac{u_0 M_i}{e B_0} > \Delta$  ( $M_i$  – масса иона), это приводит к появлению

нескомпенсированного заряда в плазменном потоке и, как следствие, возникновению дополнительного самосогласованного продольного электрического поля, которое влияет и на прохождение ионов через МБ.

Эксперименты по данной тематике проводились на макете плазмооптического масс-сепаратора ПОМС-Е-3 [2, 3] с использованием двухкамерного УАС, схема которого приведена на рис. 1.

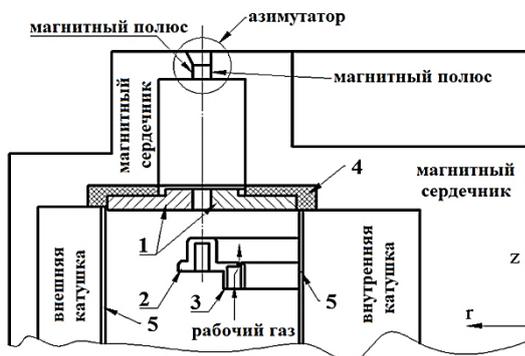


Рис. 1. Схема двухкамерного плазменного ускорителя с анодным слоем: 1 – катод-1; 2 – анод; 3 – газораспределитель; 4 – изолятор; 5 – экран.

В варианте ПОМС-Е-3, на котором проводились эксперименты, катод-2 второй камеры УАС совмещен с азимутатором. Пример расчетного распределения магнитного поля в системе формирования потока ионов приведен на рис. 2.

В экспериментах также контролировалась функция распределения ионов по энергии в различных точках системы формирования КПИ, по которой (как интеграл) рассчитывалась плотность ионов в потоке. Таким об-

разом можно было отслеживать и за количеством ионов, прошедших через МБ. Пример поведения плотности ионов в системе формирования как функция расстояния от анода приведен на рис. 3.

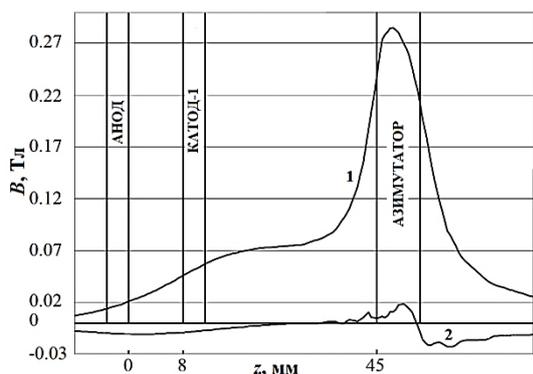


Рис. 2. Пример распределения магнитного поля в системе формирования: кривая 1 –  $B_r$ ; 2 –  $B_z$ .

Видно, что на длине катод-1 – азимутатор происходит уменьшение плотности ионов примерно в 30 раз, что существенно ухудшает эффективность процесса масс-сепарации.

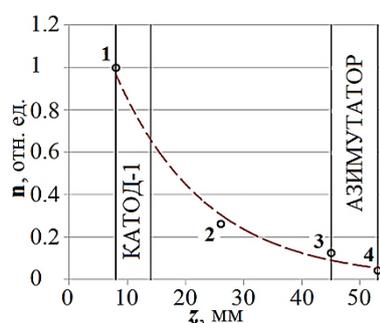


Рис. 3. Нормированная плотность ионов вдоль траектории движения: аргон;  $U_A = 1100$  В;  $U_{K1} = 500$  В;  $U_{A3} = 0$  В.

Влияние величины индукции магнитного поля на прохождение ионов видно и на рис. 4: рост тока в катушках УАС, создающих  $B_r$ , приводит к «запиранию» пучка ионов в системе формирования. Для обеспечения приемлемой практической эффективности процесса ПОМС необходимо найти пути существенного увеличения количества прошедших через МБ ионов.

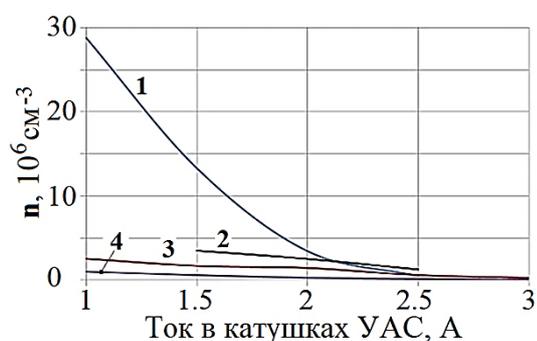


Рис. 4. Зависимость плотности ионов в различных сечениях системы формирования от величины магнитного поля: 1 –  $z = 8$  мм; 2 –  $z = 26$  мм; 3 –  $z = 45$  мм; 4 –  $z = 53$  мм.

В настоящей работе проведено теоретическое рассмотрение процесса прохождения ионов через магнитный барьер азимутатора и поиск параметров, определяющих степень ослабления потока в МБ.

## II. Математическая модель задачи

Будем рассматривать прохождение плазменного потока с моноэнергетичными ионами, имеющими энергию  $W_0 = Mu_0^2 / 2$ , через азимутатор в приближении  $\delta/R \rightarrow 0$ , т.е. рассмотрим плоскую модель в декартовой системе координат  $x - y$ . Вдоль оси  $y$  задача неограниченная; магнитное поле  $B_0$  направлено по оси  $x$ ; движение потока – по  $z$ .

В зависимости от энергии ионов, величины поля  $B_0$  и значения начальной (на выходе из УАС – на входе в систему формирования КИП) плотности потока  $n_0$  возможно существование различных режимов взаимодействия потока плазмы с магнитным барьером.

Если плотность плазмы такова, что динамическое давление потока не меньше «давления» магнитного поля:  $\beta = \frac{Mn_0u_0^2}{B_0^2 / 2\mu_0} \geq 1$ , то поток плазмы

полностью проходит через магнитный барьер, сохраняя квазинейтральность  $|n_i - n_e| \ll n_i$ . Если поддерживать магнитное поле  $B_0$  постоянным и начать снижать плотность плазмы  $n_0$ , то при некоторой плотности значение  $\beta$  становится меньше единицы и квазинейтральный поток плазмы в стационарном режиме сможет проникнуть в магнитный барьер только на толщину гибридного ларморовского радиуса  $a = \sqrt{a_e a_i}$  [4]. Для того чтобы

ионы остановились на длине  $a$  необходимо электрическое поле  $E \approx \frac{Mu_0^2}{2ea}$ ,

для создания которого необходимо, чтобы в плазме существовала плотность заряда  $\rho$  порядка  $\rho = \frac{\epsilon_0 E}{a}$  (из закона Гаусса). Учитывая эти соотно-

шения, вводится параметр  $N = \frac{\rho}{en_0} = \frac{\epsilon_0 B_0^2}{2mn_0}$ .

При  $N \gg 1$  в магнитном барьере движутся только ионы, а электроны проникают в МБ на длину порядка ларморовского радиуса  $a_e$ . Для величин магнитных полей, используемых в ПОМС-Е-3, порядка  $B_0 \approx 0.1$  Тл, условие  $N \gg 1$  выполняется, так как начальные плотности потока

$$n_0 \ll \frac{\epsilon_0 B_0^2}{2m_e} \approx 10^{17} \text{ м}^{-3}. \quad (1)$$

В результате, для ПОМС–Е–3 можно сформулировать одномерную задачу:

- вдоль оси  $z$  из области  $z = -\infty$  со скоростью  $u_0$  движется поток холодной бесстолкновительной плазмы плотностью  $n_0$ ;

- в промежутке  $0 \leq z \leq \Delta$  движется поток ионов (размером гибридного ларморовского радиуса электронов пренебрегаем);

- будем считать, что при  $z \geq \Delta$  движется поток квазинейтральной плазмы;
- на входе в МБ при  $z = 0$ , и на выходе при  $z = \Delta$  поддерживается потенциал  $\varphi = 0$ ;

- будем рассматривать ионы с ограниченным спектром по энергии, когда частиц со скоростями  $v_0 > v_{max}$  и энергиями  $W_0 > W_{max} = Mv_{max}^2/2$  нет.

Ионы, движущихся в МБ, создают распределение потенциала, максимум которого  $\varphi_0$  будет располагаться на некотором  $z = z_0$ . Частицы с энергиями меньшими, чем энергия, необходимая для преодоления максимума потенциала  $e\varphi_0$ , отражаются от потенциального барьера и возвраща-

ются на вход МБ. В области  $0 \leq z \leq z_0$  существует два потока ионов – прямой и отраженный; в области  $z_0 \leq z \leq \Delta$  – только поток, состоящий из ионов с энергиями, достаточными для преодоления максимума потенциала  $\varphi_0$ .

При математическом описании процесса прохождения будем использовать нормированные величины  $\psi = e\varphi/W_{\max}$ ,  $\xi = z/\Delta$ ,  $s = v_0/v_{\max}$ ,  $\eta = n/n_0$  и введем безразмерную функцию распределения  $f(s) = f(v_0) \cdot v_{\max}/n_0$ , где

$n_0 = \int_0^{v_{\max}} f(v_0) dv_0$  – плотность частиц, движущихся в прямом направлении

на входе в промежуток  $\Delta$ . При движении потока ионов в электрическом поле функция распределения ионов  $f_\xi(s_\xi)$  в точке  $\xi$  связана с начальной функцией распределения:

$$f_\xi(s_\xi) = f(s), \quad (2)$$

где скорость

$$s_\xi = \sqrt{s^2 - \psi}. \quad (3)$$

Функция распределения при любом  $0 \leq \xi \leq \xi_0$  включает прямой и отраженный потоки ионов:  $f_{\xi\Sigma}(s_\xi) = \begin{cases} f_\xi(s_\xi), & 0 \leq s_\xi \leq 1; \\ f_\xi(|s_\xi|), & -\sqrt{\psi_0 - \psi} \leq s_\xi \leq 0. \end{cases}$

Плотность ионов  $\eta(\xi)$  в области  $0 \leq \xi \leq \xi_0$  находится как

$$\eta(\xi) = \int_{-\sqrt{\psi_0 - \psi}}^1 f_{\xi\Sigma}(s_\xi) ds_\xi = \int_0^{\sqrt{\psi_0 - \psi}} f_\xi(s_\xi) ds_\xi + \int_0^1 f_\xi(s_\xi) ds_\xi. \quad (4)$$

Заменим переменную интегрирования в (4), используя (2) и (3), –

$$\eta(\xi) = \int_{\sqrt{\psi}}^{\sqrt{\psi_0}} \frac{f(s) s ds}{\sqrt{s^2 - \psi}} + \int_{\sqrt{\psi}}^1 \frac{f(s) s ds}{\sqrt{s^2 - \psi}}. \quad (5)$$

В области  $\xi_0 \leq \xi \leq 1$  есть только прямой поток ионов. Через потенциальный барьер пройдут ионы, которые при  $\xi = 0$  имели скорость  $s > \sqrt{\psi}$ . Здесь функция распределения  $f_\xi(s_\xi)$  преобразуется аналогично выражению (2) с учетом (3). Плотность ионов в области  $\xi_0 \leq \xi \leq 1$  выразится через функцию распределения при  $\xi = 0$  следующим образом:

$$\eta(\xi) = \int_{\sqrt{\psi}}^1 \frac{f(s) s ds}{\sqrt{s^2 - \psi}}. \quad (6)$$

В частности, плотность ионов при  $\psi = 0$ , на выходе из промежутка  $\Delta$  находится так:

$$\eta_{\Delta} = \int_{\sqrt{\psi_0}}^1 f(s) ds. \quad (7)$$

В промежутке  $\Delta$  распределение потенциала подчиняется уравнению Пуассона с граничными условиями  $\psi(\xi = 0) = 0$ ;  $\psi(\xi = 1) = 0$ :

$$\frac{d^2\psi}{d\xi^2} = 2A \frac{dV(\psi)}{d\psi}, \quad (8)$$

где  $V(\psi) = -\frac{1}{2} \int \eta(\psi) d\psi + C$ ;  $A = \frac{n_0 e^2 \Delta^2}{W_{\max} \varepsilon_0}$  – «параметр Бурсиана».

Из (8) получим уравнение  $\left(\frac{d\psi}{d\xi}\right)^2 - 4AV = 0$ . Постоянную  $C$  опреде-

лим так, чтобы при  $\xi = \xi_0$  и  $\psi = \psi_0$  величина  $\left.\frac{d\psi}{d\xi}\right|_{\xi_0} = 0$ . Тогда при  $0 \leq \xi \leq \xi_0$  в области 1

$$V_1 = \int_{\sqrt{\psi}}^1 f(s) s \sqrt{s^2 - \psi} ds + \int_{\sqrt{\psi}}^{\sqrt{\psi_0}} f(s) s \sqrt{s^2 - \psi} ds - \int_{\sqrt{\psi_0}}^1 f(s) s \sqrt{s^2 - \psi_0} ds; \quad (9)$$

$$2\sqrt{A}\xi_0 = \int_0^{\psi_0} \frac{d\psi}{\sqrt{V_1}}. \quad (10)$$

В области 2 при  $\xi_0 \leq \xi \leq 1$ :

$$V_2 = \int_{\sqrt{\psi_0}}^1 f(s) s \left[ \sqrt{s^2 - \psi} - \sqrt{s^2 - \psi_0} \right] ds; \quad (11)$$

$$2\sqrt{A}(1 - \xi_0) = \int_0^{\psi_0} \frac{d\psi}{\sqrt{V_2}}. \quad (12)$$

Складывая (10) и (12), получим выражение, для определения  $\psi_0$ :

$$2\sqrt{A} = \int_0^{\psi_0} \left( \frac{1}{\sqrt{V_1}} + \frac{1}{\sqrt{V_2}} \right) d\psi. \quad (13)$$

### III. Анализ процесса прохождения

С помощью численных расчетов найдем связь величины входной плотности ионов  $n_0$  с плотностью ионов  $n_{\Delta}$  на выходе из МБ. Для этого из формулы (13) определим величину максимального потенциала  $\psi_0$ , а затем, вычисляя интеграл (7), получим величину плотности ионов  $n_{\Delta}$ .

Вычисление потенциала  $\psi_0$  проводится в следующем порядке: с помощью (9) и (11) для каждого  $0 < \psi_0 < 1$  с некоторым шагом вычисляется

таблица значений функции  $\Lambda(\psi_0) = \int_0^{\psi_0} \left( \frac{1}{\sqrt{V_1(\psi_0, \psi)}} + \frac{1}{\sqrt{V_2(\psi_0, \psi)}} \right) d\psi$ . Вид функции

$\Lambda(\psi_0)$  зависит от формы функции распределения. Затем для заданного  $A$  по таблице функции  $\Lambda(\psi_0)$  согласно (13) ищется значение  $\psi_0$ . Результаты анализа влияния формы функции распределения, которую имеют ионы перед МБ, приведены на рис. 5 и рис. 6. Расчеты проводились для следующих условий: длина МБ  $\Delta = 45$  мм; максимальная энергия в спектре ионов  $W_{\max} = 900$  эВ.

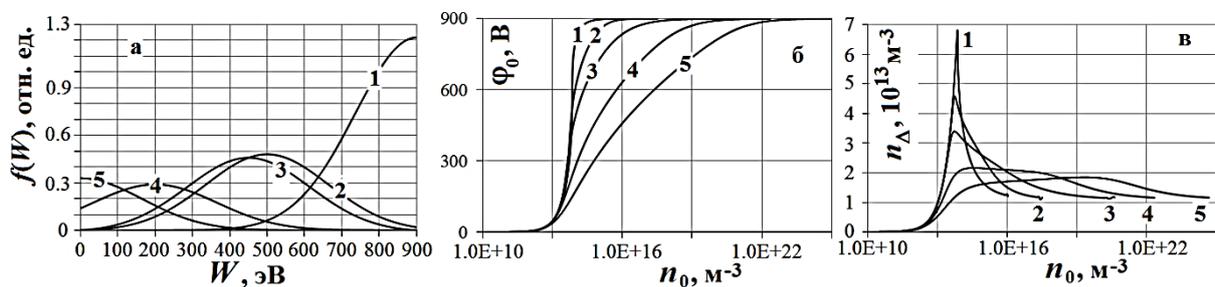


Рис. 5. Влияние значения наиболее вероятной энергии функции распределения на входе в промежуток  $\Delta$  на величину потенциала и положение максимума плотности  $n_{\Delta}$  на выходе из промежутка: 1 –  $W_{н.в.} = 900$  эВ; 2 – 500 эВ; 3 – 450 эВ; 4 – 200 эВ; 5 – 0 эВ.

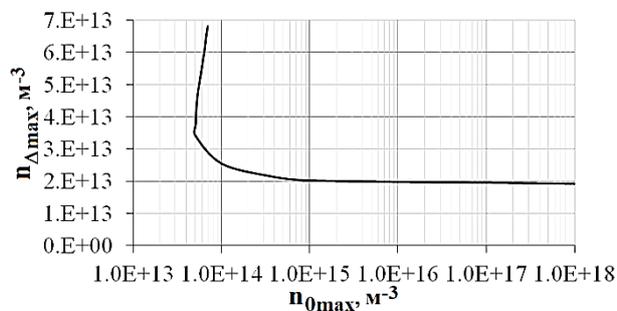


Рис. 6. Связь максимальной плотности  $n_{\Delta\max}$  на входе из МБ и начальной плотности, соответствующей  $n_{\Delta\max}$ .

Из рис. 5в видно, что выходная плотность для любой из заданных функций распределения достигает максимального значения  $n_{\Delta\max}$  при определенной начальной плотности  $n_{0\max}$ . Наибольшие  $n_{\Delta\max}$  достигаются для функций распределения  $f(s)$ , локализованных вблизи  $s = 1$  (функции 1, 2 на рис. 5а). При «широких»  $f(s)$  (кривые 4, 5 на рис. 5а) максимум выходной плотности также уширяется и падает по амплитуде.

Для функций распределения  $f(s)$ , локализованных вблизи  $s = 1$ , при изменении  $n_0$  от нуля до  $n_{0\max}$  наблюдается практически полное прохождение потока через МБ с очень малой долей отраженных ионов и симметричным распределением потенциала относительно  $\xi = 1/2$ , причем  $n_{\Delta} \approx n_0$ . Нарастание  $n_{\Delta}$  с увеличением  $n_0$  происходит вплоть до  $n_0 = n_{0\max}$ , при котором величина  $\psi_0$  почти достигает  $3/4$ , а  $\xi_0$  остается близким к  $1/2$ . Если приблизительно представить распределение ионов как пучок частиц с неко-

торой средней энергией  $W_{\text{ср.}}$ , то значения  $n_{0\text{max}}$  можно получить, решая задачу, соответствующую задаче Бурсиана [5] с граничными условиями  $\psi(\xi_0) = 3/4$ ,  $\xi_0 = 1/2$  и  $\left. \frac{d\psi}{d\xi} \right|_{\xi_0} = 0$ . При этом параметр  $A = \frac{n_{0\text{max}} e^2 \Delta^2}{W_{\text{ср.}} \varepsilon_0} = \frac{32}{9}$ , и

$$n_{0\text{max}} = \frac{32 W_{\text{ср.}} \varepsilon_0}{9 e^2 \Delta^2}. \quad (14)$$

Для обеспечения наибольшей производительности ПОМС–Е–3 нужно работать в зоне максимума выходной плотности, т.е. при  $n_0 \geq n_{0\text{max}}$ , при этом, например, для ионов с  $W_{\text{max}} = 900$  эВ и при  $\Delta = 45$  мм выходная плотность  $n_{\Delta} = (2 \div 7) 10^{13} \text{ м}^{-3}$ . При минимально конструктивно возможной длине азимутатора ПОМС–Е–3  $\Delta_{\text{min}} \approx 10$  мм, величина выходной плотности оценивается как  $n_{\Delta} \approx 10^{15} \text{ м}^{-3}$ . Это значение гораздо меньше верхнего предела плотности  $n_{\Delta} \leq 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , при котором обеспечивается бесстолкновительный режим работы ПОМС-Е-3, обязательный для технологии ПОМС.

Определив связь величины  $n_{\Delta}$  с входной плотностью  $n_0$ , исследуем с помощью численных расчетов распределение плотности и потенциала в магнитном барьере.

Для этого аналогично предыдущему из формулы (13) найдем величину максимального потенциала  $\psi_0$ , затем определим ход потенциала  $\psi(\xi)$  в промежутке  $0 \div \Delta$ , интегрируя (10) и (12).

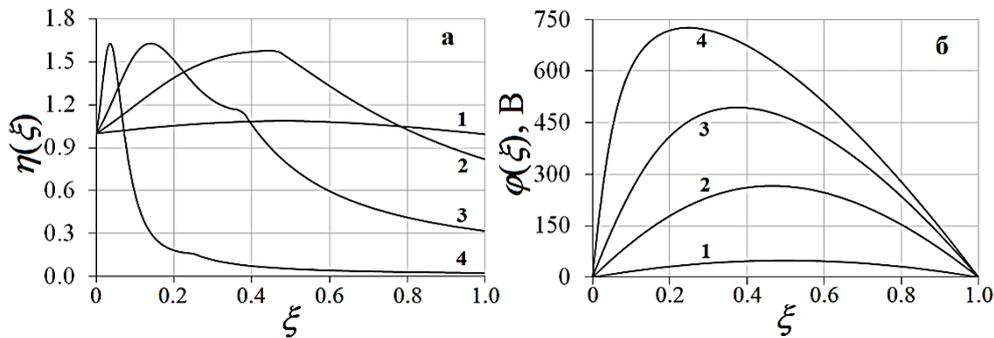


Рис. 7. Распределение плотности  $\eta$  и потенциала  $\varphi$  в МБ для функции распределения с  $W_{\text{н.в.}} = 450$  эВ при различных значениях начальной плотности частиц  $n_0$ : 1 –  $n_0 = 10^{13}$ ; 2 –  $4 \cdot 10^{13}$ ; 3 –  $10^{14}$ ; 4 –  $10^{15} \text{ м}^{-3}$ .

Расчет распределения плотности ионов, движущихся в прямом направлении, проводился по формулам (5) и (6), причем в формуле (5) вычислялся только второй интеграл, который и соответствует плотности частиц, движущихся в прямом направлении. Результаты расчетов для функции распределения с  $W_{\text{н.в.}} = 450$  эВ, изображенной на рис. 5 под номером «3» и для длины МБ  $\Delta = 45$  мм представлены на рис. 7.

Из распределения потенциала (рис. 7б) видно, что при плотностях меньших  $4 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$  форма потенциала практически симметрична относительно точки  $\xi_0 = 1/2$  (кривые 1 и 2), и распределение 2 примерно соответ-

ствуется входной плотности  $n_{0\max}$ , при которой обеспечивается максимум выходной плотности  $n_{\Delta}$ . При входных плотностях больших чем  $4 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$ , максимум потенциала  $\varphi_0$  в промежутке  $0 \div \Delta$  стремится к  $W_{\max}/e$ , а  $\xi_0 \rightarrow 0$  и доля отраженных частиц значительно увеличивается.

Следует заметить, что написанные выше уравнения справедливы при выполнении условия (1) – для входных плотностей, меньших  $n_0 = 10^{16} \text{ м}^{-3}$ . При более высоких начальных плотностях ионов начинает устанавливаться квазинейтральный режим движения плазменного потока и разделения ионов и электронов на входе в барьер не происходит.

#### **IV. ВЫВОДЫ**

Было исследовано влияние вида функции распределения ионов на выходе из плазменного ускорителя на вид зависимости  $n_{\Delta} = f(n_0)$ . Показано, что выходная плотность имеет максимум при некоторой входной плотности  $n_{0\max}$ . Максимально возможная плотность ионов на выходе МБ азимутатора макета масс-сепаратора ПОМС-Е-3 для средней энергии ионов 450 эВ, длине МБ  $\Delta = 10 \text{ мм}$  оценивается как  $n_{\Delta\max} \approx 10^{15} \text{ м}^{-3} \ll n \leq 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , которая определяет границу плазмооптического (бесстолкновительного) режима работы ПОМС-Е-3. Такое соотношение открывает возможность поиска путей увеличения ионов, преодолевающих магнитный барьер азимутатора макета масс-сепаратора ПОМС-Е-3.

#### **Библиографический список**

1. Morozov A.I., Semashko N.N. On the mass separation of quasineutral beams // Technical Physics Letters, 2002. - V. 28, No. 12. - P. 1052-1053.
2. Bardakov V.M., Ivanov S.D., Strokin N.A. Advances and Problems in Plasma-Optical Mass-Separation // Physics of Plasmas, 2014. - V. 21, No. 3. - 033505.
3. Bardakov V.M., Ivanov S.D., Kazantsev A.V., Strokin N.A. Results of the Main Phase of Ion Separation in the Process of Plasma-Optical Mass Separation // Plasma Science and Technology, 2015. - V. 17, No. 10. - P. 862-868.
4. Longmire C.L. Elementary Plasma Physics (Interscience Publishers a Division of John Wiley and Sons Incorporation, New York-London-Sidney, 1963), 304 p.
5. Бурсиан В.Р., Павлов В.И. Об одном частном случае влияния объемного заряда на прохождение потока электронов в пустоте // Журнал русского физико-химического общества, 1923. - Т. 55, №1. - С. 71–80.

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОСТЕЙ МЕСТНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАКОРОТКИХ РАДИОВОЛН

Агарышев А.И., Куклин В.Л.

aai.irk@mail.ru, vladimir3886@gmail.com

## Введение

Радиоволны УКВ диапазона (рабочие частоты  $f = 30\text{--}300$  МГц), широко используют для радиосвязи и радионавигации на дальностях прямой видимости. Для проектирования соответствующих систем и устройств необходимо рассчитывать напряженности поля УКВ в заданных пунктах. Такие задачи решают в условиях различного рельефа местности, который существенно влияет на результаты расчетов. Представляет интерес анализ условий, соответствующих максимальному увеличению напряженности поля УКВ по сравнению с ровной местностью, а также условий, в которых происходит существенное уменьшение этой напряженности. Поле УКВ над ровной поверхностью Земли формируется как сумма полей прямой и отраженной от поверхности Земли радиоволн [1]. Суммарное поле УКВ в этих условиях существенно меньше, чем поле прямой распространяющейся в свободном пространстве волны, напряженность поля которой убывает в зависимости от расстояния  $r$  между приемной и передающей антеннами как  $\sim 1/r$ , в то время как суммарная напряженность поля двух волн убывает как  $\sim 1/r^2$ . Убывание напряженности поля УКВ  $E$  как  $\sim 1/r^2$  показывает известная квадратичная формула Б.А. Введенского [1].

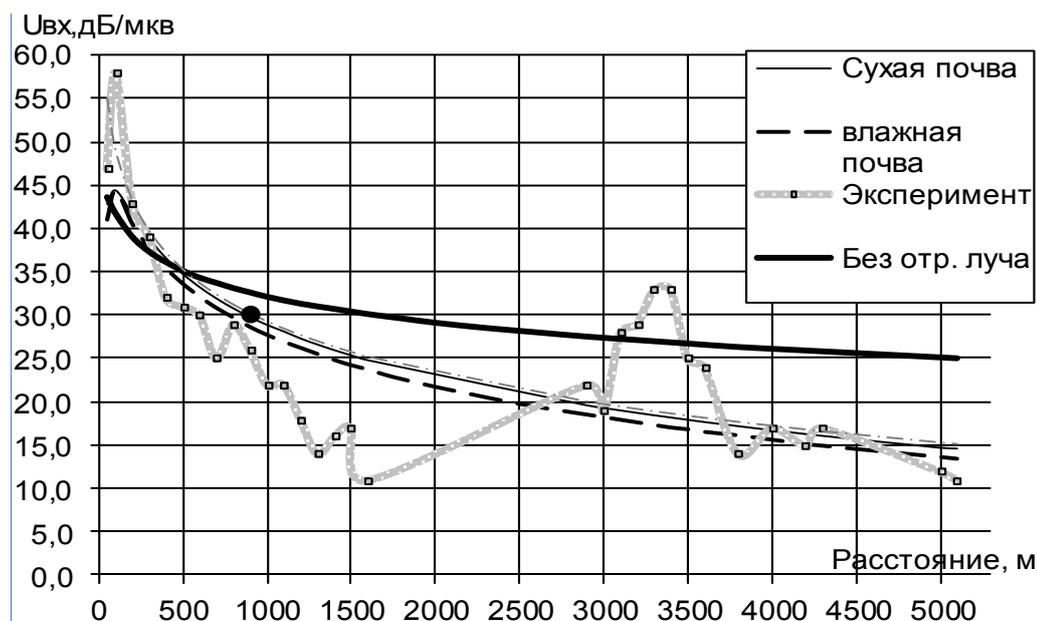
Однако результаты измерений зависимости  $E(r)$ , полученные в ходе эксперимента для рабочей частоты  $f = 130$  МГц согласно рис. 1 показывают существенные отличия от известных закономерностей изменений напряженностей поля УКВ при изменении удаления от радиопередатчика [2]. Наблюдается, в частности, рост значений  $E$  при увеличении этих удалений, когда максимальные значения  $E$  были выше затухания поля в свободном пространстве. Такой рост наблюдался после убывания  $E$ , более быстрого, чем по закону  $\sim 1/r^2$ .

Цель статьи заключается в анализе результатов измерений напряженностей поля УКВ для модели рельефа местности из двух горизонтальных участков, разделенных склоном, и обоснование значений дальностей от радиопередатчиков, для которых возможны существенные отличия этих напряженностей.

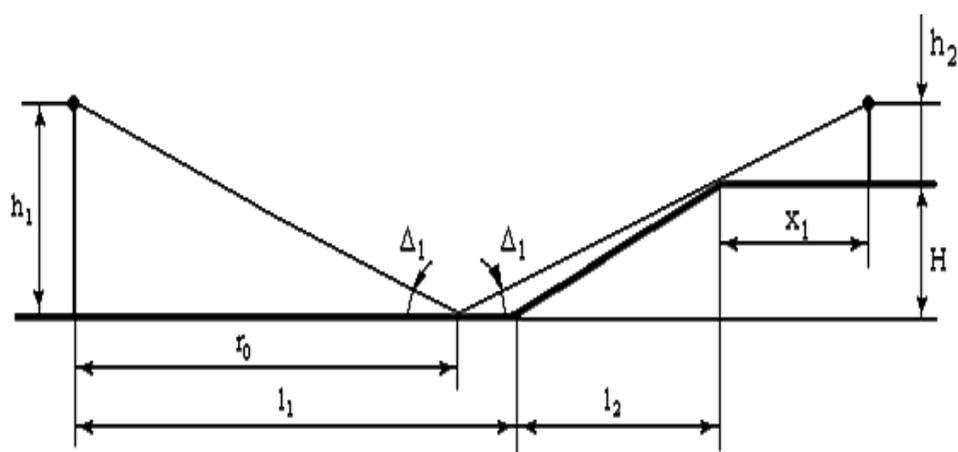
## Результаты измерений

На рис. 1 приведена измеренная зависимость напряжений на входе радиоприемника от дальности, когда изменения высот местности при удалении от радиопередатчика можно аппроксимировать моделью, показанной на рис. 2. Для излучения радиоволн применялась антенна с высотой подвеса  $h_1 = 32$  м, вертикальной поляризацией и круговой диаграммой направленности (ДН)

по азимуту. Напряжения на входе приемника измерялись антенной с высотой подвеса  $h_{2м} = 3$  м. Для условий рис. 1 характерны следующие параметры модели рис. 2:  $H = 34$  м – высота склона,  $x_1 = 1500$  м – длина верхнего плоского участка,  $l_2 = 1800$  м – длина склона. Значения  $U_{вх}$  связаны с напряженностью поля  $E$  через известный коэффициент, зависящий от параметров приемного антенно-фидерного тракта [3]. Представленная в работе [4–6] программа позволяет рассчитывать напряжения на входе приемников  $U_{вх}$ .



**Рис. 1.** Измеренные ( $\square$ ) и рассчитанные (3 кривые) зависимости напряжений на входе приемника  $U_{вх}$  от расстояний

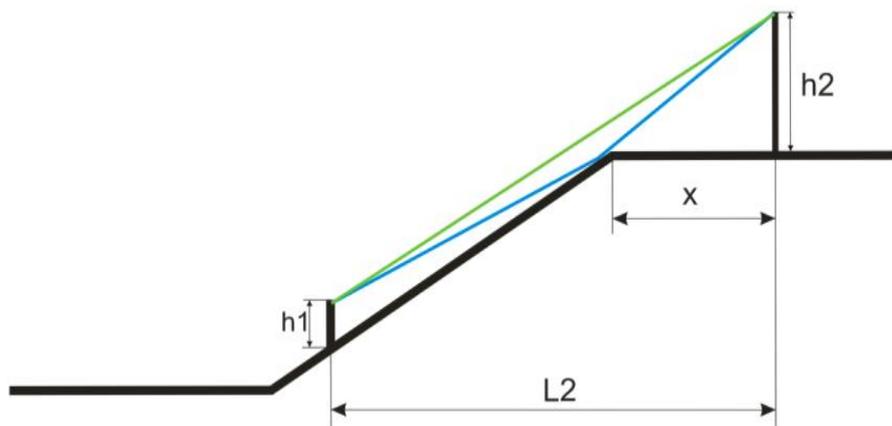


**Рис. 2.** Модель для профиля рельефа местности

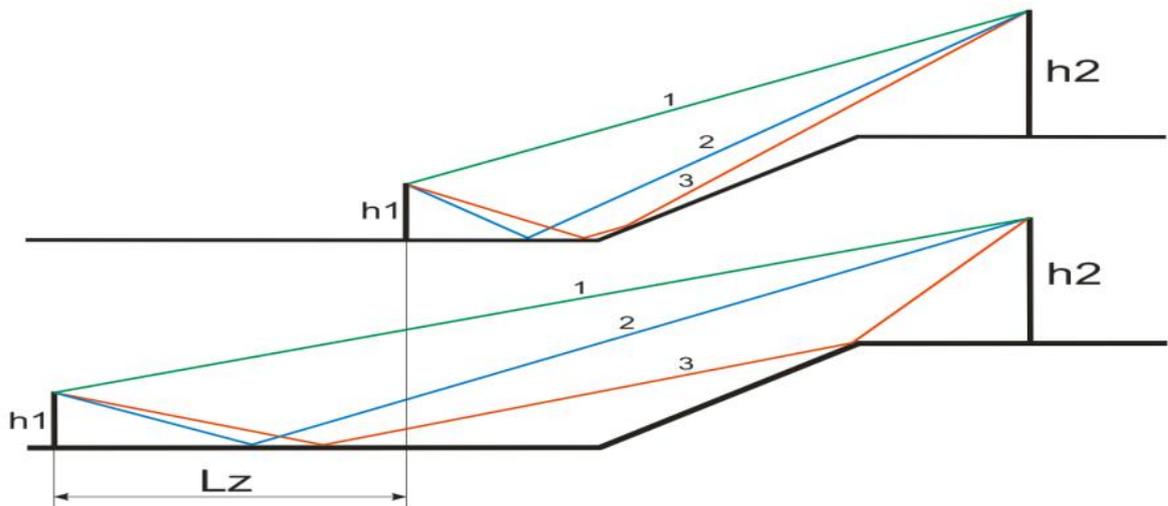
Результаты расчетов по программе [6] приведены на рис. 1 без учета рельефа местности, где толстая сплошная линия соответствует затуханию радиоволн в свободном пространстве. Суммирование выполнено с учетом фаз лучей и коэффициентов отражения радиоволн от поверхности Земли для почв с разными проводимостями [7]. На рис. 1 измеренные значения  $E$  для  $r > 1$  км падают быстрее расчетных, особенно резко для  $r > 1,5$  км, когда до  $r \approx 2,9$  км прием отсутствовал, после чего наблюдался рост измеренных  $E$ , когда для  $r \approx 3,3$  км значения  $E$  были больше рассчитанных для свободного пространства. Затем опять наблюдалось уменьшение  $E$ , но для  $r > 3,7$  км результаты измерений  $E$  опять были близки к расчетным значениям.

### Характеристики траекторий УКВ радиоволн

Анализ зависимостей уровня сигнала и дальности распространения начинается с двух лучей, когда имело соответствие с двухлучевой модели формирования поля УКВ. По формулам выполнен анализ поля с учетом двух и трёх лучей. Два луча, отраженные от склона и имеющих противоположные фазы, приводят к напряженности поля существенно меньше (рис. 3), чем на основе двухлучевой модели [2]. Такой эффект выражен с 1,6 км до 2,8 км. Затем происходит усиление поля. Интервал приема соответствовал измерениям, а амплитуда сигнала соответствовала условию трех лучей, причем два луча имеют почти равные фазовые сдвиги. Лучи, отраженные от склона длиной 1,8 км, суммируются в интервал дальностью 0,3 км, что приводит к усилению поля (рис. 4). Заканчивается анализ дальности распространения приемом двух лучей, когда имело соответствие сигнала с двухлучевой моделью формирования поля.



**Рис. 3. Сложение прямой волны и волны, отраженной склоном**



**Рис. 4. Формирование поля при сложении трех лучей**

С учетом приближения геометрической оптики выполнен анализ для трех лучевой модели, когда два горизонтальных участка разделены склоном. Амплитуды и фазы сигнала считались точно, что необходимо для расчета суммарной амплитуды.

#### **Расчет напряженности поля для модели рельефа местности**

Для построения графика амплитуды сигнала в зависимости от дальности применялась программа. Выражение для напряженности поля волны 3 имеет вид:

$$E_3 * \exp[-j * \beta_\varphi] = \frac{\sqrt{30P_{изл} * КНД}}{\Delta r} * F(\theta_3) * |R_{RB}| * \exp\left[-j\left(\varphi_{RB} + \frac{2\pi * \Delta r}{\lambda}\right)\right] \left[\frac{B}{M}\right],$$

где  $R_{RB}$  и  $\varphi_{RB}$  – модуль и фаза коэффициента отражения от поверхности Земли, которые рассчитываются из геометрических характеристик соответствующих лучей для заданных диэлектрических проницаемостей и проводимостей почвы,  $r$  – расстояние между приемной и передающей антеннами,  $\Delta r$  – разность длины прямого и отраженного лучей,  $P_{изл}$  – мощность излучения радиопередатчика, Вт, КНД – коэффициент направленного действия передающей антенны,  $F(\theta)$  – нормированная диаграмма направленности (ДН) в вертикальной плоскости.

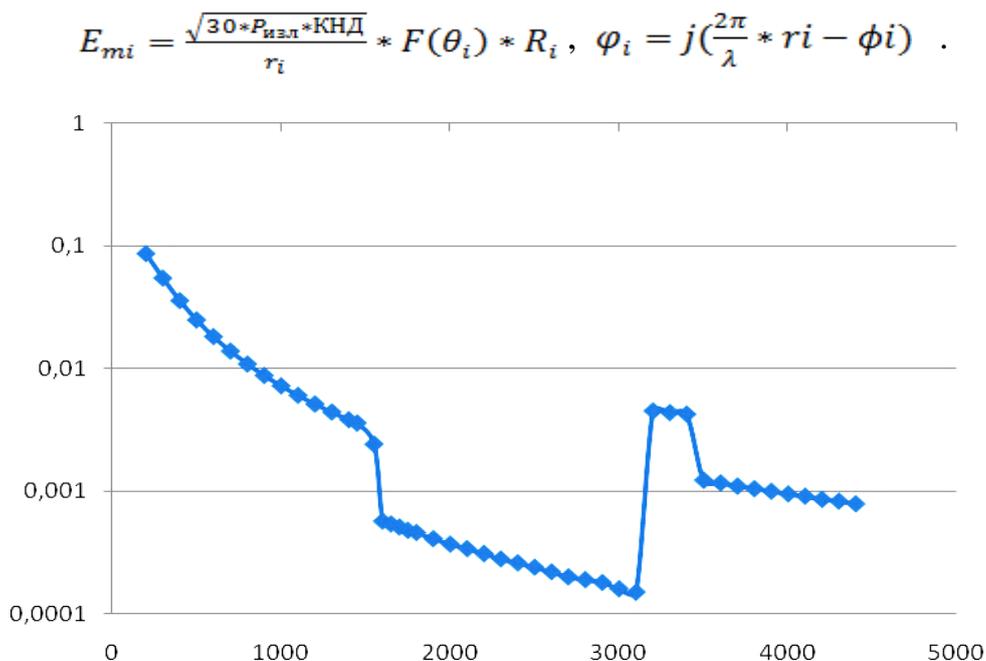
Комплексную напряженность поля суммарной волны найдем:

$$\dot{E} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_3, \quad \text{где}$$

$$\dot{E} = E_{m1} * e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda} * r1\right)} + E_{m2} * e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda} * r2 - \phi1\right)} + E_{m3} * e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda} * r3 - \phi2\right)}$$

В результате тригонометрических преобразований получим:

$$|\dot{E}| = \sqrt{E_{m1}^2 + E_{m2}^2 + E_{m3}^2 + 2 * E_{m1} * E_{m2} * \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + 2 * E_{m2} * E_{m3} * \cos(\varphi_2 - \varphi_3) + 2 * E_{m1} * E_{m3} * \cos(\varphi_1 - \varphi_3)} \quad [B/M],$$



**Рис. 5. Рассчитанные напряженности поля (относительные единицы) в зависимости от расстояний**

### Обсуждение полученных результатов

Удалось обеспечить качественное согласие результатов расчётов и результатов измерений, что видно на рис. 5. Можно улучшить согласие расчетных и результатов измерений, для чего нужно перейти модели, которая лучше описывает ровные участки, а также склон между ними. Например, Фурье преобразование рельефа местности с применением усложнённой процедуры расчета [8] вплоть до решения волновой задачи. В первую очередь, усиление наблюдаемого сигнала связано с дифракцией на клине [9]. Сдвиги фаз в условиях интерференции лучей полезно рассчитывать на основе работы [10].

### Заключение

Дано объяснение, что главная причина ослабления поля связана с интерференцией двух отраженных от склона лучей, для которой уровень поля меньше двухлучевой модели. Главная причина усиления амплитуд сигнала связана с фокусировкой отраженных от склона двух лучей на меньшее расстояние, чем длина склона. На рис. 5 имеют место два эффекта: 1) напряженности поля на дальностях 1 км – 2,9 км существенно ослаблены; 2) от 3 км до 3,5 км поле усилено по сравнению с нормальным уменьшением напряженности поля. На рис. 5 воспроизводятся два этих эффекта в напряженности поля УКВ.

### Библиографический список

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М. : Связь, 1972. – 336 с.
2. Агарышев А.И. Особенности формирования поля УКВ с учетом отраженных от уклонов местности / А.И. Агарышев, К.Н. Бабенков, А.Г. Зверев // XXIII Всеросс. научная конф. «Распространение радиоволн», 23–26 мая 2011 г. [сб. докл.] в 3 т./Д.С. Лукин [и др.].– Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. Т. 2.–С. 13–17.
3. Драбкин А.Л. Антенно-фидерные устройства /А.Л. Драбкин, В.Л. Зузенко, А.Г. Кислов. – М.: Сов. Радио, 1974. – 536 с.
4. Агарышев А.И. Анализ измеренных и рассчитанных напряженностей поля радиоволн УКВ диапазона /А.И. Агарышев, В.Г. Власов, В.Л. Куклин // Вестник ИрГТУ. – 2009. – № 4 (40). – С. 189 – 192.
5. Агарышев А.И. Программная реализация точности напряженности поля радиоволн на основе двухлучевой формирования поля /А.И. Агарышев, В.Л. Куклин // XXIV Всероссийская науч. конф. «Распространение радиоволн», 29 июня – 05 июля 2014 г. : [сб. докл]: в 4 Т./ред.: Д.С. Лукин [и др.] – Иркутск: ИСЗФ СОРАН. – 2014. – Т. 2. – С. 76 – 79.
6. Программа расчета напряженностей поля радиоволн УКВ диапазона на основе двухлучевой интерференционной модели формирования поля //Агарышев А.И., Куклин В.Л. Свидетельство о государств. регистрации программ для ЭВМ №2912660693. Зарегистрировано в реестре программ ЭВМ 28 ноября 2012 г.
7. Гантимуров А.Г. Электродинамические характеристики проводящих и полупроводящих сред / А.Г. Гантимуров, Ю.Б. Башкуев. – Улан-Удэ : изд-во Бурятского государственного университета, 2007. – 100 с.
8. Donohue D.J. Propagation modeling over terrain using the parabolic wave equation / D.J. Donohue, J.R. Kuttler. IEEE Trans // Antennas Propagat. 2000, vol. 42, No. 2. – P. 260–277.
9. CCIR. Report 715-2, Propagation by diffraction. – Recommendation and reports, XVII Plenary assembly, Dusseldorf, 1990.
10. Afanasiev N.T. Phase fluctuations of radio waves experiencing total reflection from a randomly inhomogeneous plasma layer / N.T. Afanasiev, A.N. Afanasiev, O.A. Larunin, V.P. Markov // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2010. Vol. 72, issue 7–8. P. 583–587.

## РАСЧЕТ КООРДИНАТ ОДНОЧАСТОТНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ

Агарышев А.И., Симоненко А.М.

aai.irk@mail.ru, sima92@ya.ru

**Введение.** Цель разработанного алгоритма заключается в решении задачи моделирования случайных отклонений указанных выше координат приёмника  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $Z$  от их средних значений  $\lambda_0$ ,  $\varphi_0$ ,  $Z_0$ . Эти отклонения обусловлены случайными ошибками измерения псевдодальностей до навигационных космических аппаратов (НКА).

Введём следующие обозначения:  
 $\lambda_0$  – средняя географическая долгота навигационного приемника;  
 $\varphi_0$  – средняя географическая широта навигационного приемника;  
 $Z_0$  – средняя высоты приёмника над уровнем моря;  $R_E = 6371$  км – радиус Земли;

$H = 20145$  км – высота круговых орбит спутников GPS;

$\beta_i$  – углы возвышения  $i$ -ого спутника;  $A_i$  – азимутальный  $i$ -ого спутника;

$\lambda_i$  – долгота  $i$ -ого спутника;  $\varphi_i$  – широта  $i$ -ого спутника;

$\alpha_i$  – центральный угол между приёмником и  $i$ -ым спутником.

Средние значения  $\lambda_0$ ,  $\varphi_0$ ,  $Z_0$  можно получить в результате статистической обработки массивов результатов измерений. Для оценки случайных ошибок измерений координат используем также значения углов возвышения  $\beta_i$  спутника с номером  $i$  и соответствующие значения азимутальных углов  $A_i$ , который получает приёмник в навигационных сообщениях. Эти сообщения формируются по данным наземных пунктов управления системой и передаются каждому спутнику.

### Блок расчета геоцентрических координат НКА

Вначале рассчитаем центральные углы между точкой наблюдения и каждым из спутников.

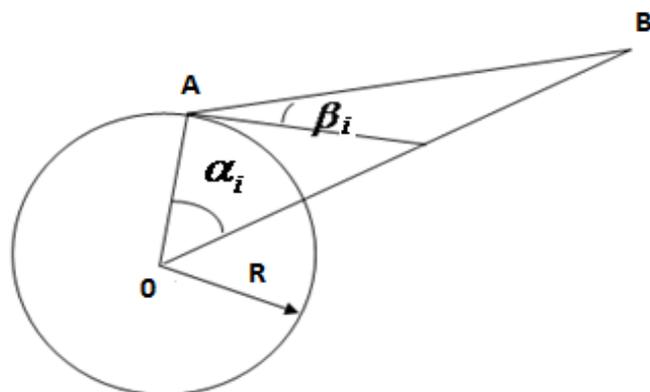


Рис. 1. Соотношения для расчета координат НКА

Из закона синусов для треугольника OAB следует:

$$\frac{R_E + H}{\cos \beta_i} = \frac{R_E + Z_0}{\sin(\beta_i + \alpha_i)}, \text{ подстановка } \frac{R_E + Z_0}{R_E + H} = B,$$

$$\text{Имеем } B = \frac{\sin(\beta_i + \alpha_i)}{\cos \beta_i}, B < 1,$$

$$B = \frac{\cos \beta_i \cos \alpha_i - \sin \beta_i \sin \alpha_i}{\cos \beta_i} = \cos \alpha_i - \operatorname{tg} \beta_i \sin \alpha_i,$$

$$(B + \operatorname{tg} \beta_i \sin \alpha_i)^2 = 1 - \sin^2 \alpha_i,$$

$$B^2 + 2B \operatorname{tg} \beta_i \sin \alpha_i + (B \operatorname{tg} \beta_i \sin \alpha_i)^2 - 1 + \sin^2 \alpha_i = 0,$$

$$\sin \alpha_i = -B \operatorname{tg} \beta_i + \sqrt{B^2 \operatorname{tg}^2 \beta_i + 1 - B^2} = \sqrt{B^2 \operatorname{tg}^2 \beta_i + 1 - B^2} - B \operatorname{tg} \beta_i.$$

Найдем долготы и широты спутника по известным формулам сферической тригонометрии:

$$\sin \varphi_i = \cos A_i \cos \varphi_0 \sin D_i + \cos D_i \sin \varphi_0 = T, \text{ где } D_i = R_E \alpha_i.$$

При условии  $\frac{-\pi}{2} \leq \varphi_i \leq \frac{\pi}{2}$  рассмотрим следующие случаи:

$$\text{если } T = 1 \text{ то } \varphi_i = \frac{\pi}{2}, \text{ если } T = -1 \text{ то } \varphi_i = -\frac{\pi}{2},$$

$$\text{если } -1 < T < 1, \text{ то } \varphi_i = \operatorname{Arc} \tan\left(\frac{T}{\sqrt{1-T^2}}\right).$$

$$\text{Долгота } i\text{-ого спутника равна: } \lambda_i = \lambda_0 + \arcsin\left(\frac{\sin A_i \sin D_i}{\cos \varphi_i}\right) = \lambda_0 + K.$$

$$\text{При } 0 \leq \lambda_i \leq 2\pi \text{ на следующие случаи, если } K = 1 \text{ то } \lambda_i = \frac{\pi}{2} + \lambda_0,$$

$$\text{если } K = -1 \text{ то } \lambda_i = -\frac{\pi}{2} + \lambda_0, \text{ если } 0 < K < 1,$$

$$\lambda_i = \operatorname{Arc} \tan\left(\frac{K}{\sqrt{1-K^2}}\right) + \lambda_0, \lambda_i = \pi - \operatorname{Arc} \tan\left(\frac{K}{\sqrt{1-K^2}}\right) + \lambda_0, \text{ если}$$

$$-1 < K < 0, \lambda_i = \operatorname{Arc} \tan\left(\frac{K}{\sqrt{1-K^2}}\right) + \lambda_0, \lambda_i = \operatorname{Arc} \tan\left(\frac{-K}{\sqrt{1-K^2}}\right) + \lambda_0 + \pi.$$

Согласно известные формулам преобразования координат из географической в геоцентрическую систему координат:

$$a = 6378245; \alpha = 1/298.3;$$

$$e = \sqrt{2 \cdot \alpha - \alpha^2}; N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(B_i)}};$$

$$X_i = (N + H) \cdot \cos(B_i) \cdot \cos(L_i); Y_i = (N + H) \cdot \cos(B_i) \cdot \sin(L_i);$$

$$Z_i = ((1 - e^2) \cdot N + H) \cdot \sin(B_i);$$

$B_i, L_i, H_i$  – широта, долгота, высота  $i$ -ого спутника в географической системе координат;  $X_i, Y_i, Z_i$  – координаты  $i$ -ого спутника в прямоугольной системе координат.

## Блок расчета ошибки определения географических координат приемной антенны

Запишем известное выражение [1] для псевдодальностей  $R_i$  с учётом ошибок их определения  $\delta i(\beta)$ . С учетом известных координат  $\Delta_X, \Delta_Y, \Delta_Z$  необходимо решить уравнений вида:

$$\begin{aligned} R_1 + \delta(\beta_1) &= \sqrt{(x_1 - x_0 + \Delta_X)^2 + (y_1 - y_0 + \Delta_Y)^2 + (z_1 - z_0 + \Delta_Z)^2} \\ R_2 + \delta(\beta_2) &= \sqrt{(x_2 - x_0 + \Delta_X)^2 + (y_2 - y_0 + \Delta_Y)^2 + (z_2 - z_0 + \Delta_Z)^2} , \\ R_3 + \delta(\beta_3) &= \sqrt{(x_3 - x_0 + \Delta_X)^2 + (y_3 - y_0 + \Delta_Y)^2 + (z_3 - z_0 + \Delta_Z)^2} \end{aligned}$$

$$R_i + \delta(\beta_i) = \sqrt{(x_i - x_0 + \Delta_X)^2 + (y_i - y_0 + \Delta_Y)^2 + (z_i - z_0 + \Delta_Z)^2}$$

$$(R_i)^2 + (\delta(\beta_i))^2 + 2 \cdot R_i \cdot \delta(\beta_i) = (x_i - x_0)^2 + 2 \cdot (x_i - x_0) \cdot \Delta_X + (\Delta_X)^2 + (y_i - y_0)^2 + 2 \cdot (y_i - y_0) \cdot \Delta_Y + (\Delta_Y)^2 + (z_i - z_0)^2 + 2 \cdot (z_i - z_0) \cdot \Delta_Z + (\Delta_Z)^2$$

$$\delta(\beta_i) \square R_i \rightarrow (R_i)^2 + (\delta(\beta_i))^2 + 2 \cdot R_i \cdot \delta(\beta_i) \approx (R_i)^2 + 2 \cdot R_i \cdot \delta(\beta_i)$$

$$\Delta_X \square x_i \rightarrow (x_i - x_0)^2 + 2 \cdot (x_i - x_0) \cdot \Delta_X + (\Delta_X)^2 \approx (x_i - x_0)^2 + 2 \cdot (x_i - x_0) \cdot \Delta_X$$

$$\Delta_Y \square y_i \rightarrow (y_i - y_0)^2 + 2 \cdot (y_i - y_0) \cdot \Delta_Y + (\Delta_Y)^2 \approx (y_i - y_0)^2 + 2 \cdot (y_i - y_0) \cdot \Delta_Y$$

$$\Delta_Z \square z_i \rightarrow (z_i - z_0)^2 + 2 \cdot (z_i - z_0) \cdot \Delta_Z + (\Delta_Z)^2 \approx (z_i - z_0)^2 + 2 \cdot (z_i - z_0) \cdot \Delta_Z$$

$$(R_i)^2 + 2 \cdot R_i \cdot \delta(\beta_i) = (x_i - x_0)^2 + 2 \cdot (x_i - x_0) \cdot \Delta_X + (y_i - y_0)^2 + 2 \cdot (y_i - y_0) \cdot \Delta_Y + (z_i - z_0)^2 + 2 \cdot (z_i - z_0) \cdot \Delta_Z$$

$$(R_i)^2 = (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2$$

Получим линейную систему уравнений трех переменных:

$$R_i \cdot \delta(\beta_i) = (x_i - x_0) \cdot \Delta_X + 2 \cdot (y_i - y_0) \cdot \Delta_Y + 2 \cdot (z_i - z_0) \cdot \Delta_Z, \quad i = \overline{1:3}.$$

Решение этой системы имеет вид:

$$D = \begin{vmatrix} x_1 - x_0 & y_1 - x_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - x_0 & z_2 - z_0 \\ x_3 - x_0 & y_3 - x_0 & z_3 - x_0 \end{vmatrix}$$

$$D_X = \begin{vmatrix} R_1 \cdot \delta_1 & y_1 - x_0 & z_1 - z_0 \\ R_2 \cdot \delta_2 & y_2 - x_0 & z_2 - z_0 \\ R_3 \cdot \delta_3 & y_3 - x_0 & z_3 - x_0 \end{vmatrix}$$

$$D_Y = \begin{vmatrix} x_1 - x_0 & R_1 \cdot \delta_1 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & R_2 \cdot \delta_2 & z_2 - z_0 \\ x_3 - x_0 & R_3 \cdot \delta_3 & z_3 - x_0 \end{vmatrix};$$

$$D_Z = \begin{vmatrix} x_1 - x_0 & y_1 - x_0 & R_1 \cdot \delta_1 \\ x_2 - x_0 & y_2 - x_0 & R_2 \cdot \delta_2 \\ x_3 - x_0 & y_3 - x_0 & R_3 \cdot \delta_3 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_x = \frac{D_x}{D}; \Delta_y = \frac{D_y}{D}, \Delta_z = \frac{D_z}{D}$$

### Расчет ошибки определения географических координат

На первом пункте мы найдем ошибки определения координат приемника в прямоугольной пространственной системе координат. На этом пункте мы должны перевести эти ошибки в географическую систему координат. Алгоритм преобразования прямоугольных пространственных координат в географическую систему координат основан на использовании вспомогательной величины

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

при анализе, если, то  $D = 0$ , то

$$B = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{Z}{|Z|}$$

$$H = Z \cdot \sin(B) - a \cdot \sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(B)},$$

если  $D \neq 0$  при

$$Y < 0, X > 0$$

$$L = 2\pi - L_a,$$

при

$$Y > 0, X > 0$$

$$L = L_a,$$

$$Y < 0, X < 0$$

$$\text{при } L = \pi + L_a,$$

при

$$Y = 0, X > 0$$

$$\text{при } L = 0,$$

$$Y > 0, X < 0$$

$$\text{при } L = \pi - L_a,$$

при

$$Y = 0, X < 0$$

$$\text{при } L = \pi,$$

где

$$L_a = \left| \text{Arc sin} \left( \frac{Y}{D} \right) \right|.$$

Анализируют значение  $Z$ , если  $Z=0$  то

$$B = 0$$

$$H = D - L_a.$$

Во всех других случаях вычисления выполняют следующим образом. Находят вспомогательные величины  $r$ ,  $s$ ,  $p$  по формулам:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$c = \text{Arc sin}\left(\frac{Z}{r}\right)$$

$$p = \frac{e^2 \cdot a}{2 \cdot r}$$

и реализуют итеративный процесс, используя вспомогательные величины  $s1$  и  $s2$

$$s1 = 0, \quad b = c + s1 \quad (*),$$

$$s2 = \text{Arc sin}\left(\frac{p \cdot \sin(2 \cdot b)}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(b)}}\right)$$

$$d = |s2 - s1|$$

Если значения  $d$  меньше установленного значения допуска, то

$$B = d$$

$$H = D \cdot \cos(B) + Z \cdot \sin(B) - a \cdot \sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(B)}$$

Если значение  $d$  равно или больше установленного значения допуска, то

$$s1 = s2$$

и вычисления повторяют.

Применим высший алгоритм: сначала мы перевели расчетные пространственные координаты приемника в географические координаты:

$$X + \Delta_x, Y + \Delta_y, Z + \Delta_z \rightarrow \lambda_A, \beta_A, H_A$$

Потом найти разности по долготе, широте и высоте между расчетными и истинными координатами:

$$\Delta_B = \lambda - \lambda_A$$

$$\Delta_L = \beta - \beta_A$$

$$\Delta_H = H - H_A$$

Обозначим отклонения широты от среднего местоположения антенны приёмника в метрах  $\delta_N$ , отклонения долготы от среднего местоположения антенны приёмника в метрах  $\delta_L$ . Имеем:

$$\delta_N = 1849 \cdot \Delta_B$$

$$\delta_L = 1136 \cdot \Delta_L$$

где коэффициенты пересчёта определялись из размеров полуосей земного эллипсоида  $6356863\text{м} \times 2\pi / (360 \times 60) = 1849$  м на угловую минуту вдоль меридиана и  $6378245\text{м} \times 2\pi \times \cos\varphi / (360 \times 60) = 1136$  м на одну угловую минуту вдоль параллели, где  $\varphi = 52.263181^\circ$  – средняя географическая широта пункта наблюдений.

Наконец, найдем суммарное отклонения от среднего местоположения антенны приёмника в горизонтальной плоскости определяется:

$$\delta = \sqrt{\delta_N^2 + \delta_L^2}$$

Найти минимальное значение угла возвышения из трех входных значений угла возвышения и построен график зависимости ошибки определения географических координат  $\delta$  от минимального значения угла возвышения  $\beta_{\min}$ :

$$\delta = F(\beta_{\min}).$$

Входными данными алгоритма являются: функция зависимости погрешности измерения дальности от  $\beta_i$ ; географические долгота, широта, высота антенны приемника; диапазон значений угла  $\beta_i$  ( $i=1,2,3$ ); диапазон значений угла азимута  $A_i$  ( $i=1,2,3$ ); количество повторений  $N$ .

### Описание разработанного алгоритма

Программа состоит из следующих блоков – блоков задания закона зависимости погрешности измерения дальности от  $\beta_i$ . В отличие от известных дальность алгоритмов зависит от угла возвышения  $\beta_i$  по линейному закону:

$$\mathcal{D}_i(\beta_i) = B_0 - B \cdot \frac{\beta_i}{90}.$$

Блок задания входных значений углов азимута и возвышения спутников, блок расчета пространственных прямоугольных координат спутника, блок синтеза, в котором выполняются следующие операции: решение системы линейных уравнений и нахождение суммарного среднего квадратического отклонения определения координат приемника, нахождение минимального угла возвышения из трех входных значений угла возвышения, построение графика зависимости суммарного среднего квадратического отклонения определения координат от значения минимального угла возвышения. Блок-схема и принцип действия разработанной программы показана на рисунке 2.

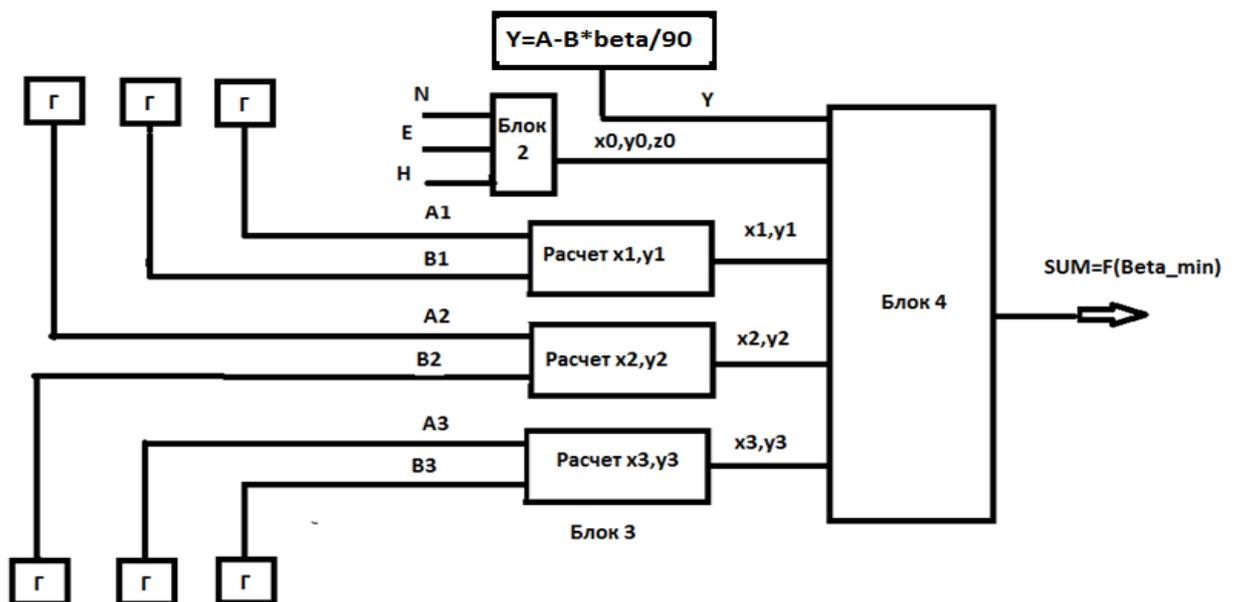


Рис. 2. Блок-схема разработанной программы

Входными данными алгоритма являются.

- Функция зависимости погрешности измерения дальности от углов возвышения.
- Географические долгота, широта, высота антенны приемника.
- Диапазон значений угла возвышения первого спутника.
- Диапазон значений угла азимута первого спутника.
- Диапазон значений угла возвышения второго спутника.
- Диапазон значений угла азимута второго спутника.
- Диапазон значений угла возвышения третьего спутника.
- Диапазон значений угла азимута третьего спутника.
- Количество повторений  $N$ .

Программа состоит из следующих блоков:

- Блок задания закона зависимости погрешности измерения дальности от углов возвышения.
- Блок задания входных значений углов азимута и возвышения спутников.
- Блок расчета пространственных прямоугольных координат спутника.

Блок синтеза, в котором выполняются следующие операции:  
решение системы линейных уравнений и нахождение суммарного среднего квадратического отклонения определения координат приемника, нахождение минимального угла возвышения из трех входных значений углов возвышения.

Построение графика зависимости суммарного среднего квадратического отклонения определения координат от значения минимального угла возвышения. В целом программа работает по следующему принципу. После запуска программы выполняется  $N$  расчетов ( $N \sim 100$  раз) при автоматическом выборе случайных значений для каждого угла спутников в соответствующих интервалах значений. Затем находится минимальное значение угла возвышения и соответствующее ему суммарное среднее квадратическое отклонение от истинных координат приемника. После  $N$  раз расчетов строится график зависимости суммарного среднего квадратического отклонения определения координат приемника от значения минимального угла возвышения.

### **Описание эксперимента**

Измерения проводились радиоприёмником Garmin GPSmap 60C, подключенным к ПК с помощью специально разработанной программы. Измерения велись сеансами длительностью  $\approx 30$  с в различные дни и часы суток.

**Таблица 1. Пример регистрации данных радиоприёмником СРНС GPS**

AM	PDOP	d	n	N	E	h	A3	b3	a3
2:53:46	4,1	8,9	6	7975	6857	484,4	44	60	77
2:53:48	4,1	8,9	6	7974	6857	485,1	44	60	77
2:53:50	4,5	10,1	6	7974	6857	484,6	43	60	77
2:53:52	4,1	8,9	6	7974	6858	484,1	43	60	77
2:53:54	4,1	8,9	6	7974	6858	483,7	43	60	77
2:53:56	4,1	8,9	6	7974	6858	483,4	43	60	77
2:53:58	4,1	8,9	6	7974	6858	483,4	44	60	77
2:54:00	4,1	8,9	6	7974	6858	483,5	44	60	77
2:54:02	4,1	8,9	6	7974	6858	483,8	44	60	77
2:54:04	4,1	8,9	6	7974	6858	483,9	44	60	77
A6	b6	a6	A7	b7	a7	A16	b16	a16	A19
46	49	66	43	72	274	44	14	82	49
46	49	66	43	72	274	44	13	82	49
46	49	66	42	72	274	44	13	82	49
45	49	66	41	72	274	44	13	82	49
45	49	66	41	72	274	44	13	82	49
45	49	66	41	72	274	43	13	82	49
45	49	66	41	72	274	44	13	82	49
45	49	66	41	72	274	43	13	82	49
45	49	66	41	72	274	43	13	82	49
45	49	66	42	72	274	43	13	82	49
b19	a19	A25	b25	a25					
67	146	52	73	191					
67	146	52	73	191					
67	146	52	73	191					
67	146	52	73	191					
67	146	52	73	191					
67	146	52	73	191					
68	144	53	73	191					
68	144	53	73	191					
68	144	53	73	191					
68	144	53	73	191					

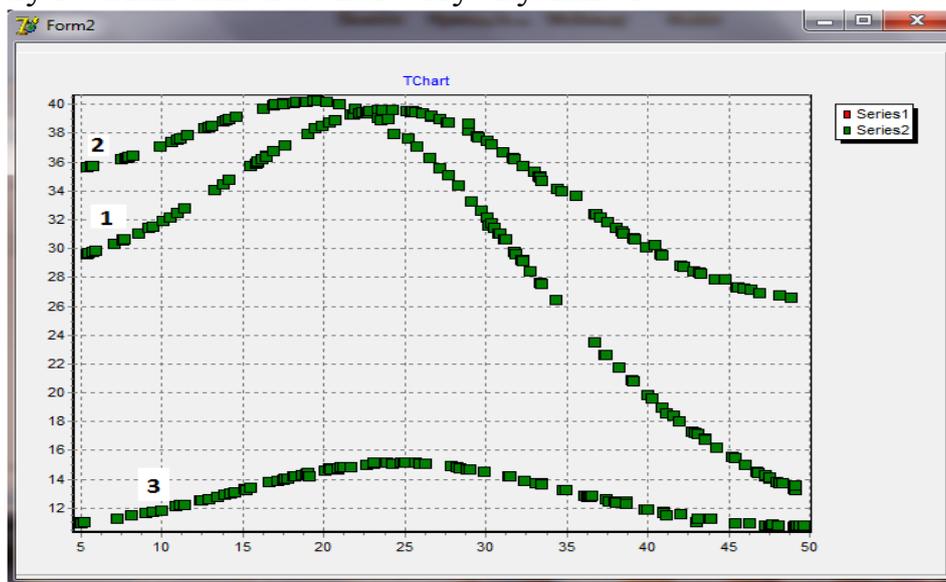
В таблице 1 использованы следующие обозначения: AM – среднеамериканское время (часы, минуты, секунды); PDOP – геометрический фактор точности; d – оценка точности измерений, м; n – число НКА для данного сеанса измерений (номера НКА указаны в таблице после A, b, a); N, E – последние цифры широты и долготы (десятая, сотая, тысячная и десятитысячная доли угловой минуты); H – высота приёмной антенны над уровнем моря, м; A – уровень сигнала, дБ; b – угол возвышения НКА от горизонтальной плоскости (в градусах); a – азимутальный угол НКА от направления на север через восток (в градусах).

Измерения проводились внутри здания в условиях частичного экранирования НКА. Для увеличения числа НКА с уверенным приёмом радиосигналов использовалась приёмная антенна, которая с помощью специальной штанги выдвигалась на  $\approx 5$  м за пределы здания.

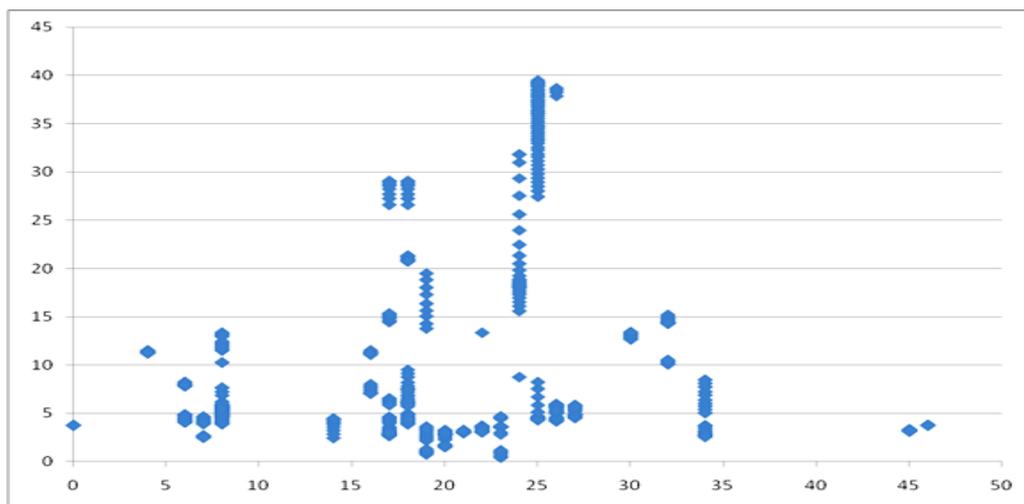
Из таблицы 1 видно, что для сеанса длительностью  $\approx 20$  с измеренные значения географических координат практически не меняются, а от-

клонения измеренных высот от средней высоты для этого сеанса не превышают 1.7 м. 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  $\Delta_{Ej} = E_j - E_C, \Delta_{Nj} = N_j - N_C, \Delta_{Hj} = H_j - H_C$ .

Затем по угловым отклонениям вдоль меридиана  $\Delta_{Nj}$  и параллели  $\Delta_{Ej}$  рассчитывались соответствующие отклонения от среднего местоположения антенны приёмника в метрах  $\delta_{Nj} = 1849\Delta_{Nj}, \delta_{Ej} = 1136\Delta_{Ej}$ , где коэффициенты пересчёта определялись из размеров полуосей земного эллипсоида [1]:  $6356863\text{м} \times 2\pi / (360 \times 60) = 1849$  м на угловую минуту вдоль меридиана и  $6378245\text{м} \times 2\pi \times \cos\varphi / (360 \times 60) = 1136$  м на одну угловую минуту вдоль параллели, где  $\varphi = 52.263181^\circ$  – средняя географическая широта пункта наблюдений. Для каждого сеанса определялись также измеренные отклонения от среднего местоположения антенны приёмника в горизонтальной плоскости  $\delta_j = (\delta_{Nj}^2 + \delta_{Ej}^2)^{1/2}$  в метрах и в соответствии минимальному углу возвышения и количеству спутников.



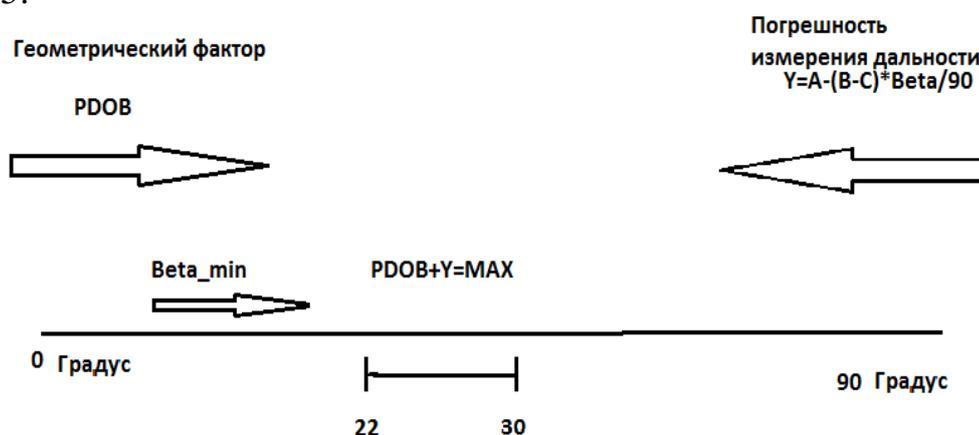
**Рис. 3. Результаты моделирования:  
 кривая 1 погрешность 19–14  $\beta_{min} / 90$  м,  
 кривая 2 – погрешность 24 м,  
 кривая 3 – погрешность 7 – 6  $\beta_{min} / 90$  м**



**Рис. 4. Зависимость СКО определения координат в горизонтальной плоскости (м) от минимального угла возвышения  $\beta_{min}$  при пяти спутниках**

### Анализ результатов измерений

Из рисунков 2,3 видно, что ошибка определения географических координат приемника максимальна, когда минимальный угол возвышения находится в интервале от 22 до 30 градусов, что возможно при  $\beta_{min} < 22^\circ$  точность определения координат АП улучшается благодаря хорошему геометрическому фактору, а при  $\beta_{min} > 30^\circ$  эта точность улучшается благодаря малому влиянию ионосферы на точность определения псевдодальности, только в интервале от 22 градуса до 30 градуса оба геометрического фактора и влияния ионосферы на точность определения псевдодальности представляются неблагоприятным. Поэтому в этом интервале ошибка определения географических координат АП максимальна, что видно из рисунка 5.



**Рис. 5. Геометрический фактор и погрешность измерения дальности**

В результате сравнения результатов измерений (рис. 4) с результатами моделирования (рис. 3) получим два вывода:

1) кривая 1 с учетом влияния ионосферы на ошибку измерения псевдодальности имеет фигуру, которая больше похожа на результаты измерений, чем кривая 2 – без учета влияния;

2) в области от 20 до 30 высоты углов приема ошибка определения географических координат радиоприемника максимальна.

**Выводы.**

Из полученных результатов эксперимента и моделирования по разработанной программе можно сделать вывод: Минимальный угол возвышения влияет на ошибку определения географических координат АП и ошибка максимальна когда минимальный угол возвышения находится в интервале от 22 до 30 градуса.

Учет зависимости ошибки измерения псевдодальности от угла возвышения позволяет улучшить соответствие результатов моделирования и результатов измерений.

Для повышения точности определения координат навигационных приемников возможно и целесообразно учитывать изменения параметров ионосферы между приемником и ИСЗ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в результате выполнения дипломного проекта получены следующие основные результаты:

1) Выполнен анализ экспериментальных данных и обнаружена зависимость точности определения координат от углов наблюдения навигационных космических аппаратов.

2) Разработан алгоритм и программа расчета ошибок определения координат одночастотных радиоприемников СРНС с учетом угловых координат навигационных космических аппаратов и горизонтальной неоднородности ионосферы.

3) Выполнен совместный анализ результатов измерений и результатов моделирования по разработанной программе, на основе чего показана возможность интерпретации обнаруженной зависимости точности определения координат от углов наблюдения навигационных космических аппаратов.

4) Показано, что для повышения точности определения координат навигационных приемников возможно и целесообразно учитывать изменения параметров ионосферы между приемником и ИСЗ.

5) Показано, что учет зависимости ошибки измерения псевдодальности от угла возвышения позволяет улучшить соответствие результатов моделирования и результатов измерений.

## **Библиографический список**

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. Под ред. В.С. Шибшаевича. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.

## **МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

**Губин Н.А., Григорьев К.А., Полетаев А.С., Ченский А.Г.** –научный  
руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
skb@istu.edu

Лесные пожары относятся к числу одних из наиболее катастрофических природных явлений. Например, в России ежегодно возникает очагов возгорания на общей площади от 2 до 12 млн. га, большая часть из которых приходится на Сибирь. По предварительной оценке Рослесхоза только в 2017 году материальный ущерб от пожаров составляет 9,5 миллиардов рублей. По подсчетам отделения Гринпис в России, цифра полученная Рослесхозом может быть занижена более чем в двести раз, а в действительности материальный ущерб может достигать суммы до одного триллиона рублей.

Самая большая проблема при проведении противопожарных мероприятий является не возможность точно локализовать зону возгорания в условиях недостаточной видимости традиционными средствами наблюдения. На текущий момент наиболее широко используется авиа и спутниковые системы мониторинга лесных пожаров, в которых в качестве источника информации используются изображения в нескольких спектральных каналах видимого, среднего ИК (3-5 мкм) и теплового ИК (7-13 мкм) диапазонов. Съёмки с борта авиа носителей имеют неоспоримые преимущества перед космическими съёмками, поскольку пользователь определяет наиболее подходящее время и продолжительность съёмок, конфигурацию (направление) трасс полетов, спектральное/пространственное разрешение, однако при сильном задымлении съёмка в инфракрасном диапазоне как со спутника так и с авиа носителя могут быть затруднены и не достаточно информативны, поскольку частицы горячей пыли также излучают в инфракрасном спектре и «затуманивают» сигналы более высоких частот инфракрасного диапазона. С другой стороны создаваемые пламенем радиоволны в диапазоне от 8 до 40 ГГц способны проникать через завесу из пыли и дыма, а значит, могут быть зафиксированы радиоприёмным устройством.

Разрабатываемое радиоприемное устройство для радиометрического мониторинга пожароопасных ситуаций, в лесных массивах на основе микроволнового радиометра имеет ряд преимуществ по сравнению с визуальными способами детектирования. Микроволновой радиометр может быть использован для определения точного расположения и локализации очагов возгорания: в труднодоступных и опасных для непосредственной работы человека районах, в условиях недостаточной видимости, когда не представляется возможным использование

традиционных средств визуального обнаружения т.к. радиометр не восприимчив к таким препятствиям, как туман, задымленность, листва крон деревьев и не имеет зависимости от времени суток.

Определение места очага возгорания, в сложных метеоусловиях и в условиях недостаточной видимости достигается за счет использования радиотехнических средств работающих в СВЧ диапазоне. Это обусловлено тем что тепловое излучение, создаваемое лесным пожаром, может быть определено в диапазоне длин волн 0.8-1.5 см, входящий в СВЧ диапазон, по интенсивности излучения. По сравнению с оптическим излучением радиоволны СВЧ диапазона, слабо преломляется и значительно меньше затухают в атмосфере, газах и аэрозолях, имеют большую проникающую способность через различные объекты.

На текущий момент устройств-аналогов работающих по такому же принципу с возможностью детектирование очагов лесных пожаров в условиях недостаточной видимости не существует. Работы по созданию похожей системы детектирования ведутся учеными из Института физики высоких частот и радарной техники имени Фраунхофера в г. Вахтберг, а также компанией ИНСИСТЕМ в городе Москва. Действующих образцов указанных разработок на текущий момент не было представлено.

- Создаваемый микроволновой радиометр, будет работать по принципу локатора, и будет состоять из СВЧ антенны, детектора, системы поворота антенны и информационно-измерительной системы.



Рисунок 1. Структурная схема радиометра

1 — антенная устройство; 2 — СВЧ усилитель; 3 — детектор;  
4 — информационно измерительная система

- Антенное устройство состоит из широкополосного рупорного облучателя АО6.27 и зеркальной антенной системы ЗА1 служащей для преобразование широкой диаграммы направленности облучателя в более узкую. Диаметр зеркала (рефлектора) антенной системы ЗА1 составляет 0,3м(офсет), а диаграмма направленности антенного устройства варьируется от 1,7 до 3,8 градуса в диапазоне частот облучателя. Облучатель выполнен на базе биортогонального Н-образного волновода и пирамидального квадратного рупора с ножевыми пластинами экспоненциальной формы, являющимися продолжением выступов Н-образного волновода. Облучатель имеет два независимых коаксиальных входа с СВЧ разъемами К-типа (розетка) для одновременного приема или передачи линейно поляризованных сигналов в диапазоне от 18 до 40 ГГц с коэффициентом усиления в диапазоне частот от 30 до 37 дБ.

- Высокочастотные маломощные усилители AC180260-074 и AC260400-021 предназначены для усиления радиосигналов СВЧ-диапазона в полосе частот от 18 до 26 ГГц и от 26 до 40 ГГц с коэффициентом усиления до 30 дБ. Усилители собраны на СВЧ-микросхемах, размещенных в герметичном металлическом корпусе с входными и выходными разъемами типа SMA. Напряжение питания составляет 5 вольт и подается через изолированный разъем РС4.
- Высокочастотный детектор Д5Б-50-05-13 предназначен для детектирования непрерывных или модулированных СВЧ сигналов в широком диапазоне частот. Детектор имеет малую неравномерность амплитудно-частотной характеристики и коэффициента стоячей волны, а также широкий диапазон частот от 0,01 до 50 ГГц.

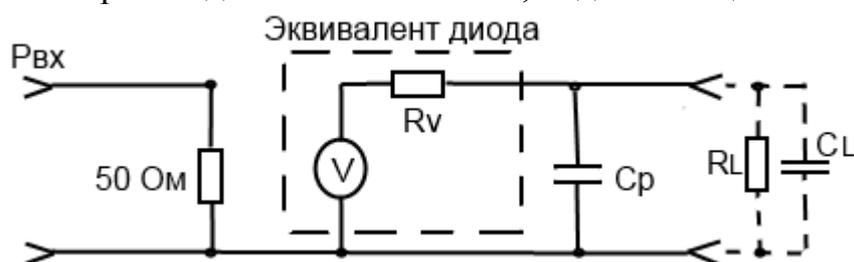


Рисунок 2. Эквивалентная схема детектора мощности

Время реакции детектора (нарастания/спада) 7 нс. За время нарастания принято время изменения напряжения на выходе детектора от 10% до 90% при включении уровня мощности минус 10 дБм (0,1 мВт). Собственная емкость детектора составляет 30 пФ. Типовое значение чувствительности по напряжению ( $\gamma$ ) в малосигнальном режиме 500 мВ/мВт

- Информационно-измерительная система радиометра должна обеспечивать: Сбор, фильтрацию и обработку получаемых от детектора данных; управление системой поворота антенны; Определение ориентации (крена, тангажа и рыскания) антенны в пространстве; определение местоположения очага возгорания;

На первом этапе работы при проведении измерений в качестве информационно измерительной системы для обеспечения сбора, фильтрации и обработки получаемых от детектора данных было использовано 1 слотовое USB шасси CompactDAQ—cDAQ-9171 с установленным модулем NI 9234 от фирмы National Instruments.



Рисунок 3. Фотография приемного тракта состоящего из малошумящего усилителя, детектора, модуля cDAQ и антенного устройства.

National Instruments является мировым лидером в области компьютеризированных систем сбора данных и автоматизированных измерительных комплексов.

Шасси CompactDAQ подключается к персональному компьютеру посредством USB, и предназначено для создания небольших, портативных измерительных систем. Это шасси обеспечивает простое подключение к датчикам и измерительным устройствам. Его можно использовать вместе с модулями ввода-вывода C-серии для создания и комбинации систем аналогового и цифрового ввода-вывода, с аппаратной синхронизацией для измерений, где требуется использование импульсных датчиков, ШИМ, подсчета событий, генерации последовательности импульсов и измерения периода или частоты.

Установленный в шасси 4-канальный модуль ввода C-серии, NI-9234 обеспечивает широкий динамический диапазон и включает программно-управляемую развязку цепей переменного и постоянного тока, а также согласование сигналов. Входные каналы принимают сигналы одновременно. Для каждого канала также имеется встроенный сглаживающий фильтр, который автоматически адаптируется под выбранную частоту дискретизации

Программа для взаимодействия с шасси CompactDAQ была выполнена в графической среде программирования NI LabVIEW 2013

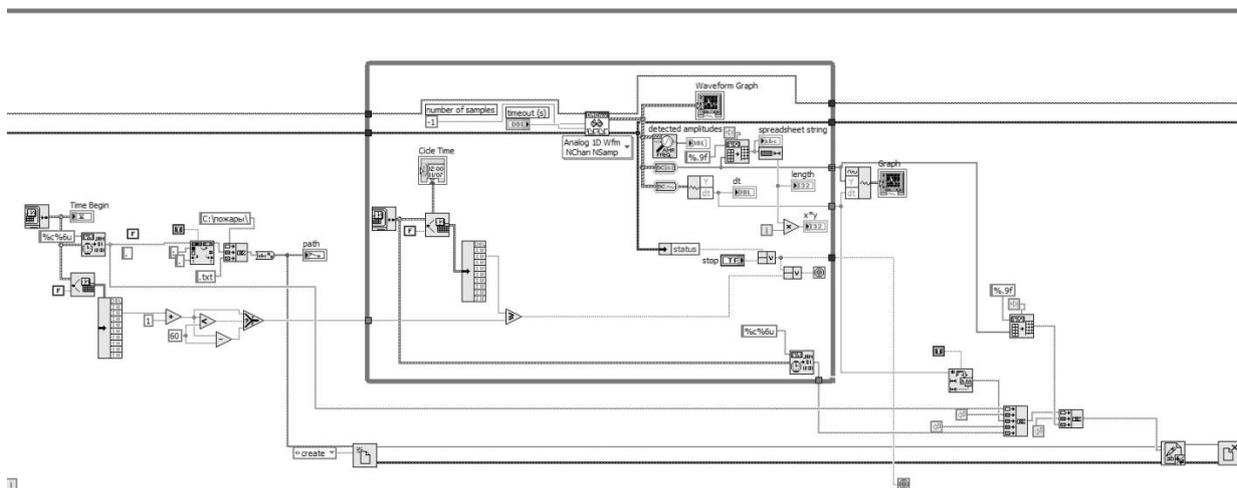


Рисунок 4. Пример кода программы написанного на языке графического программирования LabVIEW.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) это среда разработки и платформа для выполнения программ сбора, сохранения и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA-системам, но ориентирована на решение задач не столько в области автоматизации систем управления технологическим процессом, сколько в области автоматизированных системах научных исследований. Встроенный в графический язык программирования драйвер NI DAQmx, позволяет использовать устройства сбора данных с различными интерфейсами и конструктивными исполнениями (форм-факторами), включая USB, PCI, PCI Express, PXI, PXI Express, Ethernet. Что позволяет в дальнейшем переконфигурировать и расширить возможность информационно-измерительной системы.

### Библиографический список

1. Никитин О.Р., Архипов Е.А., Мармалюк А.А. / Моделирование пожароопасных состояний лесов и торфяников // Известия Института инженерной физики. 2008. №3. С. 17-20.
2. Федосов В.П. Цифровая обработка звуковых и вибросигналов в LabVIEW / Москва ДМК Пресс, 2010 г.
3. А. Г. Николаев, С. В. Перцов. /Радиотеплолокация// Москва : Воениздат, 1970. - 132 с.:
4. Техническая документация и сертификаты [Электронный ресурс] /National Instruments– Режим доступа: <http://russia.ni.com/datasheet>, свободный
5. Н.А. Губин, Д.А.Ченский, А.Г. Ченский Автоматизированная установка для градуировки измерителей скорости распространения звука в воде // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета Номер: 2 (109) Год: 2016 Страницы: 17-23

## **ИНФОРМАЦИОННО УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ЛЧМ ПРОФИЛОГРАФА**

**Григорьев К.А., Ченский А.Г.** – научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"

skb@istu.edu

Гидроакустический профилограф с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ.) в диапазоне частот от 1 до 10 кГц, предназначенный для изучения геоморфологического строения морского дна и стратификации донных осадков[1].

Применение модуляции сигнала с последующей корреляционной обработкой последнего позволяет повысить соотношение сигнал/шум [2], что в свою очередь дает возможность как получать информацию о более глубоких слоях морского дна – до 100 м, так и достичь высокого разрешения – 0.15 м.

Для реализации функций управления применена реконфигурируемая система управления и сбора данных. Основное преимущество данной системы состоит в возможности оперативного изменения конфигурации системы, замены и добавления различных модулей ввода-вывода данных. Шасси имеет восемь слотов, часть из которых на данный момент свободны. В случае изменения состава модулей, для их включения в состав системы, необходимо будет провести программную реконфигурацию. Микропроцессор и модули связаны между собой через ПЛИС по цифровому протоколу. ПЛИС позволяет практически одновременно опрашивать все датчики, производить первичную обработку данных и передавать их на микропроцессор. Программа для информационно-управляющей системы написана на графическом языке программирования с использованием инструментов разработки приложений LabVIEW, Real-Time и FPGA Module. Данное решение позволяет разработать всю систему в рамках одного проекта, используя готовые алгоритмы синхронизации и передачи данных между различными устройствами. Использование готовых протоколов существенно ускоряет процесс разработки программного обеспечения и реализации проекта в целом.

Гидроакустический профилограф построен по классической схеме [4]. Структурная схема системы показана на рис.1. Данная система содержит процессорный блок, выходной усилитель мощности, персональный компьютер (ПК), спутниковую навигационную систему и приемо-передающие пьезокерамические антенны, которые располагаются в буксируемой подводной части комплекса. Принцип действия основывается на излучении акустического ЛЧМ сигнала приемо-передающей антенной в направлении вертикально вниз. Акустический сигнал, отразившись от дна, а также от отражающих горизонтов

поддонной осадочной толщи, поступает обратно на антенну. Анализ излученного и принятого сигналов позволяют оценить структуру дна.

Процессорный блок управляется оператором по локальной сети (Ethernet) с помощью персонального компьютера. В качестве управляющего устройства процессорного блока применён контроллер NI cRIO-9012 [3]. Контроллер по зашитой в его память программе с помощью модуля NI 9263 формирует ЛЧМ сигнал, который затем поступает на вход блока выходного усилителя мощности.

После усиления ЛЧМ сигнал поступает в процессорный блок на первичную обмотку выходного согласующего трансформатора. Это необходимо для того, чтобы согласовать низкое выходное сопротивление усилителя мощности с высоким входным сопротивлением антенны. По кабель-тросу ЛЧМ сигнал поступает на антенны и излучается в направлении дна. Отраженный от поверхности дна и его внутренней структуры сигнал принимается антеннами и по кабель-тросу поступает на регулируемый усилитель в процессорном блоке. Далее сигнал оцифровывается модулем NI 9205 и передается по Ethernet на ПК. Анализ излученного и принятого сигналов позволяет оценить структуру дна.

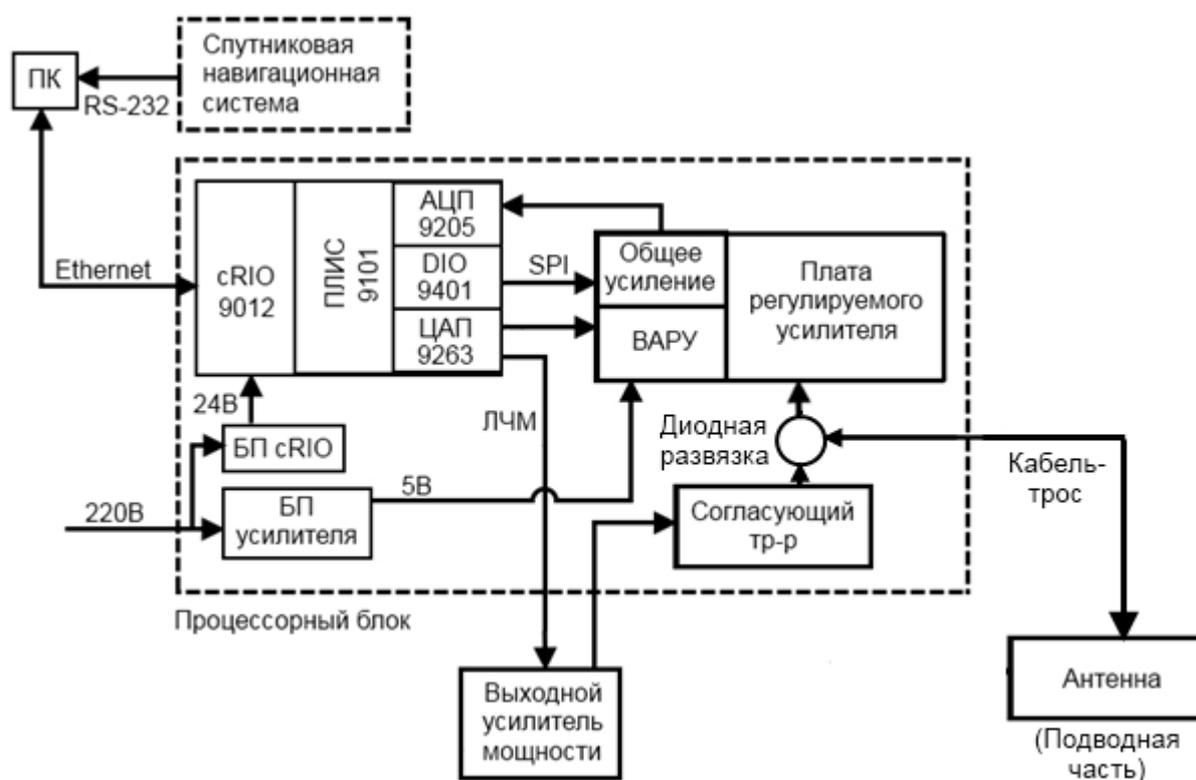


Рис. 1. Структурная схема профилографа.

Для подавления паразитных переотражений зондирующего акустического сигнала от поверхности воды используется схема временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ). В процессе приема сигнала параметрами усиления управляет контроллер cRIO-9012. На втором канале модуля NI 9263 генерируется напряжение для управления ВАРУ. С помощью модуля NI 9401 по интерфейсу SPI задается коэффициент общего усиления.

На рис.2 показан интерфейс пользователя программы. С помощью элементов управления в левой части панели оператор управляет работой профилографа. Задаются следующие параметры: начальная и конечная частота ЛЧМ импульса, его длительность, период излучения, мощность и коэффициент усиления. Отраженный сигнал обрабатывается корреляционными методами [6], и на графиках отображается сейсмограмма. На вкладке «VARU» устанавливаются параметры для временной автоматической регулировки усиления. Полученные данные сохраняются в бинарный файл с расширением \*.prf.

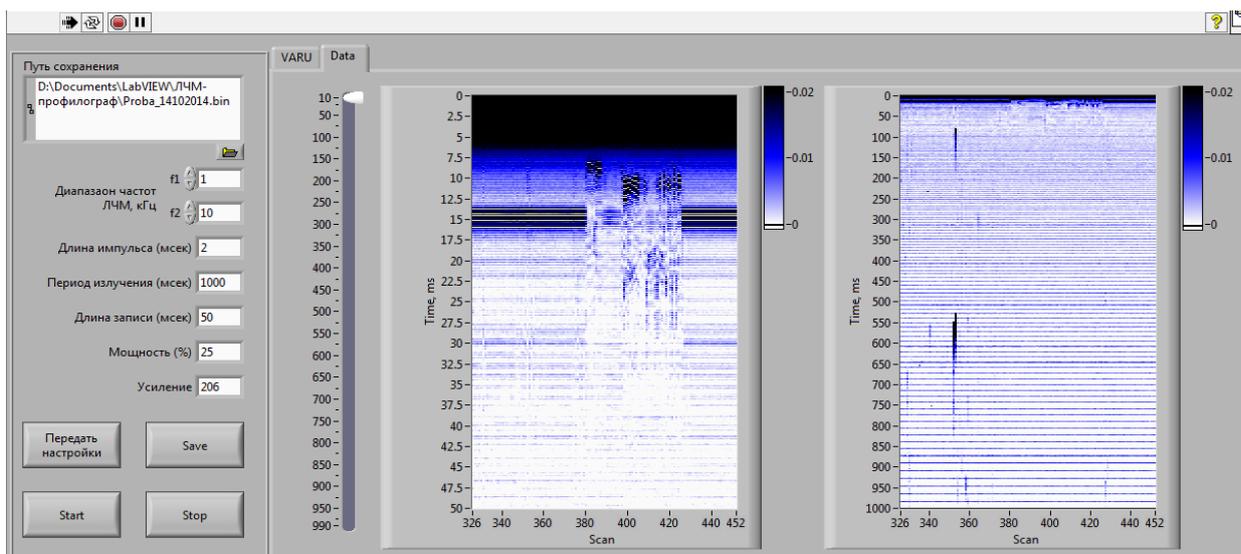


Рис. 2. Лицевая панель программы управления профилографом.

На рис. 3 показан акустический профиль, на котором можно наблюдать рельеф и строение дна, отчетливо видно слоистую структуру осадочного чехла.

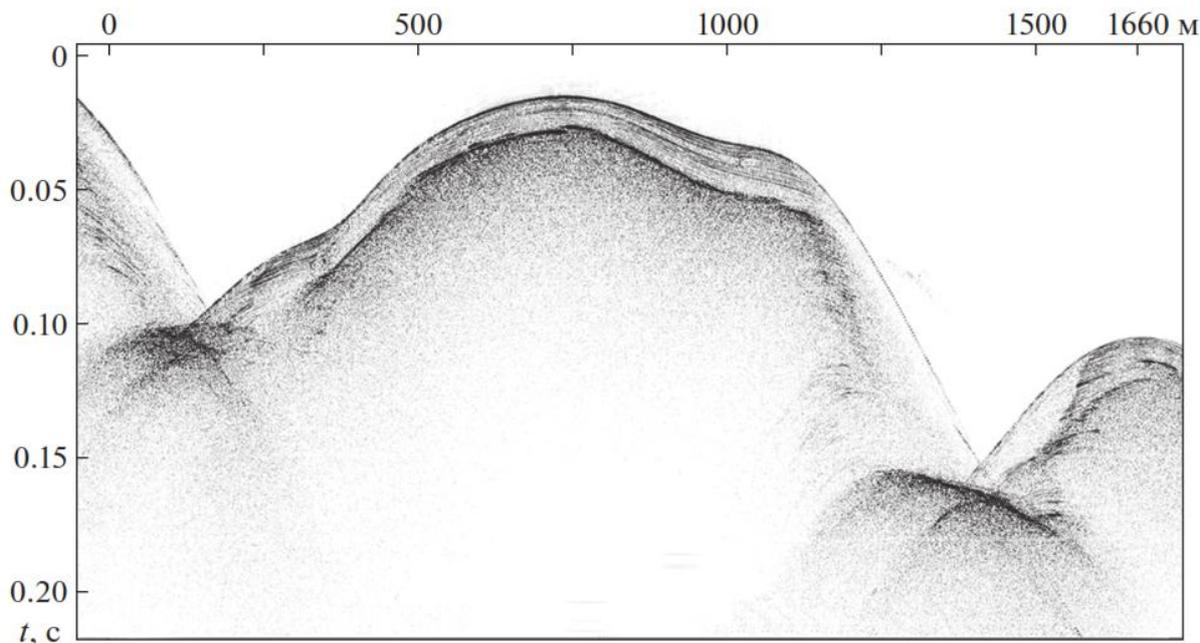


Рис. 3. Пример акустического профиля структуры дна. На вертикальной оси отложено время прохождения акустического сигнала, по горизонтали – отметки по курсу сканирования.

#### Библиографический список

1. Косарев Г.В., Ларионов Ю.Г. // Труды IX Всероссийской конференции “Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики”. СПб.: Наука, 2008. С.152.
2. Каевицер В.И., Разманов В.М. // УФН. 2009. № 2. С. 218.
3. Орленок В.В. Морская сейсмоакустика. Учеб. пособие. Калининград. ун-т. - Калининград, 1997.
4. Фирсов Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров. – СПб.: Нестор-История, 2010.
5. Баран Е.Д. LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы. – М.: ДМК Пресс, 2009.
6. Федосов В.П., Нестеренко А.К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2007.

# УСТРОЙСТВО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Матвеев И.С., Засенко В.Е. - научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
reirem@istu.edu

Синтез системы синхронизации по схеме Костаса выполнен основываясь на теории нелинейной оптимальной фильтрации. Синтезированная двухконтурная система, содержащая прямой (информационный) и квадратурный каналы, а также корректирующий фильтр в цепи обратной связи и каналные фильтры в среде Labview. Проведен анализ работы схемы Костаса. Выявлены основные факторы, влияющие на вероятность срыва слежения за фазой, и предложены способы их уменьшения.

Целью настоящей работы является уменьшение потерь информационных бит за счет усовершенствования демодулятора частотно-модулированных сигналов, что повысит достоверность приема дискретных сигналов.

В работе разработана, посредством программного обеспечения Labview, схема Костаса для детектирования фазоманипулированного сигнала, которая позволяет объединить преимущества существующих аналоговой и цифровой схем.

Анализ схемы показал, что при сравнении характеристик аналоговых и цифровых схем фазовых компараторов выяснилось, что аналоговые фазовые компараторы в условиях влияния помех работают более эффективно, чем цифровые. Использование цифровых фазовых компараторов позволяет повысить быстродействие системы ФАПЧ благодаря их способности быстро осуществлять захват сигнала, а также благодаря тому, что они могут работать при больших значениях крутизны характеристики ГУН [2].

Для реализации была применена упрощенная нелинейная модель схемы Костаса [1].

Схема Костаса приведена на рис 1.

В схеме Костаса входной сигнал является фазоманипулированным сигналом, сигнал в верхней ветви – синфазным, в нижней – квадратурным. Сигналом ошибки является произведение синфазного и квадратурного сигналов. Схема позволяет избежать ошибки детектирования при фазовых сдвигах до 90°.

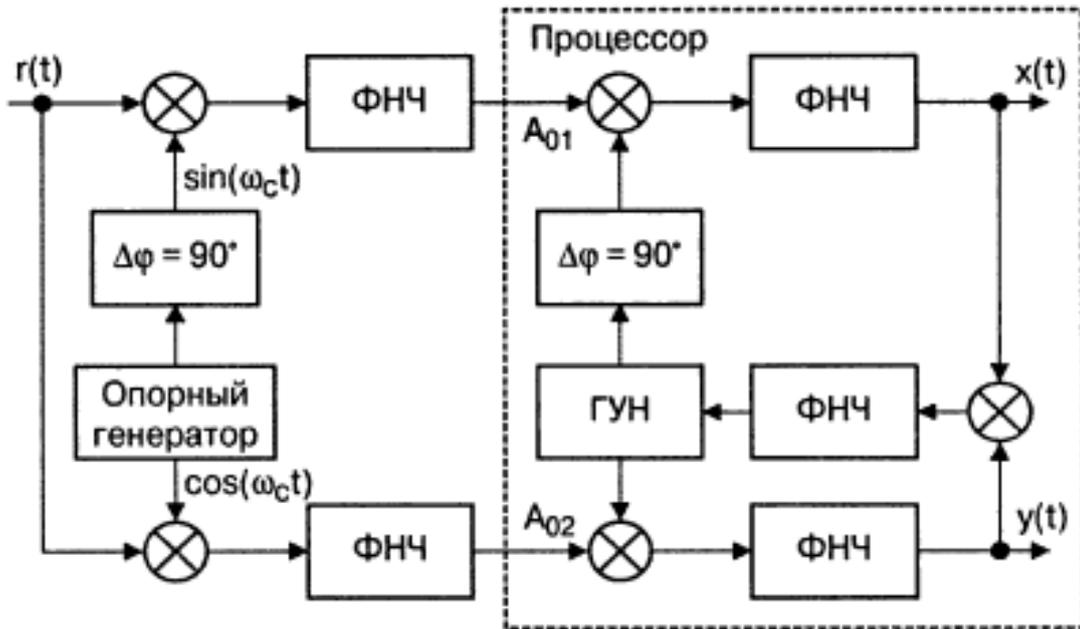


Рис.1. Функциональная схема детектора (схема Костаса)

Сигнал ошибки имеет вид [4]:

$$U_{err} = \int_0^{T_s} r(t) \cos(\omega_c t + \theta) dt \cdot \int_0^{T_s} r(t) \sin(\omega_c t + \theta) dt .$$

Исследование проводилось путем моделирования на ЭВМ. Качество работы системы в целом определяется количеством потерянных бит. Были рассмотрены две основные причины потери информационных бит: одиночные потери вследствие краткосрочного воздействия помехи в канале связи и потери в результате срыва слежения системой ФАПЧ. Во втором случае важным является быстрое восстановление режима слежения системой ФАПЧ. Таким образом, в качестве критериев оценки качества работы детектора можно принять его быстродействие и помехоустойчивость.

На сегодняшний день используются различные классы сигналов, которые еще больше усложняют исследование нелинейных моделей схем Костаса. Настоящая работа посвящена построению и анализу математических моделей схем Костаса методом асимптотического высокочастотного анализа.

Собранная схема Костаса в программе Labview условно можно разделить на 3 основных блока обработки информации:

1) Блок преобразования входного сигнала состоящий из массива, считывающие данные с входного файла, 2 матрицы, сохраняющие результаты обработки и элемента для преобразование данных в график.

2) Блок обработке данных по алгоритму соответствующему схеме Костаса, генераторов сигнала синус, косинус, перемножители, фильтры нижних частот.

3) Блок преобразования информации для вывода данных виде графиков состоящий из перемножителя синфазного и квадратурного сигналов, петлевого фильтра, ГУН для автоподстройки сигнала, спектроанализатор, элементов для построения графика.

Общая схема представлена на рисунке 2.

Проведен синтез системы синхронизации, построенной по схеме Костаса. В результате синтеза получена двухкантурная система, содержащая прямой (информационный) и квадратурный каналы, а также корректирующий фильтр в цепи обратной связи и каналные фильтры. На основе полученной структурной схемы Костаса авторами создана имитационная модель.

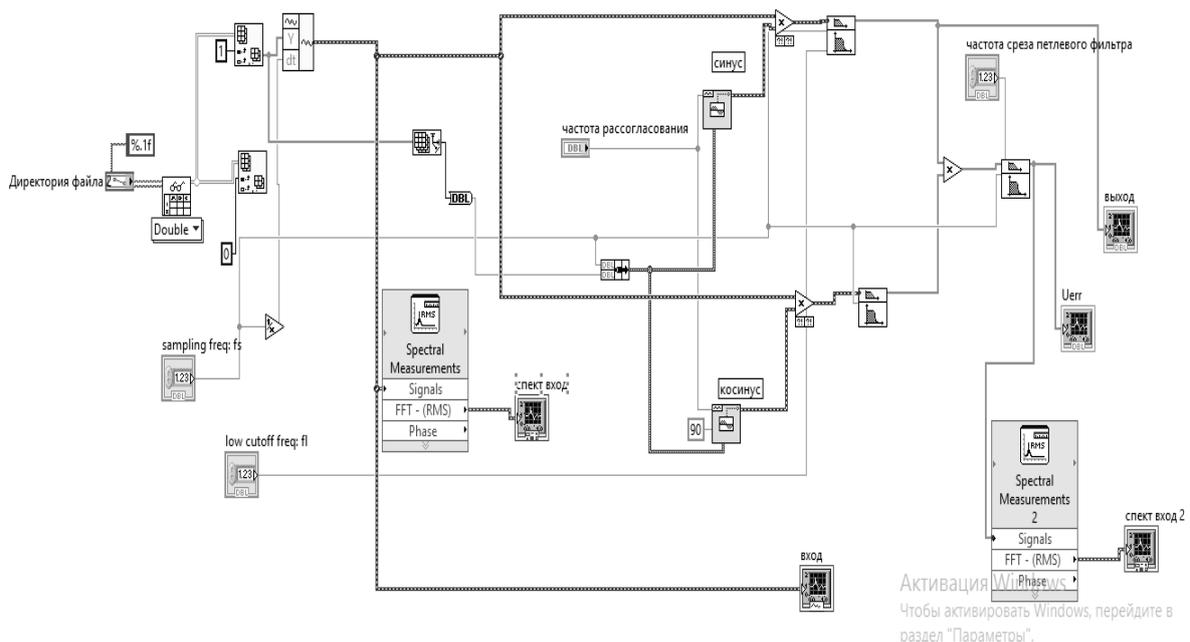


Рис.2. Блок диаграмм

Результаты эксперимента представлены на рисунке 3:

1– спектр входного сигнала; 2–выходной сигнал; 3–спектр выходного сигнала. Таким образом графики наглядно иллюстрируют работу модели фазо-частотного детектора, который позволяет свести помехи к минимуму.

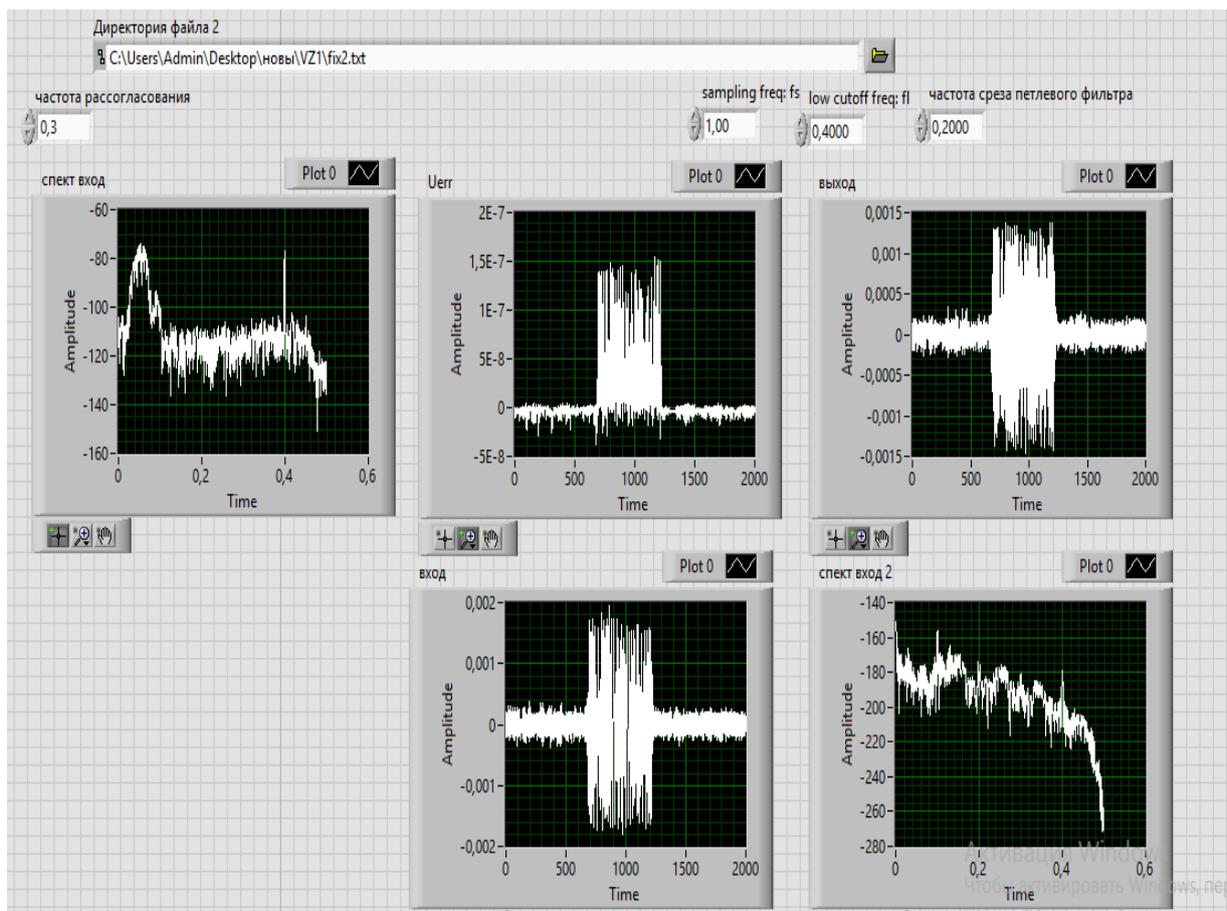


Рис.3. Панель приборов

На рисунке 4 представлен блок-диаграмма, собранная в программе LabVIEW для исследования сигнала.

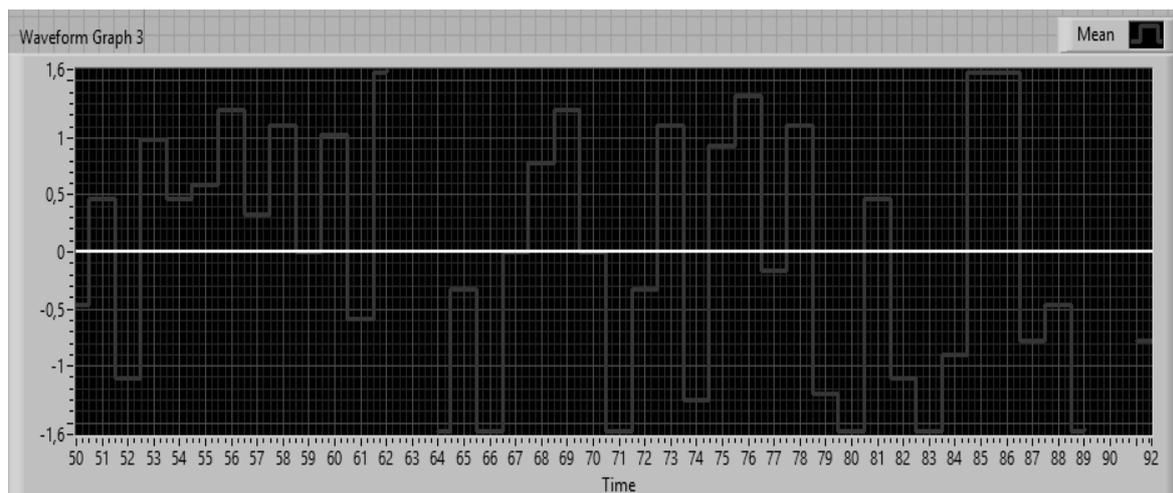


Рис. 4. Принятый искаженный сигнал  
Восстановленный сигнал по схеме Костаса представлен на рисунке 5

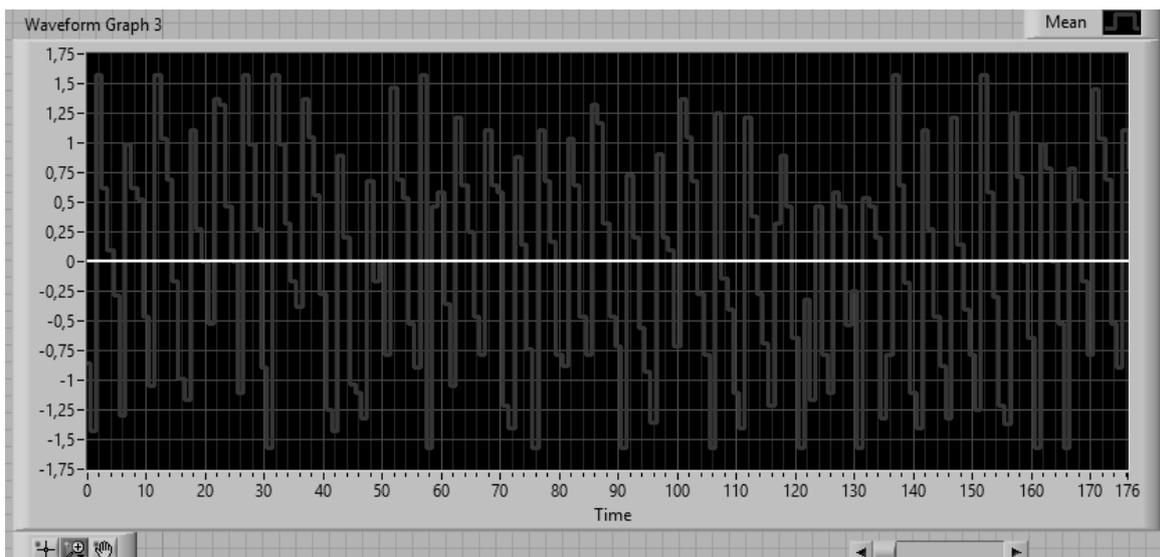


Рис. 5. Восстановленный сигнал

В качестве модели сигнала используется несущее колебание с неизвестной частотой, 2-ФМ модулированное псевдослучайной последовательностью, имеющее случайную начальную фазу. Также учитывается присутствие аддитивного белого гауссового шума в канале приема.

Проверка модели проводилась в графической программной среде Labview. Проверка показала, что собранная модель цифрового детектора по схеме Костаса, работает и восстанавливает принятый искажённый сигнал, как видно на рисунке 5.

Из рисунка 3 видно, что после работы оценки частоты и фазы приходят к некоторому установившемуся значению, а сигнал на выходе петли Костаса соответствует НЧ огибающей, сформированной на передающей стороне.

Метод позволяет проводить моделирование схем Костаса в пространстве фаз для различных классов сигналов, что в свою очередь позволяет сократить время моделирования схем с применением высокочастотных сигналов на несколько порядков. Таким образом, существенно упрощается синтез и анализ схем Костаса, что позволяет повышать стабильность работы систем цифровой связи и расширять диапазон применяемых сигналов.

### Библиографический список

1. [http://sernam.ru/book\\_p\\_net.php?id=104](http://sernam.ru/book_p_net.php?id=104)
2. <http://ru.dsplib.org/forum/viewtopic.php?t=157>
3. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты: М., «Связь», 1972.
4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х т. Т.2: пер. с англ. – Изд. 3-е, стереотип. – М.: Мир, 1986 – 590 с., ил.

## ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Вахромов В.М., Волощенко А.О., Запольских А.С.,

Иванов Н.А. –научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"

ao.voloshchenko@mail.ru

### Теоретические сведения

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают хорошей электро- и теплопроводностью, полупроводниковым или металлическим характером проводимости, высокой подвижностью носителей заряда, развитой удельной поверхностью, низкой плотностью, химической и электрохимической стойкостью, а также способностью к химической функционализации, что позволяет рассматривать их использование в качестве одного из наиболее перспективных объектов наноэлектроники.

Представляется возможным получить пленки на основе углеродных нанотрубок, которые обладают необходимыми электропроводящими, механическими или оптическими свойствами.

Применяемые в современной электронике прозрачные проводники на основе оксидов металлов имеют ряд недостатков: хрупкость, сложность при использовании в солнечную погоду из-за высокого коэффициента отражения, невозможность сгибаться и растягиваться, ограниченный температурный режим работы. Прозрачные электропроводящие покрытия на основе углеродных нанотрубок могут служить альтернативой.

Возможными областями применения подобных электропроводящих покрытий является гибкая и растягиваемая носимая электроника, прозрачные ИК-нагреватели для создания электрообогреваемых окон и т.д [1].

Электрические параметры одностенных УНТ (ОУНТ) характеризуются значительным разбросом, что связано с многообразием их структурных особенностей, обусловленным различиями методов и условий синтеза и очистки. Основными носителями заряда, определяющими проводимость нанотрубок являются электроны. В ОУНТ без дефектов при низких температурах электроны движутся по нанотрубке не испытывая рассеяния, что соответствует квантовому баллистическому механизму проводимости (квант электрического сопротивления равен  $6.47$  кОм).

Анализ литературы дает разброс в измеренных значениях электрического сопротивления углеродных нанотрубок при комнатной температуре в диапазоне от  $1.5$  до  $10^4$  кОм для индивидуальных нанотрубок, от  $1.5$  до  $14$  кОм для жгутов из нанотрубок и от  $3$  до  $12$  Ом для тканевого материала из нанотрубок [2].

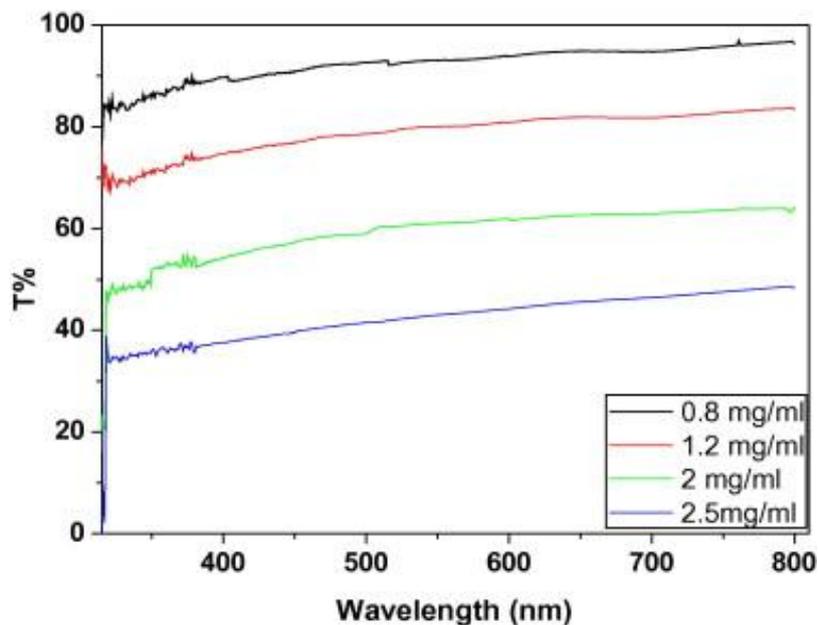


Рисунок 1 – Зависимость пропускания растворов УНТ различных концентраций от длины волны

На рисунке 1 представлена зависимость пропускания дисперсий углеродных нанотрубок различных концентраций от длины волны. Из графика видно, что растворы, с концентрациями 0,8 мг/мл и 1,2 мг/мл имеют достаточно высокое пропускание в области видимого спектра.

Из этого можно сделать вывод, что на основе нанотрубок можно получить прозрачные пленки. Наибольший коэффициент пропускания видимой части спектра имеют системы, с наименьшими концентрациями УНТ.

УНТ обладают большой поверхностной энергией, и системы, состоящие из них, стремятся к уменьшению этой энергии путем агрегирования друг с другом. Этот факт мешает равномерному распределению УНТ и в растворе, и на подложке. Поэтому для стабилизации дисперсий УНТ применяются различные ПАВы.

Для нанесения на подложку необходимо получить дисперсию с равномерным распределением нанотрубок. На это влияют следующие факторы: природа растворителя, наличие ПАВ, время диспергирования, концентрация УНТ. Также немаловажную роль играет материал подложки.

#### Практическая часть

В работе использовались одностенные углеродные нанотрубки компании TUBALL, стеклянные подложки, этиловый спирт, поливиниловый спирт (ПВС).

Методом получения пленки было выбрано нанесение УНТ из гомогенной дисперсии. Данный метод заключается в том, что подложку, находящуюся в вертикальном положении, погружают в дисперсию на установленное время, после чего подложку медленно извлекают с постоянной скоростью.

Так как углеродные нанотрубки плохо растворимы в воде, в качестве жидкой фазы для создания дисперсии использовался этиловый спирт. Был приготовлено 10 мл 0,0015% дисперсии, состоящей из УНТ и этилового

спирта. С целью получения гомогенной дисперсии, полученный раствор обрабатывался ультразвуком на установке УРСК-7Н-22 в течение 20 минут. Нанесение пленки производилось путем окунания подложки на 30 секунд в дисперсию с последующим медленным извлечением. После чего подложка высушивалась, и производились измерения сопротивления пленки.

В последующих опытах были получены дисперсии с применением ПАВ, введенными на различных этапах. В случае, когда приготавливался раствор ПВС/УНТ/этиловый спирт диспергация не давала желаемого результата. Во втором случае, после первичной диспергации в раствор вводился ПАВ, после чего раствор подвергался вторичной диспергации. В результате чего, можно заключить, что наиболее эффективно вводить ПАВ на поздних стадиях.

Также в качестве жидких фаз для дисперсий использовалась эпоксидная смола марки ЭД-20 и отвердитель ПЭПА. К 20 мл эпоксидной смолы было добавлено небольшое количество нанотрубок, после смесь подвергали диспергации. После добавления отвердителя и нанесения полученной смеси на подложку получилась непрозрачная, непроводящая пленка, так как эпоксидная смола изолировала УНТ.

#### Заключение

В результате работы при нанесении на подложку нанотрубок из дисперсии было получено покрытие, не являющееся прозрачным, но имеющее проводимость. Сопротивление полученной пленки составило 400 Ом·см.

В настоящий момент нами проводятся дальнейшие исследования с целью сохранения первого критерия – прозрачности. Для чего необходимо провести более масштабные и глубокие исследования, расширив ассортимент ПАВ, концентрационные пределы их использования, а также применять различные режимы их ввода для более полного диспергирования углеродных нанотрубок и в различных жидких средах и повышения стабильности полученных суспензий, изучение механизма осаждения на подложки и зависимость от материала подложки.

#### Библиографический список

1. Нестерова Е. А., Нгуен Мань Тьонг, Раков Э. Г. Получение пленок и гелей из тонких многослойных углеродных нанотрубок // Успехи в химии и химической технологии. 2008. №3 (83). URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/poluchenie-plenok-i-geley-iz-tonkih-mnogosloynnyh-uglerodnyh-nanotrubok>. – 5 с. (дата обращения: 10.05.2018).

2. Лобач А.С., Буравов Л.И., Спицына Н.Г. Электропроводность наноматериалов на основе одностенных углеродных нанотрубок // Вестник УлГТУ. 2012. №2. URL: <http://masters.donntu.org/2012/fmf/alehina/library/lobach.pdf>. – 3 с. (дата обращения: 10.05.2018).

## **ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

**Айсуев Б.Б., Ченский Д.А., Ченский А.Г.** - научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
skb@istu.edu

Статья посвящена проектированию телеуправляемого необитаемого подводного аппарата. В статье представлено описание программного обеспечения и используемого оборудования. Разрабатываемая система может найти применение для проведения подводных работ, поиска объектов на дне, спасательных операций.

Информационно-управляющая система (ИУС) представляет собой набор всего необходимого оборудования (датчики, вычислители, периферийные платы и пр.) и программного обеспечения для формирования управляющих сигналов на движительно-рулевой комплекс и выдачу требуемой информации о состоянии и параметрах движения аппарата на пульт оператора. Основой ИУС являются алгоритмы системы управления (СУ). Прочие аппаратно-программные компоненты ИУС служат для обеспечения работы СУ.

Необитаемый подводный аппарат (НПА) – совокупность технических средств, объединенная в единый, способный свободно передвигаться под водой конструктив, выполняющий при этом некоторый спектр задач на глубинах и в условиях недоступных людям. Современные НПА, в зависимости от полезной нагрузки, могут быть использованы для выполнения исследовательских, промышленных, спасательных и прочих видов работ.

Упрощенно ТНПА можно представить в виде следующего набора: телевизионная камера, размещенная в гермокорпусе, движители для маневрирования и кабель, соединяющий аппарат с поверхностью, по которому передается видеосигнал.

Для выполнения разного вида работ в зависимости от задач в состав навесного оборудования ТНПА могут входить: видеокамеры с повышенной светочувствительностью, HD-камеры (в том числе с функцией зуммирования); гидролокатор кругового обзора, гидролокатор бокового обзора, профилограф, многолучевой эхолот; гидроакустическая система позиционирования; ультразвуковой толщиномер или дефектоскоп; датчик катодного потенциала; магнитометр; лазерная линейка; система обнаружения утечек нефти; манипуляторы с различным числом степеней свободы; подводный электрический и гидравлический инструмент; инерциальная навигационная система с доплер-лагом; специальное оборудование и датчики.

ТНПА предназначены для выполнения подводных работ на внутренних водах, в морских прибрежных, открытых акваториях и используются для:

- Поддержки водолазных работ;
- Поиска объектов на дне и в толще воды;
- Осмотровых работ – городских коммуникаций, причалов, подводной части судов;
- Спасательных операций и разминирования;
- Остропки и извлечения крупных предметов со дна;
- Работ по обеспечению объектов нефтегазового комплекса (поддержка бурения, осмотр структур на наличие поломок и трасс газопроводов, выполнение операций с вентилями и задвижками).

Реализация ТНПА осуществляется на базе программируемой платформы NI MyRIO. Он содержит двухъядерный программируемый процессор ARM Cortex-A9 с тактовой частотой 667 МГц, и кастомизируемую программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) Xilinx, которую можно использовать для начала разработки систем и быстрого решения проблем разработчика.

NI MyRIO содержит программируемый чип Zynq-7010, позволяющий в полную силу использовать возможности LabVIEW, как для приложений реального времени, так и для ПЛИС. MyRIO предоставляет входы-выходы с двух сторон устройства в виде разъемов MXP и MSP. Устройство располагает аналоговыми входами, аналоговыми выходами, линиями цифрового ввода-вывода, индикаторами, кнопкой управления, встроенным акселерометром.

Одна из целей разработки NI MyRIO — упростить настройку оборудования. Для достижения этой цели программное обеспечение NI MyRIO имеет собственную утилиту для подключения и конфигурирования, отличную от браузера измерений и автоматизации NI (NI MAX). По-прежнему можно использовать MAX для установки и настройки оборудования и программного обеспечения, если эта среда кажется вам более комфортной.

LabVIEW — программное обеспечение для системного проектирования в отраслях, где требуется проведение испытаний, измерений и осуществление управления, а также быстрый доступ к оборудованию и результатам анализа данных.

Программное обеспечение LabVIEW идеально подходит для любых измерительных систем и систем контроля и является сердцем платформ National Instruments. Интегрируя все инструменты, которые необходимы инженерам и ученым, LabVIEW позволяет создавать широкий круг приложений в кратчайшие сроки. LabVIEW - среда разработки для решения проблем, увеличения производительности и создания инноваций.

Информационно-измерительный комплекс включает в себя следующие измерители:

- Датчик давления
- Навигационный датчик (включает в себя магнитометр, гироскоп и акселерометр)
- Камера
- Моторы и драйвера к ним
- Осветители
- Манипулятор

Программа для управления манипулятором реализована в среде разработки LabView. Управление осуществляется с помощью джойстика, далее отправляется на MyRIO, и затем по каналу ШИМ значения поступают на серводвигатели.

На рисунке 1 показана программа считывания значений с джойстика и запись их в глобальную переменную для дальнейшего считывания. На рисунке 2 показана программа, считывания значений в глобальной переменной и отправка на канал ШИМ и отправления на сервомотор.

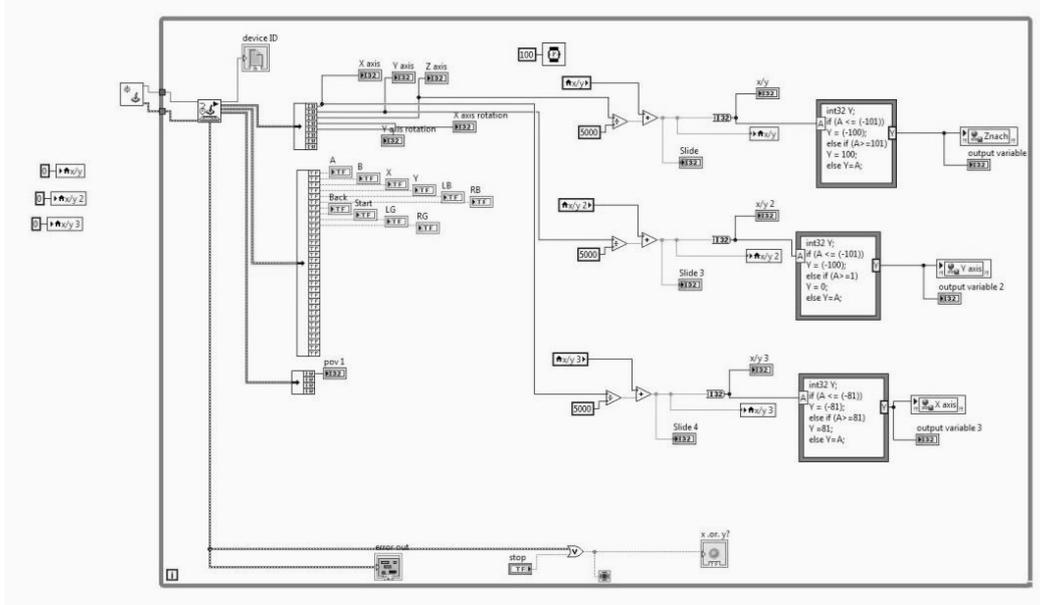


Рисунок 1 – Программа считывания значений с джойстика

Сервомоторы подключаем по каналам ШИМ на MyRIO. На MyRIO имеется 8 ШИМ выходов. Подключаем джойстик и с помощью прибора Initialize Joystick инициализируем в LabVIEW. Для управления серводвигателями нам понадобится изменения значений по X axis, Y axis и Z axis. Диапазон значений: от  $-32768$  до  $32767$ . С помощью локальной переменной мы записываем данные о текущем значении, поданного с джойстика. Также вне цикла при первом запуске программы обнуляем значения локальных переменных. Ограничение значений осуществляется с помощью реализации простейшего if и Formula Node, где мы можем писать некоторую часть программы на упрощенном языке

программирования C. Для управления джойстика в LabVIEW используем прибор Initialize Joystick и Acquire Input Data. С помощью функции Unbundle мы можем вывести значения с контроллеров, кнопок, также ID девайса.

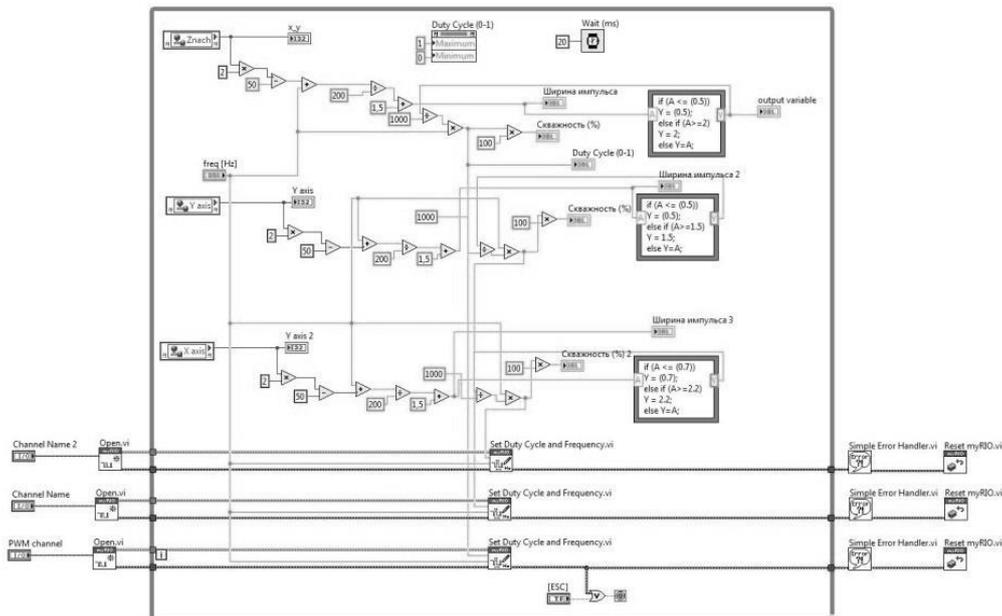


Рисунок 2 – Программа обработки и отправления значений на сервомотор

Данные, полученные с помощью Shared Variable, с помощью некоторых математических вычислений, выводятся ширина импульса. Оно принимает значения от 0,5 до 2,5 (В нулевом положении – 1,5 мс.).

Для управления ШИМ через MyRIO нам понадобятся блоки Open, Set Duty Cycle and Frequency и Reset. К блоку Set Duty Cycle and Frequency мы подаем значения скважности и частоты.

Манипулятор, реализованный в виде макета, прошла испытания, где отработывалось управление движением и захвата предметов. В настоящее время ведется работа, направленная на оптимизацию программы и установка на ТНПА.

### Библиографический список

1. В.Ф. Филаретов, А.Ю. Коноплин, Н.Ю. Коноплин. Подход к разработке информационно-управляющей системы для телеуправляемых подводных аппаратов
2. Иноземцев В.В. Информационно-управляющая система телеуправляемого подводного аппарата рабочего класса
3. <http://www.ni.com/ru-ru/shop/select/myrio-student-embedded-device> – MyRIO — учебное устройство для проектирования встраиваемых систем
4. Ченский Д.А. Григорьев К.А. Ченский А.Г. Информационно – управляющая система безэкипажного автоматизированного катамарана.

## **ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ ДЛЯ ВОДОЛАЗОВ**

**Токмачев Д.А., Ченский А.Г.** - научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
skb@istu.edu

Статья посвящена проектированию подводной беспроводной системы связи и навигации. В статье представлены некоторые экспериментальные данные, полученные для разных типов модуляции, выводы о помехоустойчивости различных типов модуляции сигнала, представлено описание разработанного программного обеспечения и используемого оборудования. Разрабатываемая система может найти применения для проведения водолазных работ: инспекции подводных объектов и инженерных сетей, ремонтных работ, спасательных операций, подводной археологии, работах на континентальных шельфах, в МЧС России, может использоваться водолазами-любителями в рекреационном дайвинге.

Связь внутри группы рабочих так и с руководителем работ является необходимым условием для осуществления любых работ, особенно актуальна проблема связи при выполнении подводных работ. Традиционно применяемые условные знаки имеют множество недостатков, такие как низкая оперативность, малое количество предусмотренных команд, большую вероятность ошибки либо пропуска переданной команды в связи с неблагоприятными условиями в водной среде – такими как ограниченная дальность обзора, подводные течения, поднятая со дна при проведении работ взвесь. Существуют также системы проводной телефонной связи для промышленных водолазов-глубоководников, однако такие системы имеют сопутствующие недостатки: ограничение мобильности водолазов, из-за тянущегося телефонного кабеля и возможность его обрыва, невозможность прямых переговоров между двумя водолазами – все переговоры осуществляться с руководителем подводных работ. Беспроводная связь, способствует повышению оперативности и координации действий, скорости принятия решений, помощи водолазу при нештатных ситуациях. Основная проблема организации беспроводной связи под водой состоит в том, что электромагнитные волны с частотами, используемыми в традиционной радиосвязи, сильно ослабляются при прохождении через проводящий материал, грунт, горные породы, толщу воды. Применение сверхдлинных радиоволн позволяет обеспечить радиосвязь на глубинах порядка 10-15 метров, при этом вследствие низкой частоты радиовещания, порядка 20кГц, такой канал связи будет иметь крайне низкую скорость передачи данных и потребует применения антенн длиной более ста метров. [1] Следовательно для решения поставленной проблемы не существует эффективного способа передачи электромагнитных волн под водой на сколько-

нибудь значительном расстоянии. При этом акустические колебания в воде имеют малое затухание и могут распространяться на большие расстояния, поэтому гидроакустический канал связи является единственным возможным средством передачи сигналов и информации под водой.

Для эффективного использования гидроакустического канала связи необходимо решить ряд проблем, например, высокий уровень шумов в воде, многолучевое распространение сигнала, зависимость поглощения от длины волны, все эти факторы негативно влияют на дальность действия, скорость передачи данных и помехоустойчивость канала связи. В описанных сложных гидроакустических условиях целесообразно применять сложные сигналы, так как применение различных способов манипулирования амплитудой, частотой или фазой сигнала позволяет улучшить соотношение сигнал-шум и детектировать полезный сигнал в условиях многолучевого распространения сигнала, его переотражения и затуханиях[2]. Для выбора оптимальных характеристик несущего сигнала и вида модуляции необходима проверка различных видов модуляции, сравнение максимально достижимой скорости передачи данных и помехоустойчивости канала передачи информации.

Благодаря развитому современному программному обеспечению, возможно, проводить моделирование применяемых сложных сигналов непосредственно в программе, что значительно ускоряет разработку конечного оборудования. Программа для моделирования в лабораторных условиях гидроакустического канала передачи информации написана на графическом языке программирования NI LabVIEW с использованием инструментов разработки приложений и Real-Time. Для генерации излучаемого и оцифровки принимаемого сигнала используется плата расширения NI PCI-6251, усилители мощности и приемный усилитель – собственной разработки.

Информационная посылка формируется в зависимости от выбранного вида модуляции и передается на PCI-6251. С выхода цифро-аналогового преобразователя сигнал поступает на усилитель мощности, и излучается пьезокерамическим преобразователем. С принимающей стороны акустический сигнал преобразуется пьезокерамической антенной в электрический. После приемного усилителя сигнал поступает на вход АЦП платы PCI-6251. Перед демодуляцией из оцифрованного сигнала необходимо выделить информационную посылку, так как принятый сигнал представлен в виде «шум-сигнал-шум», полезный сигнал выделяется следующим способом- при превышении порогового уровня из массива, в котором содержится фаза сигнала, выделяется массив, в котором будет содержаться фаза только полезного сигнала. После того, фаза полезного сигнала приводится к непрерывному виду. Далее полученный информационный сигнал обрабатывается в соответствии с выбранным алгоритмом демодуляции, после

выполнения данных операции получается массив содержащий отсчеты демодулированного сигнала [3].

На рисунке показана подпрограмма обработки PSK/MSK сигнала (рис. 2).

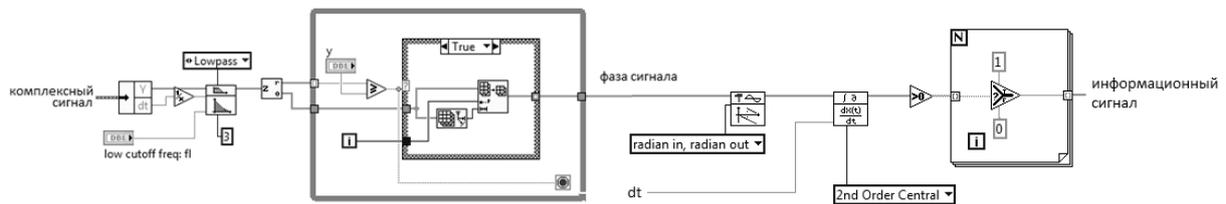


Рис. 2. Выделение полезного PSK/MSK сигнала и его демодуляция

В ходе экспериментов с макетом системы широкополосной связи были использованы следующие виды сигналов:

- Тональная посылка.
- Сигнал с линейной частотной модуляцией.
- FSK-сигнал.
- Сигнал с MSK-модуляцией (рис. 3).
- Сигнал с фазовой B-PSK-модуляцией (рис. 4).

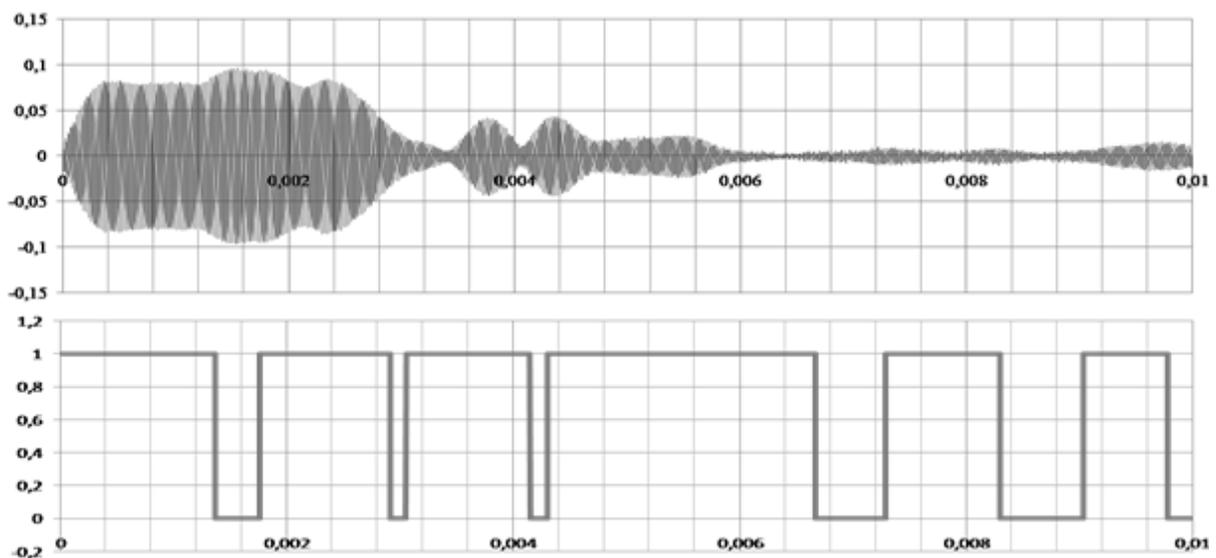


Рис. 3. Принятый и демодулированный MSK сигнал.

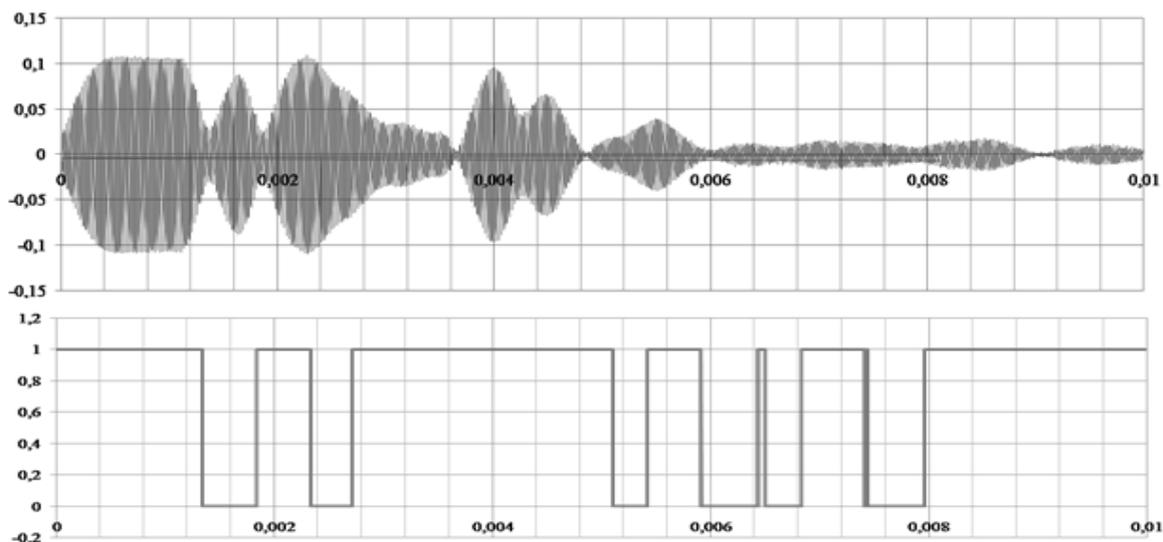


Рис. 4. Принятый и демодулированный V-PSK сигнал.

По результатам лабораторных испытаний для обеспечения надежной связи и большого радиуса действия всей системы были выбраны MSK и QPSK виды модуляции цифрового сигнала, которые показали наилучшую помехоустойчивость.

Так как разрабатываемая система связи и навигации использует цифровую обработку сигнала, то следующей после отработки основных алгоритмов модуляции и демодуляции проблемой является задача кодирования и декодирования речевых сообщений, произнесённых водолазом или оператором надводного поста связи. Пропускной способности гидроакустического канала связи недостаточно для передачи звука или речи в виде потокового аудио-файла с применением цифровых алгоритмов сжатия звука.

Преодолеть это ограничение можно если вместо звукового сигнала передавать по гидроакустическому каналу связи посылки – кодирующие отдельные слова в текстовом виде, таким образом, резко снижается требование к пропускной способности канала передачи информации. Для распознавания и синтеза речи в разрабатываемой системе предлагается использование специализированных речевых процессоров фирмы Sensory Inc [4]. RSC-4128 и NLP-5X. Предлагаемые процессоры используют оригинальный подход к решению ресурсоемкой задачи распознавания речи. Сначала на компьютере в специальной программе (QuickT2SI) формируются словари из нужных слов или фраз с клавиатуры. Затем программа, в зависимости от выбранной языковой модели проводит преобразование этих слов и фраз к фонемам (при необходимости результат можно корректировать). Этот метод сложен технически, использует акустические модели фонем для разных языков, нейронные сети для их распознавания. Суть такого подхода разработчика – в том что, самая сложная работа — постро-

ение и обучение нейронной сети — происходит на компьютере, а в речевой процессор загружается уже готовая обученная нейронная сеть.

Помимо этого в рассматриваемых речевых процессорах, есть функционал для решения навигационных задач – обмен кодовыми навигационными посылками. Функция процессоров Sensory - SonicNet позволяет отправлять и принимать специальные посылки-токены и таким образом общаться нескольким устройствам между собой. Навигационные возможности системы будут решать следующие задачи: измерение расстояния и направления до базы, выбранного навигационного маяка или другого водолаза, запись координат текущей точки акватории, выход в указанную точку акватории.

Реализованная на текущий момент в виде лабораторного образца подводная беспроводная система навигации и обмена сообщениями между водолазами прошла полевые испытания на иркутском водохранилище, где отработывалась передача цифровых кодовых посылок в условиях естественного водоема. В настоящее время ведется работа направленная на оптимизацию элементной базы и изготовление образца системы.

### **Библиографический список**

1. Полетаев А.С. Ченский А.Г., Токмачев Д.А. Мониторинг ионосферных возмущений когерентными сигналами СДВ радиостанций: В сб.: Взаимодействие полей и излучения с веществом. Сборник трудов XIII Конференции молодых ученых, ISSN 0135-3748 – Иркутск, 9 – 14 сентября 2013. – 361 с. – С. 198-202.
2. Токмачев Д.А., Безрукин А.Г., Ченский А.Г.. Гидролокатор бокового обзора с использованием взаимокорреляционной функции. В ж.: Приборы и техника эксперимента. – 2016. – № 3. – С. 159.
3. Полетаев А.С. Модем гидроакустической связи. В ж.: Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 5 (26). – С.64-68.
4. Осин И.Г., Манакин А.А. Средства распознавания речи. Межвузовский сборник научных трудов. Рязанский государственный радиотехнический университет. Рязань, 2017. – 203 с. – С. 91-94.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ WI-FI В ОАО «СИБЭКСПОЦЕНТР» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСТАВОК**

**Тюменцев И.А, Фискина М.М.** –научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
tumentsev100@yandex.ru

Разнообразие смартфонов с каждым годом увеличивается, и благодаря этому они становятся более доступными и число людей обладающими ими растет. Многим приложениям на наших смартфонах необходимо подключение к интернету, например, для оплаты или перевода денежных средств, с помощью онлайн банка, или просто для проверки почты. Из-за такой востребованности, с каждым годом растет количество общественных мест, оснащенных беспроводным доступом к интернету. Благодаря Wi-fi, доступ к интернету могут получить гораздо большее количество абонентов (пользователей), а вид устройств, поддерживающих эту связь, становится разнообразнее, от ноутбуков до смарт часов.

В наше предприятие ПМК-607 поступил запрос об организации связи в ОАО «Сибэкспоцентр» для проведения выставок.

Исходя из требований проекта «Организация связи для ОАО«Сибэкспоцентр», которые ставят перед нашей организацией заказчики ОАО «Сибэкспоцентр» и ПАО «Ростелеком», необходимо спроектировать и построить оптическую линию связи. Также требуется обеспечить гостей и арендаторов выставочного центра доступом в интернет, для проведения мероприятий на более высоком уровне. То есть, нужно организовать проводной и беспроводной доступ в Интернет.

В сложившейся ситуации экономической нестабильности, заказчик в лице ПАО «Ростелеком», в целях экономии своих финансовых средств не производит детальных изыскательских работ. Что приводит, в свою очередь, к несоответствию технического задания реальным потребностям клиента.

В свою очередь руководством ОАО «Сибэкспоцентр» были поставлены более конкретные задачи на проектирование и организацию связи в выставочных павильонах и на открытой площадке, в соответствии с календарем выставок. В результате, проектной группой ПАО «Ростелеком» были внесены поправки в ранее выданное техническое задание, и как следствие, пересогласован бюджет данного проекта.

Нами были проведены изыскательские работы, затем была составлена рабочая документация представленная на рисунке 1, произведен расчет необходимых материалов и оборудования. На этапе подсчета себестоимости необходимо учесть все непредвиденные затраты, и исходить из условий максимальной экономической выгоды в тоже время не в ущерб техническим характеристикам полученной на выходе системы связи. Также на этапе проектирования был детально рассмотреть календарный план выста-

вок, с целью изучения технической оснащенности выставочных павильонов, которые в свою очередь должны удовлетворять требованиям арендаторов-представителей определенной отрасли.

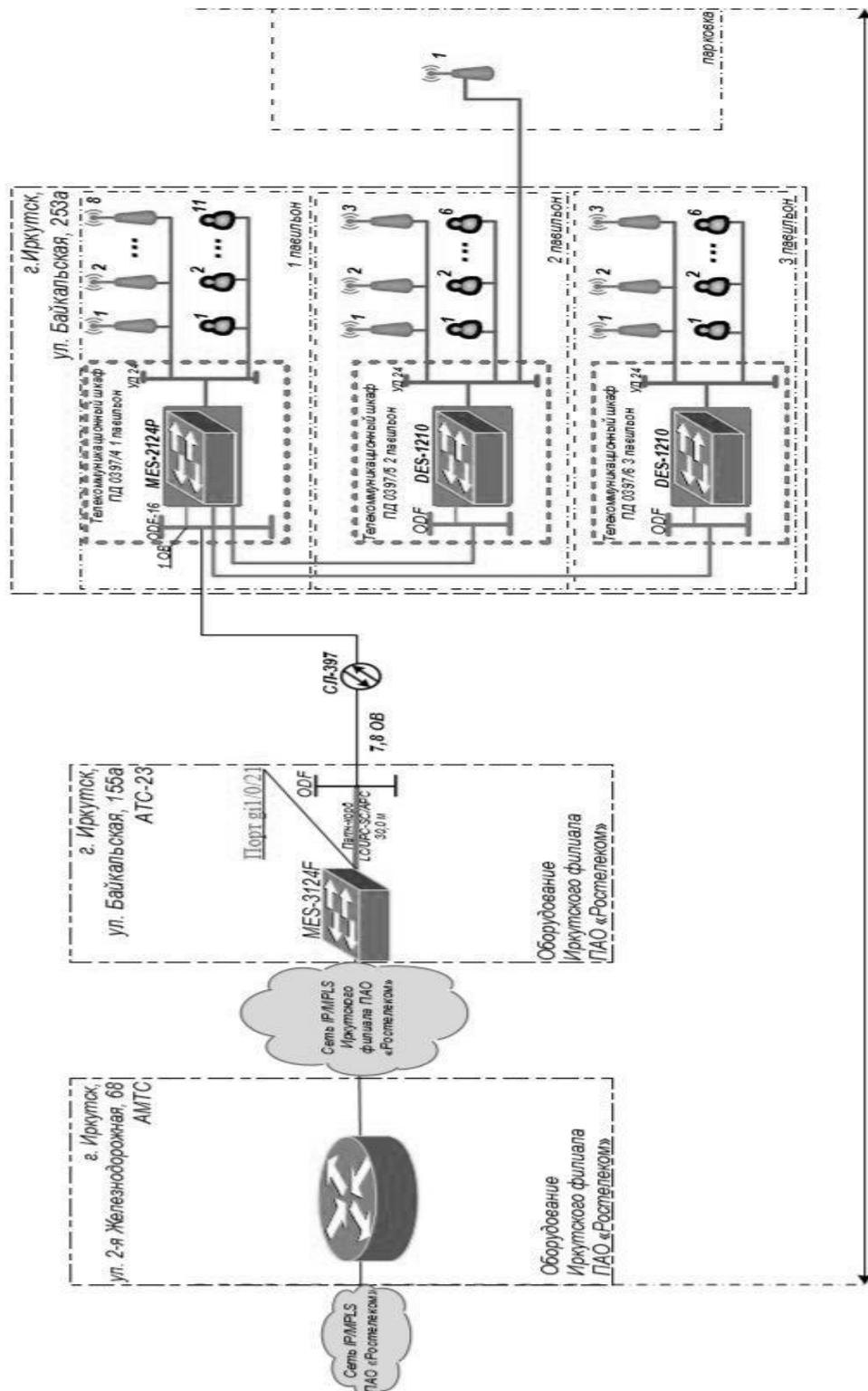


Рисунок 1 – Схема организации связи после изыскательских работ

Ярким примером служит сибирский фестиваль робототехники "РобоСиб", на котором собирается около 700 школьников и студентов со всей Сибири. Для полноценного проведения показательных выступлений на высоком уровне, необходимым является наличие доступа к интернету. С его помощью участники и организаторы загружают программное обеспечение в свои ноутбуки для роботов и датчиков, используемых в наборе Lego Mindstorms. А также используют поиск на форумах для отладки своих проектов и кодов программ для управления роботами.

А так как на данном мероприятии присутствует большое количество участников и гостей, целесообразно установление именно беспроводной связи.

В летний период на открытой площадке размером 3400м<sup>2</sup> проходят промышленные крупномасштабные выставки, с презентацией специфического оборудования и техники, используемых в определенной отрасли.

К примеру, на выставке под названием «Транспорт и дороги Сибири. Спецтехника» свою продукцию и идеи презентуют различные передовые предприятия транспортной инфраструктуры России. Из-за большого количества металлических конструкций необходимо очень ответственно подойти к радио планированию беспроводной системы связи. Для того чтобы учесть все возможные помехи при распространении сигнала.

Актуальной беспроводная связь будет и в случае проведения такой международной выставки, как "SibWoodExpo" (Сиблесопользование). Она посвящена широкому кругу проблем от лесовосстановления до его переработки и утилизации отходов, поэтому посетителям представлены для ознакомления такие экспонаты как станки и инструменты для обработки древесины, спецтехника, технические средства для утилизации древесных отходов, производства энергии из древесного топлива, средства для защиты окружающей среды, для предотвращения пожаров и многое другое.

"SibWoodExpo" также является площадкой для встреч представителей отраслевого бизнеса, науки, региональных органов власти с целью установления деловых контактов. В связи с присутствием большого количества представителей различных организаций, заинтересованных в данной продукции, рационально предоставление возможности установления конференц связи, для мобильного принятия решений.

При реализации нам пришлось столкнуться еще с одной сложностью, сроки выполнения строительно-монтажных работ были максимально сжаты, так как работы можно было проводить только в перерывы между выставками, а монтаж оптического и медного кабелей требовал определенных навыков, в связи с тем что прокладка кабеля была организована по потолку на высоте 7м от уровня пола.

Многие считают, что Wi-Fi для организаций (т.е. промышленный) не нуждается в точной планировке и качественной установке. Пользователь не слишком углубленный в данную тематику, думает, что такой Wi-Fi не

слишком отличается от домашней беспроводной сети, настроить которую сегодня может едва ли не каждый абонент. Такое представление абсолютно не верно, т.к промышленная сеть является крупномасштабной, при ее проектировании используется не стандартное оборудование для дома, а более высокотехнологичное и дорогостоящее. В отличие от домашней, такая сеть должна обладать достаточной мощностью и защищенностью для реализации ее в серьезных бизнес-проектах. Именно поэтому организация сети Wi-Fi для предприятий не терпит спешки и халатного отношения, которые приводят к распространению среди обывателей мнения, дискредитирующего промышленную беспроводную сеть. К примеру, на качество сигнала будет влиять не только квалифицированность подрядчика и качество оснащения, но и такие неординарные факторы, как:

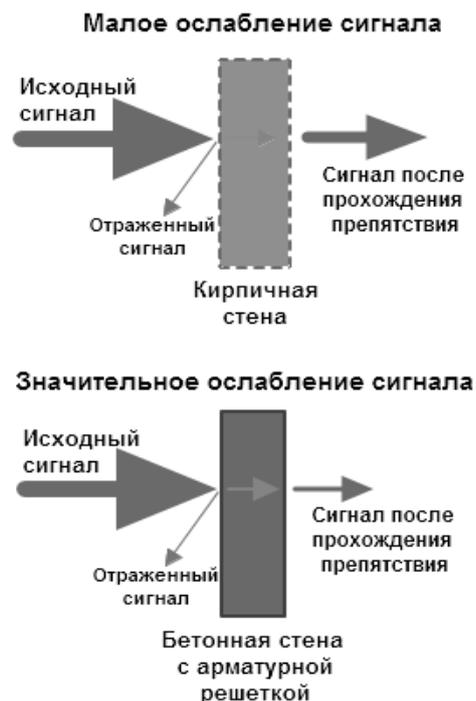
- Материалы, из которых сделаны стены и перегородки в здании;
- Индивидуальность местоположения абонентов;
- Воздействия на беспроводную сеть добавочного работающего оборудования и др.

Для того чтобы учесть крайний фактор, в начале проектирования беспроводной сети, инженеры делают радиообследование, в результате которого обнаруживают вероятные помехи на пути распространения сигнала (например, металлические конструкции, СВЧ-излучения от приборов и т. д.).

Когда происходит распределение Wi-Fi оборудования, главное узнать из чего состоят перекрытия, стены, мебель в помещении, конструкционные элементы, и с этими факторами произвести расстановку аппаратуры.

Разные преграды, находящиеся между точками доступа, способны поглощать /отражать радиосигналы, это приводит к частичной или полной потере сигнала. Мощность сигнала ограничивается препятствиями, которые находятся в области излучения. Чем больше преград, тем хуже будет сигнал. Не предвиденные потери и отражения, какой то части первоначального сигнала, объясняется тем, что волна сигнала огибает препятствие, а также проходит через него.

При расположении оборудования, одной из частых ошибок является установка возле металлоконструкций, железобетонных стен, роутера излучающего во всех направлениях. Тогда сигнал будет отражаться от поверхности из металла. Изменится диаграмма направленности став направленной. К тому же, возникнет сильное многолучевое распространение (multipath), из-за того что часть излученной мощности будет распространяться к металлу и отражаться в обратном направлении, образуя интерференцию своему же полезному сигналу.



**Рисунок 2 – Ослабление Wi-Fi сигнала после прохождения через различные препятствия**

Вода очень активно поглощает излучение на высоких частотах, поэтому нельзя располагать роутер около емкостей с водой и водопроводными трубами (больше всего подвержен диапазон 2,4 ГГц).

Обычно такие проблемы решаются за счет аппаратуры с антеннами, расположенными внутри корпуса или выносом внешних антенн за пределы преград.

По данным фирмы Zухel (известный производитель сетевого оборудования) можно оценить влияние материала преград на распространение сигнала по Таблице 1.

Таблица 1. Потеря эффективности сигнала и перегородок, установленных в помещении.

Препятствие	Дополнительные потери (dB)	Эффективное расстояние
Открытое пространство	0	100%
Окно без тонировки (отсутствует металлизированное покрытие)	3	70%
Окно с тонировкой (металлизированное покрытие)	5-8	50%

Деревянная стена	10	30%
Межкомнатная стена (15,2 см)	15-20	15%
Несущая стена (30,5 см)	20-25	10%
Бетонный пол/потолок	15-25	10-15%
Монолитное железобетонное перекрытие	20-25	10%

Эффективным расстоянием называется радиус действия точки доступа, после того как сигнал пройдет через препятствие. Это расстояние сравнивается с радиусом действия аппаратуры в открытом пространстве. К примеру, когда на открытой площадке радиус действия Wi-Fi равен 100 м, то когда сигнал пройдет первую межкомнатную стену, он станет меньше на 85% от первоначальной величины, т. е. до 15 м, а после следующей еще до 15% уже от получившегося значения (до 2,2 м).

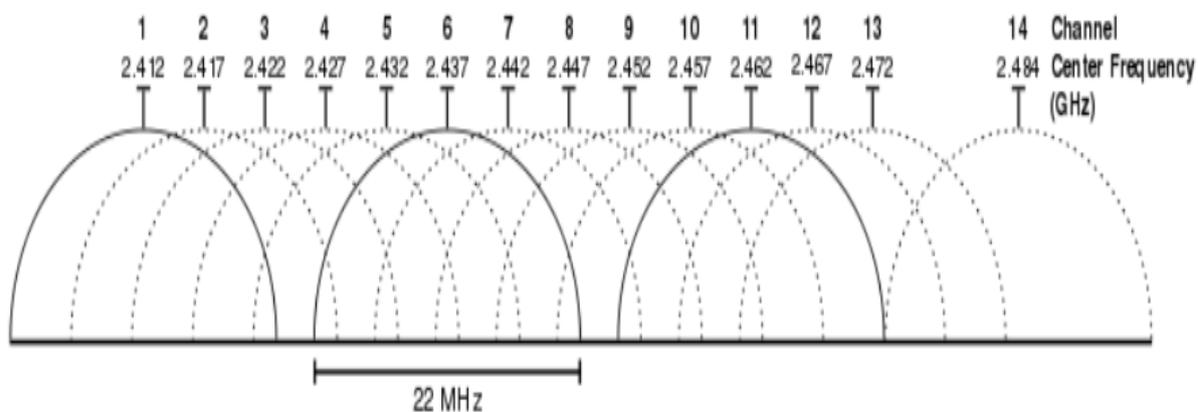
Важно учитывать, что скорость может быстро затухать из-за удаления от Wi-Fi антенн, при этом уровень сигнала уменьшается пропорционально расстоянию в квадрате.

Если знать зону покрытия одной точки, очень полезно составлять ориентировочный план расположения точек Wi-Fi по территории помещения. Нужно учитывать, что места, не до конца перекрытые сигналом, необходимо перекрывать двумя точками доступа.

При размещении Wi-Fi точек требуется определить частотный план, т. е. задать каналы для каждой точки так, чтобы полосы частот ближайших точек не пересекались. В диапазоне 5 ГГц все каналы можно считать не пересекающимися. Диапазон 5 ГГц разделен на четыре поддиапазона.

1. UNII-1: 5150–5250 МГц (доступно 4 частотных канала).
2. UNII-2: 5250–5350 МГц (доступно 4 частотных канала).
3. UNII-2 Extended: 5470–5725 МГц (доступно 11 частотных каналов).
4. UNII-3: 5725–5825 МГц (доступно 4 частотных канала).

Диапазон 2,4 ГГц содержит всего 14 пересекающихся каналов шириной 22 МГц каждый. Для 802.11g и более новых стандартов ширина каждого канала равняется 20 МГц. В сумме каналы занимают полосу частот от 2,401 ГГц до 2,495 ГГц. Расположение каналов по полосе частот показано на рисунке 3. В этом диапазоне одновременно доступны всего 3 не перекрывающихся 22 МГц канала. Список центральных частот каждого канала приведен в таблице 2.



**Рисунок 3 – Распределение каналов 802.11 по полосе частот в диапазоне 2,4 ГГц**

Таблица 2. Центральные частоты каналов 802.11 в диапазоне 2,4 ГГц

Номер канала	Частота МГц	Частота МГц	Частота МГц
1	2412	8	2447
2	2417	9	2447
3	2422	10	2452
4	2427	11	2462
5	2432	12	2467
6	2437	13	2472
7	2442	14	2484

### Библиографический список

1. Коэффициенты затухания сигнала Wi-Fi при прохождении через различные среды [Электронный ресурс] / Электронный портал ZYXEL.RU. – Режим доступа <https://kb.zyxel.ru/hc/ru>, свободный.
2. Сбитнев А.В, Матюхин К.Н. Волоконно-оптические направляющие системы: учебное пособие. – М.:МГТУ ГА, 2015. – 78с.,32ил.
3. Алексеев Е.Б. Оптические сети доступа. Учебное пособие. – М.: ИПК при МТУ СИ, 2005 г. - 140 с.
4. Иванов В.С, Никитин Б.К, Пирмагомедов Р.Я. Строительство ВОЛС. Современные технологии и организация. Часть 1. Учебное пособие. – СПбГУТ. – СПб., 2015. – 71 с.
5. Иванов В.С, Никитин Б.К, Пирмагомедов Р.Я. Строительство ВОЛС. Современные технологии и организация. Часть 2. Учебное пособие. – СПбГУТ. – СПб., 2015. – 76 с.

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**Дудин А. Д., Просвирякова Л. В.** - руководитель  
ФГБОУ ВО “ИРНИТУ”  
jet.dudin@yandex.ru

В наше время, время высоких технологий и развитой схемотехники нередко возникают ситуации, когда необходимо не только знать, но и контролировать те или иные параметры помещений. Это может быть вызвано различными причинами. От поддержания рабочей температуры в комнатах с оборудованием (серверных и т.д.) до создания комфортных условий для работы людей.

На сегодняшний день существуют различные готовые схемные решения. От готовых устройств до устройств, поставляемых в разобранном виде и требующих сборки вручную. Также имеет огромное множество разнообразных датчиков для измерения тех или иных параметров помещений. Не смотря на кажущуюся простоту задачи, реализовать такую систему не просто. Необходимо учитывать множество факторов. Система должна удовлетворять различным требованиям, не только производственным, но и требованиям предприятия на котором будет использоваться. Система не должна вносить никаких помех в существующие сети предприятия, а также сама не должны быть подвержена таковым. Также система не должна нагружать электрическую сеть, иметь широкий функционал и способность работать с различными датчиками (поддерживать те или иные протоколы). Выбор того или иного устройства, а в дальнейшем и датчиков к нему, определяется множеством факторов. Цена, функциональные возможности, количество подключаемых датчиков, пользовательский интерфейс, в некоторых случаях наличие сертификата качества.

В данной статье рассмотрена проблема выбора оборудования для контроля микроклимата в офисном помещении. Для данной задачи было рассмотрено множество готовых схемных решений. Первое из них UniPing v3 - это устройство для удалённого мониторинга и слежения за микроклиматом в коммутационном помещении (шкафе) с оборудованием.

Датчики температуры и влажности позволяют контролировать условия эксплуатации оборудования. Датчики открытия дверей, движения, удара, разбития стекла предупредят о несанкционированном доступе. Датчики дыма, протечки, а также сирена позволят получать своевременные уведомления о нештатных ситуациях. Датчик наличия напряжения позволит узнать об отключении сети питания. Модули расширения позволят уведомлять о нештатных ситуациях посредством смс, управлять оборудованием при помощи ИК сигнала, а также включать и выключать

нагрузку (например, системы охлаждения/увлажнения). На это устройство и пал выбор.

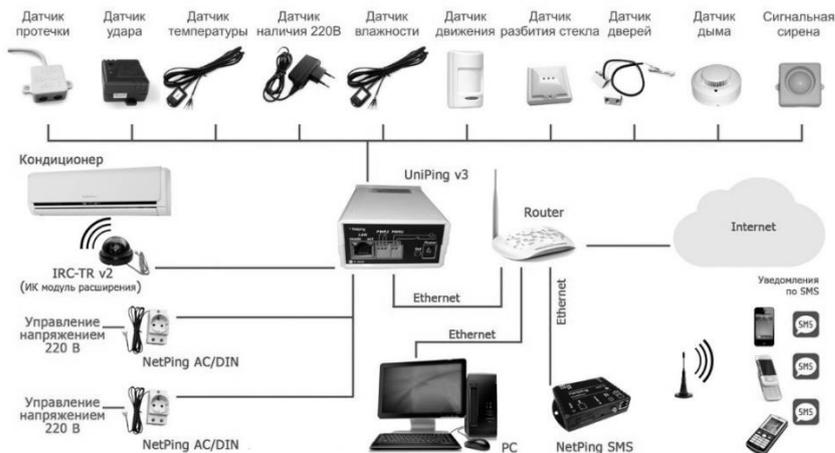


Рисунок 1 – UniPing V3 и модули расширения

Также данное устройство имеет гибкую логику настройки для тех или иных нужд.

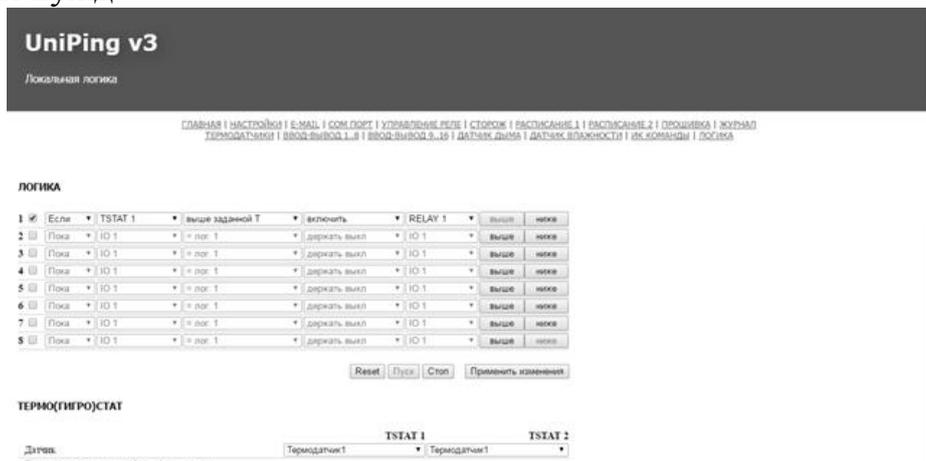


Рисунок 2 – Окно настройки UniPing V3

Датчик температуры, подключаемый к системе, предназначен для измерения температуры окружающего воздуха внутри помещения  $-40^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$ . Датчик собран на основе цифрового однокристалльного термометра TCN75A. TCN75A использует разницу в напряжении на базе-эмиттере транзистора, его коллекторный ток изменяется с IC1 на IC2. С помощью этого метода  $\Delta V_{BE}$  зависит только от отношения двух токов и температура окружающей среды. Этот датчик имеет совместимый последовательный интерфейс I2C™, позволяющий подключать до восьми устройств в одну последовательную шину. Это делает TCN75A идеальным для недорогих проектов сложного многозонного контроля температуры.



Рисунок 3 - Датчик температуры T811

Датчики было решено расположить в помещении следующим образом:

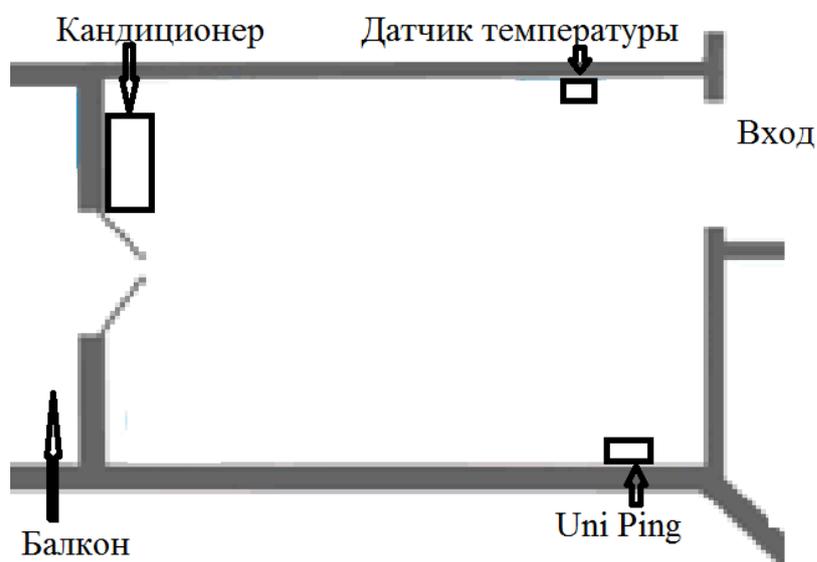


Рисунок 4 – Расположение датчиков в помещении

### Библиографический список

1. Кечиев Л. Н., Бобков А. Л., Степанов П. В. Помехоподавляющие фильтры. Методы проектирования. – М., Московский государственный институт электроники и математики, 1999 г., 36.с.
2. Демирчян К.С., Нейман Л. Р., Коровкин Н. В. Теоретические основы электротехники: учебник для вузов. 5-е изд. Т. 1. – СПб.: Питер, 2009. – 512 с.: ил.
3. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: Учебное пособие. 6-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 592 с.: ил.- (Учебник для вузов. Специальная литература).

# ОБ ОДНОМ ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ОПЕРЕЖЕНИЯ «АКУСТИЧЕСКИМ» СИГНАЛОМ МОМЕНТА ПОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ТОЛЧКА

Климов Н.Н., Чернов И.Н.  
ФГБОУ ВО «ИрГУПС»  
klinn@irgups.ru, 1bopoh1@mail.ru

## Введение

Довольно часто при землетрясениях сначала слышится гул (напоминающий по спектру звук работающего мощного дизельного двигателя), затем следует толчки, связанные с приходом сначала продольной волны в последующем поперечной. Появление акустического сигнала, скорость распространения которого не может превышать скорость распространения продольных волн, трудно объяснить. Ниже для иллюстрации этого явления приводится график регистрации сначала инфразвука, а затем сейсмического сигнала. [1]

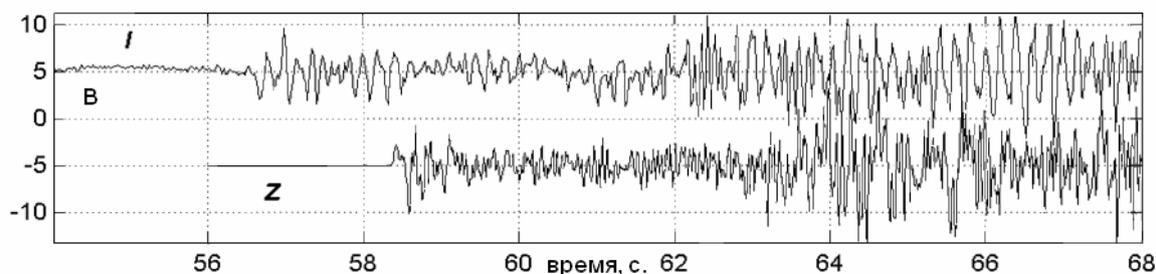


Рис 1. Акустический сигнал *I* и сигнал вертикального сейсмографа *Z*, одного из афтершоков Чуйского землетрясения на Алтае  $M=7.5$  в 2003 г., записанные на сейсмостанции Акташ [2].

На рис. 1 приведены результаты акустических наблюдений афтершоков Чуйского землетрясения ( $M=7.5$ ), произошедшего на юге Горного Алтая на территории Кош-Агачского района 27 сентября 2003 г. в 11 час. 33 мин. по Гринвичу; данные получены в начале ноября 2003 [2]. На верхней панели инфразвук, на нижней панели — сигнал вертикального сейсмографа, установленного на сейсмостанции Акташ, оказавшейся практически в эпицентре афтершоков. Видно, что инфразвук примерно на две секунды опережает появление волны землетрясения.

Отклики магнитометра чувствительностью 0,001 нТл были зарегистрированы при вибросейсмическом зондировании на Быстровском полигоне СО РАН на расстоянии 49 км [3].

Интересной является информация об обнаружении изменения гравитационного поля Земли (в терминах авторов статьи «elastogravity signals») от крупного землетрясения в Японии (11 марта 2011 года, магнитуда 9,1 баллов), распространяющихся со скоростью света [4]. То, что зарегистрировано каналом продольной волны сейсмографа с вырезанием диапазона

0,002 - 0,03 Гц шума океанских микросейсм, на наш взгляд, может быть откликом на вариации магнитного поля, которые могут генерироваться в момент толчка [3].

В связи с тем, что имеются случаи появления звука, опережающего толчок от землетрясения, нами предлагается обсудить возможность восприятия человеком *как бы акустического сигнала* во время землетрясений возбуждением непосредственно слухового аппарата или отдела мозга человека низкочастотным электромагнитным полем (ЭМИ - диапазон частот 30 Гц - 20 кГц). Этот сигнал (возможно) генерируется распространяющимся фронтом сейсмических волн.

Естественно, что ЭМИ опережает сейсмические волны.

Возможность объяснения слышимых 2-10% людьми на Земле сигналов звукового диапазона (именуемых в англоязычной литературе как *HUM* –гудение) ЭМИ ранее детально обсуждалось в работе [5]. Одно из первых сообщений о слуховом восприятии радиоволн было опубликовано в 1962 году [6]. Здесь показано, что восприятие акустического звука может быть вызвано радиоволнами в микроволновом диапазоне 425-1310 МГц. Звук слышали как люди с нормальным слухом, так и глухие при потоке электромагнитного излучения  $2,75 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ . В работе [5] приводятся данные о величине потока ЭМИ, воспринимаемого человеком, в диапазоне от 2,4 до 10000 МГц [7]. Ключевым фактором в акустическом восприятии является не средний уровень мощности, а пиковая мощность. Радиочастотная энергия может быть определена как звук при средних уровнях мощности до  $0,01 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ , при потоке ЭМИ в импульсе от 2 до 20  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  с длительностью 10 мкс. Частота следования импульсов 0,5-0,05 Гц [Freu,1962]. Здесь, на наш взгляд, человек воспринимает только импульс, спектр которого несёт значительную энергию в диапазоне звуковых частот. Этими же авторами [5, 7] обсуждена возможность восприятия человеком ЭМИ от полярных сияний. Делается отрицательный вывод на основании того, процессы торможения энергичных электронов генерируют радиоизлучение в диапазоне 500-1600 кГц [8]. Тем не менее, люди слышат шипения при полярных сияниях и этот факт не исключает возможности восприятия человеком хоров и свистов, которые генерируются молниями и процессами взаимодействия энергичных частиц магнитосферы с частицами верхней атмосферы [8].

Предлагаемое нами объяснения опережения сейсмического толчка восприятием ЭМИ человеком поддерживается рядом авторов, которые выдвигают аналогичную гипотезу для так называемых *электрофонных болидов* [9]. Это такой класс болидов, в моменты пролёта которых сначала слышатся звуки, затем оптические явления и, спустя некоторое время, звуки, генерированные ударной волной. Для поддержки этого предположения в вышеупомянутой работе сообщён следующий факт. Австралийский исследователь К.Кей, обнаружил, что люди, находящиеся в

звукоизолированной комнате, слышат звуки, порождаемые ЭМИ с напряженностью 130 В/м [9]. Другие авторы пытаются доказать, что источником звука могут мощные оптические вспышки, порождаемые болидом, которые порождают звуки изменением объёма окружающих предметов и растений [10].

### Основная часть

Для проверки нашей гипотезы был проведен эксперимент по регистрации слуховым аппаратом человека минимальной величины тока смещения [11]. Схема измерения тока смещения на частоте 1 кГц приведена на рис.2.

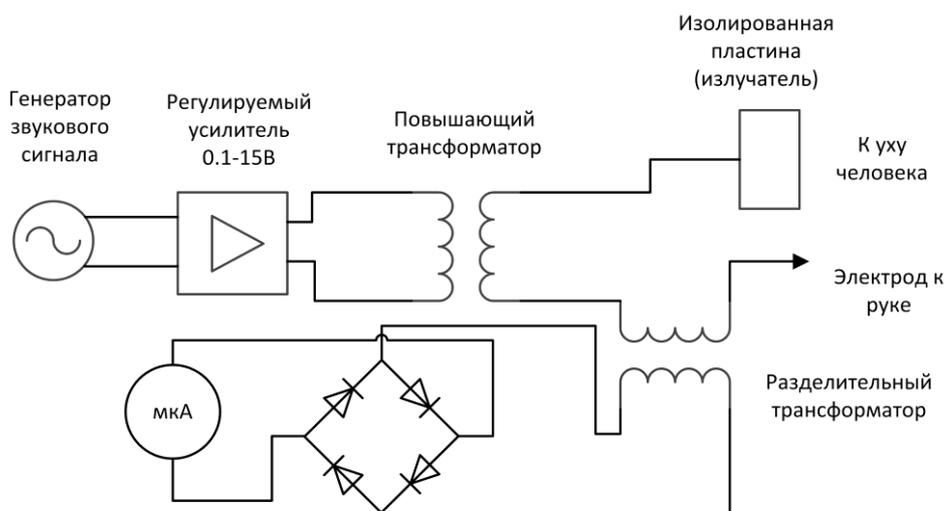


Рис.2. Схема измерения тока смещения звуковой частоты.

В одном случае размеры изолированной полиэтиленовой плёнкой медной пластиной были 189 мм x 289 мм, в другом - 17мм x 17 мм. Пластина плотно прислонялась рукой к уху человека. Цепь замыкается подключением второго выхода генератора к телу человека. Для большой пластины величина порогового тока составила 9 мкА при напряжении генератора 1.1 В, для меньшей – 56 мкА напряжение -104 В.

При таких параметрах тока смещения мощность составляет примерно 10 мкВт и 6000 мкВт соответственно. Такую существенную разницу (в 600 раз) минимальной мощности, воспринимаемой человеком как звук, связана, по-видимому, с объёмом той доли человеческого мозга, на которую воздействует ток смещения.

Для оценки возможного потока низкочастотного электромагнитного излучения (ЭМИ) при землетрясениях нами использованы результаты работ по измерению характеристик ЭМИ, генерируемого при разрушении горных пород. Эти работы выполнены в Новосибирском государственном техническом университете и Институте горного дела СО РАН [12]. Объём разрушаемых образцов горных пород различного типа колебался в диапазоне  $5,4 \cdot 10^{-5} - 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ . Величины энергии низкочастотного ЭМИ, выделяемой при разрушении образцов различных пород составили  $2,8 \cdot 10^{-14} -$

$10^{-18}$  Дж [12]. Длительность импульсов ЭМИ составляла 0,5-5,3 мс, что соответствует диапазону генерируемых частот от нулевых до 0,2 –2 кГц. Максимальное излучение было при разрушении хрупких пород типа мелкозернистого сиенита с прожилками карбоната; минимальное – мраморного известняка [12,13]. Мощность ЭМИ при разрушении образцов горных пород составляет  $2 \cdot 10^{-16}$  –  $5,6 \cdot 10^{-11}$  Вт при вышеупомянутых объёмах разрушаемых образцов.

Если в основу анализа взять вычисленные нами мощности ЭМИ из данных, полученных в работах [12, 13], то при разрушении одного кубического метра породы генерируемая мощность ЭМИ составит  $5 \cdot 10^{-13}$  –  $10^{-6}$  Вт. Поток ЭМИ на удалении порядка 10 км (такое расстояние взято из предположения акустический сигнал опережает сейсмический сигнал на 2-3 сек) от фронта сейсмической волны для одного кубического метра разрушаемой породы можно оценить по формуле (1)

$$E_{эмн} = \frac{P}{4\pi R^2} Втм^{-2}, \quad (1)$$

где  $P$ - мощность ЭМИ в Вт,  $R$  – расстояние в метрах до источника. Получим поток ЭМИ величиной  $E_{ЭМИ1} = 4 \cdot 10^{-23}$  –  $8 \cdot 10^{-16}$  Втм $^{-2}$  генерируемый одним кубическим метром разрушаемой породы.

В наших измерениях мощности тока смещения звуковой частоты, вызывающее ощущение звука, получили величину порядка 10 мкВт при площади электрода 493 см $^2$ . Это даёт пороговое значение потока ЭМИ  $E_{ЭМИ2} = 2 \cdot 10^{-4}$  Втм $^{-2}$ , а для меньшего электрода - 2 Втм $^{-2}$ . Как следует из величины порогового потока, необходимые мощности ЭМИ должны генерироваться на фронте распространяющейся сейсмической волны при разрушении горных пород объемом  $V$ , определяемой формулой (2):

$$V = \frac{E_{ЭМИ2}}{E_{ЭМИ1}} м^3. \quad (2)$$

Объём разрушаемой породы порядка  $5 \cdot 10^{18}$  –  $2,5 \cdot 10^{11}$  м $^3$  должен быть расположен на небольшой глубине. Условие одновременности разрушения значительного объёма горной породы ( $5 \cdot 10^9$  – 2500 км $^3$ ) накладывает жёсткие ограничения по минимальному порогу магнитуды землетрясения на фронте распространяющейся сейсмической волны. Породы разрушаются, если магнитуда не меньше 7 баллов по шкале Рихтера [14]. К сожалению, нами не найдено измерений потока ЭМИ в период землетрясений.

Как следует из данных, приведённых в [5, 7], потоки высокочастотного ЭМИ, вызывающие ощущение звука, составляют 2.75 кВтм $^{-2}$ . В случае же импульсного излучения [7] величины потока ЭМИ на расстоянии 10 м от источника составляют 0.0016-0.016 Втм $^{-2}$ . Что превышает наши оценки по минимальному порогу восприятия более чем на 1-2 порядка, а по максимальному – картина обратная! Если использовать пороговые потоки ЭМИ, полученные нами, то, возможно, что большая часть слышимых человеком сигналов обусловлена естественными ЭМИ, которые возбужда-

ются молниями, потоками вторгающихся энергичных частиц в атмосферу Земли – это свисты и хоры [Akasofu, 1979]. Не исключается также антропогенные источники, такие как установки по нагреву ионосферы радиоволнами КВ-диапазона (НААР – Аляска, США [5], «СУРА» - Нижний Новгород, РФ, [15], низкочастотные средства связи с подводными лодками [5]).

Если, для наблюдаемого в нашем эксперименте потока ЭМИ, оценим напряженность  $U$  по формуле 3

$$U = \sqrt{E_{\text{ЭМИ2}} \cdot 120\pi}, \quad (3)$$

то получим напряженность от  $0,3 \text{ Вм}^{-1}$  до  $30 \text{ Вм}^{-1}$  для минимальных и максимальных значений потока соответственно. Эти значения не противоречат данным других авторов.

Приводимые нами оценки ЭМИ поддерживают гипотезу генерации этого излучения электрофонными болидами [9], хотя и не исключают возможность порождения акустических сигналов оптическими вспышками болида [10].

### Заключение

При наших предположении, что генерируемое разрушающими горными породами ЭМИ не затухало, источник должен располагаться глубинах не более 100 м. Если же размеры толщины фронта разрушаемой породы составит порядка 3000 м, то протяженность по фронту волны должна быть порядка 1000 км, В этом случае мы будем необходимый объем разрушаемой породы порядка  $2 \cdot 500 \text{ км}^3$ .

Пороговые значения потока  $2 \cdot 10^{-4} \text{ Втм}^{-2}$  для электромагнитного излучения звукового диапазона, полученные в работе, показывают, что гипотеза о возможности прямого воздействия ЭМИ землетрясения, свистов и хоров, излучения электрофонных болидов на слуховой аппарат человека имеет право на существование.

### Библиографический список

1. Кузнецов В.В. Физика землетрясения и сопутствующих явлений в литосфере, атмосфере, ионосфере и магнитосфере. <http://vvkuz.ru/books/phys.eart.pdf>. 2010.
2. Кузнецов В.В., Хомутов С.Ю. Результаты наблюдений атмосферного электричества, геомагнитного поля и инфразвука в период афтершоковой активности Чуйского землетрясения (Алтай, 27.09.2003) // Электронный научно-информационный журнал. № 1(23). 2005. [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2005/screp-1.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2005/screp-1.pdf)
3. Кузнецов В.В., Плоткин В.В., Хомутов С.Ю. Акустические и электромагнитные явления в атмосфере при вибросейсмическом зондировании. Доклады Академии Наук, том 370, №1, с.241-248, 2000.
4. Vallee Martin, Ampuero Jeanel Paul, Juhel Kevin, Bemard Paskal, Montagner Jean-Paul and Barsuglia Matteo. Observations and modeling of the

elastogravity signals preceding direct seismic waves. *Science* **358** (6367), 1164-1168. DOI: 10.1126/science.aao0746.

5. Deming, David. The Hum: An Anomalous Sound Heard Around the World. *Journal of Scientific Exploration*, **18** (4): s.571–595.2004.

6. Elder, J. A., Chou, C. K. Auditory response to pulsed radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics Supplement*. **6**, s.162–S173.2003.

7. Frey, A. H. Human auditory system response to modulated electromagnetic energy. *Journal of Applied Physiology*, **17**, s. 689–692. 1962,

8. Akasofu, S-I. Aurora Borealis: The amazing Northern Lights. *Alaska Geographic*, 6(2), s. 1–95. 1979.

9. Бронштэн В.А. Метеоры, метеориты, метеороиды » Глава 3. Метеорные явления. Электрофонные болиды. Томский научный центр СО РАН Государственный архив Томской обл. Институт систем информатики СО РАН. Грант РГНФ №05-03-12324в.

10. Richard Spalding, John Tencer, William Sweatt, Benjamin Conley, Roy Hogan, Mark Boslough, GiGi Gonzales, Pavel Spurný. Photoacoustic Sounds from Meteors. *Scientific Reports* 7, Article number: 41251 (2017), doi :10.1038/srep41251.

11. Климов Н.Н., Наумов А.Д. Параметры тока смещения звуковой частоты, воспринимаемого органом слуха (или мозгом) человека как акустический сигнал. *Вопросы естествознания*. №4(4), ИрГУПС. С.101-106. 2014,

12. Вострецов А.Г., Кривецкий А.В., Бизяев А.А., Яковицкая Е.А. Характеристики электромагнитного излучения горных пород при их разрушении в лабораторных экспериментах. *Доклады Академии Наук Высшей Школы РФ. Из-во НГТУ*, № 2(21), с.46-54. 2013.

13. Опарин В.Н., Яковицкая Е.А. Вострецов А.Г., Серяков В.М., Кривецкий А.В. О коэффициенте механо-электромагнитных преобразований при разрушении образцов горных пород. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. №3, с. 3-20. 2013.

14. Короновский Н.В., Абрамов В.А. Землетрясения: причины, последствия, прогноз. *Соросовский образовательный журнал*, №12, с.71-78. 1998.

15. Бахметьева Н.В., Беликович В.В., Каган Л.М., Понятов А.А., Толмачева А.В. Аналитический обзор. Исследования атмосферы Земли методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы. *Вестник РФФИ*, № 3 (53), с 8-35, май–июнь 2007.

## **КОМПАКТНЫЙ, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ШЕСТИПОРТОВЫЙ РАДАРНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

**Николаев А.А., Фискин Е.М.** – научный руководитель  
ФГБОУ ВПО "ИРНИТУ"  
Nikolaev-9494@mail.ru

Для промышленного и медицинского применения широко применяются оптические методы измерения расстояний с высоким разрешением, такие как лазерная интерферометрия и измерения времени-разности лазерных импульсов. Недостатком оптических методов является трудность проникновения лазера в суровых условиях (пыль, туман), поскольку оптические линзы и зеркала могут загрязняться. Кроме того, при увеличении плотности взвешенных частиц в среде распространения, эффекты увлажнения и рассеяния увеличиваются, так что лазер не может достичь поверхности исследуемого объекта. Эти неудобства лазерных систем являются причиной растущего интереса к альтернативным неоптическим методам измерения, которые устойчивы к таким условиям промышленной среды.

Одной из основных бесконтактных альтернатив лазерам является радар. Методы измерения на основе радара также работают, когда прямая оптическая линия обзора исследуемого объекта не гарантируется, поскольку радиолокационные волны могут распространяться намного лучше через туманный или пыльный воздух. Кроме того, даже громоздкие и оптически непрозрачные диэлектрические плиты или неметаллические экраны могут быть пробиты радиолокационным сигналом.

В течение последнего десятилетия радарная технология стремительно расширялась в промышленных, автомобильных и медицинских областях применения. Расширенные задачи позиционирования и сенсорной обратной связи в процессах автоматизации основаны на высокоточном обнаружении расстояния на основе радара, например, для измерения и отслеживания движения роботов. В качестве примера для медицинских применений требуется высокая точность измерения, чтобы гарантировать безопасность пациентов и качество терапии с помощью систем мониторинга жизненно важных показателей. Например, мониторинг сердечного ритма и дыхания имеет первостепенный интерес и может быть достигнут с помощью особенно точных методов обнаружения.

Отличительной особенностью шестипортового радарного модуля является отличное разрешение фазы которое обеспечивает высокую точность измерения. В результате был разработан радиолокационный датчик на основе шестипортовой технологии.

В этой работе представлена эта компактная и универсальная шестипортовая радарная система, а также результаты моделирования ее пассивных компонентов. Разработанный моностатический шестипортовый радарный интерфейс работает в диапазоне ISM на частоте 24 ГГц. Он может использоваться в одноцелевых сценариях для измерения расстояния и вибрации.

Представленный датчик представляет собой моностатический шестипортовый радиолокатор с интегрированной матрицей патч-антенн, микроволновой фронтальной и цифровой обработки сигналов (DSP).

Опорный сигнал, генерируемый дробно-частотным синтезатором направляется во входной порт 1 из шести портов. Передаваемый сигнал отправляется на цель с помощью 16-элементной патч-антенны с коэффициентом усиления 14 дБи и угловой шириной  $40^\circ$  (3 дБ). Отраженный сигнал от цели соединен с приемным трактом и, следовательно, подается в порт 2 шестипортового приемника. Его четыре выходных сигнала преобразуются вниз в базовую полосу четырьмя детекторами мощности диода Шоттки и усиливаются с помощью двух двойных операционных усилителей. Аналого-цифровое преобразование, исправление ошибок и расчет положения или перемещения цели выполняются с использованием специальной платы DSP. Схема радара представлена на рисунке 1.

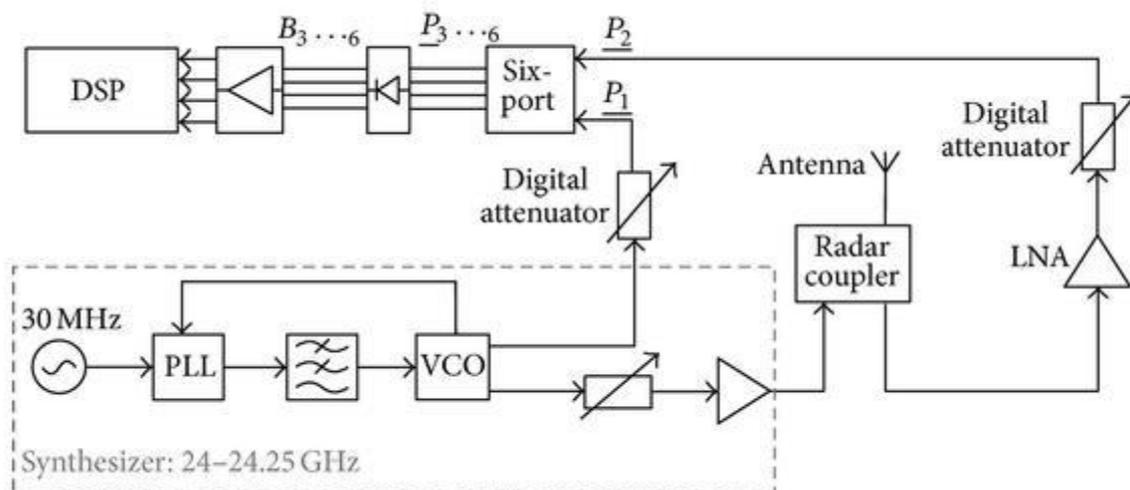


Рисунок 1 – Математический вид радара

Благодаря использованию малошумящего усилителя (LNA) с коэффициентом усиления 18 дБ в приемном тракте и двумя регулируемым по значению аттенюаторами как в опорном, так и в приемном тракте система может быть адаптирована к различным областям применения. Аттенюаторы могут быть запрограммированы через интерфейсы SPI. Высокая гибкость системы необходима из-за изменяющейся среды распространения радиоволн. В зависимости от

расстояния между антенной и мишенью, а также размеров цели, уровень принимаемой мощности может сильно варьироваться.

Как и в моностатических мультипликативных радарных системах на основе микшера, изоляция радарного соединителя и согласование антенны имеют решающее значение для работы системы. Перекрестные помехи от пути передачи до приема создают смещение по постоянному току в напряжениях основной полосы. Это может смещать рабочую точку диодных детекторов в неквадратичную область и может приводить операционные усилители в насыщение.

СВЧ-сигнал генерируется дробно-частотным синтезатором, который также позволяет создавать частотную и фазовую модуляцию.

Шестипортовая сеть является альтернативной установкой приемника для микроволновых и миллиметровых частот. Два входных сигнала накладываются под четырьмя относительными квадратурными сдвигами фазы. В зависимости от разности фаз и амплитуд двух входных сигналов конструктивное и деструктивное взаимодействие происходит на четырех выходных портах. Два сложных входных сигнала  $P1$  а также  $P2$  с несущей частотой  $f$  Настоящим определяются как

$$P1 = A1 \cdot e^{j(2\pi ft + \phi_1)}$$

$$P2 = A2 \cdot e^{j(2\pi ft + \phi_2)}$$

Комплексные выходные сигналы  $P3$ ,  $P4$ ,  $P5$ , а также  $P6$  генерируются аналогично. Диодные детекторы мощности на четырех выходах шестипортового приемника обеспечивают четыре напряжения в основной полосе  $B3$  и  $B6$ :

$$B3 = |P3|^2 = 0.25|P1 + jP2|^2$$

$$B4 = |P4|^2 = 0.25|jP1 + P2|^2$$

$$B5 = |P5|^2 = 0.25|jP1 + jP2|^2$$

$$B6 = |P6|^2 = 0.25|P1 - P2|^2$$

Из-за суперпозиции входных сигналов квадратурного сдвига фаз сложное количество  $Z$  может быть задано четырьмя напряжениями основной полосы. Следовательно, сигналы основной полосы  $B3$  и  $B6$  Можно рассматривать как дифференциальный I/Q -сигналы сложного приемника

$$Z = I + jQ = (B5 - B6) + j(B3 - B4)$$

Наконец, аргумент  $Z$  может быть рассчитан, доставляя фазовый сдвиг между двумя входными сигналами:

$$\Delta\sigma = \phi_1 - \phi_2 = \arg \{Z\}$$

При использовании шестипортового радара в качестве приемника для радиолокационных приложений фазовый сдвиг содержит

информацию о расстоянии и может быть непосредственно перенормирован, когда известна длина волны сигнала. Поскольку измерение основано на оценке разности фаз, неоднозначность измерения будет иметь место, если измеряемое расстояние больше половины длины волны радиолокационного сигнала. Чтобы избежать проблемы неоднозначности шестипортового приемника, реализована схема модуляции с чередованием частоты (FSK) в соответствии с двухтональным подходом. Дробно-частотный синтезатор генерирует два тона с частотным смещением 75 МГц для максимального недвусмысленного диапазона 2 м.

На рисунке 2 показана схема и аппаратная реализация микрополосковой технологии шестипортовой сети. Разделитель мощности Уилкинсона и три квадратурных гибридных ответвителя, генерируют упомянутые фазовые сдвиги.

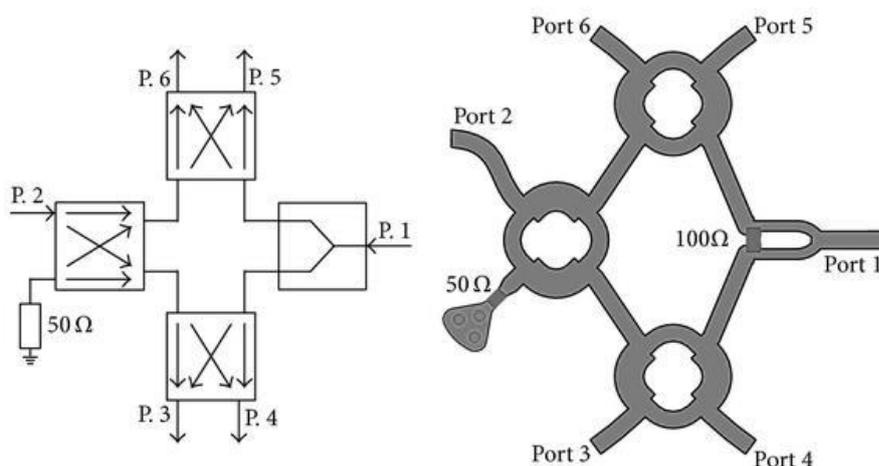


Рисунок 2 – Математическое представление и расположение шестипортовой сети

После некоторых процедур формирования аналогового сигнала в базовой полосе, выходные сигналы от шестипортового приемника отбираются с помощью синхронно запускаемых аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и оцениваются микроконтроллером.

Инициализация системы выполняется непосредственно после запуска, чтобы адаптировать параметры радиолокационного датчика к окружающей среде. Соответствующие эталоны, а также уровни мощности приема корректируются в соответствии с процедурой, выраженной в блок-схеме на рисунке 3, чтобы компенсировать дисбаланс мощности. Для этой цели используется частотно-модулированный сигнал непрерывной волны (FMCW). Уровень опорной мощности регулируется с помощью цифрового переменного аттенюатора. Оба аттенюатора могут быть установлены в значения от 0 до 31 дБ. Кроме того, МШУ в приемном тракте может быть полностью отключен для целей калибровки и инициализации.

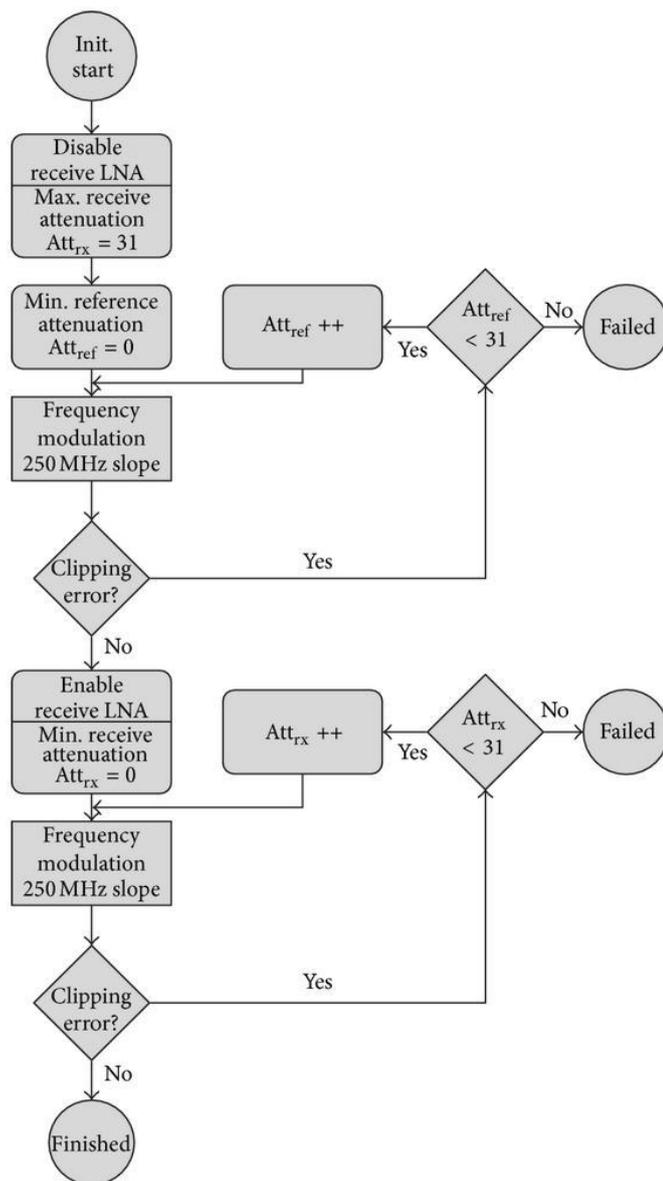


Рисунок 3 – Диаграмма инициализации

Результаты симуляции пассивных микроволновых компонентов показаны в этой главе. Результаты были получены с помощью 3D-симулятора 3D CST Microwave Studio с использованием частотного регистратора.

Схема для круглого квадратного гибридного ответвителя на частоте 24 ГГц показана на рисунке 5. Падающая волна подается на порт 1, порт 4 изолирован, а порты 2 и 3 - выходные порты. Длина линии передачи между портами составляет четверть длины волны. Был выбран круглый макет, поскольку геометрический угол  $90^\circ$  между портами 1 и 4, как показано на рисунке 5, приводит к более высокой изоляции, что является решающим параметром для радарных ответвителей.

На рисунке 4 показан имитированный коэффициент входного отражения на порте 1. Гибридный ответвитель хорошо согласован во всей полосе пропускания (-38 дБ на частоте 24 ГГц и 24,25 ГГц и -45 дБ на центральной частоте). Изоляция выше 33 дБ в интересующей полосе частот. Из-за высоких значений изоляции соединитель также используется в качестве радарного соединителя с завершением одного порта.

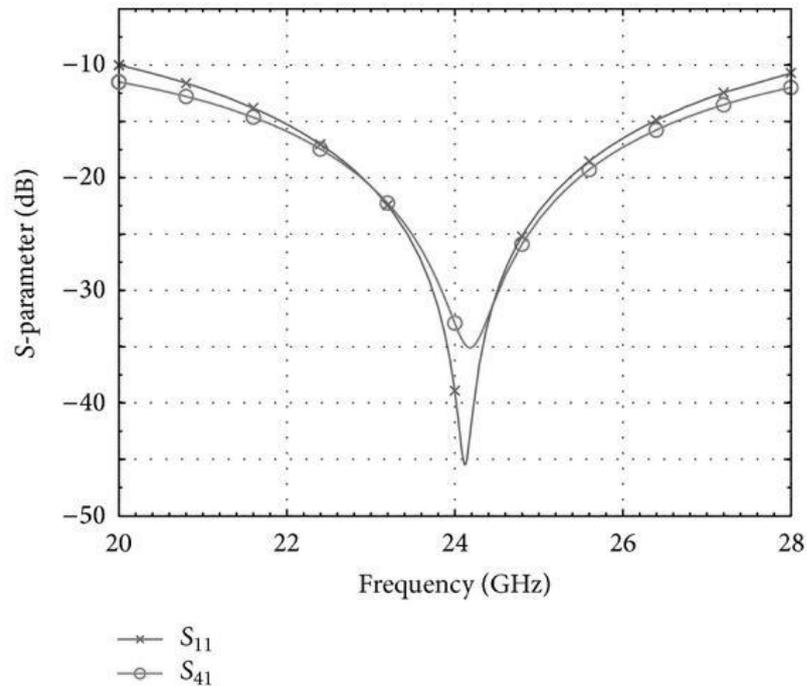


Рисунок 4 – Моделирование а квадратурного гибридного ответвителя

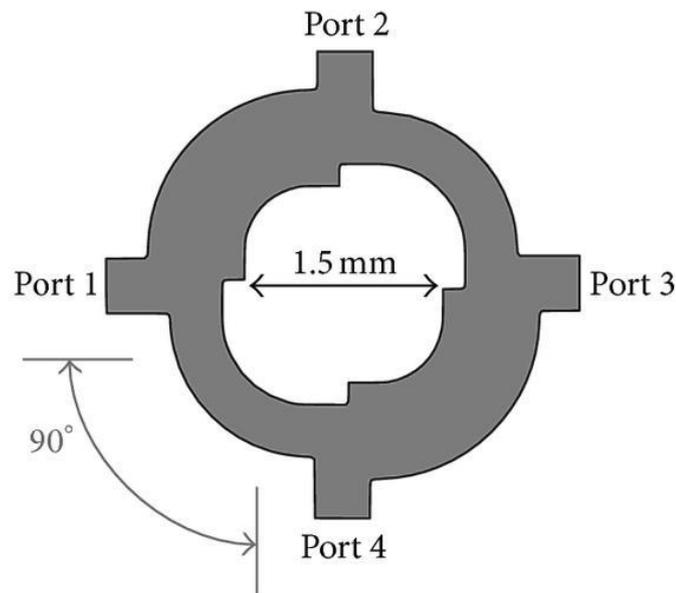


Рисунок 5 – Макет 90 ° гибридного соединителя

Результаты моделирования для передачи представлены на рисунке 6. Для идеального гибридного соединителя потери передачи будут составлять -3 дБ. Однако потери передачи между портами 1 и 3 составляют -3,2 дБ и -3,7 дБ между портами 1 и 2, хотя длина пути до порта 3 больше, чем до порта 2. Причиной для этой неожиданной разницы может быть геометрический угол  $90^\circ$  Между портами 1 и 2.

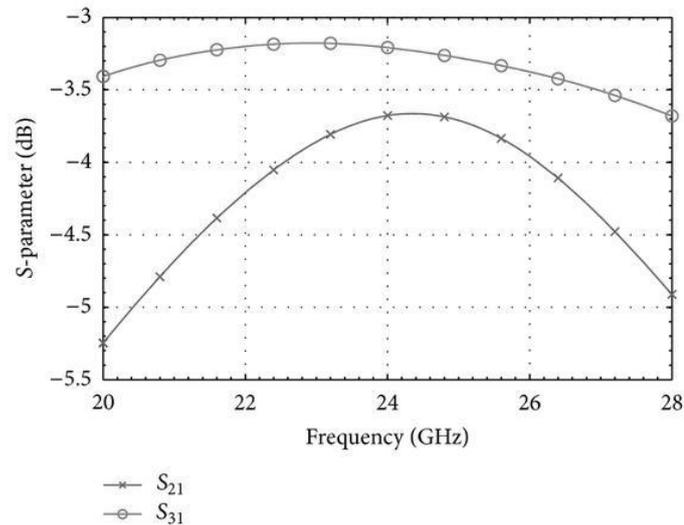


Рисунок 6 – Имитированный коэффициент передачи соединителя.

Расположение делителя мощности Wilkinson показан на рисунке 7. Он оптимизирован для хорошего согласования во всех портах и высокой изоляции между портами 2 и 3 для 24 ГГц. Согласно результатам моделирования, показанным на рисунке 8, согласование портов 1 и 2, а также передача между портами 2 и 3 ниже -20 дБ. Это необходимо, чтобы избежать стоячих волн внутри шестипортовой сети и связи между четырьмя детекторами мощности диода Шоттки.

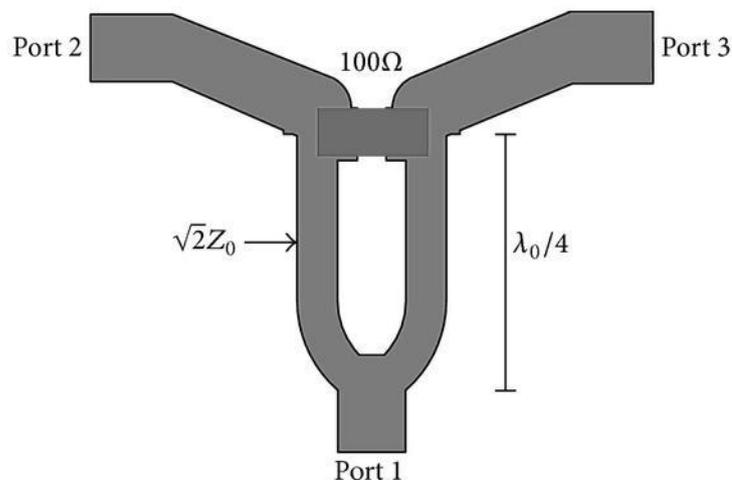


Рисунок 7 – Макет делителя мощности

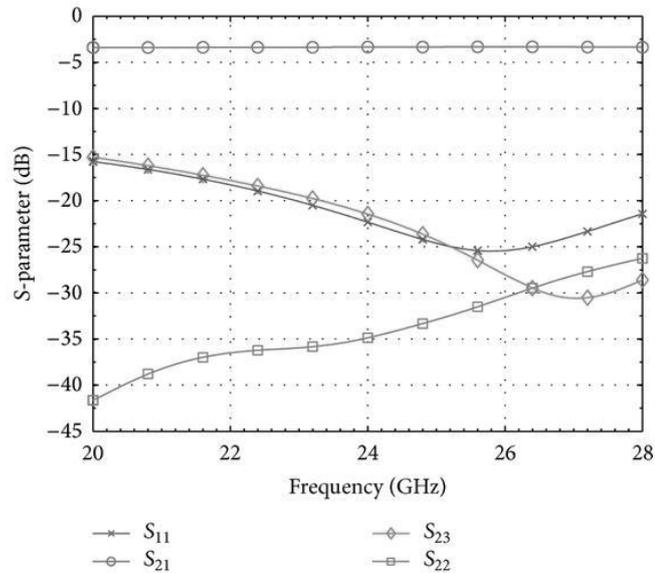


Рисунок 8 – Имитированные параметры рассеяния делителя мощности.

В шестипортовой сети, используемой в этой работе, фазовые сдвиги генерируются тремя ветвями-ответвителями и одним делителем мощности Уилкинсона. Схема и схема результирующей сети представлены на рисунке 2 .

Моделирование трехмерного поля показывает, что дисбаланс мощности передачи от входа к выходным портам составляет менее 2 дБ рисунки 9 и 10, а относительные фазовые сдвиги соответствуют  $90^\circ$  только с ошибкой  $4^\circ$  рисунок 11. Коэффициент отражения входных портов и изоляция между ними ниже -20 дБ для  $24.125 \text{ ГГц} \pm 125 \text{ МГц}$ .

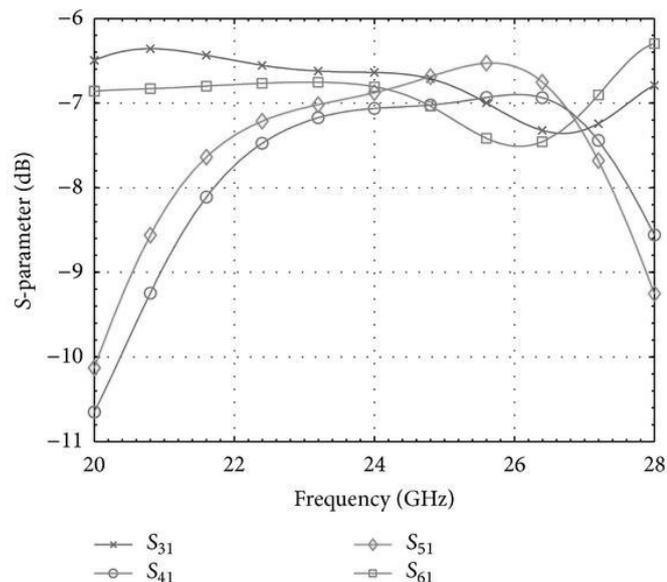


Рисунок 9 –имитированная передача с порта 1 на выходные порты

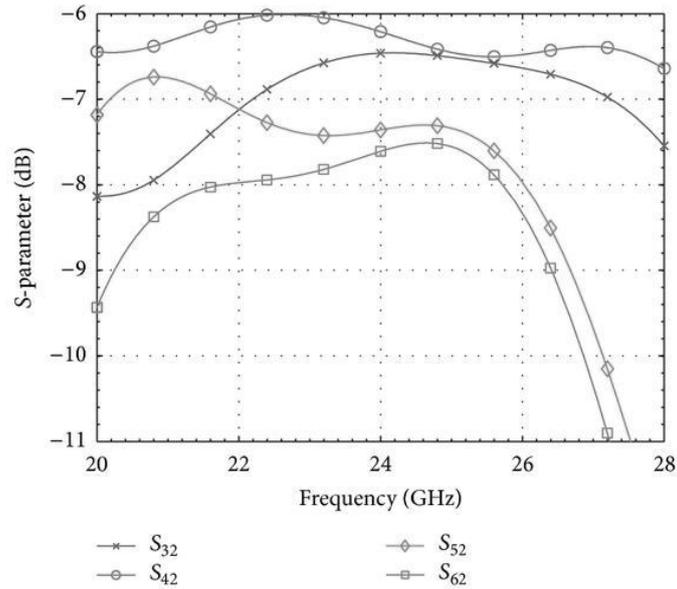


Рисунок 10 – имитированная передача от порта 2 к выходным портам

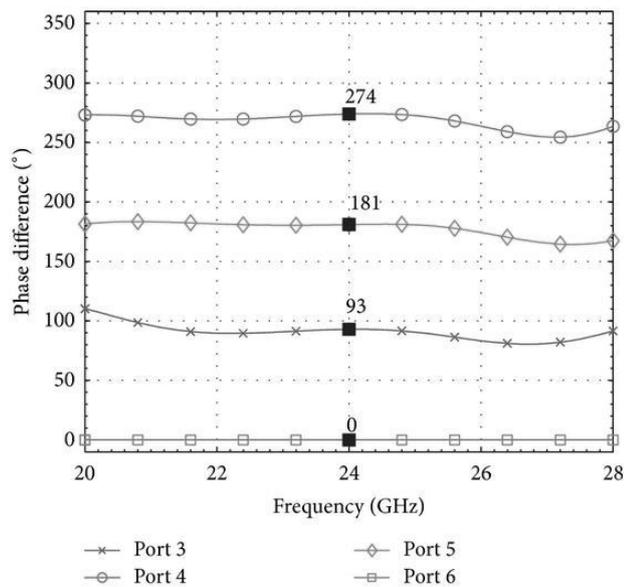


Рисунок 11 – Имитированная нормализованная разность фаз на выходных портах шестипортовой сети (опорный порт 6 установлен на 0 °)

#### Измерение расстояния.

Измерения расстояний с высоким разрешением с позиционированием с коротким и длинным диапазоном важны для большого числа зондирующих применений. Модуль радиолокатора реализует дробно - частотный синтезатор, позволяющий различным схемам модуляции выполнять недвусмысленные измерения расстояния. 6-портовый приемник имеет проблемы неоднозначности, если измерены расстояния более половины длины волны. Решением этой проблемы является использование двух или более тоновых FSK-модуляции несущей

частоты и сравнение наблюдаемых разностей фаз этих сигналов друг с другом. Это позволяет измерять расстояния на несколько длин волн с субволновой точностью и сверхнизкими допусками.

Измерение вибрации.

Особенно интересен анализ малых перемещений наблюдаемой мишени, например, вибрационный мониторинг. Поскольку 6-портовый радиолокационный датчик обеспечивает очень высокую точность определения расстояния, можно точно определить даже самые маленькие колебания (т. е. изменения расстояния поверхности мишени относительно датчика). Выполняя анализ частотной области, можно получить спектрограмму механических колебаний мишени. Это приводит к соответствующей информации об условиях работы различного промышленного оборудования. Датчик может использоваться для модального анализа для измерения динамического отклика механических структур и различных режимов вибрации. Наблюдая, например, вращающуюся турбину, таким образом, освещая полную машину с помощью 6-портового радиолокатора, можно регистрировать и контролировать основные механические резонансы. В случае механических сбоях или ухудшения, например, износа подшипников оси, произойдут незначительные изменения в механических резонансах. Таким образом, такие эффекты могут отслеживаться без применения датчиков непосредственно к машине. Другими словами, бесконтактный вибрационный анализ для различных промышленных машин может быть легко выполнен. Поскольку алгоритмы реконструкции отличаются низкой сложностью и могут быть рассчитаны очень быстро, максимальная обнаруживаемая частота колебаний ограничена частотой дискретизации аналого-цифрового интерфейса.

Бесконтактный мониторинг сердечного ритма и дыхания

Для медицинских применений сердечная и дыхательная деятельность влияет на фазу отраженного сигнала, которая сравнивается с источником опорного сигнала в радиолокационном устройстве. Радиолокационный сигнал посылается к испытуемому человеку для наблюдения за незначительными механическими движениями тела пациента. Эти движения вызваны дыханием, а также пульсом и могут отслеживаться путем анализа фазовой модуляции обратного рассеянного сигнала. Дыхание пациентов приведет к значительному и периодическому расширению туловища, которое находится в диапазоне нескольких миллиметров. Кроме того, сердцебиение будет накладываться на это движение, которое, как предполагается, находится в субмиллиметровом диапазоне. Эти периодические движения и вибрации впоследствии могут быть обнаружены путем постобработки сигнала.

### Библиографический список

1. А. Стельцер, «Датчик СВЧ-позиционирования с субмиллиметровой точностью», «IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques», том. 47, вып. 12, с. 2621-2624, 1999
2. А. Koelpin, G. Vinci, B. Laemmle, S. Lindner, F. Barbon и R. Weigel, «Шестипортовая технология безопасности движения», IEEE Microwave Magazine, vol. 13, вып. 3, pp. 118-127, 2012
3. SA Ноер, «Использование шестипортовых и восьмипортовых соединений для измерения активных и пассивных параметров схемы», NBS Tech. Примечание 673, 1975
4. Г. Ф. Энген, «6-портовый рефлектометр: альтернативный сетевой анализатор», «IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques», том. 25, вып. 12, с. 1075-1080, 1977.
5. G. Vinci, S. Lindner, F. Barbon et al., «Шесть портовых радиолокационных датчиков для дистанционного дыхания и мониторинга жизнедеятельности сердечного ритма», «IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques», том. 61, вып. 5, стр. 2093-2100, 2013.
6. M. Jahn, C. Wagner и A. Stelzer, «Концепция компенсации смещения постоянного тока для моностатических радиолокационных приемопередатчиков FMCW», IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 20, вып. 9, стр. 525-527, 2010.
7. А. Koelpin, G. Vinci, B. Laemmle, D. Kissinger и R. Weigel, «Шесть портов в современном обществе», IEEE Microwave Magazine, vol. 11, вып. 7, стр. S35-S43, 2010.
8. S. Lindner, G. Vinci, F. Barbon, S. Mann, R. Weigel и A. Koelpin, «Двухтональный подход для однозначных шестипортовых интерферометрических измерений расстояния» в «Трудах Международного микроволнового симпозиума» (IMS) 13), Сиэтл, Вашингтон, США, 2013 год.
9. Б. Бонкари, Э. Молдаван, С. Эффес, К. Ву, Р. Г. Босисио и С. Т. Тату, «Конфигурации радиолокационных датчиков для предотвращения столкновений с ЧПУ в шести портах», в материалах Канадской конференции по электротехнике и вычислительной технике IEEE (CCECE '08), стр. 305-308, май 2008. DM Pozar, Microwave Engineering, John Wiley and Sons, 2005.
10. P. Pahl, T. Kayser, M. Pauli и T. Zwick, «Оценка алгоритма обнаружения высокоточного диапазона для радиолокационных систем FMCW / Phase» в материалах 7-й Европейской радарной конференции (EuRAD '10), с. 160-163, октябрь 2010 года.
11. Интернет ресурс: <http://www.golkom.ru/kme/15/2-297-1-2.html>
12. Интернет ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рефрактометрия>
13. Интернет ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Спектроскопия>

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ АВАРИЙ НА КОМПЬЮТЕРНОМ ТРЕНАЖЕРЕ**

**Сизых А.О., Дресвянский В.А., Благодарный Н.С. – научный**

руководитель  
ФГБОУ ВО "АнГТУ"  
atp@angtu.ru

В настоящее время управление сложными техническими объектами все чаще осуществляется при помощи автоматических устройств. Однако в ряде взрывопожароопасных производств, в частности нефтехимических, не удается полностью исключить участие человека из управления процессом. В случае возникновения аварийных ситуаций и инцидентов оперативный персонал установки может отключить автоматику и вмешаться в управление процессом. На операторов, управляющих процессом, возлагается ответственность по правильному оперативному реагированию на нештатные и аварийные ситуации.

Известно, что большая часть аварийных ситуаций происходит вследствие невнимательности, некомпетентности или ошибочных действий операторов. На взрывопожароопасных производствах большое внимание уделяется обучению оперативного персонала. Признанным в практике обучения технологического персонала безопасной эксплуатации сложных процессов является использование компьютерных тренажеров (КТ), весьма точно воссоздающих окружающую оператора реальность и имитирующих средства управления реальным процессом.

Практика тренинга технологического персонала в нефтехимии предполагает привлечение в качестве инструкторов опытных специалистов, что зачастую невозможно, вследствие занятости последних на производстве. Развитие информационных технологий и искусственного интеллекта дает сегодня уникальную возможность построения на базе КТ интеллектуальной системы, замещающей опытного инструктора в тренинге операторов. При построении такой системы требуется формализовать знания, умения и навыки инструктора по безопасной эксплуатации процесса в специальные методики обучения, дающие оператору задания для тренинга, советы по правильному и эффективному выполнению этих заданий, а также автоматически оценивающие действия оператора.

В работе описывается реализация интеллектуальной системы распознавания аварий (ИСПА), которая базируется на логике рассуждений экспертов при анализе аварийности процесса. В системе эта логика формализуются в математическую модель рассуждений с использованием теории нечетких множеств. Знания эксперта о признаках аварийных ситуаций записываются в базу, и система автоматически идентифицирует ту или иную аварийную ситуацию так, как это сделал бы эксперт по тенденциям изменения переменных процесса. При идентификации конкретной аварии использует-

ся превышение порога степени нечеткого равенства двух ситуаций: смоделированной на КТ и предсказанной экспертом для данной аварии.

В процессе тренинга реализуются различные нештатные и аварийные ситуации, и оператору ставится задача максимально быстро и безошибочно распознать имитируемую аварию. ИСРА автоматически оценивает правильность вывода оператора, сопоставляя его оценку возникшей ситуации с имитируемой на тренажере.

Поясним процедуру построения ИСРА на примере технологического процесса хранения и испарения этилена. Для обучения оперативного персонала в ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет» был создан КТ, введенный в промышленную эксплуатацию в АО "Ангарский завод полимеров" в 2016 году.

Компьютерный тренажер предназначен для выработки у оперативного персонала узла устойчивых навыков по выполнению безопасных действий в процессе нормальной эксплуатации, нормальной и аварийной остановок, пуска узла, а также при возникновении нештатных и аварийных ситуаций. Фрагмент интерактивной технологической схемы узла, реализованной на тренажере, показан на рисунке 1. Схема дает возможность оператору наблюдать за ходом технологического процесса и при необходимости вмешиваться в его протекание, путем воздействия на насосное оборудование, элементы регулирующей и запорной арматуры.

Для испарения жидкого этилена используется система циркуляции метанола, состоящая из: емкости Е-81, насосов Н-60А/Б и теплообменников Т-153, Т-154, Т-155. Жидкий этилен подается в испаритель Т-154, подогреватель газообразного этилена Т-155 и через регулирующий клапан РV-762 поступает потребителю. Теплоносителем в теплообменниках Т-154, Т-155 служит метанол, поступающий в емкость Е-81. Насосом Н-60 метанол из емкости Е-81 подается в подогреватель Т-153, нагревается паром и поступает последовательно в теплообменники Т-154, Т-155, и охладившись возвращается в емкость Е-81. Температура этилена на выходе из Т-155 потребителям регулируется клапаном TV-750.

Для построения ИСРА выполняются следующие этапы:

1. Выявляются возможные инциденты и аварии технологического процесса, называемые ситуациями. К инцидентам относятся отказы или повреждения запорно-регулирующей арматуры, датчиков и других технических устройств, нарушающих нормальный режим технологического процесса, но не приводящих сразу к серьезным аварийным ситуациям. В тренажере все возможные инциденты вызываются посредством экранной формы ключей инцидентов, где инструктор может неожиданно для оператора активировать тот или иной инцидент. К авариям относятся такие поломки, которые приводят к разрушению сооружений или технических устройств, неконтролируемым взрывам или выбросам опасных веществ.

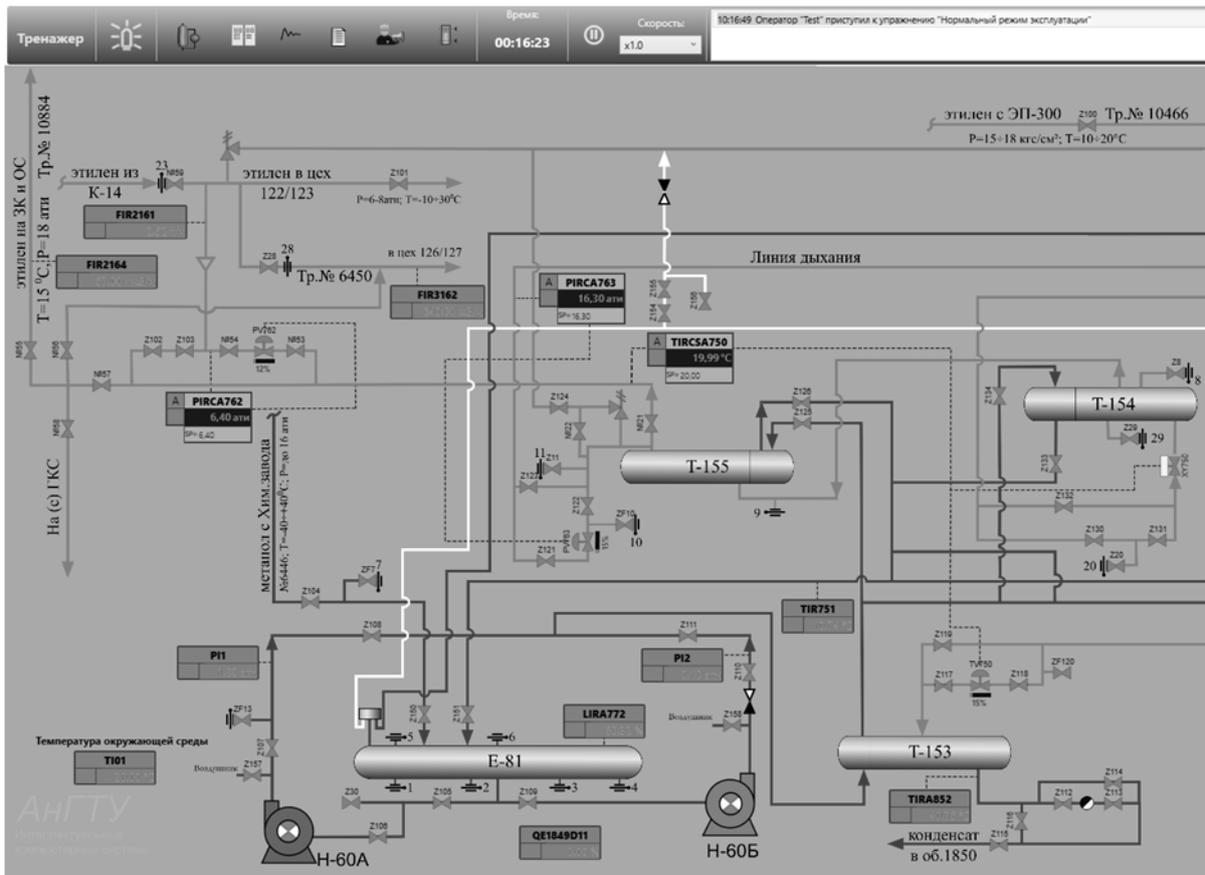


Рисунок 1 – Фрагмент интерактивной технологической схемы

Аварийные ситуации активируются на тренажере с помощью экранной формы выбора упражнений для тренинга, показанной на рисунке 2.

2. Для каждой ситуации определяется нечеткое  $k$ -мерное множество признаков, включающего подмножества наблюдаемых переменных процесса и скоростей изменения этих переменных (темпов переменных). Каждый признак  $p_i$  ( $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ ) описывается лингвистической переменной вида:  $\langle \beta_i, B_i, D_i \rangle$ , где  $\beta_i$  – обозначение признака,  $B_i = \{B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{im}\}$  –  $m$ -мерное множество термов лингвистической переменной  $i$ -го признака с функциями принадлежности  $\mu_{B_{ij}}(p_i)$  ( $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ ),  $D_i$  – базовое множество признака (диапазон шкалы признака  $p_i$ ).

Термы каждой из наблюдаемого переменного процесса задаются множеством из пяти элементов. Функции принадлежности множества термов задаются непрерывными трапецеидальными функциями на базовом множестве  $D$ . На рисунке 3, а) показан пример задания множества термов одной из наблюдаемых переменных – температуры этилена на выходе из теплообменника T-155 (прибор TIRC 750), которая определена следующей лингвистической переменной:  $\langle \text{"TIRC 750"}, \{ \text{"аварийный низкий"} \text{ (LL)}, \text{"низкий"} \text{ (L)}, \text{"нормальный"} \text{ (O)}, \text{"высокий"} \text{ (H)}, \text{"аварийный высокий"} \text{ (HH)} \}, [-50 \text{ } ^\circ\text{C}, 150 \text{ } ^\circ\text{C}] \rangle$ . Для построения функций принадлежности ис-

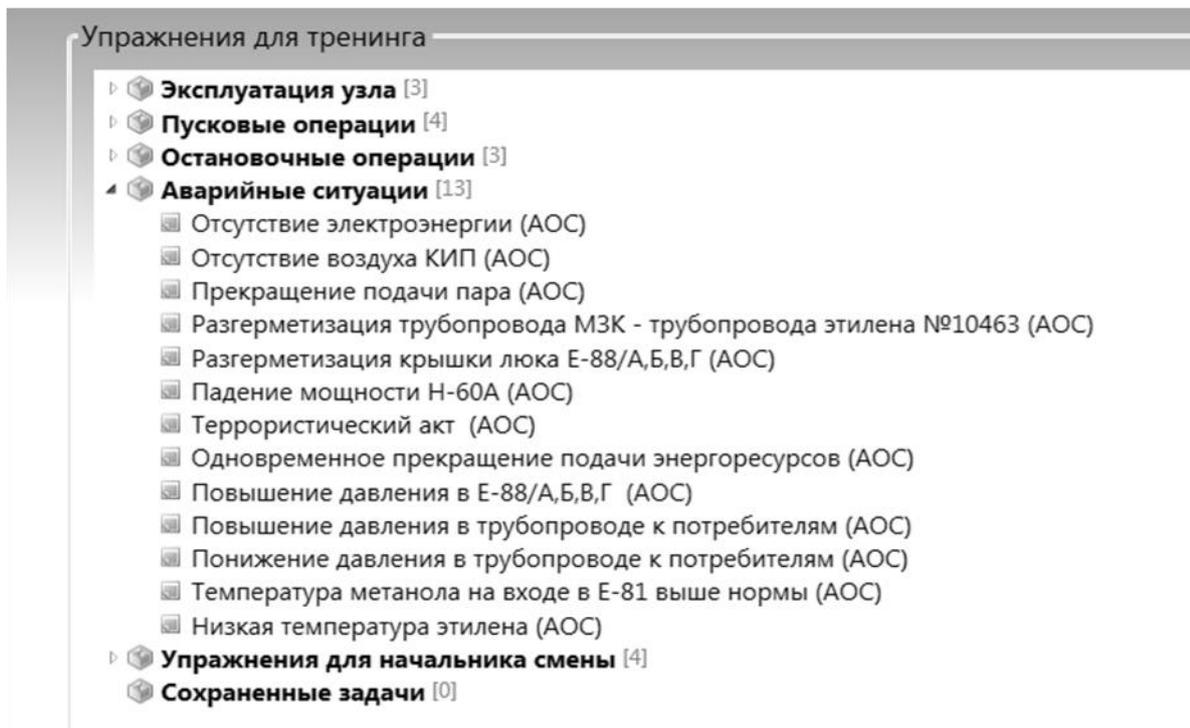


Рисунок 2 – Экранная форма выбора упражнений

пользуются данные норм технологического режима. Диапазон оптимальных значений температуры ( $10 \div 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) определяет значения границ функции принадлежности терма "нормальный", диапазон допустимых пределов переменной ( $5 \div 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) – значения границ функций принадлежности термов "низкий" и "высокий", а диапазон шкалы прибора определяет значения границ функций принадлежности крайних (аварийных) термов.

Термы скоростей изменения переменных процесса задаются множеством из трех элементов. На рисунке 3, б) показан пример задания множества термов скорости изменения температуры парового конденсата из теп-

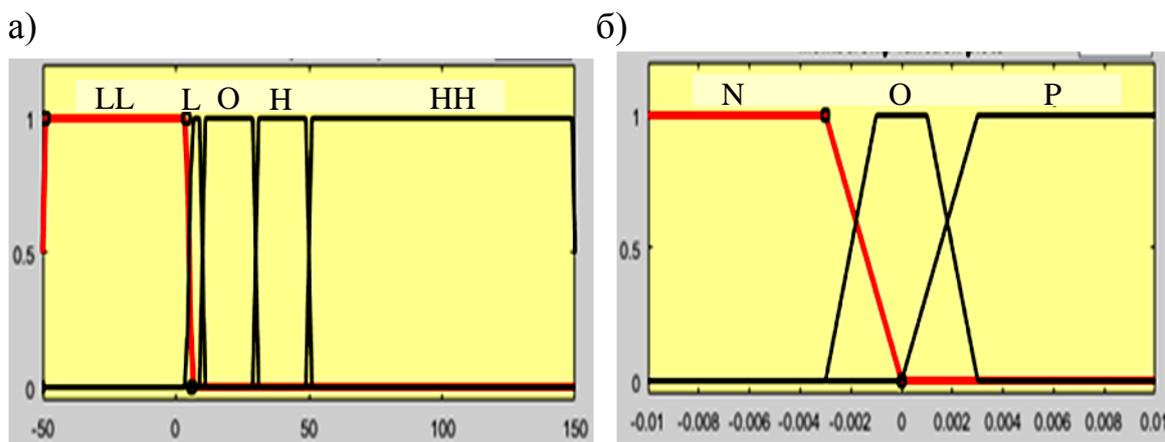


Рисунок 3 – Множество термов признаков: а) "TIRC 750", б) "ΔTIRA 852"

лообменника Т-153 (прибор TIRA 852), которая определена следующей лингвистической переменной:  $\langle " \Delta TIRA 852", B = \{ "отрицательная" (N), "нулевая" (O), "положительная" (P) \}, [-0,01 \text{ } ^\circ\text{C/c}, 0,01 \text{ } ^\circ\text{C/c}] \rangle$ . Аналогично формируются функции принадлежности для термов всех остальных признаков ситуаций.

3. Любой аварийной ситуации или инциденту ставятся в соответствие те или иные термы каждого признака. Такое сопоставление удобно реализовать в табличном виде (см. таблицу 1). В заголовки строк таблицы записываются аварии и инциденты, в заголовки столбцов – имена признаков, а в ячейки таблицы заносятся названия термов признаков. Для некоторых аварий таблица может быть заполнена по данным технологического регламента установки, в котором указаны опознавательные признаки аварий. Для других аварий это может сделать эксперт, который на основе знаний о поведении процесса при авариях формулирует нечеткие продукционные правила вида:

**ЕСЛИ**  $p_1$  есть  $B_{11}$  **И** ... **И**  $p_k$  есть  $B_{k1}$ ,

**ИЛИ/И** ...,

**ЕСЛИ**  $p_1$  есть  $B_{1m}$  **И** ... **И**  $p_k$  есть  $B_{km}$ , **ТО**  $s_1$  есть «АВАРИЯ №1».

Либо, аварийная ситуация моделируется на тренажере, и результаты реакции модели объекта на аварию заносятся в таблицу. Данные с компьютерного тренажера могут быть использованы только в том случае, если выполняются условия критерия адекватности тренажерной модели реальному процессу [1].

Таблица 1 – Описание нечетких ситуаций

Признаки Аварии	Переменные					Скорости переменных		
	TIRA 852	TIR 751	TIRC 750	PIRC 763	PIRC 762	$\Delta TIRA$ 852	$\Delta TIR$ 751	$\Delta TIRC$ 750
1) Полное открытие клапана TV-750	H    HH	H    HH	H    HH	O	O	P	P	P
2) Полное закрытие клапана PV-763	O	O	O	H    HH	O	–	–	–
3) Заниженное значение TE -750	O    H    HH	O    H    HH	L    LL	O	O	P	P	–
4) Завышенное значение PT-762	O    H	O    H    HH	O	O	H	P	P	P
...	...							

В таблице 1 дано описание некоторых из нечетких ситуаций. Обычно аварии и инциденты протекают так, что переменные процесса не прини-

мают установившихся значений, а продолжают изменяться довольно длительное время. Например, поломка клапана TV-750, сопровождающаяся полным его открытием (см. аварию № 1 в таблице 1), приводит к тому, что в теплообменник Т-153 начинает поступать чрезмерно большой поток пара. Скорости изменения температур парового конденсата из теплообменника Т-153 ( $\Delta T_{IRA}$  852), метанола в Е-81 ( $\Delta T_{IR}$  751) и этилена на выходе из теплообменника Т-155 ( $\Delta T_{IRC}$  750) становятся положительными. Причем этот рост температур может продолжаться несколько часов. Поэтому невозможно указать конкретные значения температур, при которых аварию можно идентифицировать. Опознавательными признаками аварии служат "положительные" (Р) скорости изменения всех трех температур и "высокие" (Н), либо "аварийно высокие" (НН) значения самих температур. Символ:  $\parallel$  – обозначает операцию дизъюнкции.

4. Ситуация, в которой находится технологический процесс в текущий момент времени, называется текущей и обозначается со штрихом. Текущая ситуация переводится в нечеткий вид путем вычисления значений функций принадлежности каждого признака в соответствии с выражением для  $p'_i : \mu_{B_{i1}}(p'_i), \mu_{B_{i2}}(p'_i), \dots, \mu_{B_{im}}(p'_i)$ . Функции принадлежности термов признаков были заданы в п. 2.

5. Текущая ситуация сравнивается с каждой из аварийных путем вычисления степени нечеткого равенства между соответствующими их признаками по формуле  $v(p'_i, p_i) = \min_j (\mu_{B_{ij}}(p'_i) \leftrightarrow \mu_{B_{ij}}(p_i))$ , где

$$\begin{aligned} \mu_{B_{ij}}(p'_i) \leftrightarrow \mu_{B_{ij}}(p_i) = \\ = \min \left[ \max \left( 1 - \mu_{B_{ij}}(p'_i), \mu_{B_{ij}}(p_i) \right), \max \left( \mu_{B_{ij}}(p'_i), 1 - \mu_{B_{ij}}(p_i) \right) \right], \end{aligned}$$

а затем по всему множеству признаков:  $v(s', s) = \min_i (v(p'_i, p_i))$ .

6. Проверяется условие критерия распознавания аварии, как превышение значения степени нечеткого равенства между текущей ситуацией и одной из аварийных заданного порога  $t$  в течение определенного промежутка времени. Критерием распознавания аварийной ситуации служит выражение:  $v(s', s) \geq t$ . Значение порога принимается равным  $t = 0,8$ .

ИСРА построена в среде Matlab и связанная с КТ посредством OPC-сервера.

### Библиографический список

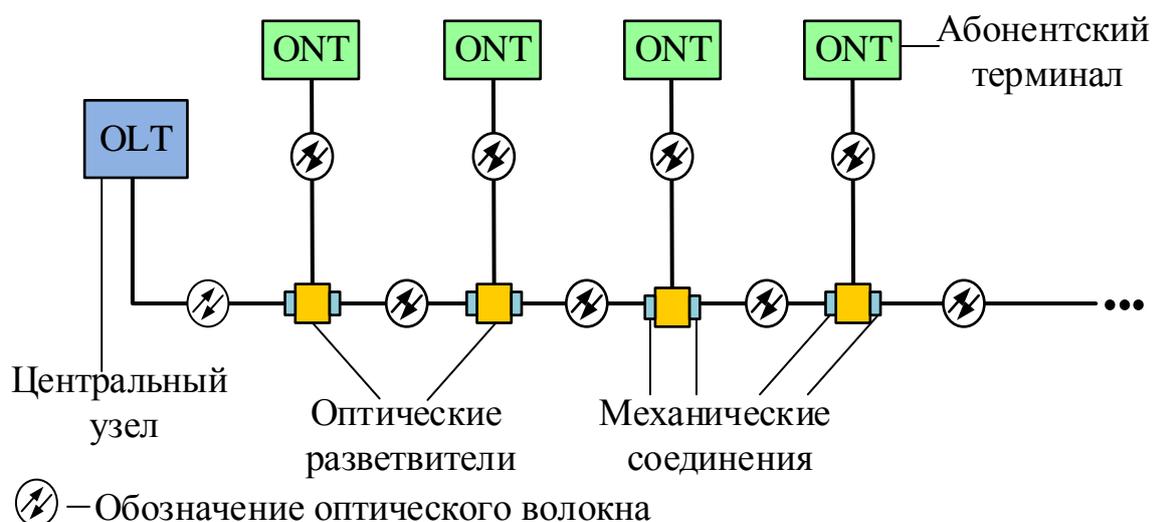
1. Благодарный Н.С., Колмогоров А.Г., Кривов М.В., Кобозев В.Ю. Критерий адекватности тренажерной модели. // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №7. – С. 59-65.

**РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПАССИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВОЛС**  
Малыш Ю.А., Степанова О.В., Кальченко О.И., Мазур А.А.,  
Шолохова М.А., Чернов И.Н. – научный руководитель  
ФГБОУ ВО «ИрГУПС»

marinasholohowa@yandex.ru, 1bopoh1@mail.ru

Как известно, ежегодно в России производится свыше пятисот тысяч километров волоконно-оптического кабеля связи, прокладываемого как на территории нашей страны, так и в странах ближнего зарубежья. Прокладка таких линий производится строго по разработанным проектам, но даже в процессе строительства и монтажа возникает ряд затруднений. Для изучения таких моментов в учебной лаборатории «Линии связи» нами был разработан лабораторный комплекс по изучению параметров пассивных компонентов оптической линии связи.

Пассивными элементами волоконно-оптической линии связи являются оптическое волокно (ОВ), представляющее собой строительные длины кабеля, разъемные или неразъемные точки их соединения, а также всевозможные оптические разветвители, аттенюаторы и др. Структурная схема такой сети представлена на рис. 1



**Рис. 1. Структурная схема принципа действия PON сетей**

В нашей работе рассмотрены составные элементы такой сети, выделенные в отдельные лабораторные работы:

- стенд для изучения организации связи с применением технологии PON на основе оптических делителей;
- стенд для измерения километрического затухания и затуханий на сварных соединениях рефлектометром;
- стенд для исследования параметров механических соединений ВОК с помощью рефлектометра.

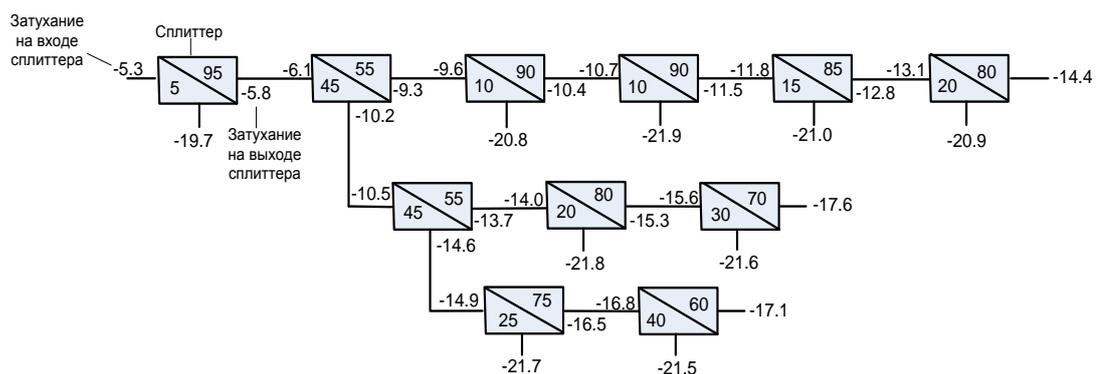
Как известно, общий принцип организации пассивной оптической сети заключается в применении одного приёмопередающего модуля в центральном узле OLT (Optical Line Terminal). Этот модуль передает информацию множеству абонентских устройств ONT (Optical Network Terminal) и принимает информации от них. Основными элементами сети PON служат активное оборудование (OLT, ONT) и пассивные компоненты (кабели, муфты, кроссы, разветвители и др.). Передача и приём в обоих направлениях организовывается по одному оптическому волокну, но с разделением по длинам волн.

Оптические разветвители (сплиттеры) - это важнейший компонент пассивной оптической сети. Сплиттеры отводят часть оптической мощности от магистральной цепи ПГС к точке доступа, без установки дополнительного активного оборудования. При построении сети PON больше всего вопросов возникает при расчете оптического бюджета потерь. Под оптическим бюджетом потерь подразумевается максимальное затухание сигнала от передатчика до приемника.

Стенд сконструирован на базе 20 Y-образных оптических разветвителей с коэффициентом деления от 95/5 до 50/50 с шагом в 5%. Студентам предлагается собрать одну из десяти разработанных трасс, подобрав разветвители с требуемыми коэффициентами деления. У всех трасс было подсчитано затухание, которое не превышает допустимых значений.

Для проверки собранной трассы используются два прибора – источник оптического излучения Grandway FHS2Q01F с выходной мощностью - 5 дБм и оптический измеритель мощности Grandway FHP2A02 с чувствительностью до -70 дБм. Измерения можно производить на длинах волн 1490 (1550) нм направление OLT → ONT и 1310 нм ONT → OLT.

Пример расчёта представлен на рисунке 2.



**Рис. 2. Пример одной из реализуемых рассчитанных трасс**

В работе зафиксированы паспортные значения для всех разветвителей. Задача студентов в том, чтобы сопоставить измеренные значения с паспортными (избыточные потери и неравномерность потерь на выходах для разных длин волн).

Для изучения характеристик линейного тракта служит работа по исследованию пассивных элементов ВОЛС рефлектометром. Как известно магистральная линия связи строится с помощью строительных длин кабеля длиной 4(6) км соединенных между собой с помощью сварных соединений. При создании лабораторного стенда были использованы волокна:

1. Corning стандарта G.655: волокно со смещенной ненулевой дисперсией (NZDS волокно), обладающее малой дисперсией (0.1...6 пс/нм×км) в диапазоне длин волн 1530. ..1565 нм, натурального цвета (отрезки № 1,3,4,5).

2. Corning стандарта G.652: волокно с несмещенной дисперсией (SM волокно) с длиной волны нулевой дисперсии и длиной волны отсечки в районе 1310 нм, синего цвета (отрезок № 2).

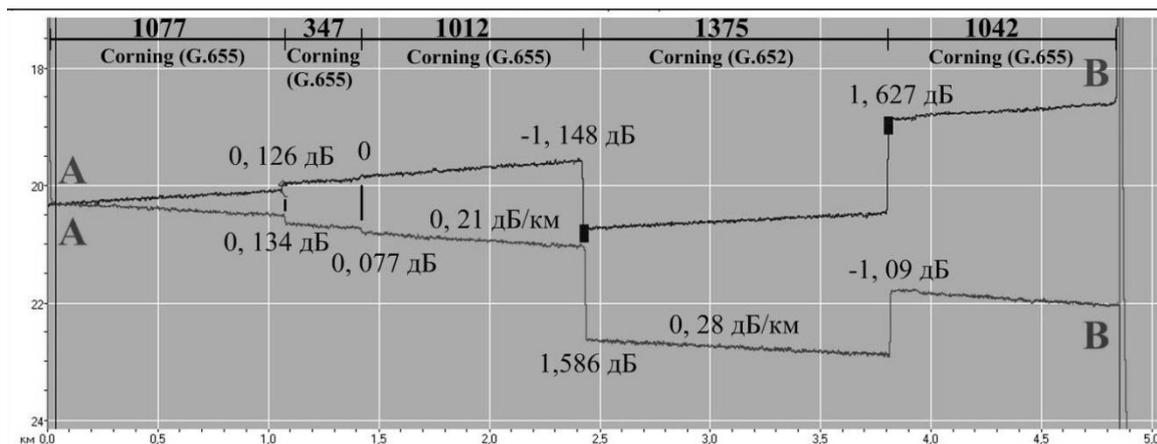
Первые три участка представляют собой соединение разных типов волокон, что на будущей рефлектограмме должно отобразиться в виде ступенек вниз и вверх в местах сварки. 3,4 и 5 участки представляют собой однотипное волокно. Здесь же наша цель была в том, чтобы показать, как на рефлектограмме будет выглядеть качественная сварка либо же сварка с изъянами и большими потерями. Сварка между 3 и 4 узлом была произведена качественно, между 4 и 5 – с повышенным затуханием.

Лабораторный стенд представляет собой макет волоконно-оптической линии связи, состоящий из:

- стандартной катушки для намотки оптического волокна;
- двух видов оптического волокна с разными параметрами и длиной (один вид – одна строительная длина, второй вид – четыре строительных длины кабеля, итого 5 участков);
- сплайс-кассеты для оптических муфт (используется для реализации сварных соединений);
- коннекторов типа FC для проведения рефлектометрических измерений.

Задача студентов при работе с данным лабораторным стендом состоит в том, чтобы правильно настроив параметры рефлектометра, зафиксировать все события на трассе и замерить потери на сварных соединениях и километрическое затухание на строительных длинах кабеля.

Результаты измерения, снятые с разных концов трассы с одинаковыми параметрами зондирующего импульса (20 нс) представлены на рисунке 3. Рефлектограмма А-В выделена красным цветом совмещена с зеркально отраженной рефлектограммой В-А, выделенной синим цветом. Таким образом удобнее анализировать события, так как они совпадают по горизонтальной оси.



**Рис. 3. Рефлектограммы, полученные при исследовании созданной линии.**

При рассмотрении первого события видны повышенные потери, относительно того, что нормой при сварном соединении являются значения 0,02 (0,05) дБ. Это, так называемая «плохая» сварка. Следующее событие отчетливо видно только на одной рефлектограмме, на второй оно перекрывается шумами и значительного перепада не наблюдается – это событие «хорошей» сварки однотипного волокна.

События 3 и 4 на сварках разнотипного волокна имеют затухания значительно выше нормы, представлены явными ступенями сначала на ослабление, потом на усиление примерно на ту же величину. Для точного расчета истинных потерь в месте сращивания волокон используется формула [1]:

$$a_{\text{ист}} = (a_{12} + a_{21})/2 \quad (1)$$

При этом действительное затухание на событии, рассчитанное по формуле составляет 0,16 дБ и 0,3 дБ соответственно, что характерно для сварки волокон с разным уровнем обратного рассеяния, определяемого диаметром модового пятна оптического волокна. Об этом также может свидетельствовать разный уровень километрического затухания (угол наклона прямой рефлектограммы).

В лабораторном стенде используется несколько таких макетов с различными наборами трасс, выполненными из оптических волокон стандарта G.652 D (OB1), G.655(OB2), G.655 D-(OB3), G.657(OB4). Набор из нескольких таких линий позволяет студенту в полной мере изучить возможности рефлектометра и научиться правильно распознавать качественную и некачественную сварку, находить изгибы и оценивать рефлектограммы в целом.

В любой оптической трассе применяются разъемные соединения, задачей данного стенда будет их исследование.

Разъемное соединение волокон осуществляется оптическим коннектором.

По типу корпуса существует множество коннекторов. Наиболее распространенные типы коннекторов: FC, SC, LC

По типу торца наконечника коннекторы различают 4 видов.

- PC - Physical Contact.
- SPC - Super Physical Contact.
- UPC - Ultra Physically Contact.
- APC - Angled Physically Contact.

PC – Прародитель всех остальных видов полировки. Такой разъем обработан вручную. В первых вариациях полировки был предусмотрен исключительно плоский вариант коннектора, однако плоский вариант дает место воздушным зазорам между световодами. В дальнейшем торцы коннекторов получили небольшое закругление.

SPC – По сути та же PC, только сама полировка является более качественной, т.к. она уже не ручная, а машинная.

UPC – почти плоский (но не совсем) разъем, который производится с применением высокоточной обработки поверхности. Дает отличные показатели отражательной способности (по сравнению с PC и SPC), поэтому активно применяется в высокоскоростных оптических сетях. Коннекторы с этим типом разъема чаще всего - синие.

- APC – Angled Physically Contact.

На данный момент считается, что наиболее действенным способом снижения энергии отраженного сигнала является полировка под углом 8-12°. Такая полировка поверхности дает самые лучшие результаты.

В ходе исследований был разработан стенд, а с помощью рефлектометра измерены параметры разъемных соединений оптического волокна - затухание на разъемном соединении и уровень обратного отражения.

С обеих сторон размещены катушки длиной 100 м каждая. И соединены разъемными соединениями: FC с полировкой UPC и APC, SC с полировкой UPC и APC, а также смонтированы четыре неразъемных соединения fiberlock, два из которых заполнены иммерсионным гелем.

Посылая зондирующий импульс, длительностью 20 нс, получили рефлектограммы для каждого типа соединения.

На следующем рисунке представлен всплеск на разъемном соединении четырех типов исследуемых коннекторов.

На каждом измерили затухание и уровень возвратных потерь.

Все данные систематизировали в таблицу и сделали вывод, что измерения получились неидеальные. Параметры близки к нормам, но все же не полностью соответствуют им. Это может быть связано с частым включением соединений и наличием загрязнений в них.

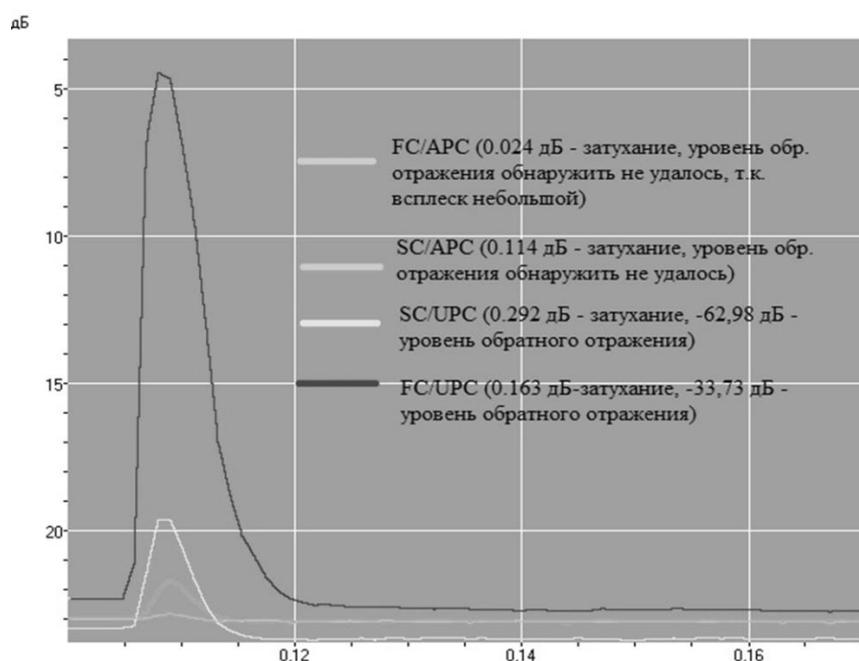
При частом подключении разъемов при попадании на них мелкой пыли и иных загрязнений наблюдаются повышенные затухания на соеди-

нениях, поэтому нежелательно проводить много переключений. Также все механические соединения рассчитаны на определенное количество подключений. Поэтому в данной лабораторной работе студентам не нужно осуществлять сами подключения, но можно изучить параметры соединений.

**Таблица 1**

**Измеренные параметры и нормированные значения**

Тип коннектора	Вносимое затухание, дБ	Норма затухания, дБ	Обратное отражение, дБ	Норма отражения, дБ
FC/UPC	0,208	<0,3	-48,58	>-50
FC/APC	0,278	<0,35	-53,09	>-60
SC/UPC	0,193	<0,3	-48,62	>-50
SC/APC	0,526	<0,35	-50,83	>-60



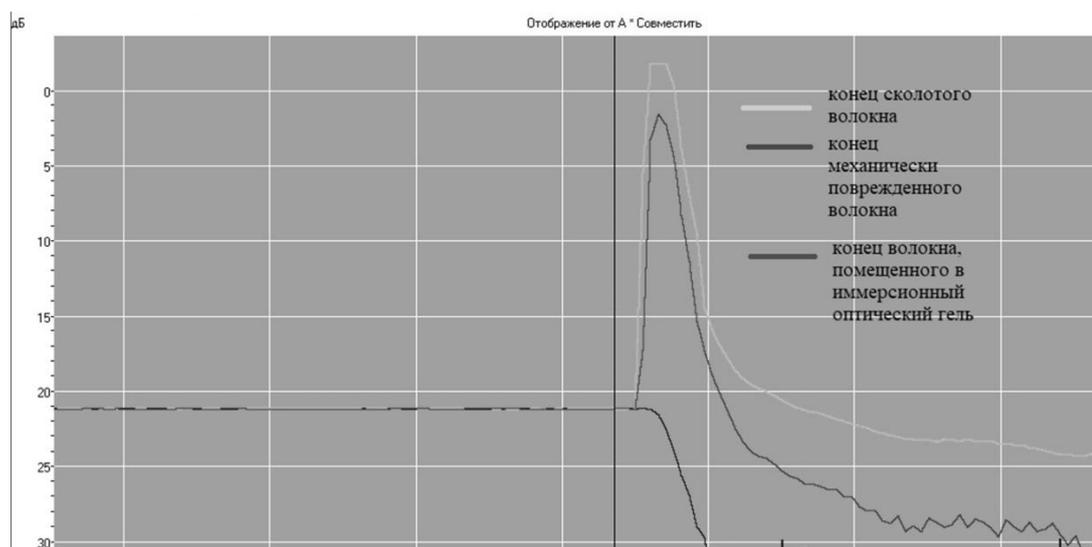
**Рис. 4. Измерения параметров коннекторов с помощью рефлектометра**

Для соединения трасс с помощью механических соединений важно знать, как выглядит конец оптического волокна.

В дополнение к проделанной работе были получены рефлектограммы для нескольких вариантов концов оптоволокна. Была взята катушка

длиной 3 км и сначала был ровно сколот конец волокна, затем механически его повредили и опустили в оптический иммерсионный гель.

Видно, что самый высокий пик имеет сколотое ровно волокно, а вот конец, помещенный в иммерсионный гель, пика не имеет, что может вызывать ошибки при поиске конца волокна.



**Рис. 5. Определение типа конца трассы**

Таким образом, в ходе нашей работы было создано 3 лабораторных стенда, созданных для разных типов измерений и в комплексе создающих общую картину процессов, происходящих в пассивных оптических сетях. При наличии опыта, приобретенного в данных лабораторных работах, при работе на постройке волоконно-оптического тракта, студентам будет проще ориентироваться в особенностях их построения и измерений.

### **Библиографический список**

1. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон Л63 – М.: ЛЕСАРарт, 2005. 208 с, ил.
2. Савин Е.З. Волоконно-оптические кабели и пассивные компоненты ВОЛП: учеб. пособие. — ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. — 223 с.
3. Сайт Российского технического медиаресурса «Техносфера» <http://tehnoomsk.ru/node/3134>

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

**Ушаков В.В., Сазонов Д.Ю.,**

**Чернов И.Н., Козиенко Л.В.** - научные руководители  
ФГБОУ ВО ИрГУПС  
[ushakov-1998@list.ru](mailto:ushakov-1998@list.ru)

Все современные системы передачи информации строятся на базе мультиплексов, позволяющих объединять потоки различного назначения в общий цифровой канал. При изучении систем передачи информации, мультиплексы обрели популярность в высших учебных заведениях. В лаборатории Д-817 «Системы передачи информации» Иркутского государственного университета путей сообщения, для этих целей используются два линейных мультиплекса ТЛС – 31 и СММ – 155. ТЛС – 31 это линейный мультиплексор плезиохронной цифровой иерархии со скоростью передачи данных 34 Мбит/с (поток Е3) [1]. СММ – 155 –линейный мультиплексор синхронной цифровой иерархии со скоростью передачи 155 Мбит/с (поток STM1) [2].

В настоящее время эксплуатация данных мультиплексов является затруднительной, так как они были выпущены в 2000 году, для поддержания их исправного состояния отсутствуют запасные модули. В нашей работе мы предлагаем заменить установленное оборудование на более функциональные и удобные в эксплуатации мультиплексы АХХМЕТРО, фирмы АХХЕССИТ, Германия.

В ходе работы нами:

- Рассмотрены возможности мультиплексов АХХМЕТРО;
- Произведена настройка оборудования;
- Построен технический план замены оборудования;

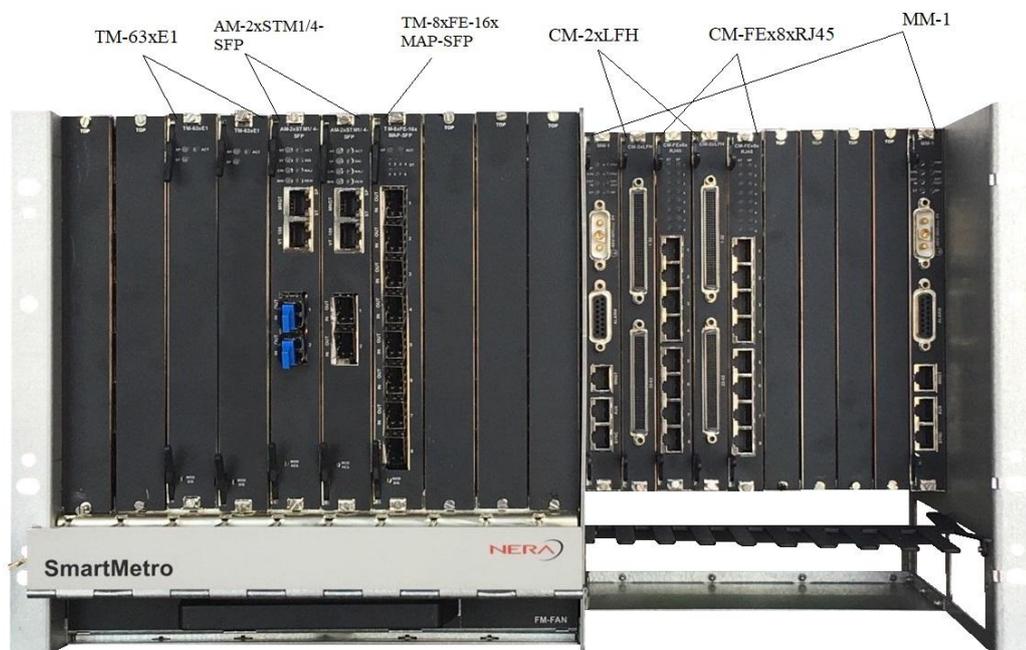
АХХМЕТРО это шасси на двадцать один слот с совокупной нагрузочной емкостью агрегатных модулей до 2.5 Гбит/с (STM16), группирующий потоки 100 Мбит/с (FE) и трибутарные интерфейсы 2 Мбит/с (E1) [3]. Внешний вид мультиплекса представлен на рисунке 1.

В слотах 11 и 20 располагаются две платы питания (Miscellaneous module). Они позволяют мультиплексу работать с напряжением 48 В либо 60 В, что регулируется переключателями, расположенными на самих модулях.

В слотах 5 и 6 расположены агрегатные модули AM-2xSTM1/4 SFP (Aggregates modules). Модули поддерживают интерфейсы STM-1 и STM-4.

Слоты 3 и 4 занимают трибутарные модули TM-63xE1 (Tributary modules), служащие для формирования потока STM из принимаемых на станции потоков E1. Потоки E1 поступают в мультиплексор через платы CM-2xLFH (слоты 12 и 14).

В седьмом слоте находится трибутарный модуль TM-8xFE-16xMAP-SFP, который поддерживает до восьми электрических интерфейсов Ethernet. Интерфейсы поддерживают как 10 Base-T, так и 100 Base-TX. Оптические интерфейсы поддерживают только FE или 100 Мбит/с. Интерфейсы трафика основаны на мультиплексировании SFP (MSA), и возможно добавление интерфейсных модулей в поле.



**Рис. 1. Мультиплексор AXXMETRO**

Слоты с двенадцатого по пятнадцатый используются под соединительные модули (Connection modules). В мультиплексоре AXXMETRO используются соединительные модули двух видов:

- CM-FEx8xRJ45 (слоты 13 и 15)
- CM-2xLFH (слоты 12 и 14)

CM-FEx8xRJ45 представляет собой соединительный модуль для Ethernet. Данный модуль имеет восемь разъемов RJ-45 для использования в интерфейсах Ethernet.

CM-2xLFH представляет собой соединительный модуль. Модуль имеет два разъема LFH для использования интерфейсов E1.

21 FAN слот внизу мультиплексора представляет собой модуль охлаждения.

Для управления элементами AXXMETRO существует две системы: терминальная (AXXCLI) и менеджер элементов (AXXCRAFT). [4]

Настройку модулей мультиплексора можно осуществить двумя путями: непосредственно через COM порт, а также через сетевой интерфейс управления агрегатным модулем, подключение к которому происходит по стандартному сетевому проводу.

Рассмотрим настройку мультиплексора через СОМ-порт. Терминальная система АХХСLI представляет собой интерфейс командной строки, не требующий никакого другого программного обеспечения, кроме терминала VT100. Это наиболее доступное и простое средство администрирования, позволяющее оператору посредством меню и текстовых команд осуществлять настройку и мониторинг основных рабочих параметров устройства. На рисунке 2 представлен внешний вид терминальной системы. Главным достоинством этой системы является отсутствие дополнительного программного обеспечения, для установки на компьютер.

```

-----
AXXMETRO Command Line Interface
-----

Enter NERACLI login: admin
Enter NERACLI password:

NERACLI>runnig-config

*** unknown command, choose from:
IP-Configuration:      Configure management IP parameters
Management-Port:      Configure management port parameters
XRPC-Configuration:    Configure management communication settings
Show-Current-Alarms:   Show current alarm list
Erase-CDB-Limited:     Keep mngt. port IP, users and audit log (implies restart)
Erase-CDB-Full:        Erase the configuration database (implies restart)
Collect-Debug-Logs:    Collect ESW internal Logs
Remove-Debug-Logs:     Remove Logs
Manual-Switch:         Manually switch to standby card
User:                  Manage users
Session:               Manage active user sessions
Running-Config:        Some information on the current system
Ping:                  Ping IP address
Take-Snapshot:         Create a snapshot of the element
Display-Snapshot:      Print snapshot to terminal, for transfer through capture
Remove-Snapshot:       Remove snapshot from the element
Linux-Shell:           Start a (restricted) shell on the element
Exit:

```

**Рис. 2. Терминальная система АХХСLI**

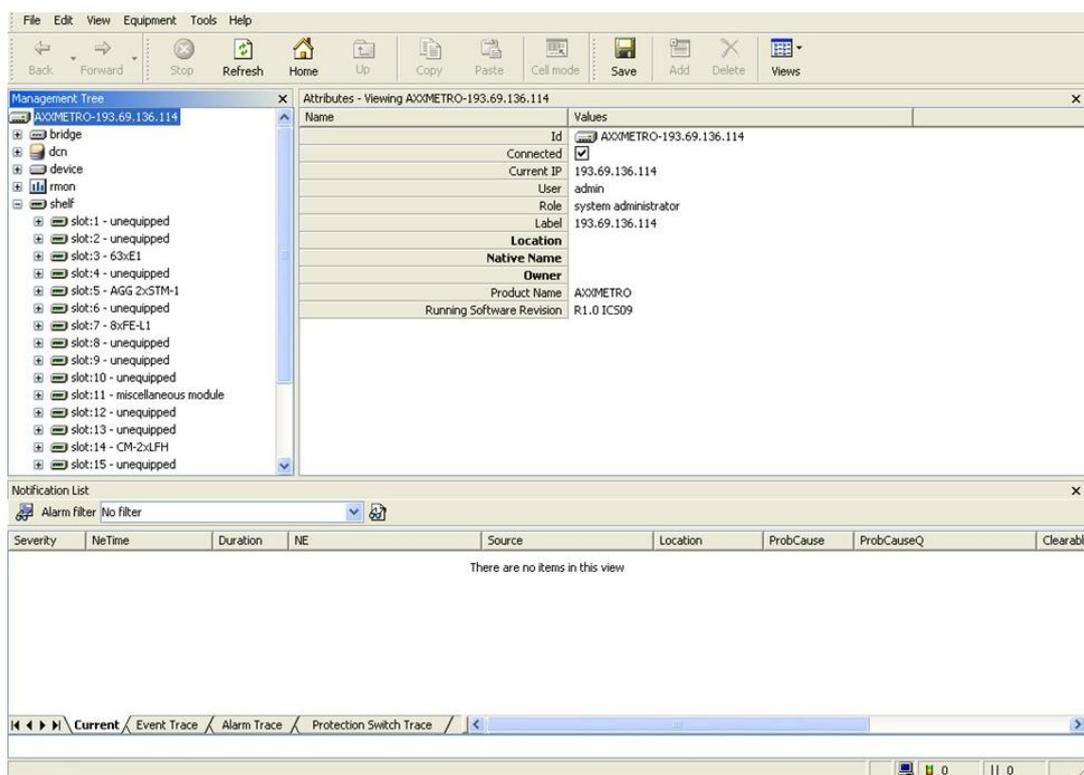
Настройка через СОМ порт в программе АХХСLI:

- создается сессия
- присваивается имя порта

Далее переходим в основное терминальное меню. В данном меню присваивается IP и маска подсети мультиплексора. Затем необходимо изменить IP конфигурацию на компьютере, чтобы была одна группа IP-адресов компьютера и мультиплексора. Это необходимо для того, чтобы зайти с компьютера в менеджер элементов мультиплексора.

Осуществив настройку компьютера и мультиплексора, выполним вход в программу АХХСРАFT - менеджер элементов. Как видно на рисунке 3, она представляет собой систему управления одним сетевым элементом, имеет продуманный и удобный графический интерфейс и устанавливается как отдельное приложение на рабочие станции. Используя АХХСРАFT, оператор получает всю информацию о структуре сети, конфигурации элементов, значение настраиваемых параметров и событиях в системе.

Слева в программе находится основное управляющее меню, где также находится 21 слот под модули. У каждого модуля есть подменю для дополнительных настроек. Справа в программе находится меню настройки того или иного элемента, выбранного в управляющем меню. Здесь можно выключить (если это потребуется) любую из плат, изменить параметры модулей, провести дополнительную настройку, которая потребуется для корректной работы мультиплексора и т.д. Внизу программы находится окно событий. В данном окне показываются различные аварии, технические неполадки и прочие чрезвычайные ситуации, возникающие в системе.



**Рис. 3. Менеджер элементов AXXCRAFT**

Для нормальной работы мультиплексора выполним настройку его основных модулей. Укажем скорость передачи данных, активируем необходимые слоты. Проведя все вышеуказанные действия, была проверена работоспособность мультиплексора. При неправильной настройке AXXMETRO, можно было увидеть характер неисправности и ее причину в окне событий. На рисунке 3 неисправности в окне отсутствуют. Из этого следует, что станция готова к работе.

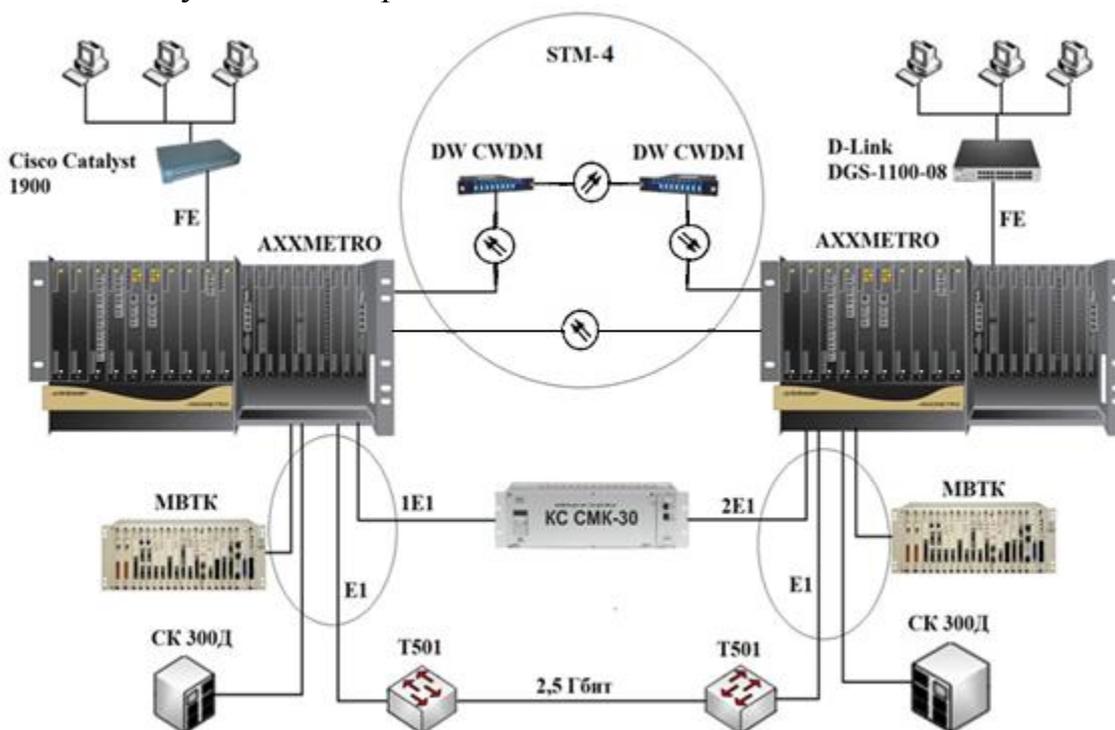
Технический план замещения оборудования в лаборатории «Системы передачи информации» представлен на рисунке 4.

В нашей работе мы предлагаем использовать два линейных мультиплексора AXXMETRO по потоку E1, с первичными мультиплексорами МВТК, СК 300Д и оптическими мультиплексорами Т501. Для организации «кольца» передачи данных по потоку E1, нам потребуется коммутационная

станция КС СМК-30. Такая топология требуется нам для передачи данных с МВТК на мультиплексор АХХМЕТРО, потом через коммутационную станцию на линейный мультиплексор МВТК и обратно.

Также можно подключиться по FAST Ethernet, организовать тем самым локальную сеть. Для этого можно использовать коммутаторы D - Link и Cisco Catalyst.

По потокам STM – 4 можно осуществить «плоское кольцо» оптической системы передачи данных. Для этого в схему подключены пассивные оптические мультиплексоры DW CWDM.



**Рис. 4. Технический план замены оборудования**

На сегодняшний день, было проверено рабочее состояние оборудования и настроены модули в программе АХХСРАФТ, а также подготовлено оборудование к монтажу в лаборатории «системы передачи информации». Следующим этапом будет осуществлен монтаж данного оборудования в лабораторию, а также организован план проведения лабораторных работ при помощи представленного мультиплексора.

#### **Библиографический список**

1. ТЛС-31 Техническая документация – 2000, С. 5
2. СММ-155. – URL: <http://www.oc.ru/katalog/museum/smm-155/>
3. Dan A. Brunstad АХХМЕТРО. Technical Reference – 2001, С. 228
4. V.Sebjørnsen АХХМЕТРО. Installation Guide – 2001, С. 114

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОБАЛЛОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

**Евдокимов Н.Л., Фискина М.М.** –научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
nickevdforever@ya.ru

На сегодняшний день во всех областях деятельности, двигатели внутреннего сгорания помогают человеку совершать механическую работу. Широкое распространение ДВС получили в сфере автомобилестроения. Несмотря на достаточно низкий КПД (порядка 30-50%), сегодня для ДВС развита инфраструктура, включая добычу топлива в больших объемах.

Бензин и дизельное топливо на данный момент являются самыми распространёнными видами топлива для ДВС. Но существуют альтернативные виды топлива для двигателей внутреннего сгорания, например, природный газ метан и сжиженный нефтяной газ пропан. По ГОСТ (Р52087-2003) для использования нефтяных газов в качестве автомобильного топлива используется смесь пропана и бутана.

К преимуществам таких альтернативных видов топлива можно отнести меньшее количество токсичных веществ в отработавших газах и меньшую стоимость топлива для конечного потребителя. Так же, двигатель, предназначенный для работы на жидком топливе – бензине, с минимальными изменениями конструкции может быть адаптирован для питания сжиженным нефтяным газом.

Дело в том, что горение – это химическая реакция окисления. И для её стабильного возникновения и протекания необходимо соблюдать пропорции топлива и воздуха. Оптимальное соотношение, при котором топливо окисляется практически полностью, и в продуктах реакции минимум токсичных веществ, загрязняющих окружающую среду (СО – оксид углерода, СО<sub>2</sub> – углекислый газ, NO – оксид азота, СО – углеводороды), называется стехиометрическим.

На сегодняшний день пропан-бутановая смесь является одним из доступных альтернатив топлива. И с развитием газобаллонного оборудования изменялись методы и способы управления подачей топлива в двигатель внутреннего сгорания.

Так можно выделить несколько поколений ГБО. Начиная от механического управления количеством подаваемого газа с помощью отрицательного давления, отбираемого до дроссельной заслонки; и заканчивая впрыском газа в жидком агрегатном состоянии с электронным управлением момента открытия и закрытия газовых форсунок.

На данный момент широкое распространение получили газобаллонные системы 2 и 4 поколений. Не будем рассматривать подробно характеристики систем ГБО разных поколений, но мы рассмотрим главные отличия. Каждое поколение ГБО имеет преимущества и недостатки. Пятое и шестое поколения ГБО не получили распространения в виду очень высокой стоимости компонентов, высокой стоимости обслуживания и высокой стоимости монтажа, в частности, в системе газобаллонного оборудования 5 поколения необходимо газовые инжекторы монтировать на впускной коллектор, что технологически на некоторых автомобилях усложняется физическим доступом к элементам двигателя. Особенностью данного поколения является впрыск газа в жидком агрегатном состоянии. Так же допуски установки форсунок достаточно жесткие, недопустимо значительное отклонение угла установки инжектора относительно друг друга, чтобы добиться минимальных отклонений характеристик с точки зрения смесеобразования. В виду вышеизложенных фактов, установка ГБО 5,6 поколений не является экономически целесообразной.

Газобаллонное оборудование 2 поколение является модификацией 1 поколения и получило наибольшее распространение в виду низкой стоимости оборудования, низкой стоимости обслуживания, низким требованиям к качеству топлива, относительно низким уровнем сложности монтажа. Так же можно отметить возможность установки данной системы практически на любой двигатель внутреннего сгорания, работающий по принципу подвода теплоты к рабочему телу от внешнего источника (то есть бензиновый двигатель). Вкратце рассмотрим принцип работы: из баллона газ в жидком агрегатном состоянии поступает в редуктор-испаритель. Он отвечает за несколько операций: фазовый переход топлива в газообразное агрегатное состояние, уменьшение давления газа, и изменение количества газа на выходе в зависимости от отрицательного давления (разрежения) в патрубке подачи топлива к впускному тракту двигателя внутреннего сгорания, в котором находится дозатор, калибруемый механически под каждый двигатель индивидуально при настройке оборудования.

Газобаллонное оборудование 3 поколения. Двигатели внутреннего сгорания с данным оборудованием имеют более высокий экологический класс, по сравнению с ДВС который питает система 2 поколения ГБО. Это стало возможным благодаря контролю остатка кислорода в отработавших газах. Принципиальные отличия от ГБО 2 поколения заключаются в наличии электронного блока управления, контролирующего состав топливовоздушной смеси, сгораемой в двигателе. В России, к сожалению, данное поколение ГБО не получило распространения. На рисунке 2 представлена схема автомобиля с ГБО 3 поколения.



Рисунок 1 - ГБО 2 поколения



Рисунок 2 - ГБО 3 поколения

Рассмотрим газобаллонное оборудование 4 поколения. Данное оборудование можно установить только на двигатель внутреннего сгорания с «инжекторной» системой питания. Рассмотрим принцип работы: газ в жидком агрегатном состоянии из баллона попадает в редуктор-испаритель, который отвечает за фазовый переход топлива из жидкого агрегатного состояния в газообразное, и поддержании на выходе заданного давления, которое калибруется механически под каждый двигатель индивидуально. Далее газ попадает к газовым инжекторам (инжекторы 4 и 5 поколений ГБО принципиально разные, и работают в разных условиях, при разных давлениях, не стоит их путать), инжекторы представляют собой электромагнитные клапана с тарированным жиклером. Момент открытия и закрытия газовых инжекторов управляется с помощью газового электронного блока управления (ЭБУ). При монтаже данной системы одна из операций заключается в подключении сигнальных линий с бензиновых инжекторов к газовому ЭБУ, таким образом, газовый ЭБУ способен включать/отключать бензиновые инжекторы и, анализируя длительность впрыска штатного бензинового ЭБУ в соответствии с настройками, управляет газовыми инжекторами.



Рисунок 3 - ГБО 4 поколения

Сравним 2 и 4 поколение ГБО. Преимущества 4 поколения: фактически используются бензиновые топливные карты, с коррекцией под газовое оборудование, а так же работает штатная система т.н. «лямбда-контроля» (при наличии), задача которой состоит в коррекции топливовоздушной смеси по показаниям датчика кислорода отработавших газов. Все это положительно сказывается на поддержании стехиометрического состава топливовоздушной смеси. Но 4 поколение имеет недостатки: более высокая стоимость элементов системы, в частности, ЭБУ, газовых инжекторов, редуктора-испарителя (редукторы 2 и 4 поколений принципиально различны и не взаимозаменяемы, не стоит их путать). Так же из-за наличия инжекторов, которые требовательны к качеству подводимого топлива, и в частности к крупным частицам, которые могут образоваться как в результате естественного износа элементов ГБО, так и в результате заправки некачественного топлива или заправки через некачественное оборудование. Поэтому 4 поколение ГБО предполагает обязательную установку фильтра перед инжекторами, что увеличивает стоимость обслуживания при эксплуатации. Рассмотрим преимущества 2 поколения ГБО: низкая стоимость оборудования (обычно, в 2 раза ниже оборудования 4 поколения), низкая стоимость обслуживания, более легкий монтаж, относительно системы 4 поколения. Но рассмотрим минусы 2 поколения ГБО: прежде всего температурная зависимость приготовления топливовоздушной смеси. Данная система построена на дозировке количества топлива разрежением над дроссельной заслонкой в канале подвода топлива, и не учитывает зависимость массового расхода воздуха от температуры. Дело в том, что воздух подвержен термическому расширению. То есть, при изменении температуры меняется плотность воздуха. Следовательно, в одном и том же объеме воздуха, при разных температурах будет разная массовая доля кислорода, который выступает окислителем в реакции окисления нефтепродуктов. При эксплуатации автомобиля температура воздуха, который попадает в двигатель, не будет стабильной. На неё влияет множество фактов, в том числе, температура окружающей среды, конструктивные особенности забора воздуха и конструкции воздуховода, строение впускного тракта в головке блока цилиндров, устройство системы охлаждения двигателя и т.д. Другая проблема ГБО 2 поколения заключается в зависимости регулировки количества топлива от разрежения в канале подвода топлива. Конструктивно данное поколение ГБО предполагает монтаж патрубка подачи газа максимально близко к дроссельной заслонке, чтобы максимально сократить длину патрубка подачи газа, исключить потерю разрежения при отдалении от дроссельной заслонки, сделать систему максимально отзывчивой на открытие дроссельной заслонки. Но конструктивно автомобиль с гражданским двигателем предполагает

установку воздушного фильтра, который находится на некотором удалении от дроссельной заслонки. Следовательно, патрубок подачи газа находится между дроссельной заслонкой и фильтрующим элементом. Воздушный фильтр, по мере эксплуатации, загрязняется и изменяет характеристики сопротивления воздушному потоку. Если рассмотреть одинаковые условия работы двигателя с новым воздушным фильтром и загрязнённым воздушным фильтром, то разрежение в патрубке подачи газа при системе с грязным фильтром будет выше, что вызовет увеличение количества подаваемого топлива, следовательно, состав топливоздушная смеси отклонится в т.н. «обогащение» (когда для полного окисления топлива недостаточно кислорода). Еще одной проблемой ГБО 2 поколения является изменение характеристик редуктора-испарителя в результате износа, т.к. он содержит резинотехнические изделия, которые деформируются с течением времени.

ГБО 3 поколения не получило широкого распространения, а массовым производством и реализацией ранее занималась компания «STAG» на территории стран СНГ (за исключением РФ). А поскольку на сегодняшний день в России купить данное оборудование не представляется возможным, нами было принято решение об исключении недостатков ГБО 2 поколения. В данной работе за идеологию нами было принято ГБО 3 поколения.

Идея модернизации: добавить в систему выпуска отработавших газов датчик содержания кислорода, либо использовать имеющийся датчик кислорода, установленный заводом-изготовителем двигателя. Заменить механический дозатор электронным устройством, которое могло бы корректировать пропускную способность канала подвода топлива к двигателю внутреннего сгорания в зависимости от показаний датчика кислорода, тем самым влияя на соотношение воздуха к топливу в смеси, которая поступает в двигатель. Таким образом, можно избавиться от недостатков классической системы ГБО 2 поколения, сохранив её преимущества.

Для проверки работоспособности был изготовлен прототип на основе сервопривода SG90, среды разработки Arduino, платы ArduinoProMini с микроконтроллером AtMega 168 семейства AVR. Но поставленные задачи способен выполнять любой универсальный программируемый микроконтроллер, подходящий по параметрам (а именно, наличие хотя бы одного канала АЦП, наличие выводов для подключения кнопок и светодиодов индикации для настройки оборудования под любой двигатель, аппаратный ШИМ (но можно реализовать ШИМ и программно)). В качестве датчика отработавших газов мы использовали узкополосный циркониевый датчик кислорода Bosch

LS01. Было изготовлено основание электронного дозатора из полипропиленовой трубы.

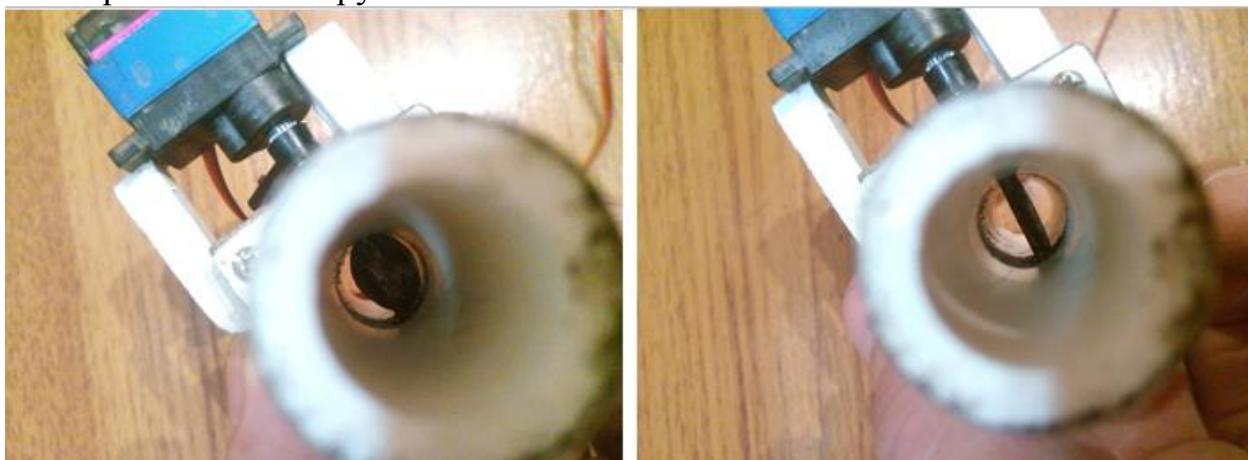


Рисунок 4 - различная пропускная способность канала при разные углах открытия заслонки



Рисунок 5 - общий вид ЭБУ и исполнительного устройства прототипа

В данном устройстве программно предусмотрены режимы при неисправностях датчика кислорода, оставляя двигатель внутреннего сгорания работоспособным при неисправностях.

Совместно с предприятием ООО «Автоград» мы произвели тесты данного устройства. В замерах для контроля работы устройства мы использовали оборудование компании Innovate, а именно широкополосный датчик кислорода Innovate LC-2. Сенсор использовался от компании Bosch 0-258-007-057. Один из выходов блока управления Innovate-LC2, запрограммированный заводом-изготовителем как аналоговый выход имитации работы циркониевого узкополосного датчика кислорода, был использован в качестве сигнала с датчика кислорода отработавших газов для разрабатываемого устройства.

Данное устройство показало свою эффективность, корректируя состав топливовоздушной смеси по датчику кислорода отработавших

газов. И, следовательно, решая вышеописанные проблемы ГБО 2 поколения, не оказывая отрицательного влияния на преимущества.

Кроме всего вышесказанного, система с данным устройством менее чувствительна к ошибкам при настройке газобаллонного оборудования, т.к. состав топливовоздушной смеси корректируется по сигналам с датчика кислорода отработавших газов и поддерживается окисление стехиометрической смеси в двигателе внутреннего сгорания.

### **Библиографический список**

1. Лиханов, В. А. Применение и эксплуатация газобаллонного оборудования / В. А. Лиханов, Р.Р. Деветьяров. – Киров: Вятская ГСХА, 2006. – 183 с.

2. Золотницкий, В. А. Новые газотопливные системы автомобилей / Под научн.ред. С.Н.Погребного. – М.: Издательский Дом Третий Рим, 2005. – 64 с.

3. Золотницкий В. А. Отечественная и зарубежная газобаллонная аппаратура / В.А. Золотницкий. – М.: Изд-во ЛИВР, 1997. – 44 с.

4. Афонин С. А. Газовое оборудование автомобилей. Легковые, грузовые. Устройство, установка, обслуживание. Практическое руководство / С.А.Афонин. – Изд-во ПОНЧиК, 2001. – 52 с.

5. Газобаллонные автомобили. / Е.Г. Григорьев [и др.] – М.: Изд-во Машиностроение, 1989. – 216 с.

6. Лещенко В.П. Кислородные датчики. / В.П.Лещенко. М.: Изд-во Легион-Автодата, 2003. –112 с.

7. Справочный материал по сервоприводу SG90 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://250v.ru/goods/D06-Servoprivod-SG-90>, свободный.

8. Сервоприводы в ЧПУ станках [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elektroas.ru/servoprivody-v-chpu-stankah>, свободный.

# АЛГОРИТМЫ УМНОЖЕНИЯ БОЛЬШИХ ЧИСЕЛ

Жилкин И.И., Агалаков Б.В. – научный руководитель

ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"

iroclion@mail.ru

## Введение

Процесс разработки программных и программно-аппаратных средств криптографической защиты информации, непосредственно связан с необходимостью реализации арифметических операций, лежащих в основе алгоритмов [1]. Различные стандарты оперируют размерностью чисел не менее 256 бит (77-мизначное десятичное число).

Скорость решения любой задачи на компьютере зависит от того, как она написана. В одном случае компьютер будет работать довольно долго, и при этом выполнять большой объем вычислений, в другом – объем вычислений окажется меньше, и, следовательно, работа будет эффективней. Проблема определения эффективности заданной программы сводится к проблеме определения эффективности работы ее алгоритма.

Как правило, если задача имеет решение, то она может быть решена различными алгоритмами. При этом возникает вопрос сравнения алгоритмов [2].

## Сложность алгоритма

Основной характеристикой любого алгоритма является его сложность и по значению этой характеристики можно судить об эффективности алгоритма, возможности практического применения и сравнивать конкретный алгоритм с другими. Время работы компьютера зависит от количества «элементарных операций», которые ему предстоит выполнить при реализации алгоритма, а сама сложность алгоритма определяется как необходимое число таких операций [3].

В качестве элементарных операций используются следующие: присваивание ( $a \leftarrow b$ ), индексация  $a[i]$ , арифметические операции ( $*$ ,  $/$ ,  $-$ ,  $+$ ), операции сравнения ( $a < b$ ,  $a > b$ ,  $a = b$ ,  $a <> b$ ), логические операции (ИЛИ, И, НЕ).

Различают два вида сложности алгоритма (нас же интересует только первая):

— временная или вычислительная сложность (Это характеристика времени выполнения алгоритма, измеряется она в количестве операций, которые требуется выполнить в алгоритме, и их стоимости);

— пространственная сложность (Это характеристика объёма памяти машины, который требуется алгоритму для работы).

Значение сложности при неограниченном увеличении размера задачи называется асимптотической временной сложностью, которую определяют с помощью O-символики. Алгоритм будет иметь сложность  $O(f(n))$ , если с

увеличением длины входных данных  $N$ , время выполнения алгоритма возрастает с той же скоростью, что и функция  $f(N)$ .

Например, для задачи умножения двух чисел "в столбик" может быть длина наибольшего из сомножителей. В данном случае используются две операции: умножение двух битов и сложение двух битов с переносом (считается, что эти операции имеют одинаковую сложность). Тогда, если длина сомножителей равна  $n$ , то алгоритм выполняет  $n$  умножений и  $n$  сложений бит. И тогда сложность алгоритма будет равна  $O(n^2)$ .

### **Длинная арифметика и большие числа**

Компьютер может оперировать числами, количество бит которых ограничено: современные процессоры имеют фиксированную разрядность, что приводит к увеличению программного кода при выполнении криптографических операций, и как следствие – к снижению производительности устройства в целом; Как правило, мы привыкли работать с 32-х и 64-х разрядными целыми числами, которым на платформе .NET соответствуют типы `Int32` (От -2 147 483 648 до 2 147 483 647) и `Int64` (От -9 223 372 036 854 775 808 до 9 223 372 036 854 775 807).

Казалось бы, числа в  $9 \cdot 10^{18}$  знаков в каждую сторону нам хватит для любой задачи, но как только мы столкнемся с практической криптографией, то поймем, что этого окажется мало, ведь большинство систем прописывания и шифрования данных используют целочисленную арифметику по модулю  $m$ , где  $m$  — очень большое натуральное число и при этом не обязательно простое. В таком случае нам на помощь приходят, так называемые, большие числа и длинная арифметика.

Длинная арифметика помогает нам выполнять с помощью компьютера арифметические операции над числами, разрядность которых превышает длину машинного слова. Эти операции реализуются не аппаратно, а программно, с использованием базовых аппаратных средств работы с числами меньших порядков.

Основная идея заключается в том, что большое число хранится в виде массива его цифр. Цифры могут использоваться из любой системы счисления (обычно из десятичной системы счисления, её степени ( $10^m$ ) или двоичной системы счисления). Идея реализации необходимых операций (сложение, вычитание, умножение, деление и т.д.) основана на тех же принципах, которыми мы пользуемся при расчетах на бумаге.

Например, когда мы умножаем "в столбик", то фактически мы работаем с небольшими числами, сводя сложную задачу к набору из более простых подзадач. Даже в этом случае мы будем иметь оценку сложности равно  $O(n^2)$ , а затраченное время для выполнения хотя бы одного шифрования/дешифрования будет относительно огромным, и для того, чтобы реализация умножения была более эффективней применяют различные методы умножения больших чисел.

### Метод умножения Карацубы

Метод умножения Карацубы заключается в разбиении решаемой задачи на две или более подзадачи того же типа, но меньшего размера, и комбинировании их решений для получения ответа к исходной задаче. Идея заключается в разделении одной операции умножения над  $n$ -значными числами на три операции умножения над числами длины  $n/2$  плюс  $O(n)$  [4]. Сложность вычисления алгоритма Карацубы будет равна  $O(n^{\log_2 3})$ ,  $\log_2 3 \approx 1,5849$

$$U(x)=U_1(x)^{x^n}+U_0(x) \quad (1)$$

$$V(x)=V_1(x)^{x^n}+V_0(x) \quad (2)$$

$$UV=U_1V_1x^{2n}+((U_1+U_0)(V_1+V_0)-U_1V_1-U_0V_0)x^n+U_0V_0 \quad (3)$$

Для примера умножим  $U=7641$  на  $V=8512$ . Поделим каждый из множителей на две части (1)(2):  $U_1=76$ ,  $U_0=41$ ,  $V_1=85$ ,  $V_0=12$ . Вычисляем промежуточные результаты произведения (те самые три операции умножения):  $U_1V_1=6460$ ,  $U_0V_0=492$ ,  $(U_1+U_0)(V_1+V_0)=11349$ .

Подставляем полученные результаты промежуточных коэффициентов в итоговую формулу(3) и получаем итоговый результат (следует отметить, что умножения на 10000 и на 100 выступают в качестве сдвигов):  $UV=6460*10000+(11349-6460-492)*100+492=65040192$

Для перемножения двух чисел, превышающих длину машинного слова, алгоритм Карацубы вызывается рекурсивно до тех пор, пока эти числа не станут достаточно маленькими, чтобы их можно было перемножить непосредственно, но следует также отметить, что при длине чисел короче нескольких десятков знаков, быстрее работает обычное умножение.

### Алгоритм Шёнхаге – Штрассена

Алгоритм Шёнхаге - Штрассена являет собой асимптотически быстрый алгоритм умножения больших чисел сложность которого составляет  $O(N \log N \log \log N)$ . Алгоритм рекурсивно использует быстрое преобразование Фурье над кольцом из  $2^{2^n + 1}$  элементов, где  $n$  – длина наибольшего из множителей [5].

Идея быстрого умножения чисел заключается в том, что для каждого сомножителя выполняется БПФ так, чтобы Фурье-образы имели двойную длину (это делается для того, чтобы не было переполнения). Затем Фурье-образы поординатно перемножаются по модулю  $2^{2n+1}$ , и после этого выполняется обратное БПФ, т. е. вычисляется отрицательно обернутая свертка. При этом необходимо принять меры, исключаяющие влияние переносов, возникающих при целочисленном сложении  $d$  слагаемых (умножение целых чисел отличается от умножения многочленов тем, что появляются переносы).

Для исключения переноса Шёнхаге и Штрассен предложили использовать "разреженные" слагаемые, содержащие достаточное число

нулей в старших разрядах. При этом, естественно, длина каждого слагаемого возрастает в несколько раз.

Возьмем все тот же пример, умножим  $U=7641$  на  $V=8512$ . Представим  $U=7641$  как многочлен  $7x^3+6x^2+4x+1$ , а  $V=8512$  как многочлен  $8x^3+5x^2+1x+2$ .

Выполнив быстрое преобразование Фурье мы получим многочлен  $56x^6+83x^5+69x^4+48x^3+21x^2+9x+2$ . Выполнив все необходимые переносы (начиная с младших разрядов) в итоге имеем многочлен  $6x^7+5x^6+0x^5+4x^4+0x^3+1x^2+9x+2$ , коэффициенты при  $x$  которого дают нам ответ 65040192.

До 2007 алгоритм Шёнхаге - Штрассена являлся наиболее быстрым асимптотически известным алгоритмом умножения, когда швейцарским математиком Мартином Фюрером был предложен более быстрый метод.

Алгоритм Фюрера может быть использован, чтобы перемножить числа за время  $O(N \log N 2^{O(\log^* n)})$ , где  $\log^* n$  — итерированный логарифм числа  $n$ . Тем не менее, алгоритм Фюрера в настоящее время имеет преимущество только для астрономически больших чисел (больше  $10^{12}$  значащих цифр) и не используется на практике.

### Сравнение алгоритмов

Для сравнения представленных методов умножения больших чисел составим график сложности алгоритма, зависящий от длины входных множителей (для удобства оба множителя представляем одинаковой длины). Графики представлены на рисунке 1 и 2.

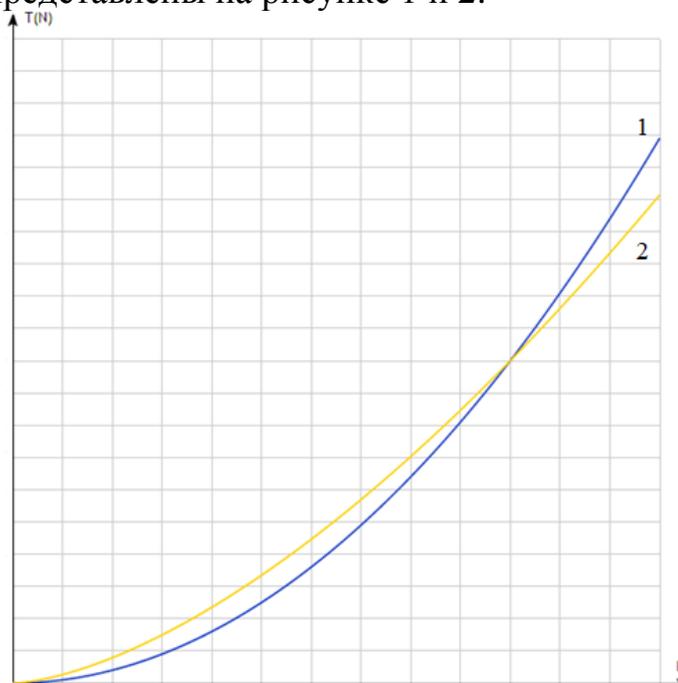


Рисунок 1 – Временная оценка сложности умножения "в столбик" (1), алгоритмов Карацубы (2) в зависимости от длины множителя

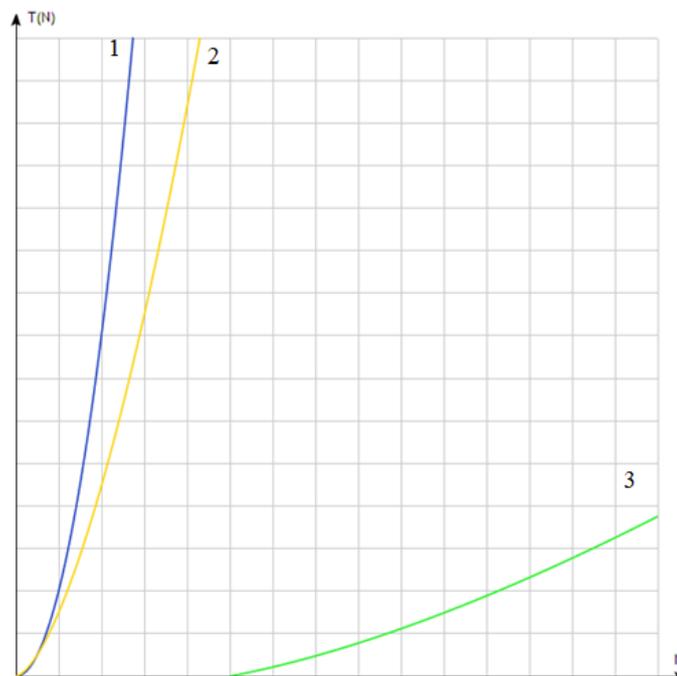


Рисунок 2 – Временная оценка сложности умножения "в столбик" (1), алгоритмов Карацубы (2) и Шёнхаге – Штрассена (3) в зависимости от длины множителя

### Заключение

Сравнительная оценка показала, что по вычислительной сложности (количеству операций) при множителях небольшой длины (менее десяти знаков), метод умножения "столбиком" показал себя эффективно, однако, как только множители становятся большими (более 10 знаков), то без использования различных методов умножения вычислительные ресурсы компьютера будут тратиться "в пустую". Применение алгоритмов умножения больших чисел в конечном итоге повышает эффективность и производительность программных и программно-аппаратных средств криптографической защиты информации.

### Библиографический список

1. Б. Шнайнер. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. – М.: ТРИУМФ, 2002. – 816 с.
2. Ю.Г. Карпов, П.В. Трифионов. Сложность алгоритмов. Журнал Компьютерные инструменты в образовании, №6, 2007 г.
3. А. Белов, В. Тихомиров. Сложность алгоритмов. Журнал КВАНТ, №2, 1999 г.
4. А. Охотин. Теоретическая информатика I-алгоритмы, осень 2017 г. Лекция 1: Введение в ТИ. Машина с произвольным доступом памяти, псевдокод. Быстрое умножение, метод «разделяй и властвуй», 2017 г.
5. А. Г. Ростовцев. Алгебраические основы криптографии. — СПб.: НПО «Мир и семья», ООО «Интерлайн», 2000 г. — 354 с.

## **МЕТОДЫ СТЕГАНОГРАФИИ**

**Миронов Д.Ю., Агалаков Б.В.** – научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
dima.m2011@mail.ru

### **Введение**

Задача защиты информации от несанкционированного доступа, в век информатизации, набирает все большую актуальность. Одним из способов защиты является стеганография. Стеганография имеет греческие корни и дословно означает скрытое письмо. Мы будем понимать под стеганографией – способ передачи или хранения информации с учетом сохранения в тайне самого факта такой передачи или хранения.

Первые упоминания относятся к 440 г. до н.э. и самым первым способом стеганографии были, так называемые, восковые дощечки. Они были предназначены для письма, используя острую палочку, однако, на деревянной основе можно было оставлять какое-либо послание, а уже потом заливать дощечку воском. Только тот, кто знал этот секрет, мог прочитать скрытое сообщение.

В данной работе рассматриваются основные понятия защиты информации с помощью стеганографии, а также сами методы стеганографии.

### **Стеганография и криптография**

В отличие от криптографии, которая скрывает содержимое тайного сообщения, стеганография скрывает сам факт его существования. Как правило, сообщение будет выглядеть как что-либо иное, например, как изображение, статья и т.д. Стеганографию используют совместно с методами криптографии, тем самым дополняя её.

Преимущество стеганографии над криптографией состоит в том, что сообщения не привлекают к себе внимания. И в самом деле, злоумышленник, перехватывающий зашифрованное сообщение, понимает, что перед ним какой-то шифр и может предпринять попытки раскрыть смысл информации. Таким образом, криптография защищает содержание сообщения, а стеганография защищает сам факт наличия каких-либо скрытых посланий [1][2].

### **Современная классификация стеганографии**

В конце 1990-х годов, с развитием вычислительной техники, выделилось несколько направлений стеганографии [2]:

- Классическая стеганография.
- Компьютерная стеганография.
- Цифровая стеганография.

В классической стеганографии применяют такие методы, как скрытые чернила, которые появляются в определенных условиях, запись на боковой стороне колоды карт, расположенных в условленном порядке; сема-

граммы – секретные сообщения, в которых в качестве шифра используются различные знаки, за исключением букв и цифр и т.д.

Одним из направлений классической стеганографии является компьютерная стеганография, основанная на особенностях компьютерной платформы. Классическим примером является стеганографическая файловая система StegFS для Linux, скрытие данных в неиспользуемых областях форматов файлов подмена символов в названиях файлов, текстовая стеганография и т.д.

Данные методы с настоящее время вытеснены цифровой стеганографией, под которой понимают скрытие информации в текстовых, графических, аудио и других мультимедийных файлах с помощью специального программного обеспечения.

Цифровая стеганография – направление классической стеганографии, основанное на сокрытии или внедрении дополнительной информации в цифровые объекты, вызывая при этом некоторые искажения этих объектов. Но, как правило, данные объекты являются мультимедиа-объектами (изображения, видео, аудио) и внесение искажений, которые находятся ниже порога чувствительности среднестатистического человека, не приводит к заметным изменениям этих объектов.

### **Стеганографическая система**

Под стеганографической системой понимается объединение методов и средств, используемых для создания скрытого канала для передачи информации. Иными словами, это весь инструментарий, необходимый абонентам, для обмена скрытыми сообщениями. Поскольку информацию они передают не в явном виде, а каким-то образом скрывают, требуется ввести понятия, как стеганографический контейнер или стегоконтейнер – это информация, используемая для сокрытия тайного сообщения. Стегоконтейнер рассматривают как пустой, то есть какой-либо файл, в который не встроено никакой информации и заполненный контейнер, несущий в себе скрытую информацию.

Для примера рассмотрим взаимодействие двух абонентов в стеганографической системе. Оба абонента производят практически аналогичные действия, поочередно являясь отправителем и получателем. Отправитель имеет открытое сообщение и некий контейнер. Далее он совершает встраивание, которое, возможно, основывается на некотором секретном ключе. В данном случае в отличие от криптографической системы ключ необязателен, поскольку стойкость данной системы основывается на том, что противник не знает большинства параметров данной стеганографической системы, например, не до конца знает, как происходит встраивание, либо вообще не знает, что происходит обмен стеганографическими сообщениями. После встраивания информации в контейнер, происходит его передача по стеганографическому каналу связи. Далее получатель, которому адресовано сообщение, производит извлечение информации из контейнера. В дан-

ном случае нарушитель, который контролирует канал связи не может по данной модели получить доступ к программе, которая производит извлечение, на этом собственно строится надежность данной системы [3].

### **Основные угрозы безопасности стеганографических систем**

Познакомившись с элементами стеганографической системы, рассмотрим, каким угрозам она может подвергаться.

- Обнаружение стеганографического канала – одна из наихудших ситуаций, при которой нарушитель может раскрыть наличие стеганографического канала и начать предпринимать какие-либо активные действия, для раскрытия прочих параметров, например, как происходит встраивание информации. В качественно построенной стеганографической системе обнаружить канал достаточно сложно, однако, даже нарушитель с низким потенциалом может такую угрозу реализовать, поскольку для этого не требуется каких-либо специальных средств.

- Извлечение скрытого сообщения – более серьезная угроза и требует достаточных знаний от злоумышленника. Заключается в том, что злоумышленник перехватит скрытое сообщение и извлечет его, что грозит нарушением конфиденциальности переписки и не желательно для абонентов.

- Разрушение скрытого сообщения – для ее реализации не требуется перехватывать или извлекать сообщение. Злоумышленнику требуется немного изменить контейнер, тогда скрытое сообщение может быть уничтожено.

- Подмена скрытого сообщения – нарушитель может подменить скрытое сообщение. Это может произойти в том случае, если он знает, как происходит встраивание и какой контейнер применяется.

### **Типы нарушителей безопасности стеганографических систем**

На основе того, как действует злоумышленник, можно выделить

- Пассивный нарушитель – только просматривает пересылаемое сообщение, не меняя его. Может иметь набор эталонных контейнеров, может проводить их сравнение с передаваемыми контейнерами, таким образом пытаясь установить есть ли в них скрытое сообщение или нет. установить есть ли в них скрытое сообщение или нет. Пассивный нарушитель никак не препятствует пересылке сообщений, но может их просматривать, копировать себе контейнеры, исследовать, сравнивать и т.д. Он реализует угрозу раскрытия стеганографического канала.

- Активный нарушитель – в добавок ко всем действиям, что может делать пассивный нарушитель, добавляется возможность воздействовать на пакеты. Он может модифицировать сообщения, не меняя семантическую часть, может реализовывать атаку по разрушению встроеного сообщения.

- Злоумышленный нарушитель – может модифицировать сообщения, комбинировать, подменять и подделывать их. Данный нарушитель ввязывается в переписку и может контролировать, какими пакетами обмениваются абоненты.

### **Методы встраивания сообщений**

Методы встраивания сообщений в цифровой стеганографии подразумевают встраивание в двоичный код мультимедийного объекта двоичный код встраиваемого сообщения, при условии, что контейнер не будет заметно изменен (изображение не будет сильно искажено, что заметно человеческому глазу, в аудиофайле не будет большого количества помех) [2][3].

Далее представлены наиболее распространенные методы цифровой стеганографии:

- Метод наименьших значащих битов (LSB) – этот метод основан на том, что производится замена последних значащих битов в контейнере, отвечающих за цвет (в изображении) или за компоненту звука (в звуковом файле) на биты скрываемого сообщения.

- Фазовое кодирование – так же применяется в цифровой аудиостеганографии. Происходит замена исходного звукового элемента на относительную фазу, которая и является секретным сообщением. Фаза подряд идущих элементов должна быть добавлена таким образом, чтобы сохранить относительную фазу между исходными элементами. Фазовое кодирование является одним из самых эффективных методов скрытия информации.

- Метод встраивания сообщения – заключается в том, что специальная случайная последовательность встраивается в контейнер, затем, с использованием согласованного фильтра, данная последовательность детектируется. Данный метод позволяет встраивать большое количество сообщений в контейнер, и они не будут создавать помехи друг другу при условии ортогональности применяемых последовательностей. Преимуществом данного метода является противодействие геометрическим преобразованиям, удалению части файла и т.д. Метод заимствован из широкополосной связи.

- Эхо-методы применяются в цифровой аудиостеганографии и используют неравномерные промежутки между эхо-сигналами для кодирования последовательности значений. При наложении ряда ограничений соблюдается условие незаметности для человеческого восприятия. Эхо характеризуется тремя параметрами: начальной амплитудой, степенью затухания, задержкой. При достижении некоего порога между сигналом и эхом они смешиваются. В этой точке человеческое ухо не может уже отличить эти два сигнала. Наличие этой точки сложно определить, и она зависит от качества исходной записи, слушателя. Чаще всего используется задержка

около 1/1000, что вполне приемлемо для большинства записей и слушателей. Для обозначения логического нуля и единицы используется две различных задержки. Они обе должны быть меньше, чем порог чувствительности уха слушателя к получаемому эху. Эхо-методы устойчивы к амплитудным и частотным атакам, но неустойчивы к атакам по времени.

- Для звуковых файлов может использоваться четное кодирование. Оно основано на том, что сигнал разбивается на отдельные части и встраивается каждый бит секретного сообщения в четный бит. Если четный бит в выбранной области не подлежит кодированию, то процесс инвертирует младший бит одной из выборок данной последовательности.

### **Сфера применения методов стеганографической защиты информации**

В качестве примером можно привести следующие области применения стеганографии:

- Защита авторских прав (цифровые водяные знаки). Цифровые водяные знаки – специальные структуры, содержащие в себе идентификационную информацию обладателя или пользователя информации. Они различаются по назначению, однако, есть некий признак, позволяющий их объединить и классифицировать – уровень устойчивости к воздействию. ЦВЗ бывают трех видов: хрупкие, полухрупкие и надежные. Хрупкие используются для защиты целостности, т.е. это такие структуры, которые уничтожаются при малейшем изменении контейнера. Полухрупкие – предназначены, для обнаружения попыток модификации. Они устойчивы к малейшим изменениям контейнера, но не устойчивы к попыткам атаки на эти водяные знаки, т.е. на попытки их ликвидировать. Надежные ЦВЗ предназначены для подтверждения прав обладателя информации и устойчивы к любым изменениям и остаются читаемыми после любых модификаций.

- Защита ценных бумаг/документов от копирования или цифровой обработки [3].

### **Библиографический список**

1. В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. Цифровая стеганография. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 261 с. //

2. Грибунин В. Г., Костюков В. Е. Стеганографические системы. Критерии и методическое обеспечение: Учебно-методическое пособие / Под редакцией доктора технических наук В. Г. Грибунина. — г. Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", 2016. — 324 с.

3. О. В. Генне. Основные положения стеганографии [Электронный ресурс] (Режим доступа 13.05.2018) URL: <http://www.citforum.ru/internet/security-es/stegano.shtm>

# АДАПТАЦИЯ ФИЛЬТРА ВИНА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА ИОНОВ В МАСС–СЕПАРАТОРЕ ПОМС-Е-3

Нгуен Тхе Тханг, Строкин Н.А., Казанцев А.В.

ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

nguen.tkhe@yandex.ru

В 1901 г. Вильгельм Вин разработал прибор для исследования анодных лучей в скрещенном магнитном и электрическом поле – фильтр Вина [1, 2]. Этот прибор широко применяется в прикладных исследованиях в качестве масс–сепаратора по скоростям [3-5] или энергоанализатора [6, 7]. Такие сепараторы имеют небольшие габариты, регулируемую дисперсию, простую вакуумную систему, низкую стоимость; просты в изготовлении и эксплуатации [8].

Одной из актуальных задач физики плазмы в настоящее время является разделение многокомпонентного потока ионов на элементы или группы элементов [9]. Попытка измерения результатов разделения трехкомпонентного пучка ионов в сепарирующем пространстве плазмооптического масс–сепаратора ПОМС–Е–3 с помощью классического «длинного» фильтра Вина (ФВ) с детектором, вынесенным за область  $E \times B$ -полей фильтра в точку его фокуса, окончилась неудачей. Причина – не получилось «доставить» ионы до детектора из-за их существенно трехмерных траекторий; ионы погибали на элементах конструкции ФВ. В докладе сообщается о разработке – адаптации фильтра Вина для диагностики результатов плазмооптической масс–сепарации: теория, программа измерений и предварительной обработки результатов, конструкция, тестовое измерение.

На рис. 1 показана схема ФВ со скрещенными магнитным и электрическим полями  $\vec{E} \perp \vec{B}$ , входной и выходной диафрагмами с размерами в плоскости дисперсии по скоростям равными  $S_1$  и  $S_2$ ;  $d$  – расстояние между электродами,  $L$  – длина фильтра.

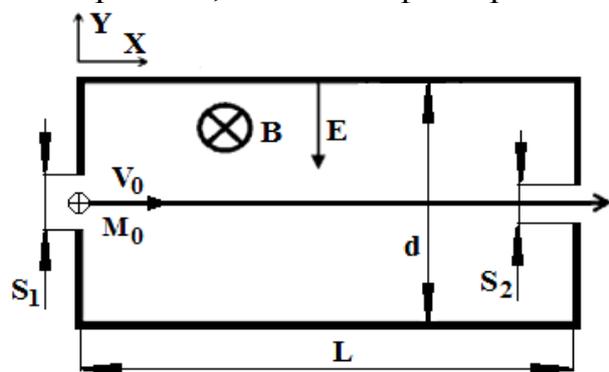


Рис. 1. Схема фильтра Вина

На ион в ФВ действуют силы со стороны электрического и магнитного полей [1, 2]. Применяя второй закон Ньютона, можно для иона написать уравнение движения 
$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E} + q[\vec{V} \times \vec{B}], \quad (1)$$

где  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $m$  – масса (кг),  $a$  – ускорение ( $\text{м/с}^2$ ),  $V$  – скорость иона ( $\text{м/с}$ ),  $B$  – индукция магнитного поля (Тл),  $E$  – напряженность электрического поля ( $\text{В/м}$ ).

В декартовой системе, траектория движения частицы может быть описана системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = \frac{q}{m} E_x + \frac{q}{m} (V_y B_z - V_z B_y); \\ \frac{dV_y}{dt} = \frac{q}{m} E_y + \frac{q}{m} (V_z B_x - V_x B_z); \\ \frac{dV_z}{dt} = \frac{q}{m} E_z + \frac{q}{m} (V_x B_y - V_y B_x). \end{cases} \quad (2)$$

Предполагается, что ион вводится в область действия полей со скоростью  $V$  под углом  $\alpha$  к оси  $X$ ; по направлению  $Z$  частица не перемещается. Решив систему (2) с заданными начальными условиями в точке старта  $O(0) = (0, Y_0, Z_0)$ :  $\vec{V}(0) = (V \cos \alpha, V \sin \alpha, 0)$  при  $\vec{E} = (0, E, 0)$ ,  $\vec{B} = (0, 0, B)$  и циклотронной частоте  $\omega = qB/m$ , получаем уравнения траектории движения частицы в плоскости  $xy$ :

$$\begin{cases} x = \frac{1}{\omega} \left( V \cos \alpha - \frac{E}{B} \right) \sin(\omega t) - \frac{1}{\omega} V \sin \alpha \cos(\omega t) + \frac{E}{B} t; \\ y = \frac{1}{\omega} \left( V \cos \alpha - \frac{E}{B} \right) \cos(\omega t) + \frac{1}{\omega} V \sin \alpha \sin(\omega t) - \frac{1}{\omega} \left( V \cos \alpha - \frac{E}{B} \right) + Y_0. \end{cases} \quad (3)$$

Траектория движения иона в зависимости от ключевых параметров была смоделирована в программе LabVIEW. На рис. 2 показаны траектории движения ионов  $\text{He}^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{Ar}^+$  в скрещенных полях при одинаковых энергиях  $W = 1$  кэВ и направлениях начальной скорости ( $\alpha = 3^\circ$ ); ионы падают в поля  $B = 0,09$  Тл,  $E = 6250$  В/м.

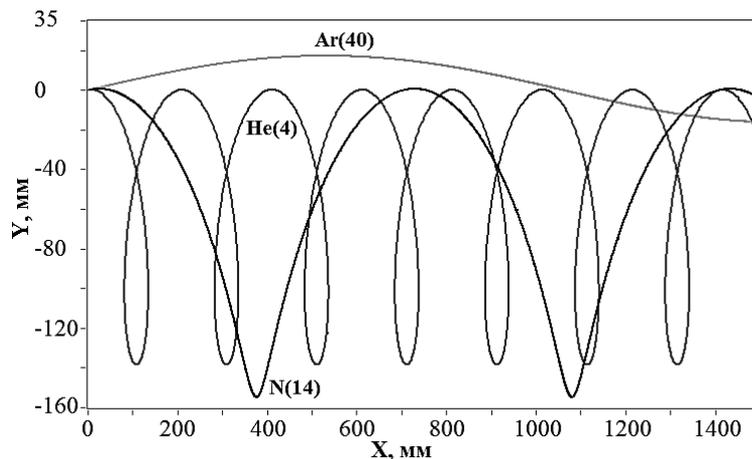


Рис. 2 – Траектория движения ионов разных масс ( $\text{Ar}^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{He}^+$ ) с начальной энергией 1 кэВ; угол падения  $\alpha = 3^\circ$ .

Видно, что при заданной энергии траектория движения иона зависит от его массы: чем больше масса, тем больше период и высота траектории движения; происходит разделение частиц по массам в пространстве.

На рис. 3 показаны траектории движения иона с разными начальными углами падения  $\alpha$ .

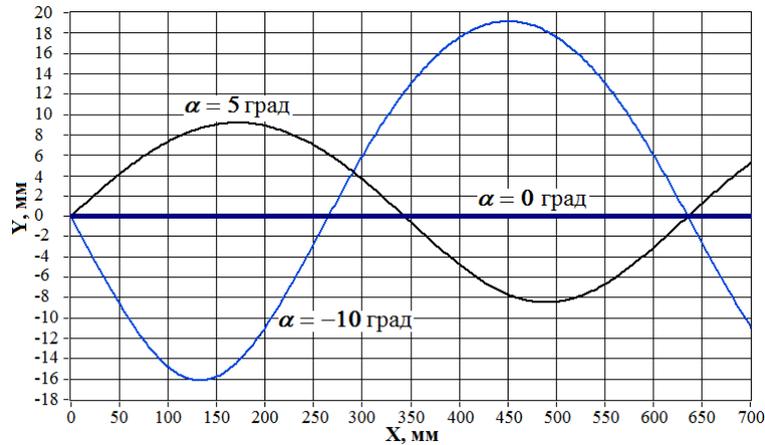


Рис. 3. Траектории движения иона гелия с  $W = 1$  кэВ в полях  $E = 19750$  В/м,  $B = 0,09$  Тл при  $\alpha = 5^\circ, 0^\circ$  и  $10^\circ$ .

Анализ траекторий движения ионов показывает, что, если ион входит в область скрещенных электрического и магнитного полей со скоростью дрейфа  $V \approx E/B$  с любым начальным углом  $\alpha$  к направлению оси  $Y$ , то он сфокусируется в точке  $I(L_{\text{фок}}, Y_0)$ , где  $Y_0$  – начальное положение иона по направлению  $Y$ ,  $L_{\text{фок}}$  – расстояние до точки фокусировки по оси  $X$ :

$$L_{\text{фок}} = \frac{2\pi m E}{q B^2} = \frac{2\pi \sqrt{2mW}}{q B}. \quad (4)$$

Формула (4) показывает, что фокусные расстояния для ионов в  $E \times B$  полях зависят от величины магнитной индукции  $B$ , начальной энергии иона  $W$  и его массы  $m$ . Это дает способ выбора параметров ФВ для повышения качества анализа в конкретных условиях эксперимента. Например, для иона гелия (рис. 3) оптимальная длина ФВ при магнитном поле  $B = 0,09$  Тл составляет  $L_{\text{фок}} \approx 640$  мм.

Если ион вводится в фильтр через входную диафрагму  $S_1$  со скоростью  $V = E/B$  перпендикулярно к направлению электрического и магнитного поля, то магнитное и электрическое «воздействие» сбалансированы, ион проходит через ФВ без отклонения. Ионы, входящие в ФВ со скоростями не равными  $E/B$ , отклоняются от прямолинейной траектории и не падают в выходную диафрагму  $S_2$ , что отражает принцип работы фильтра Вина.

Найдем при  $E/B \neq V$  условие на магнитное поле, при котором ионы будут проходить через щели ФВ с ширинами  $S_1 = S_2 = S$ . Прохождение возможно, если выполняется условие:

$$\begin{cases} X = L; \\ |Y| \leq S / 2. \end{cases} \quad (5)$$

При  $\varphi = \omega t = qBt/m$  и  $\alpha \approx 0$  координаты иона на выходе ФВ будут следующими:

$$\begin{cases} X = \frac{m}{qB} \left( \sqrt{\frac{2W}{m}} - \frac{E}{B} \right) \sin \varphi + \frac{mE}{qB^2} \varphi; \\ Y = -\frac{m}{qB} \left( \sqrt{\frac{2W}{m}} - \frac{E}{B} \right) (1 - \cos \varphi) + Y_0. \end{cases} \quad (6)$$

Разлагая правые части уравнений системы (6) в ряд Тейлора с точностью до величин второго порядка малости, получим:

$$\begin{cases} X = \left( \frac{m}{qB} \left( \sqrt{\frac{2W}{m}} - \frac{E}{B} \right) + \frac{mE}{qB^2} \right) \varphi; \\ Y = -\frac{m}{2qB} \left( \sqrt{\frac{2W}{m}} - \frac{E}{B} \right) \varphi^2 + Y_0. \end{cases} \quad (7)$$

Условие (5) тогда преобразуется к виду:

$$\begin{cases} \varphi = \frac{LBq}{\sqrt{2mW}}; \\ -\frac{S}{2} \leq -\frac{L^2 Bq}{4W} \left( \sqrt{\frac{2W}{m}} - \frac{E}{B} \right) + Y_0 \leq \frac{S}{2}. \end{cases} \quad (8)$$

При заданных  $L, W, E, S$  и  $Y_0 = \pm S/2$  получим условие на магнитное поле:

$$\begin{cases} B \leq \frac{U}{d\sqrt{2W/m}} + \frac{4WS}{qL^2\sqrt{2W/m}} = B_{\max}; \\ B \geq \frac{U}{d\sqrt{2W/m}} - \frac{4WS}{qL^2\sqrt{2W/m}} = B_{\min}, \end{cases} \quad (9)$$

где  $U$  – разность потенциалов между пластинами ФВ с зазором  $d$ .

Для иона аргона при  $W = 1,5$  кэВ,  $d = 6$  мм,  $L = 50$  мм,  $S = 1$  мм условие прохождения в макете ФВ будет иметь вид:

$$\frac{U}{510} - 0.0282 \leq B \leq \frac{U}{510} + 0.0282. \quad (10)$$

Расчет по уравнению (10) для некоторых значения  $U$  приведен в таблице 1.

Таблица 1

$U$ (В)	45	80	120
$B_{\min} \div B_{\max}$ (Тл)	0.06 $\div$ 0.116	0.129 $\div$ 0.185	0.210 $\div$ 0.263

В работах [11–13] найдена разрешающая способность ФВ при условии расположения детектора в точке фокуса на некотором расстоянии от выхода ФВ. Мы определим разрешающую способность «короткого» ( $L < L_{\text{фок}}$ ) фильтра Вина с учетом углового разброса.

Ион массы  $M_0$  движется вдоль оси  $X$  с начальной скоростью  $V_0 = \sqrt{2W / M_0} = E / B$ . Ион массы  $M_1 = M_0 + \Delta M$  движется в полях ФВ с начальной скоростью  $V_1 = \sqrt{2W / M_1} < E / B$  под углом  $\alpha$  к оси  $x$ . Поставим условие: ион массы  $M_1$  не проходит через выходную щель  $S_2$ , т. е. отклонение иона  $M_1$  по оси  $Y$  на выходе ФВ больше, чем половина ширины щели  $S/2$ . Полагая  $Y_0 = -S/2$ , по уравнению (3) находим отклонение иона  $M_1$  по направлению  $Y$  на выходе фильтра:

$$y_{M_1}(L) = \frac{1}{\omega_1} \left( V_1 \cos \alpha - \frac{E}{B} \right) (\cos(\omega_1 t_1) - 1) + \frac{1}{\omega_1} V_1 \sin \alpha \sin(\omega_1 t_1) - \frac{S}{2},$$

где  $\omega_1 = qB / M_1$  – циклотронная частота иона  $M_1$ ;  $t_1 \approx L / V_1$  – время движения иона  $M_1$  в ФВ; введем  $\omega_0 = qB / M_0$ , тогда  $\omega_1 = \omega_0 / (1 + \Delta M / M_0)$ .

Разложив функции  $\cos(\omega_1 t_1)$  и  $\sin(\omega_1 t_1)$  в ряд Тейлора до второго порядка малости, получим:

$$y_{M_1}(L) = \left( V_1 \cos \alpha - \frac{E}{B} \right) \left( -\frac{\omega_1 t_1^2}{2} \right) + V_1 t_1 \sin \alpha - \frac{S}{2}. \quad (11)$$

Ионы  $M_0$  и  $M_1$  имеют одинаковую энергию  $W$ , что дает связь между их скоростями:  $V_1 = V_0 / \sqrt{1 + \Delta M / M_0}$ . Заменяя величины  $V_1$ ,  $\omega_1$  по  $V_0$ ,  $\omega_0$  в (11) и принимая во внимание, что  $V_0 = E / B$ , получим выражения для отклонения иона  $M_1$  на выходе фильтра Вина:

$$y_{M_1}(L) = \left( 1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 + \frac{\Delta M}{M_0}}} \right) \frac{qBL^2}{2\sqrt{2WM_0}} + \frac{L\sqrt{M_0} \sin \alpha}{\sqrt{2W}} - \frac{S}{2}. \quad (12)$$

Из (12) следует, что ион массы  $M_1$  не проходит через выходную щель, если  $y_{M_1}(L) \geq S/2$ . При условии  $y_{M_1}(L) = S/2$  получим из (12) выражение для разрешающей способности ФВ по массам:

$$\frac{M_0}{\Delta M} = \frac{1}{1 - \left( \frac{\cos \alpha}{1 - \frac{2S\sqrt{2WM_0} - 2M_0L\sin \alpha}{qBL^2}} \right)^2}. \quad (13)$$

Программа регистрации и первичной обработки сигнала анализатора многокомпонентного пучка ионов типа «фильтр Вина» написана в среде графического программирования LabVIEW 2013. Пример окна интерфейса программы приведен на рис. 4.

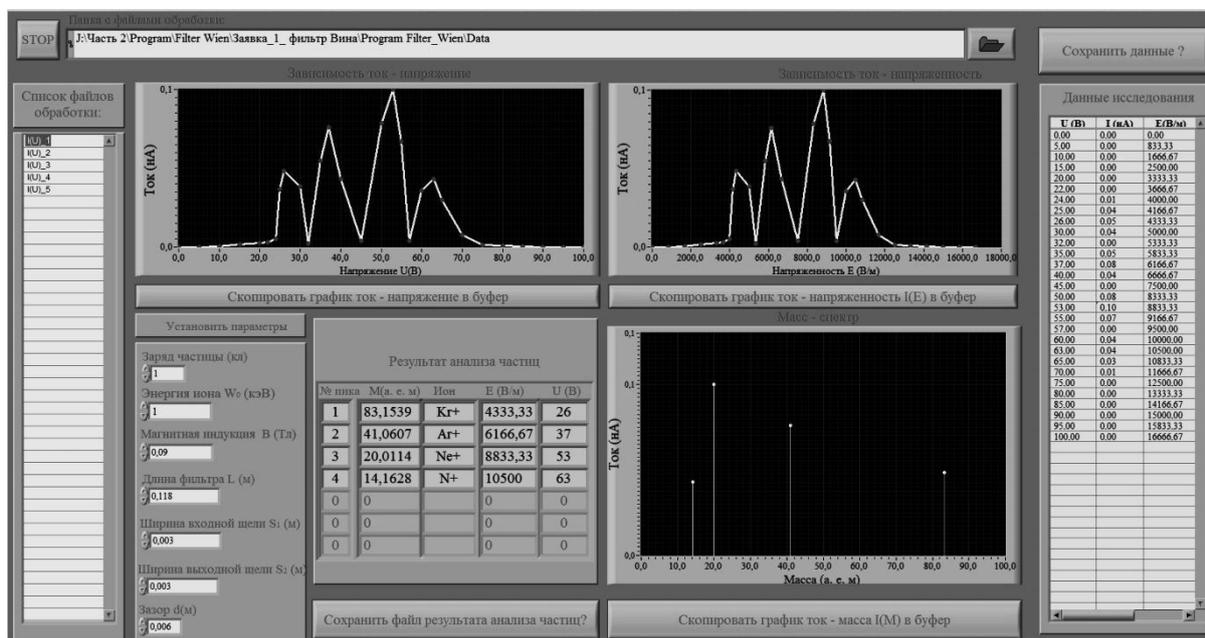


Рис. 4. Интерфейс программы для ЭВМ

Программа обеспечивает генерацию анализирующего напряжения и регистрацию токов ионов на коллектор анализатора с использованием многофункционального прибора NI PXIe-6361 [14] или аналогичного ему, либо чтение из файла данных ранее сделанных измерений. Далее осуществляется определение массового состава пучка ионов на основе данных измерений и известных параметров ФВ (размер входной и выходной щели, длина, расстояние между электродами, величины индукции магнитного и напряженности электрического полей), задаваемых пользователем. Для каждого обнаруженного «пика» ионного тока в массовом спектре осуществляется идентификация и визуализация иона с использованием встроенной в программу библиотеки.

Макет ФВ выполнен с постоянными NeFeB–магнитами, относительная неоднородность магнитного поля на поверхности которых может составлять 100%. Замкнутый (броневой) П–образный корпус ФВ является частью магнитопровода, что позволило не допустить заметного уменьшения  $B$  между полюсами магнита. Торцевые стенки ФВ выполнены из немагнитного материала для исключения скачков магнитного поля в зонах входной и выходной щелей. Магниты со стороны области анализа снабжены полюсными ферромагнитными наконечниками–полюсами для минимизации неоднородности магнитного поля по длине постоянных магнитов, которая для ФВ с магнитами без полюсных наконечников и диамагнитным корпусом может быть такой: 0.06 – 0.32 – 0.16 Тл (вход – середина – выход ФВ). Пластины анализирующего конденсатора выполнены из титанового сплава (немагнитные). Так как ФВ предназначается для экспериментов на ПОМС–Е–3, «вынужденно» его ФВ  $L = 50$  мм  $\ll L_{\text{фок}}$ . Детектор ионов – вторично–эмиссионный множитель с непрерывным динодом ВЭУ–6.

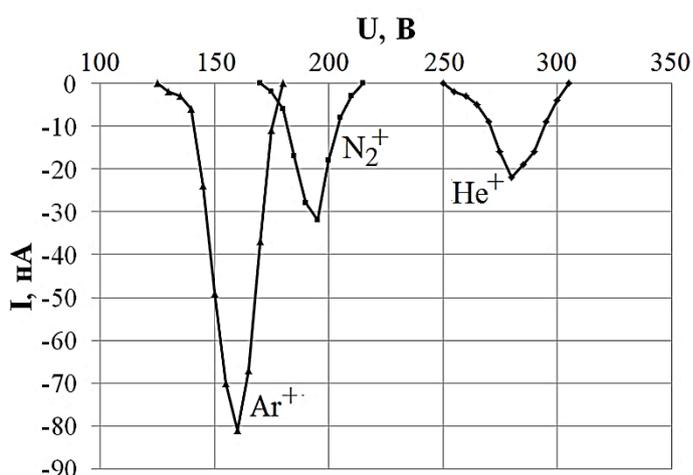


Рис. 5. Массовый спектр пучка ионов:  $I$  – ток на выходе ВЭУ–6;  $U$  – напряжение на пластинах конденсатора ФВ.

Проведено предварительное тестирование макета ФВ на калибровочной установке под пучками ионов  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{N}_2^+$  и  $\text{He}^+$  с энергией 1.5 кэВ – рис. 5 (нет полюсных наконечников).

### Библиографический список

1. Wien W. Untersuchungen über die elektrische Entladung in verdünnten Gasen // Annalen der Physik, 1901. – V. 301. – No. 6. – P. 421–435.
2. Wien K. 100 years of ion beams: Willy Wien's canal rays // Brazilian Journal of Physics, 1999. – V. 29, №3. – P. 401–414.
3. Anne R., Mueller C. LISE 3: A magnetic spectrometer – Wien filter combination for secondary radioactive beam production // Nuclear Instruments and Methods B, 1992. – V. 70, No. 1-4. – P. 276–285.
4. Catana D., Rohrer L., Stan-Sion C., Enachescu M., Plostinaru D., Vata I. Design and construction of a Wien velocity filter for AMS facilities // Romanian Journal of Physics, 2001. – V 46, №9. – P. 595–602.

5. Онищенко И. Н. О механизме сепарации ионов плазмы, инжектируемой в скрещенные  $E \times H$  поля // Вопросы атомной науки и техники. Серия: «Ядерно-физические исследования», 2012. – №4(80). – С.108–111.
6. Kromwijk J.M. Wien filter as energy analyzer for an ultracold electron source // Eindhoven University of Technology, 2014. – CQT2014–08.
7. Curtis G.R., Silcox J.A. Wien filter for use as energy analyzer with an electron microscope // The Review of Scientific Instruments, 1971. – V. 42, №5 – P. 630–637.
8. Wåhlin L. The Colutron, a zero deflection isotope separator // Nuclear Instruments and Methods, 1964. – V. 27, No. 1. – P. 55–60.
9. Bardakov V.M., Ivanov S.D., Strokin N.A. Advances and problems in plasma-optical mass-separation // Physics of Plasmas, 2014. – V. 21. – 033505.
10. Бардаков В.М., Иванов С.Д., Казанцев А.В., Строкин Н.А. К вопросу о реализации плазмооптической масс-сепарации // Прикладная физика, 2014, №1. – С. 12–16.
11. Соловьев А.В., Толстогузов А.Б. Определение ионно–оптических характеристик фильтра Вина с однородными ортогональными полями // ЖТФ, 1987. – Т. 57, №5. – С. 953–959.
12. Бобылева Л. В., Кузнецов И. В., Перельштейн Э. А., Перельштейн О. Э. Об использовании фильтра Вина в исследованиях на низкоэнергетических пучках радиоактивных ядер // Письма в ЭЧАЯ, 2002. – № 6. – С. 5–11.
13. Holmlid L. Mass dispersion and mass resolution in crossed homogeneous electric and magnetic fields: the Wien velocity filter as a mass spectrometer // International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics, 1975. – V. 17. – P. 403–421.
14. Бардаков В. М., Иванов С. Д., Казанцев А. В., Строкин Н. А. Помехозащищенный аппаратно-программный комплекс сбора и первичной обработки информации в экспериментах по плазмооптической масс-сепарации // Приборы и техника эксперимента, 2015, № 3. – С. 48–52.

# ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ПУЧКА ИОНОВ ПО МАССАМ И ЭНЕРГИЯМ В СОВМЕЩЕННЫХ СЕКТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРАХ

Нгуен Тхе Тханг, Строкин Н.А., Казанцев А.В.

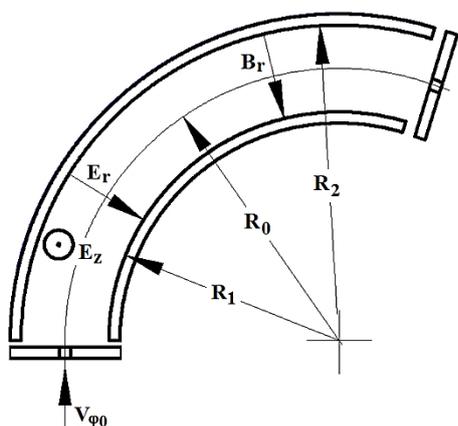
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

nguen.tkhe@yandex.ru

В настоящее время для анализа пучков ионов по энергиям чаще всего используют электростатические приборы с разной геометрией электрического поля, например, в работах [1-3] представлены электростатические энергоанализаторы цилиндрического типа. При анализе ионов по массам применяются магнитные анализаторы [4-6] или масс-спектрометры с двойной фокусировкой [3, 7]. Разрешающая способность масс-анализаторов, в которых отклонение осуществляется только магнитным полем (индукция  $B$ ), ограничена разбросом заряженных частиц по энергиям (скоростям). Фокусировка по скорости, в первом приближении, может быть достигнута, если ввести последовательное дополнительное отклонение частиц в электрическом поле (напряженность  $E$ ), направление которого перпендикулярно магнитным силовым линиям. Наряду с независимостью ширины изображения от величины разброса по скорости, в такой комбинации анализирующих полей возможна и фокусировка по направлению – двойная фокусировка [8, 9]. Скрещенные однородные  $E \times B$  поля могут быть и совмещены в пространстве [10, 11].

В развитие идей [10, 11] с целью обеспечения возможности анализа с помощью одного прибора спектров ионов как по энергиям, так и по массам и уменьшения габаритов анализаторов, были разработаны два совмещенных секторных анализатора с неоднородными анализирующими полями [12]. В данной работе, рассматривается возможность использования таких приборов для измерения спектров многокомпонентных компенсированных ионных пучков по массам и энергиям на макете плазмооптического масс-сепаратора ПОМС–Е–3.

## 1. Анализатор «Вина-Юза-Рожанского» (ВЮР)



Анализатор ВЮР совмещает конструкции и свойства анализатора Юза-Рожанского (ЮР) и секторного фильтра Вина (СФВ). В области анализа частиц (рис. 1) действуют 3 поля: однородное электрическое поле  $E_z$ , радиальное магнитное  $B_r$  и электрическое  $E_r$  поля.

Рис. 1. Схема анализатора «Вина-Юза-Рожанского» (угол сектора  $69^\circ$ )

Поток ионов разных масс, имеющих одинаковую наиболее вероятную энергию  $W_0$ , проходит входную диафрагму анализатора и остается на центральной траектории радиуса  $R$  в ВЮР если

$$mV_{\varphi 0}^2 / R_0 = qE_0; W_0 = 0.5qR_0E_0, \quad (1)$$

где  $V_{\varphi 0}$  – азимутальная скорость иона на центральной траектории,  $q$  – заряд иона,  $E_0 = U_0 / R_0 \ln(R_2 / R_1)$  – напряженность электрического поля на центральной траектории;  $U_0$  – разность потенциалов на цилиндрическом конденсаторе.

При фиксировании  $E_0$  ионы разных масс с энергией  $W_0$  движутся по траектории радиуса  $R_0$ . Ион массы  $m_0$  с азимутальной скоростью  $V_{\varphi 0}$  не отклоняется по направлению  $Z$ , если:  $V_{\varphi 0} = E_z / B = \sqrt{2W_0 / m_0}$ , где  $E_z$  – напряженность однородного электрического поля вдоль оси  $Z$ ;  $B_r(r) = BR_0 / r$ . Из этого условия можно получить величину массы  $m_0$ :

$$m_0 = 2W_0B^2 / E_z^2 = 2qR_0E_0B^2d^2 / U_z^2; \quad (2)$$

$$m_0 = qU_0B^2d^2 / U_z^2 \ln(R_2 / R_1) \dots, \quad (3)$$

где  $d$  – расстояние между пластинами «вертикального» плоского конденсатора,  $R_1, R_2$  – радиусы пластин цилиндрического конденсатора.

Из выражения (3) следует что, если  $U_0, B, d, R_0, R_1, R_2$  заданы, то  $m_0$  определяется величиной  $U_z$ . Для получения спектра ионов по массам  $I(m) = f(m)$  при проведении измерений фиксируется  $U_0$ , изменяется напряжение  $U_z$  и регистрируется ток ионов на детектор  $I(U_z)$ , размещенный на радиусе  $R_0$  на выходе анализатора. Далее определяется напряжение  $U_z$  для каждого обнаруженного «пика» ионного тока и, пользуясь выражением (3), рассчитывается масса  $m_0$ . При заданных параметрах макета анализатора:  $R_1 = 0.021$  м,  $R_2 = 0,029$  м,  $B = 0.17$  Тл,  $d = 0,042$  м для ионов  $He^+, N^+, N_2^+$  и  $Ar^+$  найдено (таблицы 1, 2) значение разности потенциала между пластинами плоского конденсатора  $U_z$ .

Таблица 1. Результат расчета  $U_z$  при  $W = 1$  кэВ ( $U_0 = 645$  В)

Ион	$He^+$	$N^+$	$N_2^+$	$Ar^+$
$U_z$ (В)	1120	598	423	354

Таблица 2. Результат расчета  $U_z$  при  $W = 1,5$  кэВ ( $U_0 = 968$  В)

Ион	$He^+$	$N^+$	$N_2^+$	$Ar^+$
$U_z$ (В)	1371	733	613	518

При получении спектра ионов по энергиям изменяется напряженность электрического поля  $E_0$ , получается характеристика  $I(m) = f(E_0)$ , на которой выделяются максимумы (пики) тока, по которым определяется  $E_0$ . Далее рассчитывается энергия иона на центральной траектории по формуле  $W_0 = 0.5qRE_0$  – получается спектр ионов по энергии:  $I_i = f(W_0)$ . Но при этом для известных  $q, R_0, R_1, R_2, B$  и  $m_0$ , чтобы сохранялась траектория иона  $m_0$  на радиусе  $R$  (ион не отклоняется по оси  $Z$ ), нужно синхронно с каждым новым значением  $U_0$  устанавливать соответствующее  $U_z = Bd\sqrt{qU_0 / (m_0 \ln(R_2 / R_1))}$ .

По приведенному выше алгоритму была разработана программа регистрации и обработки сигнала анализатора многокомпонентного пучка ионов типа «Вина-Юза-Рожанского» в среде LabVIEW 2013. Пример окна интерфейса программы приведен на рис. 2.

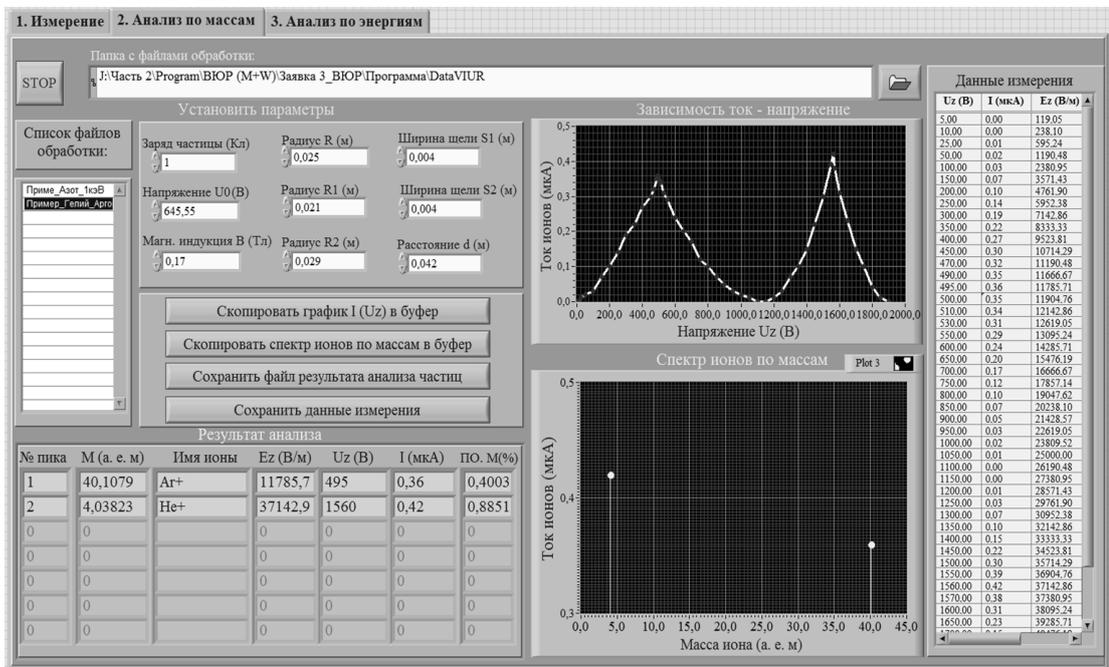


Рис. 2. Интерфейс программы для ЭВМ регистрации и обработки сигнала анализатора ВЮР

Программа обеспечивает генерацию анализирующих напряжений и регистрацию тока ионов на коллектор анализатора с использованием многофункционального прибора NI PXIe-6361 [13] либо чтение из файла данных ранее сделанных измерений. Далее осуществляется вычисление распределений ионов разных масс по энергиям и массовый состав пучка ионов с использованием результатов измерений и входных данных о параметрах ВЮР (размеры входной и выходной щели, длина, расстояние между электродами, величины индукции магнитного и напряженностей электрических полей), задаваемых пользователем. Для каждого обнаруженного

в массовом спектре «пика» ионного тока осуществляется идентификация имени иона с использованием встроенной в программу библиотеки, построение и визуализация его энергетического и массового спектров.

## 2. Гибридный анализатор

СФВ работает с моноэнергетичными пучками заряженных частиц при анализе по массе. Это условие может быть обеспечено с помощью энергоанализатора Юза-Рожанского. Комбинация двух этих приборов представляет собой новый диагностический прибор «гибридный» анализатор, который может работать с немоноэнергетичными ионными потоками. Схема анализатора приведена на рис. 3.

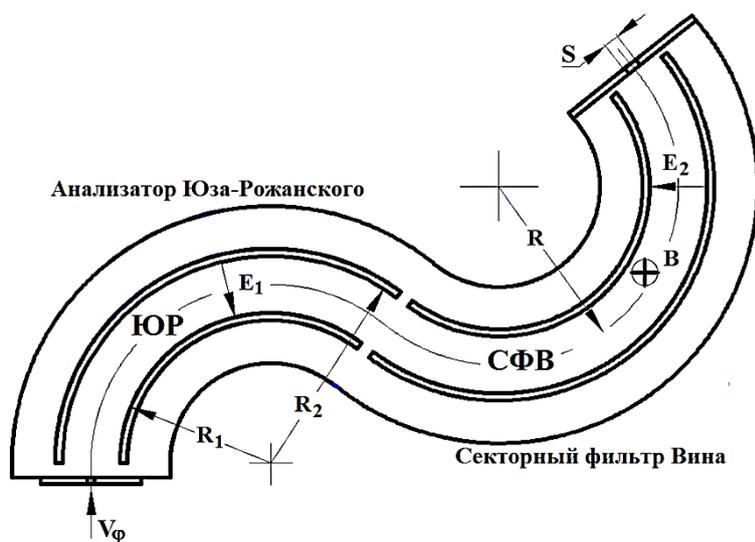


Рис. 3. Схема гибридного анализатора: угол поворота в анализаторе ЮОР  $127^{\circ}30'$ , в СФВ –  $166^{\circ}$ .

В этом устройстве, анализатор ЮОР с радиальным электрическим полем  $E_1$  выделяет ионный поток с заданной энергией на центральной траектории. Входная диафрагма СФВ находится в фокусе анализатора ЮОР. Далее моноэнергетический поток ионов разделяется по массам в СФВ с радиальным электрическим полем  $E_2$  и однородным магнитным полем  $B$ , направленным по вертикальной оси  $Z$ .

В энергоанализаторе Юза–Рожанского ионы разных масс с наиболее вероятной энергией  $W_0$  движутся по центральной траектории, если

$$W_0 = 0,5qRE_{01}, \quad (4)$$

где  $q$  – заряд иона,  $E_{01}$  – напряженность электрического поля на центральной траектории;  $E_{r1}(r) = -E_{01}R/r$ ;  $E_{01} = U_1 / R \ln(R_2 / R_1)$ ,  $U_1$  – разность потенциалов на цилиндрическом конденсаторе анализатора ЮОР.

При фиксировании  $E_{01}$  ионы разных масс с энергией  $W_0$  приходят по центральной траектории радиуса  $R$  на вход СФВ. В СФВ ион  $m$  с азимутальной скоростью  $V_\phi$  будет двигаться по центральной траектории радиуса  $R$  в СФВ, если

$$mV_\phi^2 / R = qE_{02} + qBV_\phi \quad \text{или} \quad 2W_0 = Rq(E_{02} + BV_\phi), \quad (5)$$

где:  $E_{02}$  – напряженность электрического поля на центральной траектории в СФВ;  $E_{r2}(r) = -E_{02}R/r$ ;  $E_{02} = U_2 / R \ln(R_2 / R_1)$ ,  $U_2$  – разность потенциалов на цилиндрическом конденсаторе СФВ.

Подставив  $W_0$  из (4) в (5), получаем

$$E_{01}Rq = Rq(E_{02} + BV_{\varphi}) \text{ и } V_{\varphi} = (E_{01} - E_{02}) / B. \quad (6)$$

Из этого следует, что ион, вводящий в СФВ с азимутальной скоростью  $V_{\varphi}$ , для которой выполняется условие (6), будет двигаться по радиусу  $R$ , что отражает принцип разделения ионного потока в гибридном анализаторе.

Масса  $m$  выделенного иона определяется по формулам

$$m = qE_{01}RB^2 / (E_{01} - E_{02})^2, \quad (7)$$

или

$$m = \frac{qU_1R^2B^2 \ln(R_2 / R_1)}{(U_1 - U_2)^2}. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует что при заданных  $U_1, B, R, R_1, R_2$  масса  $m$  определяется величиной напряжения  $U_2$ .

Для получения спектров ионов по массам фиксируется  $U_1$  (при этом только ионы с определенной энергией  $W_0 = 0.5qRE_{01}$  проходят через энергоанализатор ЮР), изменяется разность потенциалов на цилиндрическом конденсаторе СФВ  $U_2$  и регистрируется ток ионов на детекторе  $I(U_2)$ . Для каждого значения  $U_2$  для обнаруженного «пика» ионного тока рассчитывается масса  $m$  иона по выражению (8). Таким образом получается спектр ионов по массам  $I(m) = f(m)$ .

Результат численного расчета при заданных  $B = 0.17$  Тл,  $q = 1$  Кл,  $R = 0.025$  м,  $R_1 = 0.021$  м,  $R_2 = 0.029$  м представлен в таблицах 3, 4.

Таблица 3. Результат расчета  $U_2$  при  $W = 1$  кэВ ( $U_1 = 645$  В)

Ион	He <sup>+</sup>	N <sup>+</sup>	N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Ar <sup>+</sup>
U <sub>2</sub> (В)	344	485	532	550

Таблица 4. Результат расчета  $U_2$  при  $W = 1,5$  кэВ ( $U_1 = 968$  В)

Ион	He <sup>+</sup>	N <sup>+</sup>	N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Ar <sup>+</sup>
U <sub>2</sub> (В)	600	771	829	852

Программа регистрации и первичной обработки сигнала «гибридного» анализатора многокомпонентного пучка ионов написана в среде программирования LabVIEW 2013. Пример окна интерфейса программы приведен на рис. 4.

Программа выполняет задачу регистрации тока ионов с детектора «гибридного» анализатора и определения расчетным путем массового состава пучка или энергетического спектра ионов. В процессе измерений программа управляет генерацией анализирующих электрических напряже-

ний и регистрацией токов ионов с детектора анализатора с использованием многофункционального прибора NI PXIe-6361 [13]. При обработке данных программа может работать в двух режимах: анализ по массам или анализ по энергиям ионов в многокомпонентном пучке.

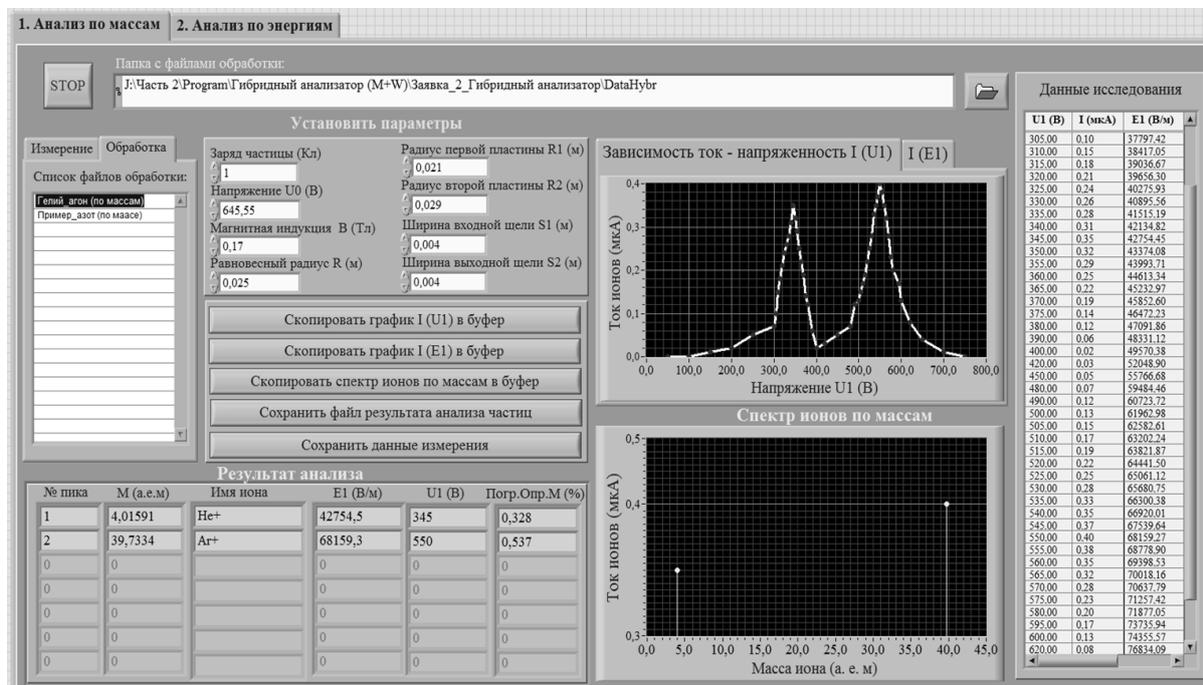


Рис. 4. Интерфейс программы для ЭВМ

В процессе обработки программа выполняет чтение из файла ранее сделанных измерений амплитуд напряжений, определяет напряжение для каждого обнаруженного «пика» ионного тока и рассчитывает массу или энергию иона на основе измерений и входных данных для параметров анализатора и связей (соотношений) между измеряемыми величинами, строит спектр ионов по массам и по энергии. Для спектра по массам программа осуществляет идентификацию сорта иона (элемента таблицы Менделеева) по значениям масс, хранящихся в библиотеке.

### Библиографический список

1. Успехи масс-спектрометрии / Под ред. Дж. Д. Уолдрона // М.: Иностранная литература, 1963. – 263 с.
2. Bundaleski N., Rakocovic Z., Terzic. I. Optical properties of 127° cylindrical energy analyzer used in LEIS experiments // Nucl. Instrum. and Phys. Res., 2002. – V. B 198. – P. 208–219.
3. Zou Y., Culi Y., Yun V., Valfells A., Kishek R. A., Bernal S., Haber I., Reiser M., and O’Shea P. G. Compact high-resolution retarding field energy analyzer for space-charge-diminated electron beams // Phys. Rev. Special topics – Accelerators and Beams, 2002. – V 5. – 072801.

4. Meier O.Jr, Flectcher N.R, Wisseman W.J, and Williamson R.M. // Magnetic analyzer for nuclear reaction products // Rev. Sci. Instrum., 1958. – V 29, No. 11. – P. 1004–1008.

5. Галль Л.Н., Саченко В.Д., Андреева А.Д., Клашников В.А., Малеев А.Б., Швецов, С.И., Кузьмин Д.Н. Специализированный масс-спектрометр МТИ-350ГС для технологического контроля сублиматного производства гексафторида урана. Ч. 1. Ионно-оптическая система масс-спектрометра МТИ-350ГС // Научное приборостроение, 2011. – Т. 21, № 2. – С. 11–19.

6. Юферов В.Б., Егоров А.М., Шарый С.В., Друй О.С., Ильичева В.О., Швец М.О., Ткачева Т.И., Свичкарь А.С., Жижняк С. Н. Магнито-плазменная регенерация ОЯТ // Вестник НТУ “ХПИ”, 2010. – № 55. – С. 128–148.

7. Коган В.Т., Козленок А.В., Чичагов Ю.В., Антонов А.С., Лебедев Д.С., Богданов А.А., Морошкин В.С., Березина А.В., Викторова-Леклерк О.С., Власов С.А, Тубольцев Ю.В. Малогабаритный масс-спектрометр для определения газов и летучих соединений в воздухе в процессе дыхания // ЖТФ, 2015. – Т. 85, №10. – С. 135–140.

8. Squires G. Francis Aston and the mass spectrograph // J. Chem. Soc., Dalton Trans., 1998. – No. 23. – P. 3893–3899.

9. Jjunju F. Colloquium: 100 years of mass spectrometry: Perspectives and future trends // Rev. Mod. Phys., 2015. – V. 87, No. 3. – P. 113-135.

10. Кельман В.М., Родникова И.В., Секунова Л.М. Статические масс-спектрометры // Алма-Ата: Наука, 1985. – 264 с.

11. Вурис Х.Г., Робинсон Ц.Ф., Холл Л.Г., Брубакер В.М., Берри Ц.Е. Теоретическое и экспериментальное исследование масс-спектрометров высокого разрешения для больших масс // В кн.: Успехи масс-спектрометрии / Под ред. Дж. Д. Уолдрона // М.: Иностранная литература, 1963. – С. 55–75.

12. Астраханцев Н.В., Бардаков В.М., Во Ньы Зан, Кичигин Г.Н., Лебедев Н.В., Строкин Н.А. Совмещенные цилиндрические масс-анализаторы // ЖТФ, 2011. – Т. 81, №9. – С. 105–112.

13. Бардаков В.М., Иванов С.Д., Казанцев А.В., Строкин Н.А. Помехозащищенный аппаратно-программный комплекс сбора и первичной обработки информации в экспериментах по плазмооптической масс-сепарации // ПТЭ, 2015. – № 3. – С. 48–52.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЛЕФОННОЙ ЗАГРУЗКИ ГОЛОСОВЫМ ТРАФИКОМ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Ядренникова О.В.  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
yadrennikova@inbox.ru

В статье проводится исследование загрузки групповых каналов оперативно-технологической связи с помощью регистратора переговоров MSR6000. Таких работ до этого проведено не было, они проводились лишь на уровне городских и региональных АТС. В данной работе были исследованы загрузка поездной диспетчерской связи (ПДС) и поездной радиосвязи (ПРС).

Каналы оперативно-технологической связи в настоящее время строятся по цифровым сетям на основе потоков E1. Эти групповые каналы содержат 30 канальных интервалов. Каждый канальный интервал в этом потоке доступен любому абоненту диспетчерского круга [1]. Структура реального потока E1 представлена на рисунке 1.

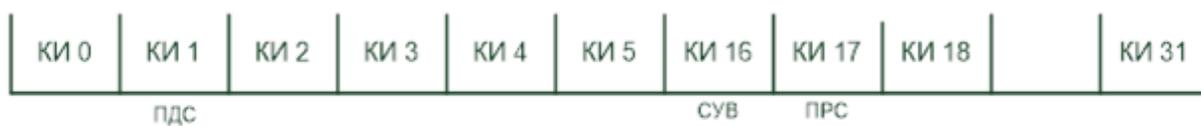


Рисунок 1 – Структура реального потока E1

Где КИ – канальный интервал;  
ПДС – поездная диспетчерская связь;  
ПРС – поездная радиосвязь;  
СУВ – сигналы управления и взаимодействия.

Размеры круга зависят от загрузки диспетчера. Загруженность диспетчера должна быть 75-95%. Ее можно рассчитать по формуле (1):

$$\alpha = \frac{T_z}{T} * 100\% \quad (1)$$

где T-время рабочей смены 8 ч (720 мин);

$T_z$  - время загруженности диспетчера;

$$T_z = 1,15 * \Pi * (k * C + 0,1 * (C - 1) + 0,3 * \Gamma + 0,17 * C_a) + 170 \quad (2)$$

где  $\Pi$ -число пар поездов за смену;

K-коэффициент загрузки, зависит от количества путей на станции;

C-число станций, находящихся на диспетчерском управлении;

$\Gamma$ -число горловин на станции;

$C_a$  - количество станций на автономном управлении.

Исследования проведены в двух канальных интервалах, а именно в ПДС и ПРС. На рисунках 2 и 3 приведены схемы подключения регистратора переговоров к аппаратуре.

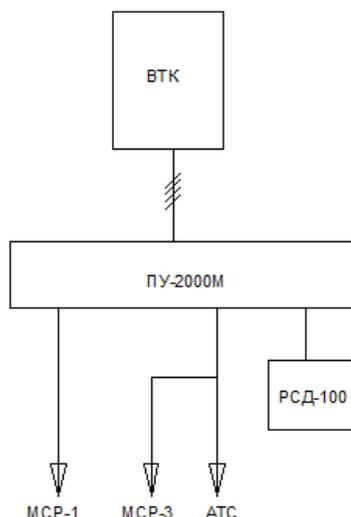


Рисунок 2 – Схема подключения ПДС

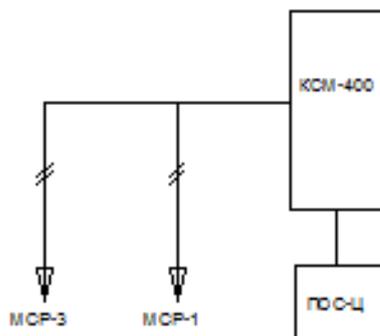


Рисунок 3 – Схема подключения ПРС

Были просмотрены длительности всех разговоров за два дня. Результаты обработки первого и второго дня приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Результаты обработки данных за первый день

	Время,с				Общая загрузка
	00-6:00	6:00-12:00	12:00-18:00	18:00-24:00	
ПДС	3879	3876	3073	2211	13039с=3,622 ч
ПРС	3025	802	2977	1975	8779с=2,44ч

Таблица 2 – Результаты обработки данных за второй день

	Время,с				Общая загрузка
	00-6:00	6:00-12:00	12:00-18:00	18:00-24:00	
ПДС	3521	5089	3125	2239	13974с=3,882 ч
ПРС	3234	2373	3522	2945	12074с=3,35ч

Для того, чтобы исследовать загрузку телефонной сети воспользуемся формулами Эрланга. Эти формулы позволяют рассчитать -вероятность отказа АТС (формула 3):

$$P_{отк} = \frac{a^n / n!}{1 + \frac{a^1}{1!} + \frac{a^2}{2!} + \dots + \frac{a^n}{n!}} \quad (3)$$

Где n – число линий связи;

$a = \frac{n}{\mu}$ , где  $\mu$  -число разговоров за одну минуту.

-средняя доля времени, когда АТС вообще не загружена (формула 4):

$$P_o = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \frac{\alpha^2}{2!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} \quad (4)$$

Как видно из формул, эти показатели зависят лишь от числа линий связи и числа разговоров за одну минуту. Число линий связи равно 30 (это соответствует числу канальных интервалов в потоке Е1). Результаты сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчета вероятности отказов и средней доли незагруженного времени.

	Вероятность отказа	Средняя доля времени, когда АТС вообще не загружена:
ДНЦ-12, первый день	=0	0,65
ПРС-12, первый день	=0	0,468
ДНЦ-12, второй день	=0	0,87
ПРС-12, второй день	=0	0,765

Из данной таблицы можно сделать вывод, что линии связи используются неэффективно. Решением этой проблемы является оборудование с пакетной передачей данных.

Суть такого решения состоит в следующем - каждое сообщение, разбивается на пакеты, и затем передается получателю. Каждый пакет имеет следующий вид, представленный на рисунке 4:

7 байт	1 байт	6 байт	6 байт	2 байта	46-1500 байт	4 байта	1 байт
преамбула	SFD	Адрес получателя	Адрес отправителя	Протокол или тип	Данные	CRC	EFD

Рисунок 4 – Пакет для передачи получателю

Преамбула – для стабилизации и синхронизации среды;  
 SFD (start frame delimiter)- для выявления начала кадра;  
 EFD (end frame delimiter) – задает конец кадра;  
 CRC – поле контрольной суммы формируется и контролируется на аппаратном уровне.

Пользователю доступны поля, начиная с адреса получателя и заканчивая полем информации включительно. После CRC следует межпакетная пауза длиной 9,6 мкс или более.

Сначала передается первый пакет первого канального интервала, затем второй пакет свободного канального интервала.

Канальные интервалы не будут закреплены за конкретными видами технологической связи. Главное, чтобы канальные интервалы в потоке E1 были общедоступными и универсальными.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что использование групповых каналов технологической связи неэффективно. Поэтому предлагается для повышения эффективности использовать для организации технологической диспетчерской связи оборудование с коммутацией пакетов для оптимизации существующих каналов связи, например, Si-3000.

### Библиографический список

1. Цифровые и аналоговые системы передачи: учеб. для вузов / В.И. Иванов [и др.]; под ред. В.И. Иванова. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2003. – 232 с.

# СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ НА БАЗЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Яшкардин Р. В.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ»

E-mail: yashkardin.rv@ya.ru

В статье рассмотрены основные аспекты проектирования системы диагностики технологической установки для получения ультрадисперсных материалов. Рассмотрено использование в качестве основных диагностических параметров, ток и напряжение в установке. Описанные специальные вопросы электробезопасности, связанные с протеканием в установке импульсных токов амплитудой до 105 А, и напряжениями в пределах от 1500 до 6000 В.

## Введение

При работе с мощными технологическими установками часто возникают сложности с выбором параметров, которые позволяют однозначно диагностировать состояние установки в процессе её работы [1]. Наибольшие сложности возникают при работе с установками, в которых применяются мощные импульсные токи и напряжения, поскольку это приводит к выделению большой мощности за короткий промежуток времени. Примером системы, в которой приходится измерять короткие (до 200 мкс) импульсы высокого (до 5 кВ) напряжения, при больших (до 100 кА) токах, является технологическая установка для получения ультрадисперсных частиц в импульсном дуговом разряде. Подробное описание принципов работы установки приведено в работе [2].

## Процессы, протекающие в установке

Для данной установки характерны следующие параметры: мощность порядка 10<sup>6</sup>-10<sup>8</sup> Вт, максимальное значение импульсного тока 105А, напряжение до 5 кВ, длительность импульса 40-200 мкс (зависит от конкретных технологических параметров).

Процессы, протекающие в установке, описываются сложнейшей системой интегрально-дифференциальных уравнений, которые включают в себя уравнения Максвелла для определения распределения напряжённости электрического и магнитного полей, уравнения теплопроводности (задача Стефана) для описания тепловых процессов на электродах, решение данных уравнений выполняется в трёхмерном пространстве. Всё это делает численное моделирование процессов в подобной системе практически нерешаемой задачей.

В связи с чем исследование подобных процессов целесообразнее всего проводить комбинированным методом с использованием интегральных параметров, тока и напряжения. В рамках подобного комбинированного

метода были выполнены экспериментальные исследования напряжений на электродах в разных технологических режимах работы установки [3]. Полученные результаты были сопоставлены с результатами численного моделирования процессов по схемам замещения, состоящим из отдельных элементов установки, позволило однозначно связать отдельные временные участки осциллограмм с процессами, происходящими в разряде. В результате удалось выработать критерии оценки «правильной» работы технологической установки на основе динамики напряжения. Типичные осциллограммы напряжений на электродах приведены на рис.1. Для получения осциллограмм использовался осциллограф Tektronix TDS 3012с, подключенный к электродам через измерительный резистивный делитель напряжения с плечами в 12,6 МОм и 100 КОм. Входное сопротивление осциллографа было установлено на уровне 100 МОм. Сигнал записывался в виде 10000 точек с длительностью измерения 40-100 мкс

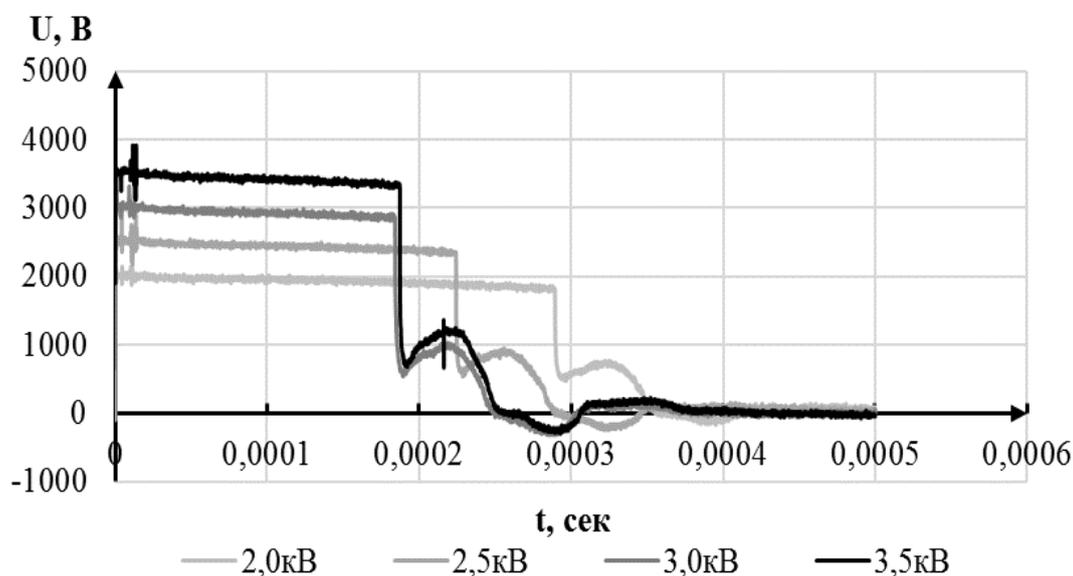


Рис. 1. Динамика напряжения на основных электродах для различных начальных напряжений на конденсаторной батарее ёмкостью 500 мФ

В настоящее время существуют различные приборы, способные измерять подобные напряжения (киловольтметр спектральный цифровой КВЦ-120, осциллограф цифровой MSO3012 Tektronix), однако они не могут полностью соответствовать поставленным требованиям. А самым главным их недостатком является высокая стоимость, что приводит к значительному увеличению цены технологической установки. Другим важным недостатком является – необходимость внешней обработки полученного сигнала.

Именно для того, чтобы преодолеть оба эти недостатка в УНЛ «Импульсные электротехнологии», была разработана система диагностики установки, измеряющая импульсы напряжения и сравнивающая их с образцовыми кривыми в процессе работы установки.

Разработка системы измерения высоковольтных импульсов напряжения

Разработанная система производит измерения импульсов напряжения непосредственно в процессе работы технологической установки. Измерения проводятся по двум каналам для обеспечения наблюдения двух точек технологической установки. Управление системой осуществляется с помощью внешних сигналов. Функциональная схема системы приведена на рис. 2

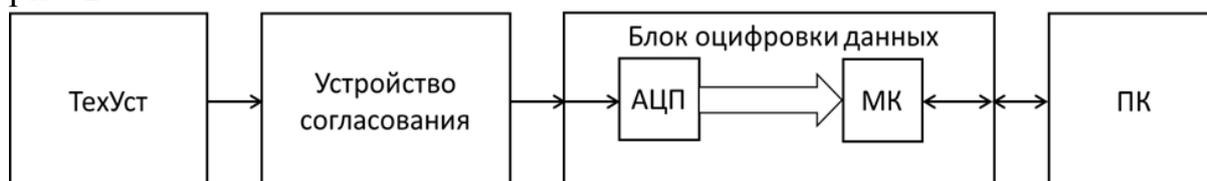


Рис. 2. Функциональная схема

Процесс работы системы диагностики можно описать следующим образом. Измерительные электроды подключаются на вход согласующего устройства, которое представляет собой резистивный токовый мост. Мост состоит из последовательно соединенных металлооксидных резисторов МО-200, общим сопротивлением 6 МОм. Токовый мост ограничивает протекающий в системе ток до уровня в 1мА при максимальном напряжении 6000 В.

Выходной сигнал токового моста подается на гальваническую развязку, представляющую собой оптрон, обеспечивающий гальваническую развязку измерительного канала. Поскольку системе необходимо регистрировать импульсы напряжения в пределах от 1500 до 6000 В при токах до  $10^5$  А, необходимо предусмотреть системы защиты устройства от помех и повреждений, вызванных электрическим пробоем. Для этого в электрических цепях каждого из измерительных каналов была установлена гальваническая развязка. В качестве развязки были выбраны оптроны HCPL-4504. Пройдя через оптрон, сигнал усиливается и подается на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). АЦП передает оцифрованный сигнал на микроконтроллер, который записывает сигнал и передает его на персональный компьютер через интерфейс связи.

Оптроны HCPL-4504 обладают высоким коэффициентом передачи по току, а также малыми задержками распространения. Благодаря изоляционному слою между светодиодом и фотодетектором обеспечивается гальваническая развязка между входом и выходом.

Поскольку оптроны являются полупроводниковыми приборами, они обладают нелинейной характеристикой преобразования. Для того чтобы скомпенсировать погрешность, вызванную этой характеристикой было решено использовать два отдельных оптрона, дифференциально подключенных к входу операционного усилителя. Одна из оптронов используется как источник опорного сигнала, вторая – в качестве измерительной, где

измерительный сигнал складывается с опорным сигналом от первого оптрона. Принципиальная схема одного из каналов приведена на рис. 3 (а).

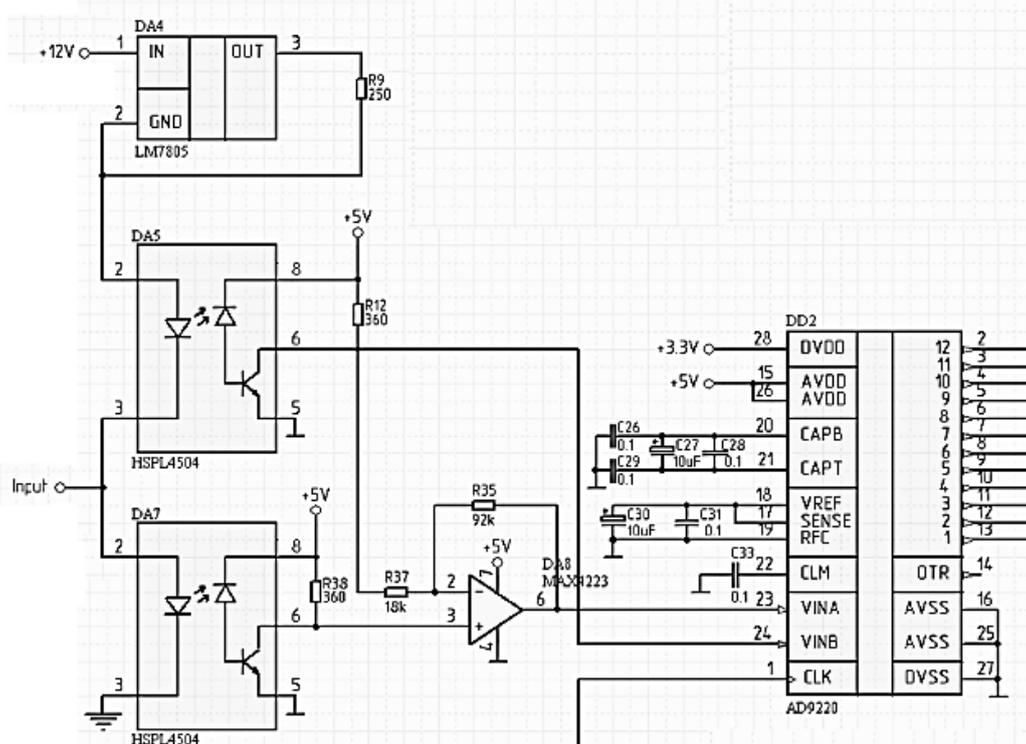


Рис. 3. Схема соединения оптронов (aDD2 – микросхема АЦП; DA5, DA7 – оптопары; DA4 – стабилизатор напряжения; DA8 – операционный усилитель

Подобный тип подключения оптронов позволяет минимизировать нелинейность характеристики преобразования, и при этом значительно уменьшить температурный дрейф, вызванный протеканием токов. Внешний вид системы диагностики приведен на рис. 4.

Работа технологической установки связана с горением в ней импульсного дугового разряда. В процессе его горения происходит протекание помеховых токов в электрических цепях установки и, подключенных к ней, приборов. Подобные токи могут протекать и в электрических цепях, гальванически развязанных друг с другом. Следовательно, система диагностики технологической установки должна обладать высоким уровнем помехозащищённости. Основным видом помех в данном случае являются наносекундные помехи, уменьшение влияния которых является наиболее важным фактором повышения надежности работы прибора.

Стандарт МЭК 61000-4-4 (ГОСТ Р 51317.4.4-99) позволяет выделить две основные составляющие помехозащищённости устройства при воздействии наносекундных помех:

- внутренняя земля устройства;
- емкостные связи.



Рис. 4 внешний вид системы

Для повышения уровня помехозащищённости прибора был проведен комплекс дополнительных мер, включавший в себя использование особых способов разводки печатной платы прибора. Примерами подобных способов может служить утолщение земляных проводников и питающих цепей на печатной плате устройства. Свободные участки на печатной плате были закрыты земляными полигонами с обратной стороны платы. Разводка и трассировка платы проводилось с выбором оптимальной точек заземления различных цепей. Были созданы участки с «чистой землёй». Платы прибора были помещены в цельнометаллический корпус с возможностью защитного заземления. Что обеспечивает защиту человека оператора в процессе работы с установкой.

Одним из наиболее эффективных способов уменьшения воздействия высокочастотных помех и наводок в различных цепях системы диагностики является использование ферритовых фильтров. Ферритовые фильтры демпфируют высокочастотную составляющую, протекающую по проводам. Это позволяет значительно понизить уровень влияния наносекундных помех.

Динамика напряжения на основных электродах обрабатывается программой на персональном компьютере.

Динамика графика напряжения на различных временных участках между точками  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ , (рис. 4) позволяет судить о качестве работы технологической установки, а также о состоянии различных её частей. Сопоставление результатов измерения динамики напряжения на основных электродах установки и результатов атомно-силового сканирования поверхностей подложек с получаемыми ультрадисперсными частицами позволит в

дальнейшем выработать критерии работы установки и приблизительной оценки результатов нанесения ультрадисперсных материалов.

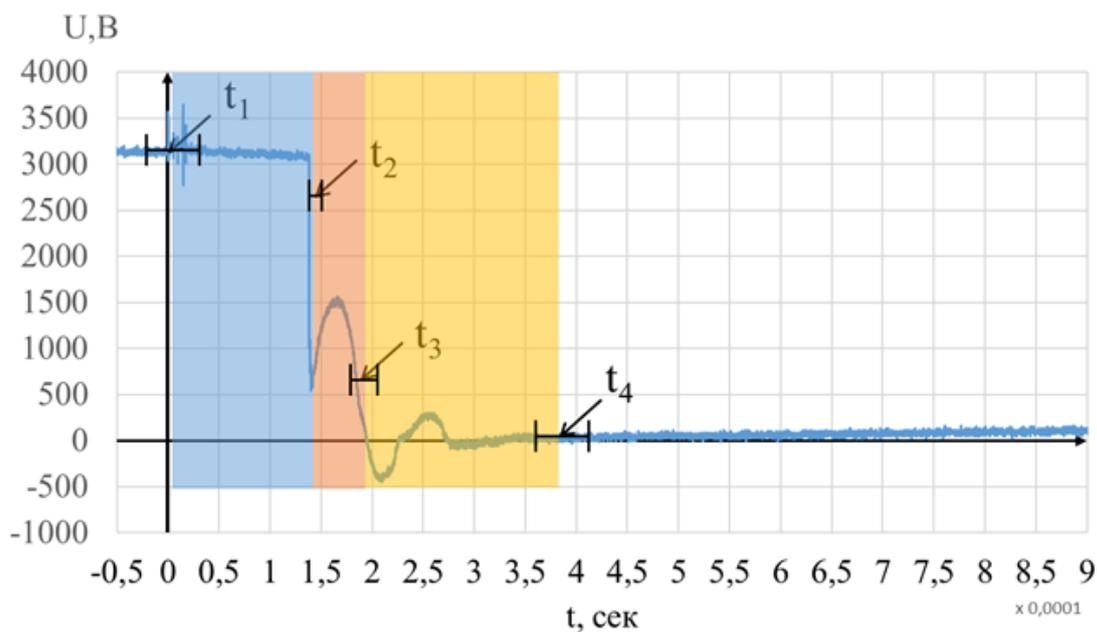


Рис. 4. Внешний вид интерфейса программы

#### Выводы

В результате проделанной работы была разработана система контролирующая состояние технологической установки, которая позволяет регистрировать высоковольтные импульсы напряжения амплитудой от 1500 до 6000В. Данная система включает в себя комплекс мер по защите от внешних электромагнитных наводок. В качестве защитных мер используется ферритовые фильтры, гальванические развязки и специальные методы разводки печатных плат.

#### Библиографический список

1. Кострин Д.К. Анализ спектральных линий с различной интенсивностью при диагностике технологических процессов //СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2015, т.1, с. 3-7
2. Гончаров, В.Д. Получение ультрадисперсных частиц с одновременным нанесением их на подложку в импульсном газовом разряде атмосферного давления, перемещающемся по поверхности электродов в собственном магнитном поле / В.Д.Гончаров, Д.С.Самсонов // Журнал технической физики. – 2015. – Т.85, №5. – С.37-42
3. Researching of the processes in a powerful impulsive arc discharge of a technological de-vice for producing an ultradispersive particles. Yaskardin R.V. Sorokin K.S. 2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2016 ElCon-RusNW) February 2 - 3, 2016

# **ИСКАЖЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ФОРМЫ РАДИОИМПУЛЬСА ПРИ СРАВНИМЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА И ПЕРИОДА ВПИСАННОЙ В НЕГО СИНУСОИДЫ**

**Ларина М. А., Яшкардин Р. В.**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ»

E-mail: yashkardin.rv@ya.ru

В статье рассмотрены основные аспекты искажения формы радиоимпульса при его восстановлении из спектральных характеристик. Рассмотрено влияние соотношения длительности видеоимпульса, к периоду вписанной в него синусоиды. Приведено восстановление сигнала по спектру при сравнимых значениях длительности импульса и периода вписанной в него синусоиды

## **Введение**

Для того чтобы беспроводная передача информации на большие расстояния стала возможной, непрерывный во времени, аналоговый сигнал (видеоимпульс), заполняется ВЧ синусоидой (радиоимпульс) [1]. Развитие систем передачи информации и уменьшение размеров устройств потребовало уменьшения энергозатрат. Основное направление развития в этом направлении – замена непрерывных сигналов дискретными, которые представляют собой последовательность коротких, длительностью  $\Delta t$  импульсов. При этом каждый такой короткий импульс, для того чтобы его можно было бы передать заполняется синусоидой с частотой  $\omega_0$ . Считается [2], что спектр радиоимпульса практически повторяет спектр видеоимпульса со сдвигом по оси на  $\pm\omega_0$  и амплитудой в два раза меньше. На стороне приёма этот сигнал пропускают через фильтр, который вырезает область частот вблизи  $\omega_0$  и восстанавливают форму сигнала. Однако утверждение о связи спектров радио и видеоимпульсов справедливо только при больших отношениях длительности видеоимпульса, к периоду вписанной в него синусоиды (25 к 1 или больше).

Уменьшения энергозатрат на передачу информации возможно только путём уменьшения длительности импульсов. При этом период синусоиды остаётся неизменным. В результате наступает ситуация, когда длительность импульса будет приближаться к периоду синусоиды. Использовать традиционные подходы спектрального метода [3], в этом случае уже не представляется возможным. Передаваемый сигнал будет испытывать серьёзные искажения.

Целью работы: определение искажений радиоимпульса, восстановленного по спектру при сравнимых значениях длительности импульса и периода вписанной в него синусоиды.

Все вычисления производились в программе Mathcad. Для решения поставленной в работе задачи воспользуемся спектральным методом, основанном на преобразовании по Фурье.

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt, \quad (1)$$

где  $f(t)$  – импульс,  $F(j\omega)$  – спектр импульса,  $j$  – мнимая единица

Формулу (1) применяли для расчёта видео и радиоимпульсов. Модуль функции – представляет собой её амплитудный спектр. Пример расчёта спектров прямоугольного видео импульса при длительности  $\Delta t=16\text{с}$  и радиоимпульсов с периодами  $T_1=16\text{с}$  (Б),  $T_2=8\text{с}$  (В), приведён на рис.1. Характеризовать отношение длительности импульса к периоду вписанной в неё синусоиды удобно с помощью параметра  $n=\Delta t/T$ . Очевидно, что для  $n=4$  (В) на рис.1) форма спектральных характеристик радиоимпульса существенно отличается от формы характеристик видеоимпульса.

Эти отличия сказываются при восстановлении импульса по спектру, которое можно провести с использованием обратного преобразования Фурье:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_{гр}}^{+\omega_{гр}} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega, \quad (2)$$

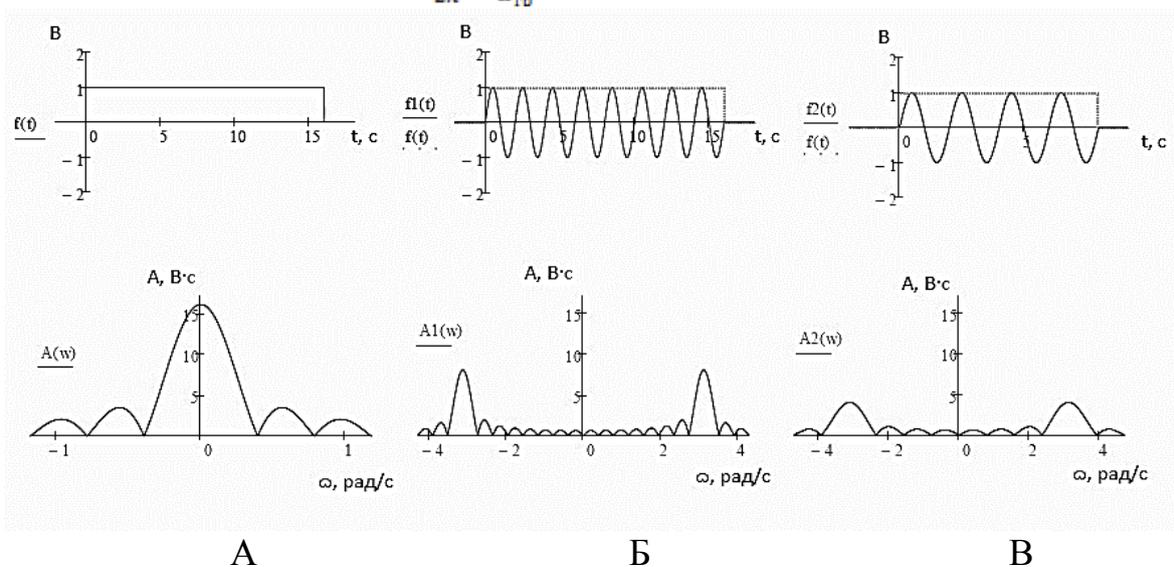


Рис.1 Формы импульсов и, соответствующие им спектры

Область частот  $-\omega_{гр}; +\omega_{гр}$  выбиралась таким образом, чтобы за её границами значения амплитудного спектра не превышали  $0.05 \cdot A_{max}$ . Однако, как показывают предварительные расчёты, амплитудный критерий ширины спектра оказался недостаточно точен. Поэтому в работе были проведены исследования того как меняется относительное распределение энергии по частотам для разных отношений длительности импульса к периоду вписанной в него синусоиды. Результаты расчётов приведены на рис. 2. Очевидно, что для случая  $t_i/T=5/1$  ширина спектра, взятая по 10% энергетическому критерию оказалась в 3 раза больше, чем для прямоугольного видеоимпульса. При увеличении до  $t_i/T=50/1$  ширина спектра, взятая по 10% энергетическому критерию практически совпадает с шириной спектра

прямоугольного видеоимпульса.

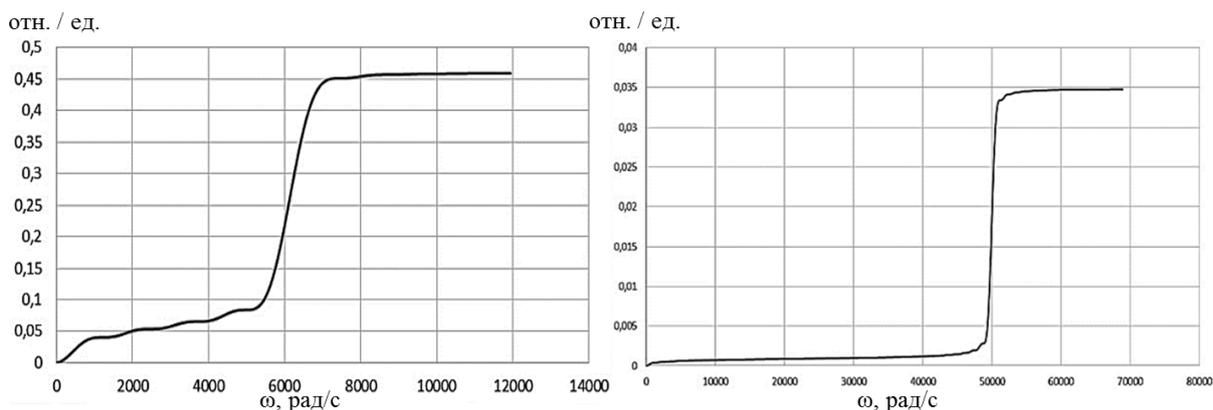


Рис. 2. Относительное распределение энергии по частотам (рис. 2(A) для случая  $t_i/T=5/1$ ; рис. 2(B) для случая  $t_i/T=50/1$ )  $\Delta\omega_1=\omega_2-\omega_1=6000$ , вместо 2000 для видеоимпульса.

В сигнале, восстановленном по его спектру, который ограничен диапазоном частот, взятым по 5 % энергетическому критерию, появляются лишь незначительные высокочастотные искажения (рис.3). Эти искажения характерны и для восстановленного видеоимпульса.

Представляют интерес также результаты расчётов ширины спектров радиоимпульсов, в которую попадает 90% его энергии, в зависимости от отношения  $T/t_i$ , которые приведены на рис.4. Ширина спектра видеоимпульса, по энергетическому критерию растёт до отношения  $t_i/T=12/1$ , а затем начинает падать. И при отношении большем, чем  $t_i/T=40/1$  эта ширина спектра сравнивается с величиной характерной для видеоимпульса.

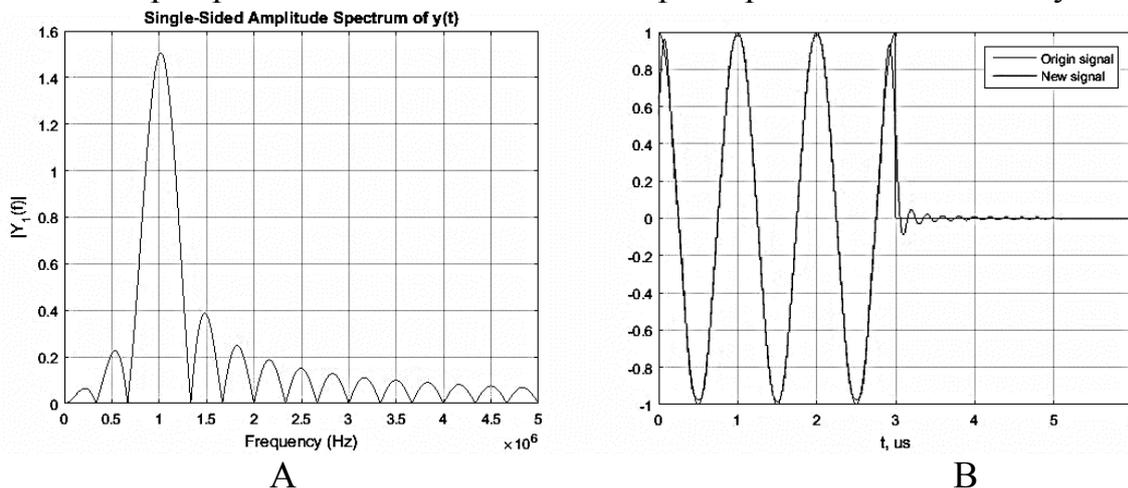


Рис. 3. Восстановленный сигнал (B) и его спектр (A)

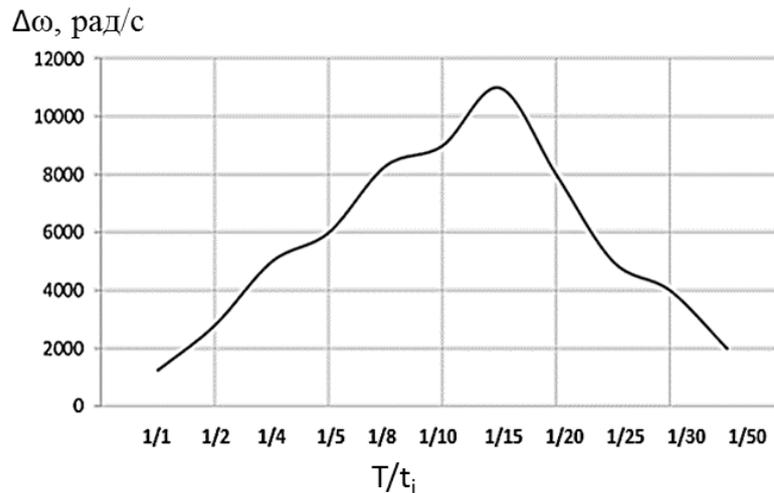


Рис. 4. Результаты расчётов ширины спектров радиоимпульсов, в которую попадает 90% его энергии, в зависимости от отношения  $T/t_i$

#### Выводы

Показано, что при соотношении длительности видеоимпульса, к периоду вписанной в него синусоиды не превышающих 50 к 1:

Спектр радиоимпульса в области низких частот испытывает существенные искажения.

Для определения энергетического критерия ширины спектра необходимо решить интегральное уравнение вида

$$\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{\omega_1}^{\omega_2} A^2(\omega) d\omega = 0.1 \cdot n \cdot W_f.$$

Допущение о том, что формы спектров радиоимпульса повторяют спектр видеоимпульса со сдвигом оси на  $\pm\omega_0$  приводит к искажениям формы видеоимпульса

#### Библиографический список

[1] Анализ радиосигналов и расчет характеристик согласованных фильтров: Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Радиотехнические цепи и сигналы»/В.Г. Коберниченко. Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2001. 38 с.

[2] Теория электрической связи: Учебник для вузов / А.Г.Зюко, Д.Д.Кловский, В.И.Коржик, М.В.Назаров; Под ред. Д.Д.Кловского. - М.: Радио и связь, 1999. - 432 с

## **ТРЕХМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА**

**Сабуров Н.И, Коломин И.В.,  
Просвирякова Л.В.** - научный руководитель  
ФГБОУ ВО “ИРНИТУ”  
[lar\\_prosv@mail.ru](mailto:lar_prosv@mail.ru)

На данный момент реализовано множество методов бесконтактного трёхмерного сканирования и получения готовой цифровой модели объекта. Отличие между ними лишь в стоимости реализации и точности исполнения функциональной структуры окончательной цифровой трёхмерной модели. На сегодняшний день для бесконтактного трёхмерного сканирования чаще всего используются: метод проецирования координатной сетки на объект и метод лазерного сканирования.

Метод проецирования координатной сетки на объект заключается в следующем: проектор проецирует координатную сетку на объект, а камера фиксирует искажение поверхности сетки, затем данные передаются в ПК и обрабатываются специальным софтом. Преимущество данного метода заключается в его дешевизне и в том, что изображение составляется в режиме реального времени.

Наиболее распространён метод лазерного сканирования: на объект направляется лазерный луч и камера фиксирует отражённые от объекта точки. Этот процесс осуществляется двумя способами:

1) За время пролёта луча до объекта обчисляется расстояние и строится модель.

2) Методом триангуляции. Расстояние до объекта можно узнать, рассчитав треугольник, у которого заранее известны углы и расстояние от лазера до камеры.

Первый способ сканирования хорошо показывает себя на больших дистанциях, но детализация и скорость сканирования при этом страдают. Второй способ полностью противоположен первому.

В ходе представленной работы использовался метод лазерного сканирования при помощи триангуляции. Это позволило реализовать аппаратный комплекс, включающий в себя систему из трёх лазерных сканеров, которые синхронизируются по импульсу.

В процессе лазерного сканирования, каждый сканер получает значения параметра дальности на котором находится объект от фиксирующей камеры и координату бокового смещения. Эти два значения позволяют одному сканеру построить двумерный профиль сканируемого объекта как показано на рисунке ниже.

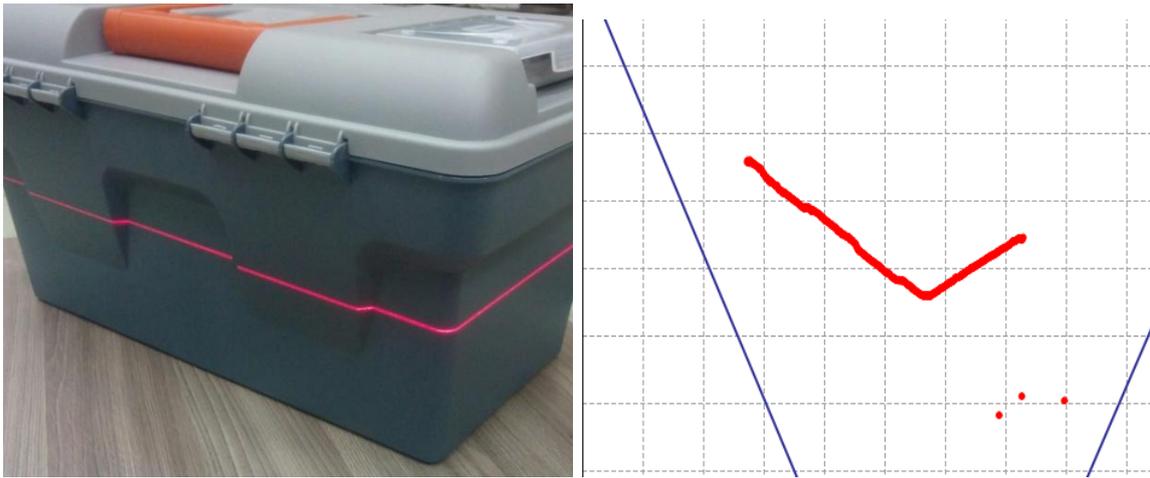


Рисунок-1 . Процесс сканирования объекта. Слева объект, справа проекция объекта.

Данные профилей с трёх сканеров передаются в программный комплекс, в котором, согласно алгоритма, производится удаление наложившихся точек и формирует сечение объекта. Программный комплекс анализирует сечение и предоставляет данные, которые преобразуются в диаметр и длину объекта.

Количество фиксируемых точек для одного сканера равно 1024, что позволяет получить качественное изображение профиля объекта.

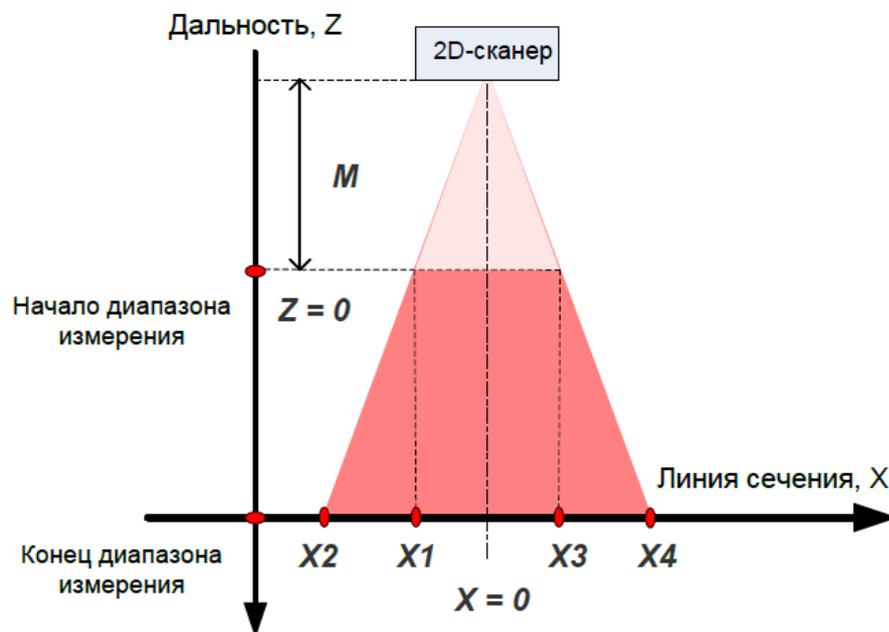


Рисунок-2. Визуальное представление области видимости датчика.

Конструкция аппаратного комплекса трёхмерного дискретного сканирования состоит из несущей рамы, на которой закреплены лазерные 2D сканеры под углом в 120 градусов. При этом образуется область охвата в 360 градусов. Таким образом, данный комплекс способен за единичный временной отсчёт получить профиль объекта в сечении.

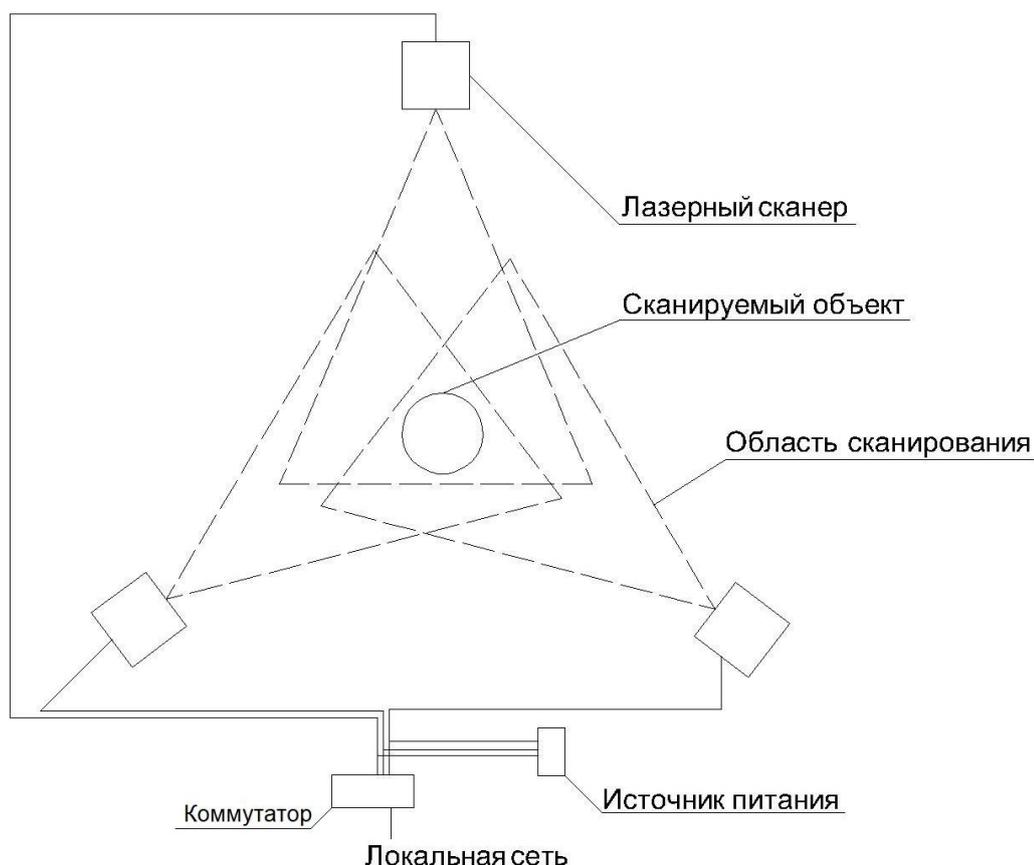


Рисунок-3. Схема подключения аппаратного комплекса.

Перед началом процесса сканирования горизонтально расположенная рама с закрепленными на ней лазерными сканерами зануляется по оси ординат, то есть рама находится в начальном положении. Затем при помощи шаговых двигателей обеспечивается движение рамы вверх. Шаг движения можно изменять в большую сторону, тем самым захват сечения объекта производится реже и конечная 3D-модель получится менее точной. Либо изменить длину шага в меньшую сторону, увеличив время сканирования, но тем самым качественно улучшить детализированность 3D-модели.

Сам же лазерный сканер представляет собой отрезок алюминиевого профиля, на одном конце которого расположена камера с разрешением 0,2 Мп, а на другом конце лазерный излучатель. Также на корпусе имеется разъем для кабеля, через которое устройство запитывается от источника питания 24 В, осуществляется синхронизация устройства и обмен данными.

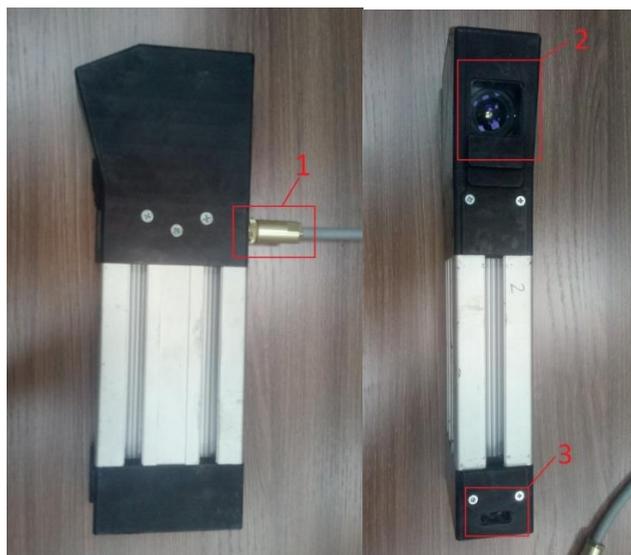


Рисунок-4 . Лазерный 2D сканер. 1) Разъём питания, а также передачи данных в сети Ethernet. 2) Камера, фиксирующая лазерный луч. 3) Лазер.

Для получения результата сканирования необходимо собрать информацию с трёх лазерных сканеров, обработать её с помощью специального ПО и построить трёхмерную модель объекта в цифровом формате. С этой целью был разработан программный комплекс на языке Python.

При разработке программного комплекса необходимо было реализовать манипуляции с упаковкой и распаковкой данных, поступающих от датчика. Для комфортного взаимодействия с программой был реализован интерфейс.

Необходимые библиотеки языка Python

1. Работа с сокетами - библиотека «socket».
2. Упаковка и распаковка передаваемых данных - библиотека «struct».
3. Графический интерфейс - библиотека «Tkinter».

Процесс передачи данных с лазерного сканера на компьютер осуществлялся по протоколу UDP (User Datagram Protocol). Это позволило сократить задержки в передаче сигнала и получать данные в реальном времени. Каждый датчик имеет псевдо-уникальный IP адрес, и фиксированный порт для установления соединения.

Алгоритм связи лазерного сканера с программным комплексом начинается с инициализации сканера и получения его регистрационных данных, затем по необходимости можно откалибровать устройство. Настройки сохраняются в памяти лазерного сканера. После нажатия кнопки “Старт” – подаётся синхронизирующий импульс и начинается процесс сканирования объекта.

Закодированные координаты объекта передаются в виде датаграмм. Датаграмма состоит из набора 16-битных чисел с фиксированной запятой,

нечетное число - координата точки (боковое смещение), четное число - расстояние от датчика(дальность).

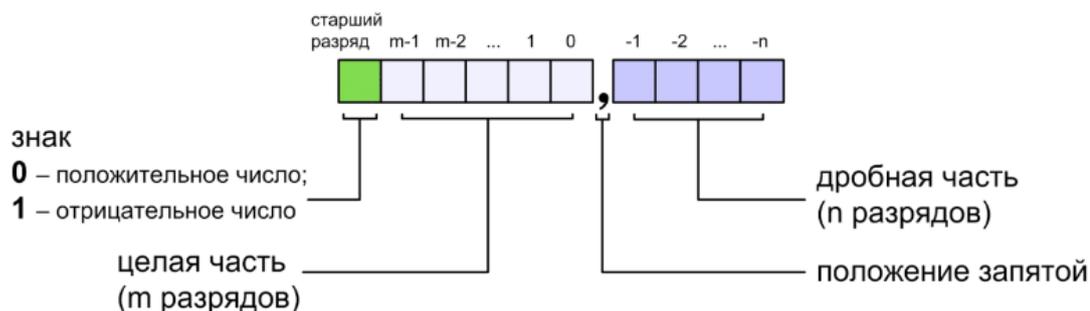


Рисунок-5. Структура записи числа с фиксированной запятой.

Для декодирования пакета датаграмм программа разбивает её, формируя отрезки по 4 байта. Затем числа переводятся в десятичную систему счисления и совмещается с дробной частью для минимизации погрешности измерения.

Интерфейс был создан методом объектно-ориентированного программирования и необходим для наглядной работы с лазерными сканерами. Графический интерфейс позволяет настраивать и калибровать сканеры, а также в наглядной форме предоставляет полученные данные.

Данный программно-аппаратный комплекс для трёхмерного сканирования осуществляет высокоточное построение цифровой модели в реальном времени. Использование модульного программного обеспечения позволяет адаптировать данную систему под различные задачи в короткие сроки. Доступность комплектующих позволяет осуществить трёхмерное сканирование объектов без существенных денежных затрат.

### Библиографический список

- 1) Прилипко Е.А. Современные методы 3D-сканирования [Электронный ресурс] // Современные концепции техники и технологии: проблемы, состояние и перспективы – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс». Режим доступа: [https://interactive-plus.ru/ru/article/11162/discussion\\_platform](https://interactive-plus.ru/ru/article/11162/discussion_platform) (дата обращения: 02.05.2018).
- 2) Японцы разработали новый метод трехмерного сканирования объектов [Электронный ресурс] // habrahabr.ru Режим доступа: <https://habr.com/post/149675/> (дата обращения: 01.05.2018)
- 3) В.Олифер, Н.Олифер Компьютерные сети: Принципы, технологии, протоколы /.-Спб.: Питер,2010.-554 с.
- 4) Руководство программиста по сканерам LS2D / Екатеринбург: НПП Призма

## **ПРОВЕДЕНИЕ ЭТАПА ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ И ПРОБЛЕМЫ, ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ В ПРОЦЕССЕ**

**Губанов А.С., Дмитриев А.А.**

**ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»**

[gub.s@bk.ru](mailto:gub.s@bk.ru)

Настоящая статья посвящена процессу проведения этапа проектно-изыскательских работ, а также проблемам и нюансам, встречающимся в процессе проведения этапа при строительстве линейно-кабельных сооружений.

В рамках перечня поручений Пр-2346 по реализации послания президента РФ Федеральному собранию РФ от 1 декабря 2016 года, пункты 3 и 4а гласят о подготовке и утверждении план-графика подключений в 2017-2018 годах больниц и поликлиник к широкополосной сети доступа. Главным подрядчиком по реализации данного поручения выступает ПАО «Ростелеком». ПАО «Ростелеком» в свою очередь нанимает подрядную организацию для строительства линии связи и для составления проектной документации.

Подрядной организацией для составления проектной документации выступает ПАО «Гипросвязь». На данный проект назначается инженер-проектировщик, который отныне будет курировать данный проект. Без выезда на место строительства объекта, инженер-проектировщик составляет первичный эскизный проект, опираясь лишь на топографическую съемку зачастую не отображающую реального положения дел на месте. Так же проектировщик по необходимости собирает всю необходимую информацию, такую как: место установки оконечной точки доступа, количество оконечных точек доступа, предполагает возможное развитие данной линии в будущем, узнает о предполагаемом месте подключения линии и т.д.

После утверждения заказчиком, эскизный проект отдается в проектно-изыскательское предприятие, выступающее в данном случае субподрядом. Проектно-изыскательское предприятие начинает развивать данный проект до уровня рабочей документации, представляющей из себя перечень схем и актов, по которым в дальнейшем будет производиться строительство волоконно-оптической линии связи и согласование строительства с землевладельцами и с заказчиком. Развитие проекта производится путем выезда проектировщика на место строительства объекта и проведения этапа проектно-изыскательских работ.

Проектно-изыскательские работы – это комплекс работ по проведению инженерных изысканий, разработке технико-экономических обоснований строительства, подготовке проектов, рабочей документации, составлению сметной документации для осуществления. Изыскательские работы представляют собой комплекс технических и экономических исследований района строительства. [1]

Далее будет рассмотрен процесс проведения проектно изыскательских работ при строительстве линии связи на участке п. Бохан–с. Каменка, Боханский район, Иркутская область (Смотрите рис. 1).

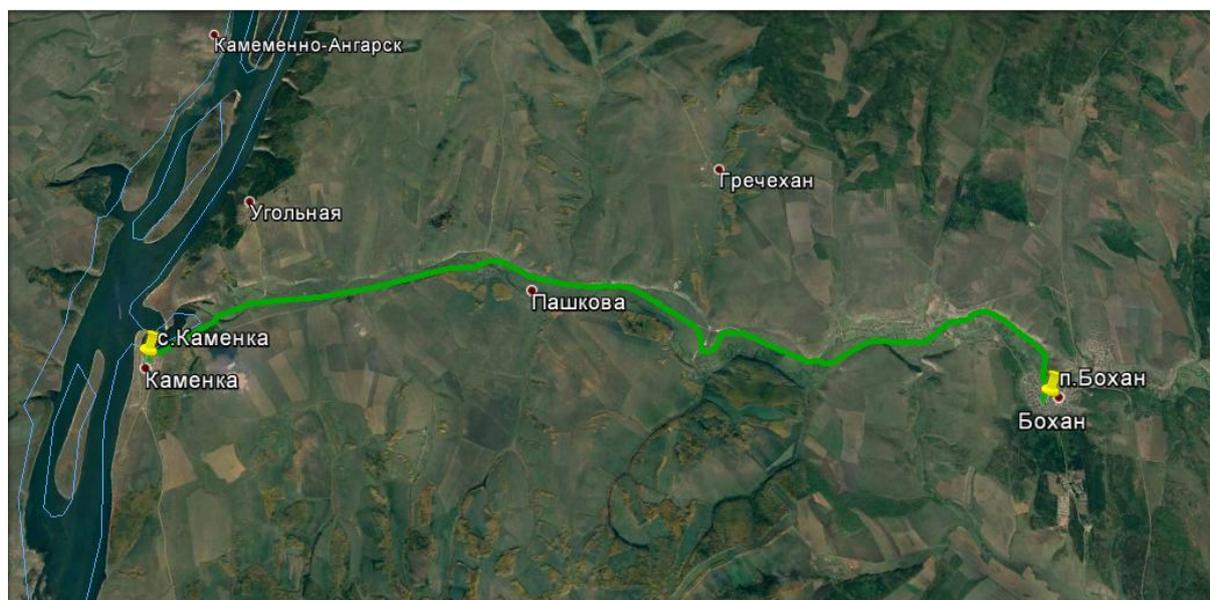


Рисунок 1 – Участок проведения ПИР, п. Бохан–с. Каменка

В рамках эскизного проекта, строительство проводится по территории Боханского района, от поселка Бохан (АТС, ул. Ленина, 27) до села Каменка (Больница, ул. Гагарина, 5). Анализируя данный участок, было выявлено, что данная территория соответствует третьей климатической зоне. Это говорит о том, что зимняя температура в среднем достигает  $-20...-18$  °С. Летом температурные показатели колеблются в диапазоне  $+16...+20$  °С. Ветреность низкая, скорость ветра редко превышает 4 м/с. Климат резко-континентальный, что говорит о больших амплитудах колебания температур, о продолжительной и холодной зиме и о коротком, но жарком лете. Грунт преимущественно рыхлых категорий I и II, реже III. Ближе к концу участка строительства присутствует место, где наблюдается грунт скальной VII категории (порядка 70-100м). Природная зона лесостепная, с редко встречающимися участками лесных массивов. Трасса проходит по долине реки Ида.

На основании климатической зоны и категоричности грунта проводится выбор и обоснование марки кабеля, который сможет выдержать погодные условия данной зоны, сделать поправки на допустимую силу сжатия (если кабель прокладывается в грунт) и силу растяжения (если кабель прокладывается воздушным путем).

Также на основании категоричности грунта делается приблизительная оценка сложности прокладки кабеля в грунт, что позволяет выбрать требуемую для строительства технику и сопутствующие инструменты.

Природная зона благоприятная для прокладки кабеля в грунт, редкие лесные участки, на пути трассы прокладки, практически не составляют неудобства для прокладки кабеля. Долина реки Ида в самом широком месте составляет приблизительно 1-2 км., в самом узком 0.5-0.7 км. Сама река по всей протяженности имеет ширину от 2 м. до 5 м. Глубокие места (от 2м) встречаются крайне редко. Преимущественно глубина по все протяженности, не считая устья реки, составляет от 0.3м. до 0.7м. Однако река имеет сильно выраженный змеевидный характер и в некоторых местах долины весьма близко приближается к склонам. Долина ограничена холмами, в некоторых местах холмы имеют весьма крутой склон, порядка 30°. На склоне с уклоном порядка 30° работа техники (кабелеукладчика и т.д.) будет весьма ограничена или невозможна, в виду этого трасса будет проходить исключительно в рамках долины, и за пределы водоразделов выходить не будет.

Так же необходимо провести оценку необходимости проведения защитных мероприятий от опасных ударов молнии. Опасным ударом молнии является удар, при котором возникает повреждение ВОК с перерывом связи. [2]

При оценке защитных мероприятий от опасных ударов молнии учитываются следующие факторы:

1. Соотношение допустимого и расчетного вероятного числа опасных ударов молнии (допустимой и вероятной плотности повреждения кабеля) на 100 км трассы за год;
2. Интенсивность грозовой деятельности;
3. Удельное сопротивление грунта;
4. Молниестойкость кабеля.

На основании этих факторов выбранный волоконно оптический кабель оценивается с точки зрения защищенности от опасных ударов молнии. При этом стоит учитывать, что трасса в некоторых местах приближается к лесным участкам, что увеличивает вероятную плотность опасных попаданий молнии. Поэтому необходимо рассчитать оптимальное расстояние между лесом и трассой прокладки, если же оптимального расстояния добиться не удастся, то необходимо выполнить ряд мероприятий по защите кабеля. [2]

Следующим пунктом является сбор информации о принадлежности территории. Т.е. необходимо выяснить, кому принадлежит земля, это могут быть как муниципальные образования, так и частные владельцы. Трасса проходит по территории Боханского района, включающего в себя территорию поселка Бохан и два крупных муниципальных образований, МО Новая Ида и МО Каменка. Для упрощения проведения проектно изыскательских работ решено было разбить трассу на три участка соответствующих административной принадлежности.

1 участок – это территория поселка Бохан. В данном поселке находится место расположения АТС т.е. точки подключения волоконно-оптической линии. В данном поселке РТК имеет свои линии связи, проложенные подвесом по собственным опорам. Поэтому было решено на данном участке кабель проложить подвесом по существующим опорам РТК. При выборе пути прокладки по опорам, стоит руководствоваться такими положениями как принадлежность опор, состояние опор, количество опор. В итоге была выбрана трасса, затрагивающая 7 опор РТК, 3 опоры ЛЭП «Усть-Ордынские электрические сети» (УОЭС) и 3 опоры придется доставить. На территории поселка много аварийных опор подлежащих замене, это сильно сковало возможные пути прокладки кабеля, поэтому линию поскорее попытались вывести за пределы поселка. Полностью по опорам РТК этого сделать не удалось, поэтому было решено задействовать 3 опоры УОЭС, и в конце трассы для перехода кабеля подвесом над рекой Ида поставить 2 опоры на берегу со стороны поселка и 1 опору на противоположной берегу.

2 участок – это территория муниципального образования Новая Ида. В виду отсутствия протяженной сети опор РТК и опираясь на техническую политику строительства магистральных волоконно-оптических линий связи ПАО «Ростелеком» было решено далее прокладку осуществлять в грунте. В связи с этим, первым делом необходимо запросить у администрации данного муниципального образования карту существующих подземных коммуникаций: кабельных, трубопровод, канализация и т.д. На карте выданной администрацией, был отмечен трубопровод. Данный трубопровод в процессе обследования долины найден не был, в последствии было установлено что на карте выданной администрацией он был внесен ошибочно и по факту его там нет. Кабельных линий в грунте не обнаружено. После ознакомления с картами, необходимо ознакомиться со всей предполагаемой трассой на месте. В процессе обследования было выявлено множество нюансов, которые внесли коррективы в трассу прокладки. Так, например, встретив на пути строения, не отмеченные ни на одной из карт, приходилось их обходить в соответствии с охранной зоной, рельеф в некоторых местах не соответствует данным с карт. Невозможно получить полное представление о местности лишь разглядывая карты. В итоге, трасса по территории Новой Иды начинается с места перехода кабеля подвес-грунт, трасса идет преимущественно вдоль склонов и вдоль дороги (придерживаясь охранной зоны дороги в 20 м.), по населенным пунктам трасса проходить не будет. Всего на данной территории будет осуществлено два перехода под дорогой методом горизонтально направленного бурения (ГНБ прокол), и четыре перехода через реку. Так же на трассе поселений и сел будут установлены распределительный муфты, для дальнейшего подключения этих населенных пунктов. Всего их будет две, вблизи села Заглик и села Новая Ида.

3 участок – это территория муниципального образования Каменка. Условия прокладки по данной территории схожи с условиями на участке 2 и алгоритм действий схож. На пути прокладки предусмотрена одна распределительная муфта, один ГНБ прокол и порядка пяти переходов через реку. Так же в рамках данного участка необходимо учесть прокладку кабеля по территории села Каменка. Согласно эскизному проекту, в данном селе необходимо установить оконечный узел доступа. Изучив карты подземных коммуникаций местной администрации, был выявлен наиболее оптимальный путь прокладки. Волоконно оптический кабель заходит на территорию с.Каменка в грунте и продолжает идти в грунте около 0.5 км. Доходит до опоры освещения стоящей на частной территории и осуществляется переход грунт-подвес. Далее до места установки оконечного узла доступа, линия идет подвесом по опорам освещения. На оконечном узле доступа, на территории больницы, монтируется узел коммутации.

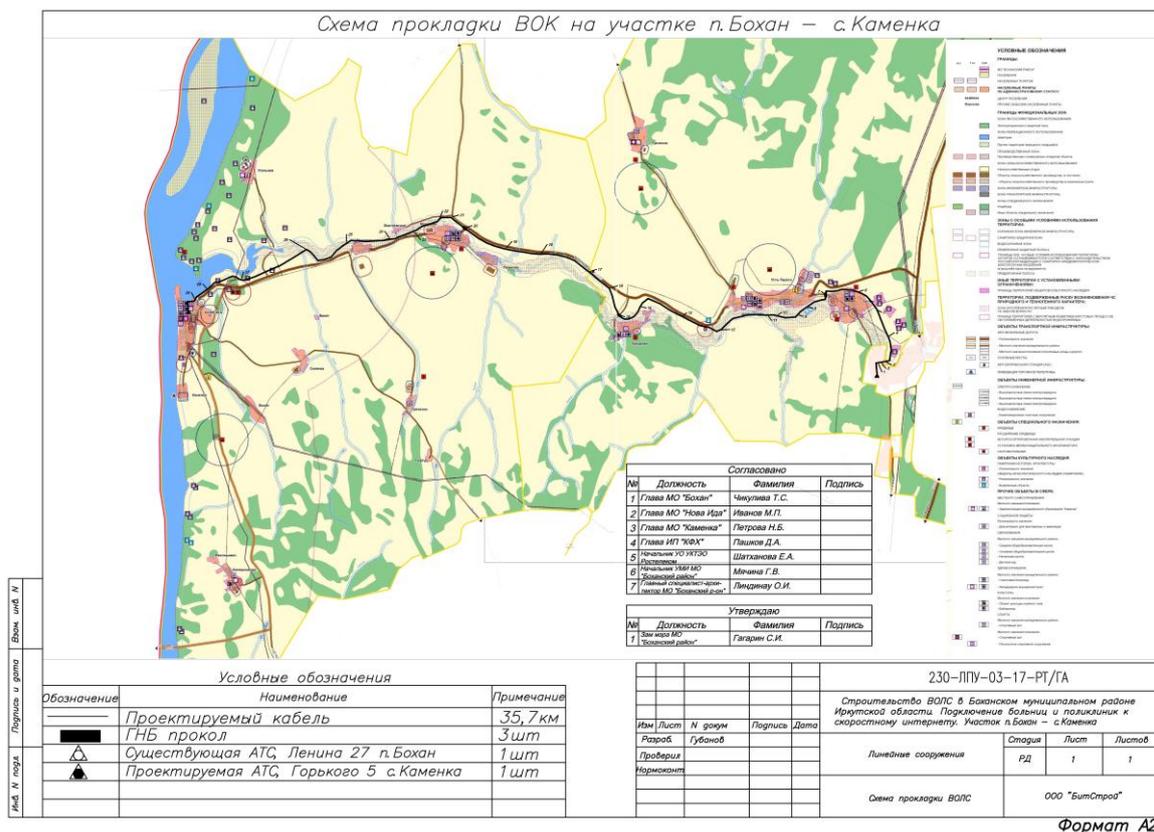


Рисунок 2 – Трасса прокладки волоконно оптического кабеля на участке п.Бохан–с.Каменка

На основании обследования и выбранной трассы прокладки (смотри-те рис. 2), составляется рабочая документация. В рабочей документации отображаются проектные и технические решения необходимые для строительства линии связи.

В рамках рабочей документации составляются листы согласования на различные участки трассы. Данные листы необходимы для согласования трассы прокладки. Согласование проводится на все составляющие трассы. Т.е. на землю являющуюся собственностью как муниципальных образований, так и частных собственников, на места прохождения через автомобильные дороги, на прохождение по опорам ЛЭП и освещения. Листы согласований могут иметь различный вид, начиная от одного листа с указанием собственников и заканчивая полноценной рабочей документацией включающей в себя: схемы, нормативные акты, разрешения и допуски. Все зависит от требований собственников. Поэтому на этапе проведения проектно изыскательских работ необходимо разузнать обо всех людях и структурах, с которыми придется взаимодействовать.

Проектно изыскательские работы являются одним из начальных этапов при строительстве линейно-кабельных сооружений связи. От этого этапа зависит то как скоро строительно-монтажные бригады смогут приступить к работе, и то насколько гладко будет идти строительство.

Различные проблемы, встречающиеся при проведении этапа, существенно могут замедлить скорость выполнению этапа и как следствие увеличить время подготовки рабочей документации. Поэтому инженер-проектировщик, по возможности, должен максимально предусмотреть каждую из проблем.

### **Библиографический список**

1. «EduMarket.ru» [Электронный ресурс] / Онлайн словарь терминов – URL: <http://edumarket.ru/glossary/designing/3222/> (Дата посещения: 09.05.2018)

2. «ИНФОСАЙТ.ру (БИБЛИОТЕКА ГОСТОВ, СТАНДАРТОВ И НОРМАТИВОВ)» [Интернет ресурс] / «Руководство по защите оптических кабелей от ударов молнии (МС РФ, ЦНИИС, 1995г.)» – URL: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/44/44553/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/44/44553/index.htm) (Дата посещения: 09.05.2018)

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТДЕЛОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ РАБОТ ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ**

**Губанов А.С., Дмитриев А.А.**  
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»  
[gub.s@bk.ru](mailto:gub.s@bk.ru)

Настоящая статья посвящена составлению алгоритма взаимодействия между различными отделами при проведении этапа приемосдаточных работ. Проведение этапа будет рассматриваться на основании существующей линии связи, расположенной на участке п.Бохан-с.Каменка, Боханский район, Иркутская область, где заказчиком выступает ПАО «Ростелеком» (РТК). Рассматриваемая линия связи соединяет п.Бохан АТС-2 и участковую больницу с.Каменка. ВОЛС не имеет ответвлений, но на протяжении трассы было установлено несколько разветвительных муфт для дальнейшего развития сети. Протяженность линии составляет около 35 км.

Строительство и сдача в эксплуатацию любого линейно-кабельного сооружения проводится в три этапа:

- Проектно-изыскательские работы;
- Строительно-монтажные работы;
- Приемосдаточные работы.

Приемосдаточные работы – это завершающий этап строительно-монтажных работ, которые проводятся по завершению строительства линейно-кабельных сооружений. Эту проверку проводят со строгим соблюдением общепринятых стандартов и норм и в присутствии экспертной комиссии состоящей из представителей организации заказчика и из представителей организации выполняющей строительство. После успешного проведения этого этапа объект сдается в эксплуатацию заказчику.

Основной целью этапа приемосдаточных работ является проверка соответствия построенного линейно-кабельного сооружения и документации, которая предоставляется заказчику. Проведение этапа приемосдаточных работ основывается на комплекте документов, именуемых исполнительной документацией, которая передается заказчику, а проектные и тех. решения отраженные в исполнительной документации должны полностью соответствовать произведенным работам. В связи с отсутствием постоянных линейных связей между строительным и проектным отделами, исполнительная документация очень часто не соответствует построенному сооружению.

Строительством и фиксацией необходимой информации занимается отдел строительства, в то время как подготовкой документации занимается проектно-технический отдел (ПТО). Качественное взаимодействие этих отделов может существенно сократить время проведения этапа приемосдаточных работ и облегчить сдачу объекта. В то время как некачествен-

ное, может повлечь за собой выход за временные рамки установленные заказчиком и как следствие повлечь за собой штрафные санкции и увеличение трудовых затрат.

Как было сказано ранее, документация должна максимально соответствовать построенному сооружению. Т.е. соответствовать трассе прокладки волоконно оптического кабеля, установленному и задействованному оборудованию, отображать объемы и виды выполненных работ. На основании спецификации исполнительной документации, бухгалтерия производит постановку на баланс построенного объекта.

Для достижения полной достоверности исполнительной документации, проектировщик должен учесть все изменения в рабочей документации и собрать всю необходимую информацию по объекту. Но в связи с тем, что строительство крупного объекта занимает довольно много времени, держать его постоянно на объекте не целесообразно. Поэтому, за сбор данных в ходе строительства, в составе строительно-монтажной бригады назначается ответственное лицо. Это позволяет использовать ресурс инженера-проектировщика куда более рационально, но одновременно это создает ряд проблем. Зачастую информация не доходит до проектировщика в полной мере. Это связано с тем, что невозможно предугадать присутствие ответственного лица на каждом месте изменения трассы, он может быть не компетентен, либо допустить ошибку по невнимательности. Так же зачастую строители не понимают важности подготовки достоверной документации и некоторые моменты просто упускаются. В связи с этим информация об изменениях может быть неполной, потеряться или быть ошибочной.

Сбор всей необходимой информации является начальной фазой этапа проведения приемо-сдаточных работ. К данной информации относятся: отклонения от рабочей документации, метки длин кабеля, перечень координат, проведение измерений смонтированного регенерационного участка и т.д.

Невозможно при подготовке рабочей документации на строительство линейно-кабельных сооружений связи предусмотреть всё заранее, поэтому отклонения всегда будут иметь место. Например, изменения в трассе прокладки волоконно оптического кабеля. Причин может быть множество: встреча участка тяжело проходимого грунта (скальные породы и т.п.), собственники земель, по территории которых идет строительство линии связи и т.д. (См. рис. 1)

На основании перечня зафиксированных, в процессе строительства, меток длин кабеля, подсчитывается физическая длина уложенного кабеля. Метки вносятся в ряд чертежей, применяемые при эксплуатации линии связи заказчиком. В дальнейшем, для проверки, физическая длина высчитывается косвенным путем через оптическую длину и коэффициент укрутки. Длины, посчитанные по меткам и через оптическую длину, сравниваются, различие не должно превышать 0,005%.



Рисунок 1 – Изменения в рабочей документации, вносимые в процессе строительства

В процессе строительства фиксируются все неординарные точки ВОЛС. К таким точкам относятся: ГНБ (горизонтально-направленное бурение) проколы

(начало/конец), места установленных соединительных и распределительных муфт, переходы через реки, установленные опоры, начальная и конечная точки строительства, перекрестие с ЛЭП, поворот в трассе прокладки превышающий 20-30% и т.д. Все эти точки фиксируются путем определения координат в системе координат WGS-84, чему соответствует спутниковая система навигации GPS (Global Positioning System).

Основным методом контроля работоспособности линии связи является снятие измерений смонтированного регенерационного участка. Данные измерения предусматривают собой снятие рефлектограм с обоих концов линии на двух длинах волн 1,310 мкм и 1,550 мкм. Нормой здесь является километрическое затухание, на длине волны 1,310 мкм и 1,550 мкм оно не должно превышать 0,36 дБ/км и 0,22 дБ/км соответственно. Затухание на сварном соединении не должно превышать показателя в 0,02 дБ. Если в норму по затуханию уложиться не получилось, то производится анализ рефлектограмм и выявляется проблемный участок, на котором затухание завышено. После чего проводятся работы по исправлению данного участка. Проведением измерений занимается инженер, в дальнейшем он передает полученные результаты инженеру-проектировщику, который занимается анализом и составлением протоколов измерения.

Это были основные моменты начальной фазы этапа, без фиксации которых подготовка исполнительной документации невозможна. От объекта к объекту они могут отличаться, все зависит от нюансов сооружения связи. Но помимо основных моментов так же присутствует ещё масса менее важных, выполнение которых может зависеть от выполнения основных.

На основании собранной информации составляется исполнительная документация, которая ориентируется на ряд нормативных документов и требований, предоставляемых заказчиком, а так же ГОСТов, Нормативов, Стандартов утвержденных Министерством Российской Федерации по связи и информатизации. К таким документам относятся:

- техническая политика ПАО «Ростелеком»;
- руководство по строительству линейных сооружений ПАО «Ростелеком»;

– состав исполнительной документации на законченные строительством линейные сооружения магистральных и внутризональных ВОЛП (РД 45.156-2000);

– ГОСТ 2.601-95 единая система конструкторской документации (ЕСКД).

Стоит отметить, что на подготовку рабочей документации требования другие и менее жесткие.

Согласно вышесказанному, на рассматриваемое линейно-кабельное сооружение подготавливаются две самостоятельные исполнительные документации: [1]

1 – исполнительная документация на станционные сооружения (ИД СС);

2 – исполнительная документация на линейные сооружения (ИД ЛС).

ИД СС затрагивает все работы, производимые в узлах агрегации либо в узлах коммутации, т.е. на конечных узлах.

ИД ЛС затрагивает все работы, производимые между конечными узлами. Состоит она из трех частей: паспорт трассы, паспорт трассы электрический, рабочая документация (ничего общего с рабочей документацией, составляемой в начале работ, не имеет).

Каждая из частей, согласно РД 45.156-2000, имеет свой уникальный состав. Но комплектация может меняться и быть дополнена в зависимости от особенностей работ производимых при строительстве линии связи, и исходя из требований заказчика. Так например, согласно ГОСТа, в электрическом паспорте трассы должны присутствовать оформленные отчеты OTDR (рефлектограммы), но при волоконности линии в 48 оптических волокон в документации будет 192 лишние страницы с рефлектограммами. Поэтому РТК вместо увеличения физического объема документации требует предоставления в отдел тех. надзора сами рефлектограммы и проверяет соответствие их с составленными протоколами. Такие отличительные моменты исполнительной документации от общепринятых требований в виду индивидуальных запросов заказчика необходимо оговаривать.

После того как инженер-проектировщик подготовит документацию в полном объеме, он назначает приемку на данное линейно-кабельное сооружение. В случае работы с РТК, исполнительная документация направляется в тех. отдел, где комплектуется состав приемной комиссии и назначается дата на приемку объекта. В состав комиссии входят представители различных участков и отделов. В случае с данным объектом в состав комиссии вошли: представитель тех. надзора, представитель тех. учета, представитель ЛТЦ, представитель местного УО УКТЭО и представитель тех. отдела. Комиссия в составе представителей организации, выполняющей строительство, выезжает на место для проведения обследования объекта и определение качества выполненных работ. Объект проверяется на соответствие технологии строительства, на соответствие технологии предоставле-

ния услуг, на соответствие требованиям заказчика. Так же представителем тех. отдела проверяются схемы и чертежи на соответствие действительности. В процессе приемки выявляются все дефекты, допущенные в процессе строительства линии связи, если таковые имелись, и все несоответствия в документации.

Рисунок 2 – Лист замечаний

« 14 » ноября 2017г.

Лист замечаний № 1

По результатам приемки объекта СД-011  
(АТС 2 п. Бокан ул. Ленина 27- ШПК-46 с. Каменка ул. Гагарина 5)

№ п/п	Замечание:	Замечание устранено	Дата	Ф.И.О.
<b>1. По документации:</b>				
1.1	Схема распределения ОВ на вешевых распределительных муфтах	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.2	Схема расписки кабеля на оптических стойках в пунктах	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.3	Схема расписки на оптических стойках на участках	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.4	Планы ввода кабелей в ОП	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.5	Схема заземления бронепроводов ВОК в пунктах ОП	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.6	Планы размещения оборудования и стоек аппаратуры в пунктах	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.7	Монтажные схемы участков регенерации	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.8	Ведомость проложенных строительных длин ВОК	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.9	Отверточные работы после прокладки кабеля рабочие чертежи проектной документации, узловые чертежи и планшеты	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.10	Нет электрического паспорта трассы	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.11	Зависимость паспорта строительных длин ВОК	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.12	Протоколы входного контроля строительных длин ВОК	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.13	Отчет по прокладке ВОК	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.14	Протоколы измерения затухания строительных длин кабеля после прокладки	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.14	Зависимость паспорта окончанного оборудования	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.16	Подвеска ВОК по ЛЭП	Нет акта согласования совместной подвески ОК на опорах ЛЭП (0,4кВ) в с. Каменка. Предоставить оригинальное письмо о предоставлении данных.	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.17	Перечень внесенных изменений, отступлений от проектных решений и согласования к ним	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
1.18	Справки и реестр от экологического, лесного, комитетов по охране природы, государственного и других учреждений о выполнении их требований	устранено	14.11.2017	Э.М.Багиров
<b>2. По результатам обхода:</b>				
2.1	От 1 муфты АТС Бокан, до 2 муфты с. Новая Ила траншея после укладки ОК местами требует подсыпки грунта.	устранено		Э.М.Багиров
2.2	Частично не доставлены столбики и таблички на участке АТС Бокан с. Новая Ила.	устранено		Э.М.Багиров
<b>3. По измерениям</b>				
3.1	АТС-2 (п.Бокан, ул.Ленина, 27) – ШПК-46 (с.Каменка, ул.Гагарина, 5)	Повышенное затухание трех ОВ в четвертом модуле		Э.М.Багиров

Ведущий инженер электросвязи



Э.М.Багиров

По окончании приемки объекта представителями тех. надзора и тех. отдела составляется лист замечаний по объекту (Смотрите рис. 2). Тех. надзор ответственен за замечания по обходу, тех. отдел ответственен за замечания по документации. Стоит отметить что тех. отдел проверяет документацию на полную укомплектованность и правильность, в то время как тех. надзор проверяет правильность составленных протоколов измерения. И на основании листа замечаний выполняется устранения замечаний.

Если серьезных замечаний по обходу не было, то параллельно с исправлением не серьезных замечаний назначается второй этап приемки, по уровню сигнала. Представитель организации подрядчика в составе представителя тех. надзора и измерителя выезжают на объект. На месте осуществляется подача сигнала в линию, путем коммутации с устройством обеспечивающем подачу сигнала, в нашем случае это был коммутатор MES1124M. И на конечной точке линии связи происходит замер уровня сигнала и заполнение протокола измерений.

После устранения всех замечаний повторно проводить приемку с экспертной комиссией не требуется (за исключением редких случаев, когда замечаний по обходу было крайне много), достаточно лишь представителя тех. надзора. Подписанный представителями тех. надзора и тех. отдела лист замечаний является официальным документом, удостоверяющим, что у заказчика более нет претензий по данному объекту и что документация полностью соответствует действительности.

На основании утвержденной заказчиком исполнительной документацией, составляются АКТ КС-11 и ведомость объемов работ. АКТ КС-11 свидетельствует о том, что строительство какого-либо инженерного сооружения полностью завершено и готово к эксплуатации. Ведомость объ-

емов работ включает в себя полный перечень работ производимых при строительстве, с указанием объемов затраченных материалов. Ведомость объемов является основой для дальнейшего составления сметы, сметчиком заказчика. При составлении КС-11 и ведомости объемов используются чертежи, спецификации и другие проектные материалы, которые полностью закончены, проверены и укомплектованы. Номенклатура работ ведомости объемов работ, а также их характеристики и принятые единицы измерения должны соответствовать использующимся сметным нормам ФЕР-2001 и ТЕР-2001 и быть в рамках действующих правил исчисления объемов работ, принятых в ГЭСН-2001. [2]

Успешное проведение каждого последующего этапа основывается на качестве выполнения предыдущего. Так, например, от составленной, на этапе проектно изыскательских работ рабочей документации зависит скорость и качество проведения этапа строительно-монтажных работ. А от вовремя учтенных моментов этапа строительно-монтажных работ, зависит этап приемо-сдаточных работ.

Проведение этапа прием-сдаточных работ полностью строится на подготовленной исполнительной документации. Подготовка исполнительной документации основывается на составленной ранее рабочей документации, в идеале только с добавлением недостающих составляющих отвечающих комплектации данного этапа. Но на практике, рабочая и исполнительная (в схожих для них составляющих) имеют ряд принципиальных различий. Что требует качественной фиксации изменений и фиксации необходимой информации в ходе строительства. А качество фиксации этой информации напрямую зависит от взаимодействия отделов.

На основе вышеописанного процесса подготовки исполнительной документации, был разработан алгоритм взаимодействия строительного и проектного отделов, с участием заказчика, при проведении этапа приемо-сдаточных работ (смотрите рис.3).

Данный алгоритм, для наглядности, представлен в графическом виде блок схемы. Блок схема позволяет упростить понимание процесса проведения приемо-сдаточных работ и наглядно увидеть зоны ответственности каждого из отделов. Помимо этого блок схема позволяет зафиксировать точки взаимосвязи отделов.

Представленная блок схема составлена в соответствии с ГОСТ 19.701-90 "Схемы алгоритмов и программ".

Разработанная блок схема позволяет улучшить такие важные показатели как скорость и качество проведения этапа, которые напрямую зависят от подготовки исполнительной документации. А её использование в работе, позволяет осуществлять более качественное линейное взаимодействие между отделами и добиться максимального соответствия исполнительной документации к выполненным работам.

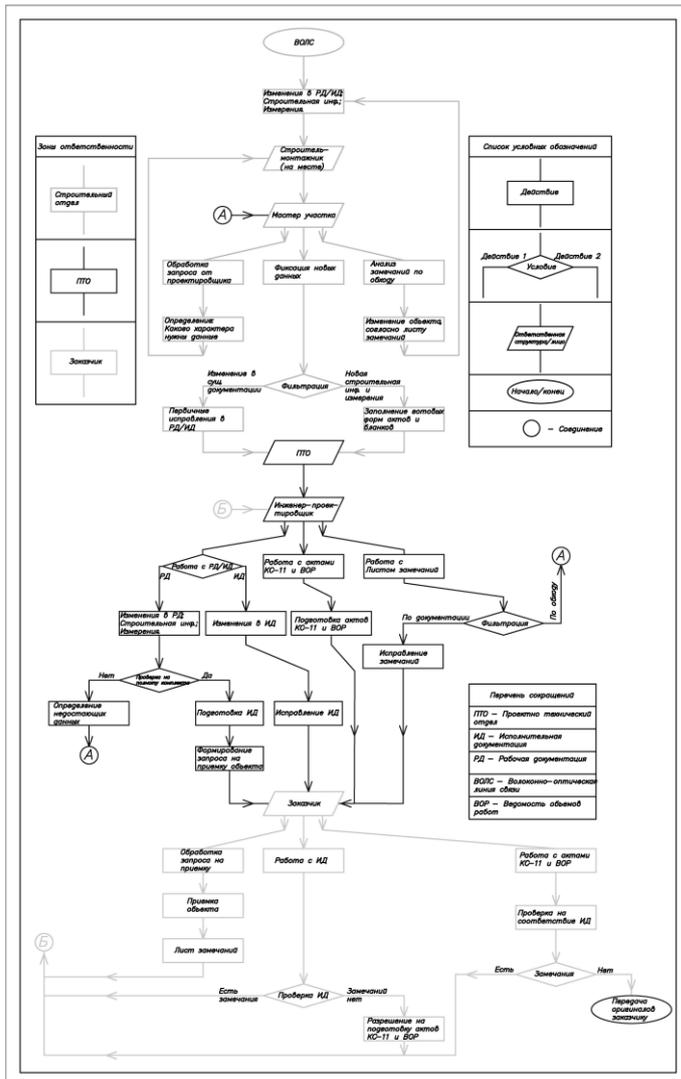


Рисунок 3 – Блок схема алгоритма взаимодействия отделов строительства и ПТО, с участием заказчика, при проведении этапа приемосдаточных работ

### Библиографический список

1. «Сметное бюро» [Электронный ресурс] / Электронная статья: Требования к подсчету объемов строительных работ для сметы – URL: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/46/46144/#i196119](http://www.infosait.ru/norma_doc/46/46144/#i196119)
2. «ИНФОСАЙТ (БИБЛИОТЕКА ГОСТОВ, СТАНДАРТОВ И НОРМАТИВОВ)» [Электронный ресурс] / Электронная статья : РД 45.156-2000 – URL : <http://www.smeta-exp.ru/poleznaya-informaciya/trebovaniya-k-podschetu-obemov-stroitelnyh-rabot-dlya-smety/>

# МЕТОДЫ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ НАБЛЮДАЕМЫХ ЧАСТОТ РАДИОВОЛН

Агарышев А.И., Портнов М.А.

Иркутский филиал МГТУ ГА  
aai.irk@mail.ru, i787m@yandex.ru

**Введение.** Из монографий [1,2], что применение разработанных методов расчета максимальных наблюдаемых частот (*МНЧ*) в сочетании с моделями ионосферы позволяет при правильном задании индексов солнечной активности  $W$  практически устранить систематические ошибки расчета *МНЧ* радиоволн по сравнению со случайными ошибками. Дальнейшее повышение точности прогнозов *МНЧ* возможно при уменьшении случайных ошибок. С этой целью разработан ряд методов оперативного прогнозирования *МНЧ* и рассматриваются особенности применения этих методов в различных ситуациях.

**Определение эффективных индексов солнечной активности по результатам измерений *МНЧ* на трассах наклонного зондирования (НЗ).** В статьях [3,4] показано, что точность прогнозов *МНЧ*  $1F2, 2F2$  (при односкачковом и двухскачковом отражении от слоя  $1F2$ ) существенно зависит от методик задания индексов солнечной активности. Эти индексы являются единственными входными параметрами моделей ионосферы, которые можно менять при фиксации трассы и времени. Однако индексы  $W$  лишь косвенно характеризуют потоки ионизирующего излучения Солнца в рентгеновской и ультрафиолетовой областях спектра. Поэтому связь параметров ионосферы с  $W$  имеет корреляционный характер и даже при задании реальных усредненных  $W$  рассчитанные по этим  $W$  *МНЧ* могут отличаться от измеренных, хотя для достаточно больших массивов данных средняя ошибка расчетов становится  $< 0,5$  МГц.

Для повышения точности краткосрочных (оперативных) прогнозов *МНЧ* в работе [5] впервые предложено определять эффективные индексы солнечной активности  $W_e$  по измеренным классическим *МПЧ* или *МНЧ* на одной или нескольких трассах НЗ. Предложен ряд методик определения  $W_e$  в зависимости от конкретных условий. Общим в этих методиках является изменение  $W$  для исходной модели ионосферы и расчет *МПЧ*, *МНЧ* до совпадения измеренных и рассчитанных значений. В итоге получают индекс  $W_e$ , который корректирует использованную в расчетах модель ионосферы. Для уменьшения случайных ошибок такой коррекции усредняют и сглаживают данные НЗ, используемые для определения  $W_e$ .

По индексам  $W_e$  можно рассчитать *МПЧ*, *МНЧ* для данной трассы НЗ в интервале до следующих измерений, а также для трасс, не обеспеченных средствами НЗ. Использование таких  $W_e$  особенно важно в системах радиосвязи с подвижными объектами, поскольку в этом случае отсутствуют данные статистической обработки измеренных значений за предшествующие

ший период, что не позволяет прогнозировать  $MПЧ, МНЧ$  по регрессионным зависимостям. Действительно, надежное построение таких зависимостей возможно при систематических измерениях на неизменной трассе в течение нескольких дней, а сглаженные значения  $W_e$  могут определяться при измерениях и расчетах  $MПЧ, МНЧ$  на различных трассах НЗ.

Эффективность прогноза  $МНЧ$  модов  $1F2, 2F2, 3F2$  на основе индексов  $W_e$  показывает таблица 1, где даны средние относительные ошибки расчета  $МНЧ$   $\langle \delta_{e(r)} \rangle$  (в %), рассчитанные из

$$\delta_M = \langle (MПЧ_3 - MПЧ) / MПЧ_3 \rangle \times 100\%$$

для 347-ми значений  $МНЧ_e$ , измеренных на трассе Москва–Иркутск [6]. Индексы  $W_e$  определены по одному медианному значению  $МНЧ3F2$  в максимуме суточного хода для марта или по одному значению  $МНЧ2F2$  в июне. Из таблицы 1 видно, что использование одного измеренного значения  $МНЧ$  для одного из модов распространения позволяет существенно уменьшить ошибки прогнозов  $МНЧ$  для других часов суток и модов.

Таблица 1

Средние ошибки расчетов  $МНЧ$  для реальных среднемесячных (r) и эффективных (e) индексов солнечной активности

Месяц	Март			Июнь	Август
	1F2	2F2	3F2	1F2	2F2
$\delta_r$	16	20	19	12	12
$\langle \delta_e \rangle$	-1	7	9	1	1

Один из разработанных нами вариантов оперативного прогноза (ОП) характеристик радиоволн основан на экспериментальные данные о времени начала или конца прохождения радиоволн с фиксированной рабочей частотой  $f$ , когда  $f = МНЧ$ , а  $МНЧ$  в зависимости от дальности трассы определяется либо модом  $1F2$ , либо модом  $2F2$ . Для этих времен, измеренных на так называемых опорных радиолиниях, определяются  $W_e$ , сглаженные значения которых используются в прогнозах характеристик радиоволн для других моментов времени и трасс, отличных от опорных.

В другом варианте ОП значения  $МНЧ$  измеряются в заданные моменты времени с использованием систем наклонного или трассового зондирования ионосферы, то есть на основе время-частотных или амплитудно-частотных характеристик радиоканала. Этот вариант дает более полную исходную информацию для оперативной коррекции модели ионосферы, но требует специальных технических средств.

В качестве примера рассмотрим результаты измерений и прогнозов  $МНЧ2F2$ , а также углов излучения  $\eta_2$  и приема  $\beta_2$  радиоволн в вертикальной плоскости на трассе Москва–Иркутск. Для пулковского прогноза индекса  $W=140$  получено, что метод [7] для  $f = 15$  МГц дает период прохождения 07–16 ч МДВ и значения  $\eta_2 = \beta_2 = 13^\circ$  в течение всего периода прохождения. Однако согласно нашим измерениям для  $f=15$  МГц про-

хождение радиоволн началось в 5 ч МДВ и закончилось в 18,5 ч МДВ. При этом в момент начала прохождения использование первого варианта ОП дало значение  $W_e = 180$ , для которого рассчитан момент окончания прохождения 18 ч МДВ, что хорошо согласуется с результатами наблюдений. В период 5–6 ч МДВ для  $W_e = 180$  рассчитано среднее значение  $\langle \eta_2 \rangle = 2^\circ$  и значение  $\langle \beta_2 \rangle = 30^\circ$ . Именно такое среднее значение угла приема было измерено в этот период с помощью установки [1], в 17–18 ч МДВ  $\langle \eta_2 \rangle = 27^\circ$ , а  $\langle \beta_2 \rangle = 4^\circ$ , что также согласуется с результатами измерений.

Существенные отличия  $\eta_2$  и  $\beta_2$  в моменты начала и окончания прохождения радиоволн обусловлены влиянием регулярных изменений параметров модели ионосферы, особенно критических частот слоя  $F_2$ , вдоль трассы. Это влияние существенно усиливают случайные неоднородности ионосферы, что учитывает разработанный нами метод [1], но не учитывают другие методы, в том числе и метод [7]. Градиенты параметров ионосферы имеют противоположные знаки утром и вечером, что объясняет существенные отличия углов излучения и приема радиоволн, прогнозируемые на основе разработанного варианта ОП и полученные в эксперименте. Эти результаты показывают возможности улучшения качества радиосвязи при оптимизации диаграмм направленности приемо-передающих антенн на основе предлагаемого варианта ОП.

Учет влияния регулярной горизонтальной неоднородности ионосферы важен и в прогнозах  $MNЧ2F_2$ , а также периодов прохождения радиоволн. Действительно прогноз [10] для  $W_e = 180$  дает период прохождения 6,8–16,5 ч МДВ, что существенно меньше наблюдаемого и прогнозируемого с использованием разработанного варианта ОП. При этом  $\eta_2 = \beta_2 = 13^\circ$  в течение всего периода наблюдений, что резко не согласуется с рассмотренными выше результатами измерений.

Экспериментальная проверка предлагаемого варианта ОП выполнена и на трассе Хабаровск–Иркутск, где определение  $W_e$  по значениям  $MNЧ1F_2$  повысило точность прогнозов периода прохождения модом  $2F_2$  и углов места мода  $2F_2$  по сравнению с известными прогнозами [7,8].

Ряд вариантов ОП, основанных на определении  $W_e$  по данным НЗ, проверялся также на рассмотренном выше массиве экспериментальных данных для субполярных трасс. Результаты такой проверки приведены в таблице 2, где вариант 1 соответствует расчету  $MNЧ$  для опорной трассы НЗ через час после момента зондирования  $T_s$ , вариант 2 – расчет  $MNЧ$  в момент  $T_s$  для другой трассы, вариант 3 – расчет  $MNЧ$  в момент  $T_s+1$  ч для другой трассы, вариант 4 – так называемый "наивный" прогноз по условию  $MNЧ(T_s+1 \text{ ч}) = MNЧ(T_s)$ , который, как и схемы ОП на основе регрессионных зависимостей, может применяться только на опорной трассе.

Таблица 2 показывает более высокую точность разработанного ОП  $MNЧ$  по сравнению с долгосрочным прогнозом [8], несмотря на дополни-

тельный учет ночных аномалий  $MHЧ1F2$  (рис. 1 и табл. 2). Отметим отсутствие систематических ошибок пересчета  $MHЧ$  с трассы на трассу.

Таблица 2

Характеристики точности вариантов ОП  $MHЧ1F2$ , основанных на данных НЗ, для трасс Москва–Диксон и Москва–о.Хейса

Вариант	1	2	3	4
$\delta$ , МГц	-0,1	-0,1	0	0,1
$\sigma$ , МГц	1,1	1,4	1,7	1,7

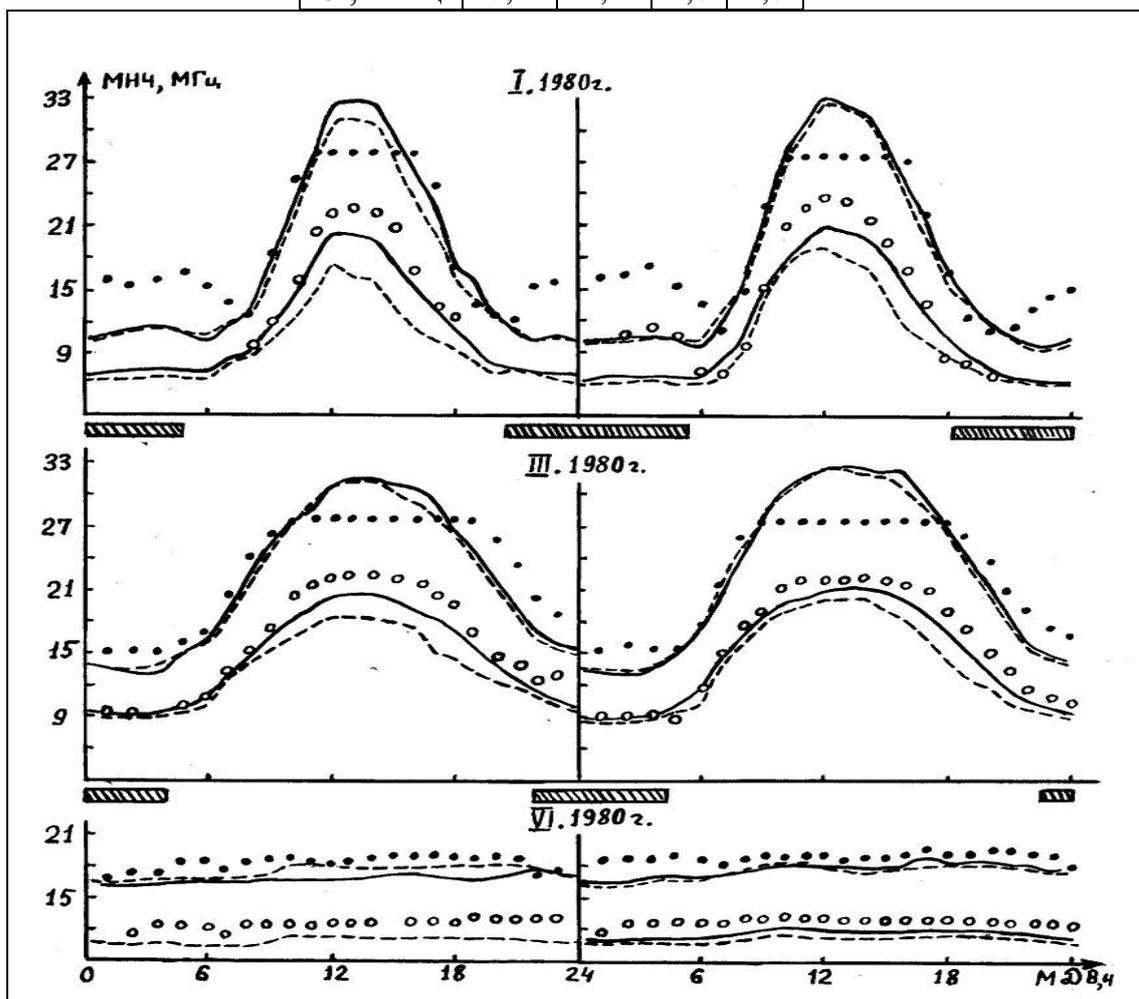


Рис. 1. Измеренные (● – мод  $1F2$ , ° –  $2F2$ ) и рассчитанные средние  $MПЧ$ ,  $MНЧ$  в зависимости от МДВ для трасс Москва–Диксон (справа) и Москва–о.Хейса (слева): сплошные кривые – расчет  $MПЧ1F2$  методом, изложенным в [1], и расчет  $MНЧ2F2$  методом равных  $MПЧ$  [1], штрихи – расчет для симметричных и равных скачков

Таким образом, анализ приведенных выше результатов показывает, что использование эффективных индексов солнечной активности в сочетании с данными НЗ и разработанными методами расчета  $MПЧ$ ,  $MНЧ$  повышает точность прогнозов характеристик дециметровых радиоволн. Комплекс программ обеспечивает высокое быстродействие расчетов таких характеристик на персональных ЭВМ и может применяться для большого числа радиолиний, что важно при радиосвязи с подвижными объектами.

Таблица 3

**Характеристики точности расчета МПЧ, МНЧ для трасс Москва–Диксон,  
Москва–о.Хейса в различные месяцы и часы суток**

Месяц	МДВ,ч	Мод 1F2						Мод 2F2					
		$\delta_0$	$\delta_{g1}$	$\delta_{g2}$	$\sigma_0$	$\sigma_{g1}$	$\sigma_{g2}$	$\delta_0$	$\delta_{g1}$	$\delta_{g2}$	$\sigma_0$	$\sigma_{g1}$	$\sigma_{g2}$
Январь	07–20	7	2	–2	10	8	8	25	6	–1	16	10	10
	21–06	44	46	42	15	15	16	57	46	40	30	27	26
Март	05–21	9	7	2	8	7	7	18	8	3	10	6	6
	22–04	17	17	13	5	4	5	9	7	2	10	8	7
Июнь	00–23	7	7	3	4	4	4	17	9	9	4	4	4

**Особенности применения данных ВЗ для оперативных прогнозов МНЧ при интенсивных случайных неоднородностях ионосферы.** Из таблицы 1 видно, что использование реальных данных станций ВЗ, полученных в период измерений на среднеширотных трассах НЗ, позволяет практически исключить систематические ошибки расчета МНЧ, МПЧ. Точность расчетов МНЧ по реальным данным ВЗ оценивалась и для массива месячных медиан МНЧ1F2, 2F2, полученных на субполярных трассах Москва–Диксон и Москва–остров Хейса. С этой целью использовались месячные медианы параметров ионосферы со станций Москва, Салехард, Югорский Шар, Диксон, остров Хейса, Архангельск, расположенных в окрестности экспериментальных трасс.

Необходимые в расчетах МНЧ параметры ионосферы задавались на основе модели [7], скорректированной по данным ВЗ тремя способами:

1) умножением критических частот слоя F2 на коэффициенты, определяемые отношениями модельных и экспериментальных частот в максимуме их суточного хода на станции ВЗ Москва;

2) средневзвешенными коэффициентами коррекции параметров модели ионосферы, где корректирующие коэффициенты определялись для каждой из трех опорных точек трассы по отношениям модельных и экспериментальных параметров на каждой из станций ВЗ, взятым с весами, обратно пропорциональными удалениям станций ВЗ от этих точек;

3) поправками к модельным параметрам ионосферы, полученными с учетом зависимостей пространственных коэффициентов корреляции этих параметров от гелио-геофизических условий.

**Таблица 4**

**Характеристики точности методов расчета МНЧ (в МГц)**

Метод	$\langle \delta_{M2} \rangle$	$\sigma_2$	$\langle \delta_{M3} \rangle$	$\sigma_3$
Равных скачков	$-3,1 \pm 0,6$	1,9	$-3,9 \pm 0,6$	2,1
Равных МПЧ	$-0,7 \pm 0,3$	0,9	$-0,9 \pm 0,3$	0,9
Равных МПЧ с учетом КМН	$+0,1 \pm 0,3$	0,9	$-0,2 \pm 0,3$	1,0

Три варианта задания параметров ионосферы в сочетании с расчетом МНЧ по изложенным выше методам дает три способа оперативного прогноза (ОП) МНЧ. Оценивалась и точность официального долгосрочного

прогноза (ДП) *МПЧ* [8]. В таблице 5 приведены средние разности измеренных и рассчитанных *МНЧ*  $\langle \delta_M \rangle$  (в МГц) для различных часов суток, исключая ночные аномалии *МНЧ* (рис. 1, таблица 5), а также среднеквадратичные отклонения  $\sigma_M$  отдельных разностей от  $\langle \delta_M \rangle$  (в МГц).

Таблица 5

Характеристики точности вариантов ОП *МНЧ* F2, основанных на данных ВЗ, для трасс Москва–Диксон и Москва–остров Хейса

Прогноз	Мод 1F2						Мод 2F2					
	Январь		Март		Июнь		Январь		Март		Июнь	
Способ	$\delta_M$	$\sigma_M$										
ОП1	1,4	3,9	2,4	1,3	0,5	0,9	0,5	2,8	1,8	1,8	1,4	0,6
ОП2	5,4	2,7	2,6	1,5	0,1	0,9	3,0	1,7	0,8	0,9	0,4	0,5
ОП3	5,2	2,5	2,5	1,3	0,0	0,8	3,0	1,7	0,7	0,8	0,4	0,5
ДП [8]	5,2	2,0	5,4	1,3	2,4	0,7	–	–	–	–	–	–

Согласно таблице 5 расчет *МНЧ* по оперативным данным высокоширотных станций ВЗ может приводить к систематическим ошибкам, существенно превышающим ошибки таких расчетов для среднеширотных трасс (см.  $\langle \delta_e \rangle$  таблица 1). Для января ошибки ОП2, ОП3 сравнимы с ошибками ДП, но существенно уменьшаются летом. Однако при решении различных задач ОП НЗ (прогноз *МНЧ* вперед по времени и пересчет *МНЧ* с трассы на трассу) систематические ошибки определения *МНЧ* в тех же условиях практически отсутствуют. Отметим, что простой вариант ОП1 по данным одной среднеширотной станции ВЗ в январе точнее более сложных вариантов ОП2, ОП3 по данным 6-ти станций.

Причина обнаруженных противоречий по сравнению с результатами ОП ВЗ на среднеширотных трассах заключается в сильной случайной неоднородности зимней полярной ионосферы. Эффект систематических превышений измеренных *МНЧ* над рассчитанными виден с помощью таблице 4, где введена положительная поправка к средней критической частоте слоя F2  $\langle f_o \rangle$ , измеренной методом ВЗ, учитывающая влияние случайных крупномасштабных неоднородностей (КМН) среднеширотной ионосферы [9]. На высокоширотных трассах зимой в период высокой активности Солнца эта поправка существенно выше, чем на среднеширотных, не только ночью, но и днем. В равноденствие случайные КМН менее интенсивны, чем зимой, а летом на высоких широтах их интенсивность существенно меньше, чем в другие сезоны.

Необходимо обратить внимание еще на одну причину систематических ошибок пересчета данных ВЗ в *МНЧ* НЗ, обусловленную занижением измеряемых при ВЗ  $\langle f_o \rangle$  по сравнению с реальными средними значениями критических частот ионосферы с интенсивными случайными КМН. Для понимания этого эффекта учтем три фактора:

1) рост амплитуды перемещающихся квазипериодических возмущений  $N$  с ростом высот отражения радиоволны (рабочих частот ВЗ) [10];

2) фокусировку (усиление) поля радиоволн при отражении от вогнутой квазизеркальной поверхности равных  $N$  и дефокусировку (ослабление) поля для выпуклой поверхности (см. рис. 2);

3) уменьшение  $f_o$  при увеличении высот максимума  $N$   $h_m$ , когда вогнутое зеркало усиливает поле радиоволн на поверхности Земли и обеспечивает их регистрацию на ионограмме ВЗ вплоть до  $f_o$ ;

4) возрастание  $f_o$  при уменьшении высот максимума электронной концентрации  $h_m$  для выпуклого зеркала, когда дефокусировка радиоволн уменьшает вероятность регистрации отражений с  $f_v \approx f_o$ , что, на наш взгляд, ошибочно интерпретируется в руководствах по ВЗ ионосферы как "поглощение вблизи уровня отражения".

Таким образом, при регистрации полной ионограммы ВЗ  $f_o$  занижены по сравнению с  $\langle f_o \rangle$  из-за локального подъема слоя F2 над станцией ВЗ, а критические частоты, превышающие  $\langle f_o \rangle$  при опускании слоя, часто регистрируются как  $f_o < \langle f_o \rangle$  из-за ослабления радиоволн с  $f_v \approx f_o$ . Поэтому при ВЗ ионосферы с интенсивными крупномасштабными (КМН) критические частоты в среднем занижаются по сравнению с реальными  $\langle f_o \rangle$ . В то же время, при НЗ для  $f \approx \text{МНЧ}$  радиоволны отражаются от областей ионосферы с повышенными относительно среднего фона значениями  $f_o$ .

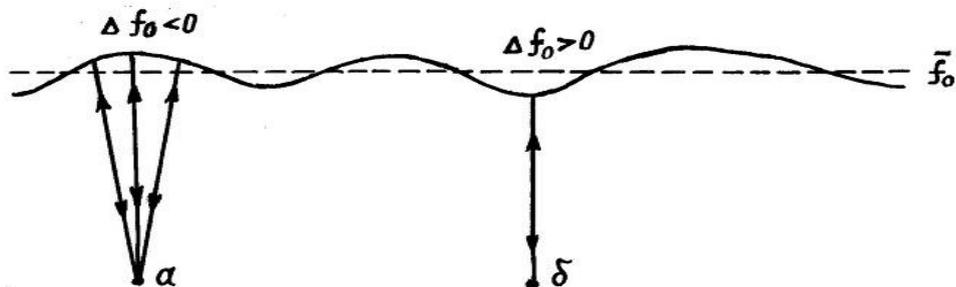


Рис. 2. Фокусировка (а) и дефокусировка (б) радиоволн при ВЗ ионосферы с крупномасштабными неоднородностями плотности электронов

**Заключение.** В итоге выявлены две причины систематических превышений измеренных МНЧ над рассчитанными, возрастающих от лета к зиме с ростом интенсивности случайных КМН. В средних широтах обнаруженные эффекты выражены гораздо слабее, чем в высоких, и применение оперативных данных ВЗ повышает точность расчетов МПЧ, МНЧ. Отметим, что коррекция модели ионосферы по данным среднеширотной станции ВЗ (ОП1), для которой в полдень эффект занижения медиан  $f_o$  не проявляется, согласно таблице 3 уточняет расчет МНЧ по сравнению с другими вариантами ОП ВЗ именно в условиях сильной неоднородности ионосферы зимой.

Таким образом, учет рассмотренных выше эффектов позволяет качественно объяснить важные закономерности применения данных ВЗ ионо-

сферы в прогнозах *МНЧ* наклонного распространения радиоволн. Поэтому для высокоширотных трасс *МНЧ* целесообразно прогнозировать по данным НЗ ионосферы, либо по данным среднеширотных станций ВЗ, что особенно важно зимой при высокой активности Солнца.

### Библиографический список

1. Агарышев А.И. Системы коротковолновой радиосвязи с подавлением многолучевости сигнала: монография / В.А. Агарышев, П.М. Алиев, К.И. Труднев; под ред. А.И. Агарышева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 2009. – 160 с.
2. Агарышев А.И. Прогнозирование параметров распространения радиоволн радиоволн. Учет ионосферы // А.И. Агарышев, В.А. Агарышев, А.М. Симоненко. Монография. – LAMBERT Academic Publishing. – 123 с.
3. Агарышев А.И. Анализ результатов измерений и расчётов МПЧ для субполярных трасс / А.И. Агарышев, Н.Н. Дашеев, В.М. Лукашкин и др. // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. – Новосибирск: Наука. – 1994. – Вып. 102. – С. 73–80.
4. Агарышев А.И. Возможности совершенствования прогнозов МПЧ при учете влияния регулярной и случайной неоднородности ионосферы / А.И. Агарышев // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. – Новосибирск: Наука, 1995. – Вып. 103. – С. 186–193.
5. Агарышев А.И. Возможности краткосрочного прогноза характеристик декаметровых радиоволн с использованием данных наклонного зондирования ионосферы / А.И. Агарышев // Международная конференция 100-летие начала использования электромагнитных волн для передачи сообщений и зарождения радиотехники. 50-я научная сессия, посвященная Дню Радио. Тезисы докладов. Часть II. – Москва. – 1995. – С.38–39.
6. Куркин В.И. О прогнозировании модовой структуры КВ сигналов на среднеширотной трассе 4200 км / В.И. Куркин, А.И. Орлов, М.Д. Пежемская, Л.В. Чистякова // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. – М.: Наука. – 1986. – Вып.75. – С. 164–172.
7. A simple HF propagation method for MUF and field strength. Document CCIR 6/288 / CCIR XVIth Plenary Assembly. – Dubrovnic, 1986. – 34 p.
8. Чернышов О.В. Прогноз максимальных применимых частот ( $W=10$ ) / О.В. Чернышов, Т.Н. Васильева. – М.: Наука. – 1973. – 386 с.
9. Агарышев А.И. Оценка влияния крупномасштабных неоднородностей ионосферы на максимально применимые частоты распространения радиоволн / А.И. Агарышев // Радиотехника. – 1993. – №4. – С. 74–76.

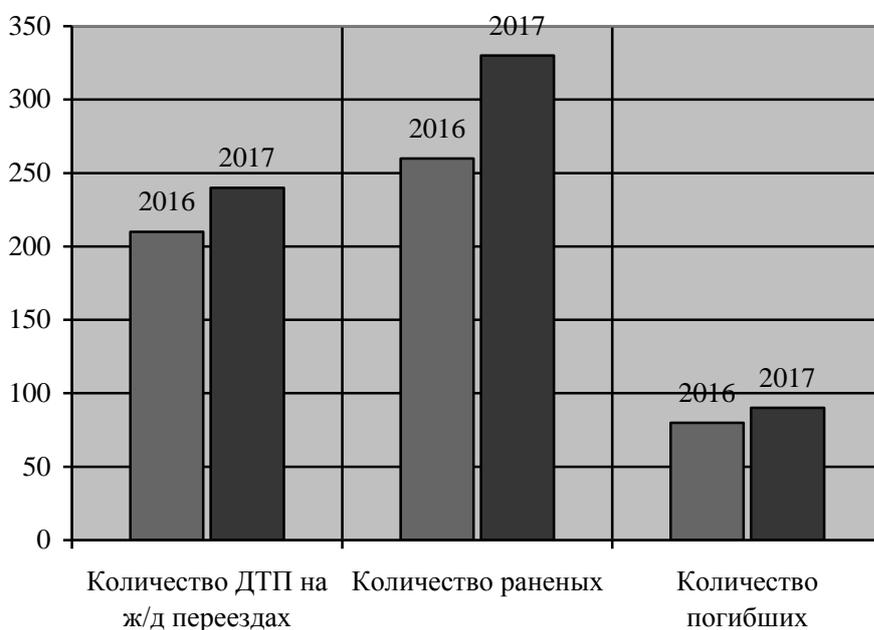
## МОНИТОРИНГИ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ПЕРЕГОНАХ И ПЕРЕЕЗДАХ

Горшков А.С.  
ФГБОУ ВО ИрГУПС  
[metatron\\_medd@mail.ru](mailto:metatron_medd@mail.ru)

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема разработки информационной системы предотвращения ДТП на железной дороге на основе нейросетевых технологий. Обсуждается возможность применения такого рода систем, позволят детектировать посторонние объекты на путях и принимать решения по предотвращению соответствующих инцидентов. Рассмотрен опыт использования похожих систем, имеющийся у корпорации Nvidia (автомобильные автопилоты). Обсуждаются другие вопросы из этой сферы.

**Ключевые слова:** железнодорожный переезд, авария, распознавание образов, нейронные сети.

Ежегодно в России происходит огромное количество дорожно-транспортных происшествий с участием железнодорожного транспорта. По данным ГИБДД за 2017 год произошло 242 ДТП, в них 317 человек получили травмы, 94 участника погибло. Что превышает показатели за 2016 год (Таб. 1).



Таб. 1. – Сравнительные данные ДТП за 2016 – 2017 года

Одной из основных причин нарушения дорожного движения является человеческий фактор. Спешка, желание проскочить или вандализм. Существует множество примеров подобного рода аварий – авария в Ханты-

Мансийском автономном округе (2017 год), в Амурской области (2017 год), Подмосковье (2017 год) и др.

Так, авария в Белгородской области 31 июля 2015 года, когда произошло столкновение водителя КАМАЗа с локомотивом пассажирского поезда. В результате за медицинской помощью обратились 20 человек, четверо были госпитализированы. Суд Белгорода приговорил водителя к двум годам ограничения свободы, а так же обязал выплатить 600 тысяч в качестве компенсации морального вреда помощнику машиниста получившему серьёзные травмы.

Простые методы борьбы с ДТП на перегонах и переездах сегодня устарели и чаще всего игнорируются участниками дорожного движения, что сводит на нет все попытки обезопасить движение.

В связи с этим представляет интерес обеспечение безопасного проведения технического процесса, а так же минимизация ущерба для ОАО «РЖД», и для остальных участников дорожного движения на основе современных технологий.

В настоящее время способы борьбы с ДТП на железной дороге весьма примитивны. Это дорожные знаки оповещения, звуковые сигналы на самих переездах, так и подаваемый сигнал приближающегося поезда, шлагбаумы, а так же светофоры (Рис. 2).



Рис. 2. Переезд, оснащённый шлагбаумом и светофором

Иногда люди игнорируют дорожные знаки, например, ввиду большого водительского стажа, из-за невнимательности и т.п., что ведёт к весьма плачевным последствиям. Подобная ситуация происходит и со звуковыми сигналами. Например, играющая в машине громкая музыка может замаскировать звуковую сигнализацию, что не позволяет водителю верно оценить обстановку. Шлагбаумы и сигналы светофора обозначают о приближающемся поезде, но статистика показывает, что водители из-за своей

спешки порой проезжают на красный, либо пытаются проскочить под шлагбаум.

Факт роста числа ДТП на переездах позволяет сделать вывод о том, что традиционные средства обеспечения безопасности не в полной мере справляются с задачей информирования водителей. Как следствие, необходимо менять подход к обеспечению безопасности на переездах.

Перспективным способом решения данной проблемы на сегодняшний день является применение программно-аппаратных комплексов, которые позволили бы в автоматическом режиме распознавать и классифицировать объекты на переездах.

Такая система состоит из видеокамеры и компьютера с соответствующим программным обеспечением. В основу работы программного обеспечения следует положить технологию искусственного интеллекта, которая позволяет анализировать информацию и на основании полученных данных принимает решение о дальнейших действиях. Это информирование, игнорирование, либо экстренное принятие необходимых мер.

Подобные системы уже зарекомендовали себя на практике. Например, в устройствах автоматизированного пилотирования автомобилей. Важное место в их ряду занимают технологии, основанные на искусственных нейронных сетях. Так компания Nvidia использует систему с 5 уровнем автопилота, что позволяет водителю не принимать участие в управлении автомобилем. Система использует камеры, программно-аппаратный комплекс, включающий в себя софт для работы с автомобилем и обученную нейронную сеть (Рис.3).



Рис. 3. Распознавание объектов

Методика распознавания объектов заключается в том, что входной кадр изображения первым делом попадает в сеть слоёв. Каждый слой выполняет функцию фильтра (разного размера) и имеет различную сложность распознавания. Все фильтры образуют набор признаков, которые классифицируют кадр (Рис.4).

Помимо автомобилей, часть современных городов уже начали вводить системы распознавания, идентификации. Одной из таких стран является Китай. Они используют весь комплекс для мониторинга, идентификации и распознавания. Комплекс используется, как в жилых зонах для про-

тиводействия нарушениям, так и для мониторинга автомобильных дорог, включая железнодорожный транспорт.

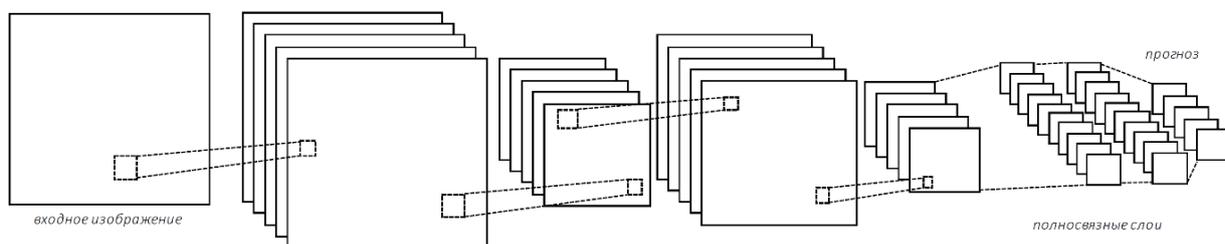


Рис.4. Распознавание изображения

Для обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте предлагается введение комплекса, способного в автоматическом режиме анализировать текущую обстановку и предвосхищать ее развитие.

Для этого непосредственно камеры устанавливаются на переездах, для мониторинга информации. Сам комплекс размещается в Data-centr'e, где на сервере размещена нейронная сеть, для анализа и распознавания объекта. Пример установки камеры и распознавания показана на (Рис.5).

При непосредственной угрозе, нейронная сеть передает сигнал машинисту о нахождении объекта на переезде, либо диспетчеру для принятия решения.



Рис.5. Распознавание объекта

Вывод: Предполагаемый способ борьбы с ДТП на перегонах и переездах позволит минимизировать риски, снизить количество ДТП, что является следствием повышения надёжности технического процесса.

#### Библиографический список

1. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учебное пособие для вузов. – Санкт-Петербург: Изд-во ИТМО, 2008. – 195.
2. Электронный ресурс. <http://stat.gibdd.ru> Официальная статистика ГИБДД

## КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЕКОДЕРА ПРИ НАЛИЧИИ В КАНАЛЕ ПОМЕХ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ

Петров И.С., Засенко В.Е. - научный руководитель

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

reirem@istu/edu

Целью работы является рассмотрение особенностей сверточных кодов и декодера Витерби, изучение и сравнение типов сверточных кодов и декодирования по алгоритму Витерби, на основании чего требуется выбрать наиболее оптимальные сверточные коды и сделать аппаратную реализацию декодера Витерби и кодера сверточных кодов.

Двоичные сверточные коды – это коды, исправляющие ошибки, которые используют непрерывную или последовательную обработку информации короткими фрагментами (блоками) [1].

Термин «сверточный код» происходит от того, что результат кодирования на выходе кодера образуется как свертка кодируемой информационной последовательности с импульсной характеристикой кодера [2].

Сверточные коды основаны на преобразовании входной последовательности двоичных символов в выходную последовательность двоичных символов, у которой на каждый символ входной последовательности формируется более одного символа выходной последовательности [1-3].

Сверточное кодирование удобнее всего изучать, анализируя работу кодирующего устройства [4].

В общем случае сверточный кодер состоит из  $K$ -разрядного регистра сдвига и  $n$  сумматоров по модулю два. Значение  $K$  называют памятью кода. Величина  $R$  – это число символов на выходе кодера, соответствующих  $n$  информационным символам, поступившим на вход кодера за один такт [5].

Разность  $n-r$  называется числом проверочных символов. Значения  $R$  выходных кодовых символов равны линейным комбинациям соответствующих информационных символов. Отсюда выполняется свойство линейности сверточных кодов. На каждом такте работы на вход кодера подаётся  $n$  информационных символов и считывается  $R$  символов, предназначенных для передачи по каналу связи выходных символов. Способ подключения каждого сумматора к регистру отображается соответствующим порождающим полиномом.



По результату подсчета ошибок составлена таблица 1, для кодов  $\frac{1}{2}$  и  $\frac{1}{6}$ , при разных кратностях ошибок.

Как видно повышение  $K$  и  $R$ , приводит к большим выигрышам от кодирования при большей кратности ошибок. Критериями кодера является меньшее число  $R$  и  $K$ , т.к. приводит к усложнению схемы (увеличению числа элементов т.е. цены), по этому нужно стремиться к их уменьшению. Следовательно, необходимо делать выбор  $K$  и  $R$  согласно урону помех, более дорогие устройства с более сложными кодами позволят работать при большем уровне помех.

Таблица 1 – Исследование выигрыша от использования кодов с большими  $K$  и меньшими скоростями, при разных кратностях ошибок.

Тип кода	Число передаваемых бит по каналу	Число сгенерированных кратных ошибок	Кратность ошибок	Число допущенных ошибок при декодировании	Процент искаженных битов в канале в следствии помех	Процент ошибок при декодировании	Выигрыш от кодирования в дб
$R = 1/2,$ $K = 3$	2855	58	1	4	0.02032	0.0014	11.62
			2	22	0.04063	0.00771	7.22
			3	132	0.06095	0.04623	1.2
$R = 1/6,$ $K = 6$			1	24	0.02032	0.00841	13.83
			2	19	0.04063	0.00665	7.86
			3	26	0.06095	0.00911	8.25
	4	22	0.08126	0.00771	13.24		
			5	11	0.10158	0.00385	14.21
			6	36	0.12189	0.01261	10.09

Написаны тесты на языке SystemVerilog, для проведения исследования и симулирования работы устройства в условиях помех и без. Сделаны выводы о том каким образом лучше выбирать параметры светочных кодов: понижение скорости  $V$  кода имеет смысл до тех пор, пока не использованы оптимальные полиномы, для дальнейшего улучшения имеет смысл увеличивать  $K$  (глубину декодирования), в следствии увеличения  $K$ , можно добиться большей помехозащищенности и при более большей скорости, но за счет усложнения устройства (числа элементов необходимых для синтеза устройства). При увеличении  $K$  в первую очередь следует и использовать более оптимальные коды, чтобы обеспечить наилучшую помехозащищённость. Оптимальные полиномы являются те которые обеспечивают наибольшее свободное расстояние, свободное расстояние которое дает полином можно определить если дополнить полином по бокам 0 и посчитать его вес.

### **Библиографический список**

- 1 Р. Морелос-Сарагоса. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
- 2 Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576 с.
- 3 М. Вернер. Основы кодирования. Учебник для вузов/ М.: Техносфера, 2004. – 288 с.
- 4 Никитин Г.И. Сверточные коды: Учебное пособие. – :СПбГУАП. СПб., 2001. – 80 с.
- 5 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2033. – 1104 с.
- 6 Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 240 с.
- 7 Быков В. В., Меньшиков К. В. Помехоустойчивые коды цифрового телевидения. Технологии информационного общества, 2013, №9.
- 8 Золотарёв В. В., Овечкин Г. В. Помехоустойчивые кодирование. Методы и алгоритмы: Справочни/ Под. ред. Чл. – кор. РАН Ю. Б. Зубарева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 126 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ В НЕСОГЛАСОВАННОМ ФИДЕРЕ

Жуйков А.С., Просвирякова Л.В. – научный руководитель  
ФГБОУ ВО “ИРНИТУ”  
reirem@istu.edu

Согласованию источника сигнала и нагрузки, которой, как правило, в антенной технике служит антенна, отводится очень важная роль. Так как несогласованность импедансов приводит к появлению отражённых волн, и как следствие потерям в фидерном тракте, что негативно сказывается как на качестве сигнала, так и при определённых обстоятельствах выходам из строя усилителя выходного каскада.

Как правило, это достигается путём использования фидерной линии, антенны и источника сигнала с идентичными параметрами волновых сопротивлений. Однако на практике не всегда есть возможность сделать антенну с необходимым волновым сопротивлением, при этом приходится применять один из методов согласования антенны с фидерной линией.

Помимо этого бывают случаи, когда в наличии отсутствует фидер с необходимым волновым сопротивлением или же источник сигнала и нагрузка имеют различные от стандартных номиналов характеристики волновых сопротивлений.

Электромагнитная волна движется в линии от источника к нагрузке. Такая волна называется падающей. Если сопротивление нагрузки  $Z_n$  равно волновому сопротивлению линии  $Z_0$ , то вся энергия падающей волны поглощается нагрузкой. В любом другом случае ( $Z_n$  не равно  $Z_0$ ) в нагрузку переходит только часть энергии, а остальная отражается от нее и движется по линии назад к источнику сигнала. Эта волна называется отраженной.[1]

Если  $Z_n = Z_0$ , то амплитуда тока вдоль линии постоянна, если  $Z_n \neq Z_0$ , то отраженная волна накладывается на падающую, возникает интерференция, в результате чего в линии имеет место неравномерное распределение тока.

Если линия короткозамкнута на конце или полностью разомкнута, то происходит полное отражение падающей волны, и минимумы в распределении тока достигают нуля – линия не передает активную мощность.

Мерой согласования линии с нагрузкой служит коэффициент стоячей волны КСВ (в англоязычной литературе SWR):

$$КСВ = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_{отр}}{P_{подв}}}}{1 - \sqrt{\frac{P_{отр}}{P_{подв}}}} \quad (1)$$

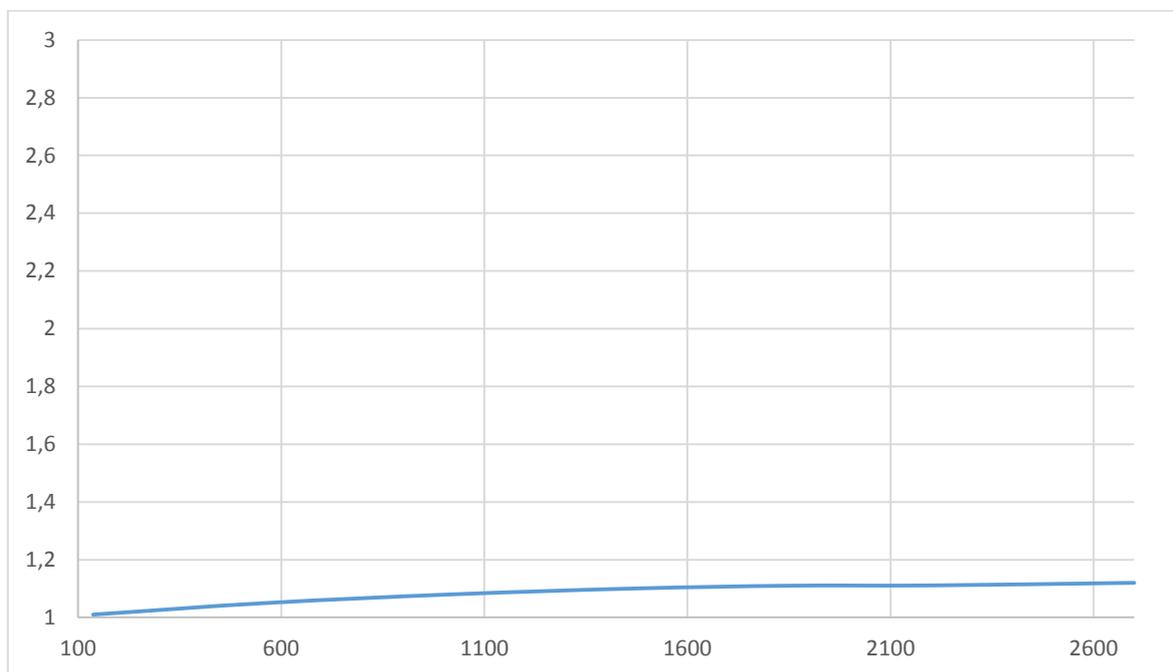
где  $P_{подв}$  и  $P_{отр}$  – мощность падающей и отраженной волн соответственно.

КСВ является показателем рассогласования линии, то есть мерой, показывающей, насколько отличается импеданс нагрузки линии  $Z_n$  от ее волнового сопротивления  $Z_0$ .[2]

Было изучено как изменится параметр КСВ при использовании несогласованного фидера в реальных условиях. Измерения проводились КСВ-метром N1201SA, который позволяет измерять КСВ в диапазоне от 137 МГц до 2,7 ГГц, что является достаточным для оценки влияния несогласованного фидера на данный параметр.

В силу того, что данный параметр на разных антеннах будет уникальным и резонанс будет на разных частотах, то в качестве окончательного элемента использовалась согласованная нагрузка.

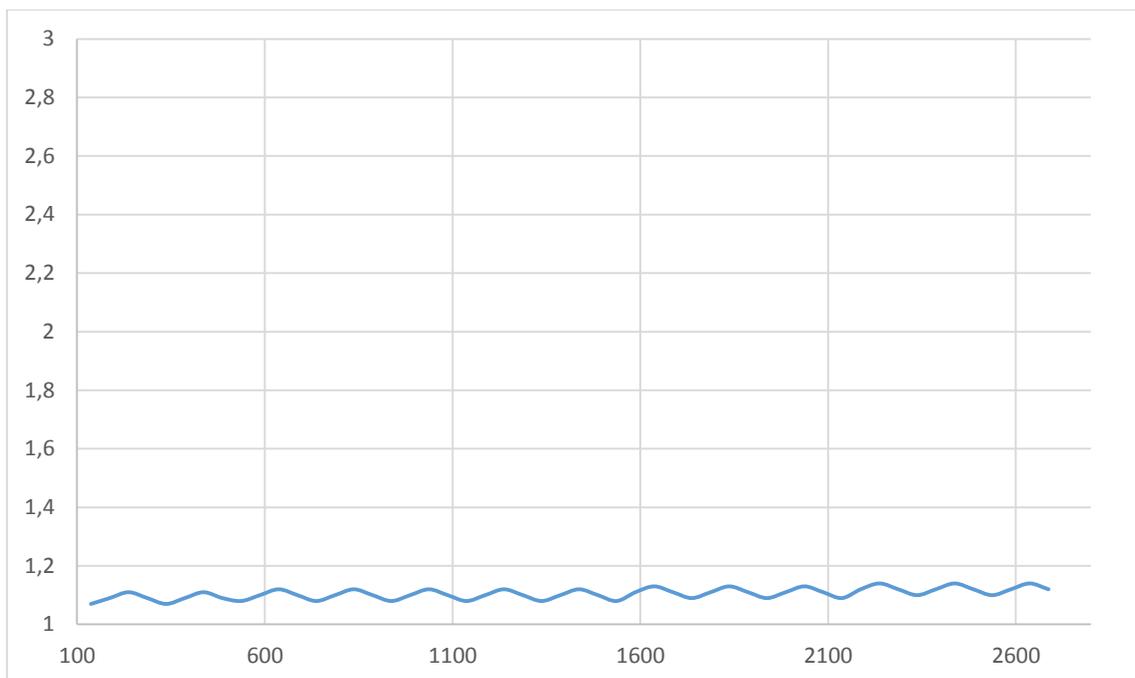
Изначально было проведено исследование без участия фидерной линии, т.е. согласованная нагрузка подключается напрямую через переходник к измерительному прибору.



**Рисунок 1 – Значения КСВ без фидерной линии**

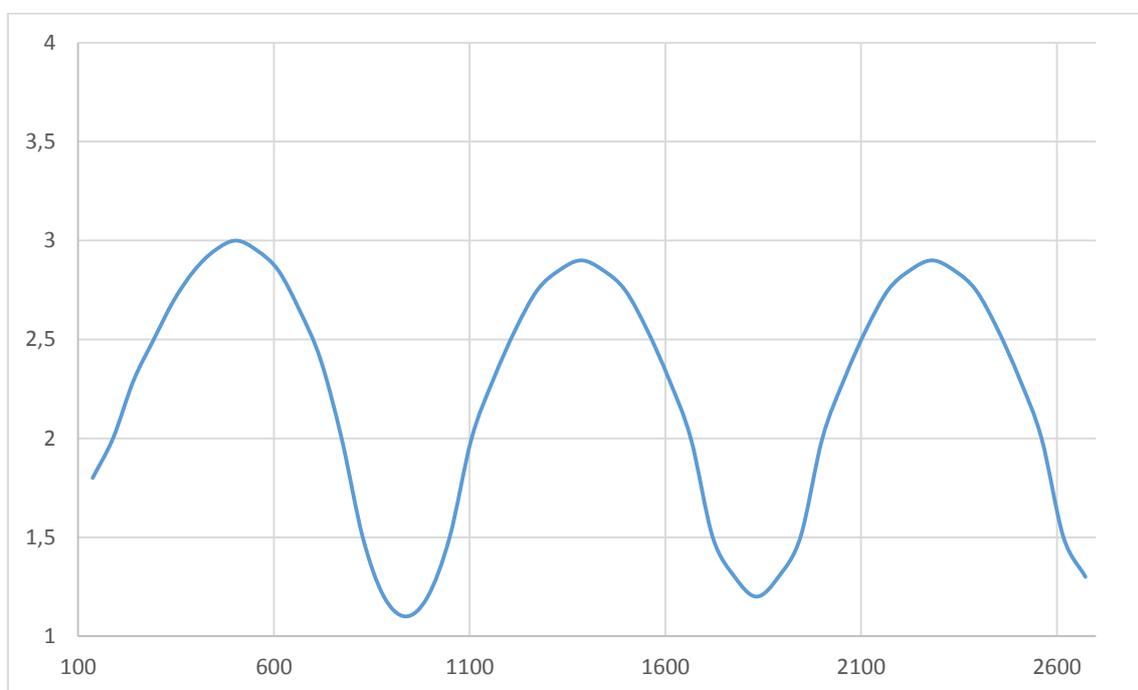
По рисунку 1 видно, что с повышением частоты параметр КСВ увеличивается практически линейно, это объясняется неидеальностью согласованной нагрузки. Будем считать, данные показания эталонными.

Далее проводились измерения при использовании фидерной линии с волновым сопротивлением 50 Ом и длиной 0,63 м. График зависимости КСВ от частоты представлен на рисунке 2.



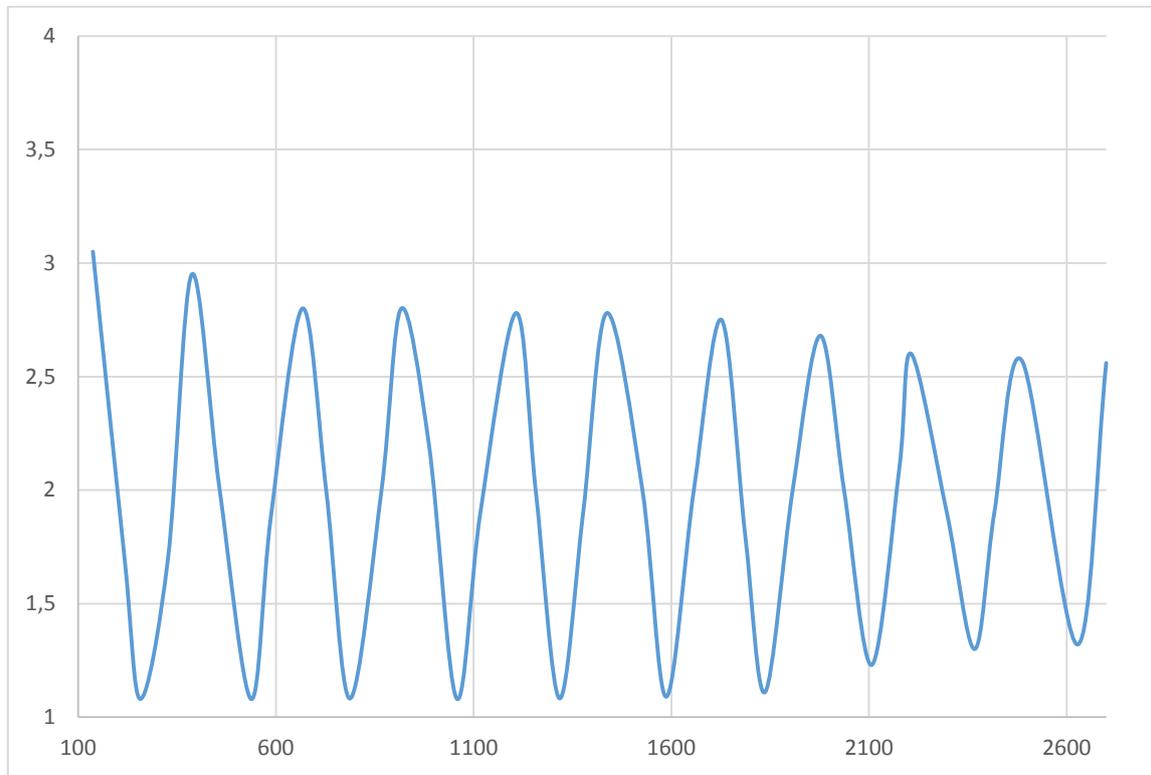
**Рисунок 2 – Значения КСВ с фидерной линией 0,63 м и волновым сопротивлением 50 Ом**

КСВ в фидерной линии с импедансом 50 Ом отличен от эталонного значения, представленным на рисунке 1. На рисунке 2 отчётлива видна “болтанка” с некой периодичностью и амплитудой вблизи тех значений, что были получены при измерении параметра без фидерной линии.



**Рисунок 3 – Значения КСВ с фидерной линией 0,135 м и волновым сопротивлением 75 Ом**

Следующие измерения были произведены при использовании фидерной линии с волновым сопротивлением 75 Ом и длиной 0,135 м. График зависимости КСВ от частоты представлен на рисунке 3. По графику видно, что амплитуда периодических колебаний значительно увеличилась, однако с увеличением частоты она незначительно начала уменьшаться.

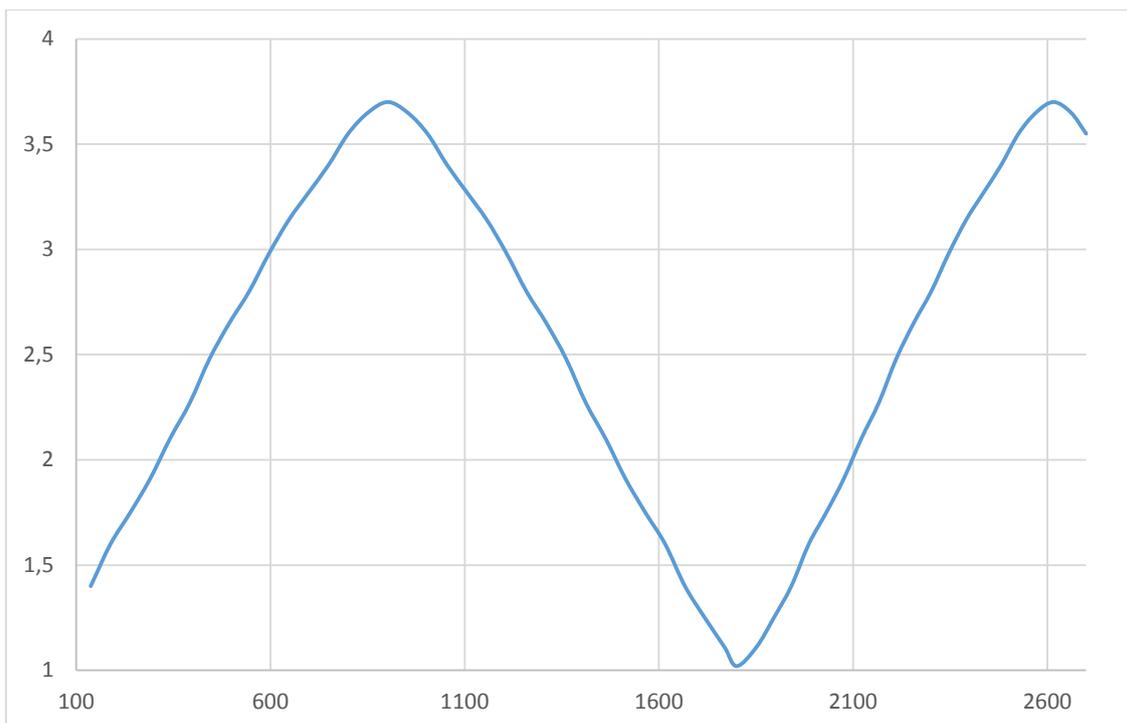


**Рисунок 4 – Значения КСВ с фидерной линией 0,495 м и волновым сопротивлением 75 Ом**

Затем были произведены измерения при использовании фидерной линии с волновым сопротивлением 75 Ом и длиной 0,495 м. График зависимости КСВ от частоты представлен на рисунке 4.

Аналогичная картина, что и на рисунке 3, однако частота колебаний значительно увеличилась.

Следом были проведены измерения при использовании фидерной линии с волновым сопротивлением 100 Ом и длиной 0,07 м. График зависимости КСВ от частоты представлен на рисунке 5.



**Рисунок 5– Значения КСВ с фидерной линией 0,07 м и волновым сопротивлением 100 Ом**

По рисунку 5 видно, что наблюдаемая картина похожа на те, что были в предыдущих графиках. Однако с ростом волнового сопротивления увеличивается и КСВ, но периодичность колебаний и характер идентичен.

При неравенстве сопротивления нагрузки и волнового сопротивления кабеля вдоль линии образуются стоячие волны и только часть энергии уходит через антенну в пространство. Всегда, когда есть несоответствие между сопротивлением линии передачи и нагрузкой, происходит отражение. Если падающий сигнал имеет одну частоту, то этот сигнал будет накладываться на отражённые волны, и возникнет стоячая волна.

КСВ также можно рассчитать, зная нагрузочное сопротивление и волновое сопротивление линии, делением большего значения на меньшее. В нашем примере  $100\Omega / 75\Omega = 1,333$ .

$$\text{КСВ} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} \quad (6)$$

$$\text{КСВ} = \frac{Z_{\text{нагр}}}{Z_0} \text{ или } \frac{Z_0}{Z_{\text{нагр}}} \quad (7)$$

Линия с идеально согласованной нагрузкой будет иметь КСВ равный 1. Это считается идеалом не только из-за того, что отражённые волны – это энергия не достигшая нагрузки, но из-за высоких значений напряжения и тока: высокое напряжение может создать пробой в изоляции, а высокий ток повредить проводники.

Также, линия с плохим КСВ выступает в качестве антенны. Это нежелательно: такая антенна может навести помехи на близлежащие провода. Интересно, что антенны – это открытые линии передач, и работают они при КСВ как можно ближе к 1. Это значит, что вся энергия излучается.[3]

Стоячие волны в резонансных точках короткозамкнутых или открытых линиях могут производить необычные эффекты. При длине линии  $\frac{1}{2}$  длины волны (и в кратное число раз больше) источник видит нагрузку как есть.

В обоих случаях на концах линии пучность для напряжения и узел для тока. Линия имитирует нагрузку – бесконечное сопротивление, источник видит обрыв. То же верно, если на линии короткое замыкание: в точке подключения источника будет минимум напряжения и максимум тока.

Однако, если длина линии равна четверти длины волны, источник при коротком замыкании на конце линии увидит обрыв, а оборванную линию будет видеть как короткозамкнутую. Линия разомкнута, а источник видит короткое замыкание и наоборот.

На этих частотах линия передачи ведёт себя как трансформатор сопротивления, превращая бесконечное сопротивление в нуль и наоборот. Это происходит только в резонансных точках, когда в линию укладывается четверть волны и кратно больше ( $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{7}{4}$ ,  $\frac{9}{4}$  ...), но если частота известна и неизменна, то это явление может быть использовано для согласования разных волновых сопротивлений друг с другом. [4]

Минимальная длина преобразователь импеданса соответствует  $\frac{1}{4}$  длины волны.

### Библиографический список

1. КСВ-метры, теория и практика [Электронный ресурс] / <http://www.radi-olamp.ru> Режим доступа – <http://www.radiolamp.ru/shem1/pages/250/>
2. Согласование в линиях передач [Электронный ресурс] / <http://poznayka.org> – Режим доступа – <http://poznayka.org/s89486t1.html>
3. Измерение КСВ [Электронный ресурс] / <http://www.chipinfo.ru> – Режим доступа – <http://www.chipinfo.ru/literature/radio/200305/p66-68.html>
4. К. Ротхаммель, Антенны – изд. Советское радио: Москва, 2001 г., 415 стр.

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТ СОЗДАНИЯ ГЕОПОРТАЛА ОЗЕРА БАЙКАЛ**

**Будовкина А. А., Ченский А.Г.** – научный руководитель  
ФГБОУ ВО “ИрНТУ”

aleksandrabudovkina@gmail.com

### ▪ Введение

Не вызывает никаких сомнений, что наиболее ценным ресурсом в современном мире является информация. Человек каждый день сталкивается с огромным ее потоком. Она может поступать как в качестве конечного результата какой-то деятельности или анализа, так и в качестве сырых данных, которые только предстоит обработать. Поэтому очень важно уметь работать с информацией эффективно. Методы работы с данными основаны на использовании различных информационных систем. Например, для хранения и правильной организации данных используют базы данных. А для лучшего восприятия той или иной информации используют программное обеспечение, позволяющее ее визуализировать. Быстрый и удобный доступ к информации разного типа в настоящее время эффективно обеспечивают веб-приложения.

Данные, которыми наполнен окружающий нас мир, зачастую разнородны и что бы их правильно интерпретировать, необходимо выделить какой-то тип информации, который сможет объединить все данные. Таким типом данных являются пространственные координаты или, по-другому, географическая информация. Географические данные составляют 80 % всей информации в мире, поэтому часто являются определяющими во многих сферах деятельности. В последние десятилетия во многих областях для лучшего использования информации стали внедрять ГИС – геоинформационные системы. Особенностью таких систем является наличие различных методов анализа, отвечающих специфике конкретной области, а также удобные средства ввода, хранения и представления данных.

На озере Байкал на протяжении нескольких лет сотрудники отдела информационно-измерительных систем Иркутского национального исследовательского технического университета (ИрНТУ) совместно с Лимнологическим институтом Сибирского отделения Российской Академии Наук (ЛИН СО РАН) и Всероссийским научно-исследовательским геологическим институтом им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, г.Санкт-Петербург) проводят комплексные гидроакустические исследования физических свойств водной среды, батиметрии поверхности дна и структуры донных отложений. с использованием различных измерительных комплексов и гидроакустической аппаратуры.[1,2] Объем данных, полученных в результате этих исследований, возрастает с каждым

годом. Поэтому для дальнейшего использования этих данных, их анализа, а также визуализации было принято решение создать геопортал озера Байкал. Геопортал – это картографический сервис, являющийся единой точкой доступа к разнородной информации, а также обладающий средствами ввода, хранения и анализа данных. Основными технологиями для создания геопортала можно назвать: хранилище информации или базы данных (БД), ГИС для предобработки данных и обеспечения необходимых картографических инструментов геопортала, сервер для обработки пространственных данных и веб-сервер, для обеспечения совместной работы всех компонентов, а также библиотеки для отображения карт, фреймворки, языки программирования, применяемые в веб разработке и для автоматизации повторяющихся операций (рис.1).[3]

### Технологии для создания геопортала

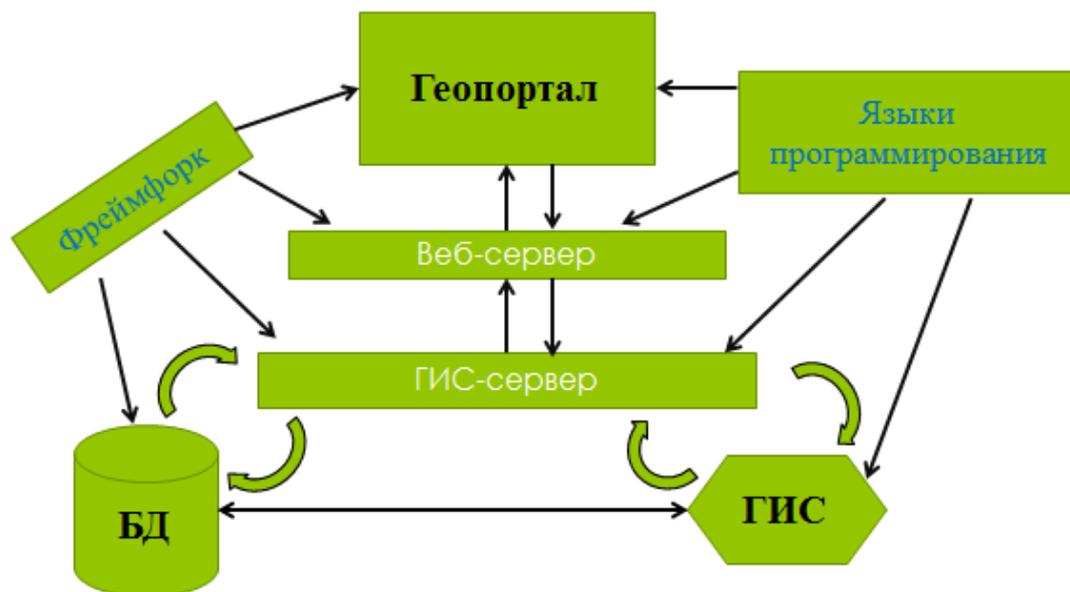


Рисунок 1 – Технологии для создания геопортала

Геоинформационные системы занимают не последнюю позицию в создании геопортала и обеспечении его работы.

- Анализ современных геоинформационных систем

В сфере ГИС существует довольно большое количество программ, как коммерческих, так и бесплатных. Наиболее распространенной среди коммерческих ГИС является «ArcGIS» компании «Esri», обладающая наиболее полным инструментарием для пространственного анализа, редактирования карт и визуализации данных. А среди свободного программного обеспечения в этой сфере выделяется QGIS – это ГИС с

открытым исходным кодом и распространяющаяся под лицензией GNU - General Public License, т.е. лицензией, которая предоставляет всем пользователям права свободно копировать, изменять и распространять программу. Инструментарий QGIS предоставляет множество функций и методов для просмотра данных, их исследования, редактирования и создания карт. Панель инструментов содержит достаточно большой спектр инструментов. Это инструменты векторизации (создание полигонов, линий, точек, перемещение и создание объектов, узлов), и растровые инструменты (перепроецирование, растеризация, привязка), инструменты по созданию и добавлению слоев (слои PostGIS, слои WMS/WMTS, слои WCS, слои WFS). А также инструменты расширения GRASS (измерение расстояний между строками, количество точек в полигонах, статистические вычисления), библиотека GDAL, инструменты геопроектирования и обработки геометрии (рис.2).[4]

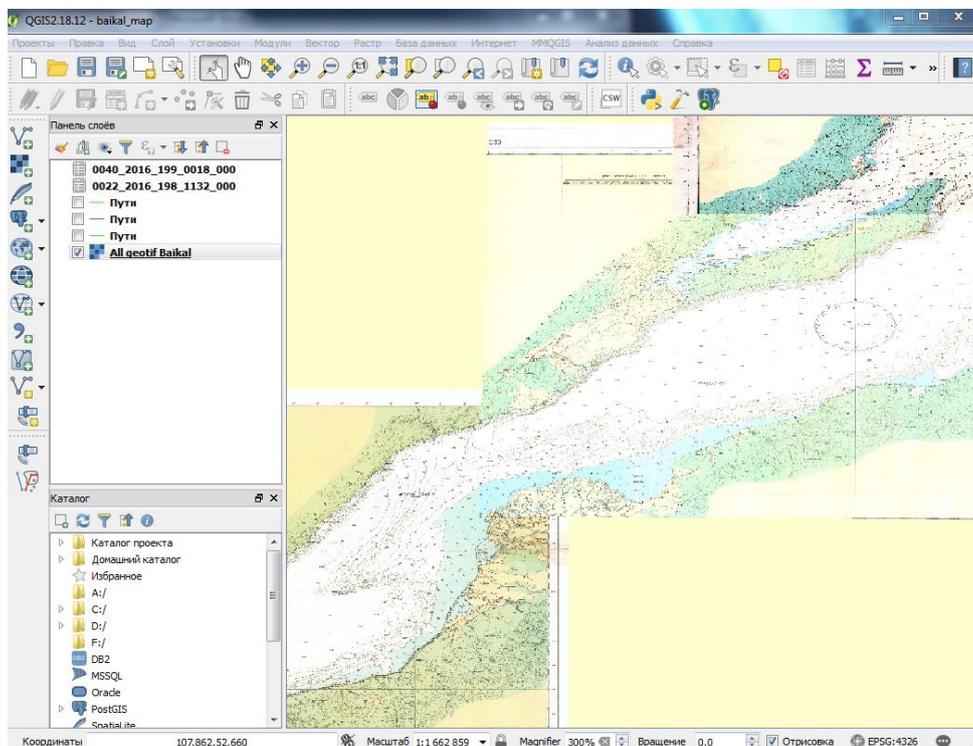


Рисунок 2 – Внешний вид ГИС – QGIS

Количество функций можно увеличивать, используя плагины и модули, которые можно загрузить из постоянно обновляющегося официального репозитория. Кроме того достоинством QGIS является возможность взаимосвязи ГИС и БД.

- Создание в QGIS треков проходов от полученных от профилографа “Knudsen”

Был проведен предварительный подбор необходимых программных средств и определены общие этапы по созданию проекта геопортала. На текущем этапе необходимо попробовать поработать с данными. Это поможет, как выяснить подходит ли программное обеспечение для решения поставленной задачи, так и обозначить первоначальные этапы работы. Для начала можно визуализировать часть исходных данных, а также создать тестовую базу данных, на которой можно отрабатывать и проверять совместную работу СУБД и ГИС. Этот процесс можно разбить на такие подзадачи:

- создание проекта в QGIS
- загрузка данных в проект
- создание БД в PostgreSQL
- связь данных проекта QGIS и БД

Для начала в QGIS создается проект, в который необходимо загрузить треки профилографа “Knudsen”, извлеченные из файлов с расширением .kea. Файлы представляют собой таблицу из более чем 40 столбцов, с различной информацией, такой как скорость звука в воде, дата, время, частота излучения сигнала, глубина и координаты (рис. 3).

	RawRoll	RawPitch	RawHdg	RawHveQu	RawHveTime	PosFmt	Lat/Y	Long/X	PosTime	BtSpd
1	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873177N	105.613322E	1468668736.748	000.0
2	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873202N	105.613307E	1468668739.748	000.0
3	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873217N	105.613296E	1468668741.748	000.0
4	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873234N	105.613278E	1468668744.748	000.0
5	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873243N	105.613270E	1468668746.748	000.0
6	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873259N	105.613253E	1468668749.748	000.0
7	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873262N	105.613242E	1468668751.749	000.0
8	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873279N	105.613222E	1468668754.749	000.0
9	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873289N	105.613210E	1468668756.749	000.0
10	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873304N	105.613187E	1468668759.749	000.0
11	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873317N	105.613171E	1468668761.749	000.0
12	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873331N	105.613147E	1468668764.749	000.0
13	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873340N	105.613129E	1468668766.749	000.0
14	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873347N	105.613106E	1468668769.750	000.0
15	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873349N	105.613084E	1468668772.750	000.0
16	000.00	000.00	000.00	0	0000000000.000	L/L	51.873362N	105.613059E	1468668774.750	000.0

Рисунок 3. Пример файла профилографа

Наиболее важными на данном этапе работы являются именно координаты, которые и являются пространственными данными. Так как файлы профилографа представлены в формате типа CSV, то и треки можно добавлять как слои CSV. При добавлении таких слоев можно задать столбцы, в которых хранятся координаты широты и долготы.

В процессе создания трека из такого слоя выяснилось, что QGIS не может определить координаты, представленные в виде: 51,880685 N, 105,550084 E. Существует несколько форматов записи географических координат. В данном случае буквы N и E обозначают, что это северная широта и восточная долгота, но запись тех же координат возможна и без букв: 51,880685, 105,550084. В таком виде и необходимо представить данные для QGIS. Важность приведения координат к форме необходимой для QGIS определяется тем, что именно при помощи данной геоинформационной системы в последующем будет происходить взаимосвязь базы данных и геопортала.

Однако из-за большого количества этих данных редактирование файлов вручную является нецелесообразным, поэтому для автоматизации действий был написан скрипт на языке программирования Python. Причиной выбора именно этого языка является то, что в QGIS есть консоль Python и поддержка скриптов на этом языке. Кроме всего прочего Python является динамично развивающимся, высокоуровневым, скриптовым языком программирования, с поддержкой модульности, для создания программ самого разного назначения.[5]

После применения скрипта к файлам, координаты из них были успешно загружены в QGIS на подложку, в качестве которой добавляется карта Байкала, являющаяся растровым изображением (рис. 4).

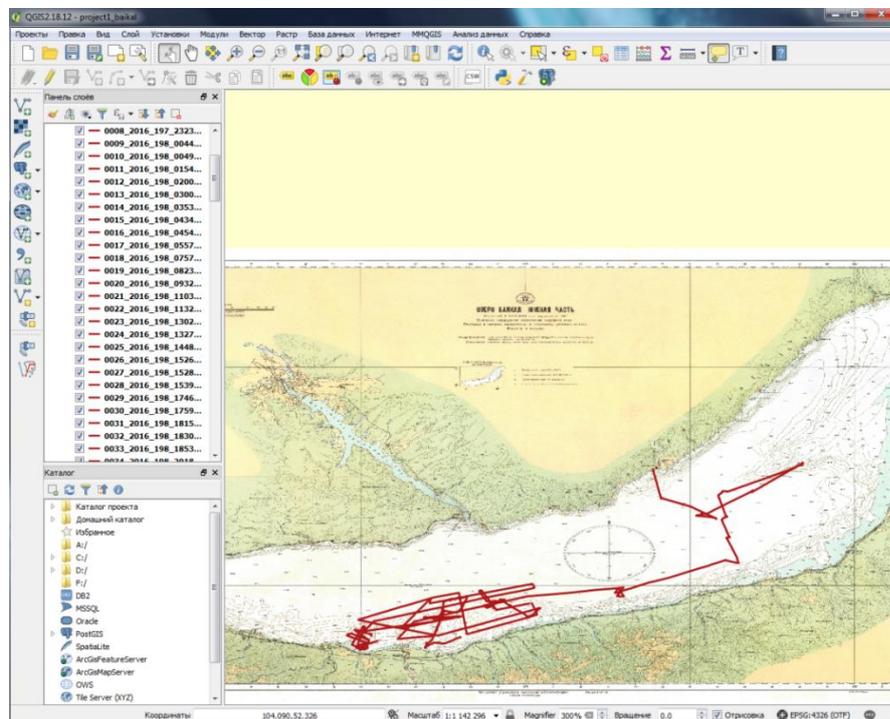


Рисунок 4 – Треки проходов на карте Байкала.

Для большей автоматизации действий программы создается вариант скрипта, в котором существует дополнительная возможность по обработке всех файлов в папке. Но в данном случае нет необходимости использования этого варианта, так как в QGIS есть дополнительная опция называемая “пакетная обработка”, которая позволяет применить какой-либо алгоритм или скрипт для выбранного количества файлов. Вариант программы изменения координат во всех файлах папки создан лишь как дополнительный инструмент обработки.

- Заключение

Геоинформационные системы являются важным инструментом в сфере сбора, хранения, анализа и визуального представления пространственных данных, а также информации связанной с ними. Базы данных и ГИС в процессе создания геопортала занимают наиболее важную позицию. Поэтому их дальнейшее изучение имеет большие перспективы.

### **Библиографический список**

1. Хлыстов О.М., Кононов Е.Е., Минами Х., Казаков А.В., Хабуев А.В., Губин Н.А., Ченский Д.А., Ченский А.Г., Сутурин А.Н. Рельеф и генезис подводной возвышенности Муринская банка (Южный Байкал) // География и природные ресурсы. 2016. № S5. С. 109-116.

2. Хлыстов О.М., Кононов Е.Е., Минами Х., Казаков А.В., Хабуев А.В., Губин Н.А., Ченский А.Г. Новые данные о рельефе подводного южного склона Южно-Байкальской котловины // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 59-65.

3. Козлов А. В., Назаров И. В., Алсынбаев К. С. Разработка геопортала центра космических услуг на основе открытых систем // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. Вып. 10. С. 140—148.

4. Руководство пользователя QGIS [Электронный ресурс]// Документация QGIS 2.18. – URL: [https://docs.qgis.org/2.18/ru/docs/user\\_manual/](https://docs.qgis.org/2.18/ru/docs/user_manual/) – (дата обращения 14.05.18).

5. Лутц М. Изучаем Python, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с., ил.

## **“PYTHON”, КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ В СОЗДАНИИ ГРАФИЧЕСКОГО ВЕБ-ПОРТАЛА**

**Иванова М.В., Ченский А.Г.** – научный руководитель  
ФГБОУ ВО “ИРНИТУ”  
Margarita1515@mail.ru

- Введение

В настоящее время специалисты в области информатики и программирования не испытывают проблем в выборе средств программирования, потому что существует множество различных языков, как универсальных, так и специализированных. Одним из наиболее известных и удобных в использовании высокоуровневых языков является “Python”.

В данной статье, Python интересен, как помощник в создании информационно-графического портала. Ведь всегда информация становится более понятной, когда она представлена в виде структурированной схемы или графического изображения. Имея информацию, предоставленную в таком виде можно с легкостью найти интересующие данные, не прикладывая много усилий и не затрачивая время на изучение огромного количества текстовой информации.

- Что же такое “Python”?

Python – это высокоуровневый язык программирования общего назначения, который ориентирован на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Данный язык активно развивается и имеет стандартную библиотеку, которая включает в себя большой объём полезных функций. Из всей богатой стандартной библиотеки наибольший интерес вызывают модули для работы с регулярными выражениями, текстовыми кодировками и мультимедийными форматами. Если углубиться в историю, то можно узнать, что разработка данного языка была начата в конце 1900-х годов, но и по сей день выходят новые версии с добавлением или изменением языковых свойств. Появившись сравнительно недавно, Python создавался под влиянием множества языков программирования. К примеру, из языка программирования “ABC” Python взял отступы для группировки операторов и высокоуровневые структуры данных. У “Modula-3” он позаимствовал пакеты и модули. Синтаксические конструкции он взял у “C” и “C++”. Вообще, Python – это стабильный и распространенный язык. Он используется во многих проектах и в различных качествах: как основной язык программирования или для создания рассмотрений и интеграций приложений. На Python реализовано

большое количество проектов, также он активно используется для создания прототипов будущих программ.[1]

- “Python” в обработке данных

Работа с данными и их обработкой часто занимает много времени. Для того, чтобы сократить время обработки, и анализа информации используется Pandas. Pandas - это Python библиотека для анализа и обработки данных. Она действительно быстрая и позволяет легко исследовать данные. Общий для большинства случаев подход в начальной обработке данных заключается в следующем:

1. Загрузить все данные в один DataFrame – Это табличная структура данных.
2. Очистить данные. В результате обработки они должны быть:
  - Каждая строка должна представлять один-единственный объект
  - Каждый столбец описывает одно свойство объекта
  - Каждый столбец содержит неделимые данные, среди которых нельзя выделить подмножества
3. Проанализировать весь набор данных. Для этого можно воспользоваться такими функциями как: построение гистограммы или создание математической, точечной диаграммы (scatter plot), чтобы сделать выводы.

Эти действия приведут к удобному, для последующей работы, результату, а также дадут начальное представление о свойствах имеющихся объектов, которые, скорее всего, наведут на мысль, что можно делать с данными в дальнейшем. Также, Python помогает в обработке данных используя: авто дополнение, быструю замену значений, магические функции, чтение csv файлов, построение графиков, объединение и группировку данных, объединение нескольких dataframe, чтение из SQL баз данных.[2]

- Системное программирование

Интерфейсы доступа к службам операционных систем встроенные в Python являются идеальным инструментом в создании переносимых программ и утилит системного администрирования, по-другому называемые инструментами командной оболочки. Программы на языке Python способны отыскивать файлы и каталоги, производить параллельные вычисления с использованием нескольких процессов и потоков, запускать другие программы и делать многое другое. Стандартная библиотека Python

полностью отвечает требованиям стандартов переносимых интерфейсов операционных систем и поддерживает все их типичные инструменты: переменные окружения, файлы, каналы, процессы, многопоточную модель выполнения, поиск по шаблону с использованием регулярных выражений, аргументы командной строки, стандартные интерфейсы доступа к потокам данных, запуск команд оболочки, дополнение имен файлов и многое другое.

- “Python” и базы данных

Python имеет интерфейсы доступа ко многим основным реляционным базам данных, таким как: Oracle, Informix, MySQL, PostgreSQL, SQLite и многим другим. В Python существует также переносимый прикладной программный интерфейс баз данных, который предназначен для доступа к базам данных SQL из сценариев на языке Python. Например, при использовании переносимого API (программный интерфейс приложения) сценарий, предназначенный для работы со свободной базой данных MySQL, практически без изменений сможет работать с другими системами баз данных (такими как Oracle). Все, что потребуется сделать для этого, – заменить используемый низкоуровневый интерфейс. SQL расшифровывается как Structured Query Language (язык структурированных запросов). Стандартный модуль pickle реализует простую систему хранения объектов, что позволяет программам сохранять и восстанавливать объекты Python в файлах или в специализированных объектах. Начиная с версии Python 2.5, стандартной частью Python стала база данных SQLite.

- “Python” в работе с веб-приложениями

Интерпретатор Python поставляется вместе со стандартными интернет-модулями, которые позволяют программам выполнять разнообразные сетевые операции как в режиме клиента, так и в режиме сервера. Сценарии могут производить взаимодействия через сокеты (программные интерфейсы для обеспечения обмена данными между процессами), извлекать информацию из форм, отправленных серверным CGI-сценариям; обрабатывать файлы XML; передавать файлы по протоколу FTP; загружать веб-страницы с указанных адресов URL; передавать, принимать, создавать и производить разбор писем электронной почты; производить разбор разметки HTML и XML полученных веб-страниц XML и производить взаимодействия по протоколам XML-RPC, SOAP и Telnet, а также многое другое. Библиотеки, входящие в состав Python, делают реализацию подобных задач удивительно простым делом. Кроме того, есть довольно большая

коллекция сторонних инструментов для создания сетевых программ на языке Python, которые можно найти в Интернете. К примеру, система HTMLGen позволяет создавать HTML-страницы на основе описаний классов Python. А также пакет modpython для запуска сценариев на языке Python на веб-сервере Apache, система Jython, обеспечивающая бесшовную интеграцию Python/Java. Помимо этого, для Python существуют полноценные пакеты веб-разработки, такие как Django, TurboGears, web2py, Pylons, Zope и WebWare, поддерживающие возможность быстрого создания полнофункциональных высококачественных веб-сайтов на языке Python.[3]

- “Python” плюсы и минусы

Для большинства программистов основное преимущество языка Python заключается в его удобочитаемости, ясности, а также в более высоком качестве, выгодно отличающим его от других языков-сценариев. Код программ на языке Python читается легче, что делает многократное его использование и обслуживание гораздо проще, чем использование программного кода других языков. Единообразии оформления программного кода на языке Python облегчает его понимание даже для тех, кто не участвовал в его создании. Кроме того, Python поддерживает самые современные механизмы многократного использования программного кода, каким является объектно-ориентированное программирование (ООП).

Также несомненным плюсом будет то, что данный язык очень прост в изучении и имеет нескончаемое количество справочной литературы: книг, сайтов, платных и бесплатных курсов, готовых шаблонов и исходников. Еще один позитивный момент всеобщей доступности Python — множество доступных сред разработки, сервисов и Фреймворков. Развитие Python позволяет сегодня создавать сложный код, не затрачивая на это много временных и «строчных» ресурсов. Вы можете использовать динамическую типизацию для упрощения кода и встроенные функции языка, чтобы избавить себя от написания шаблонных кодов

Python при первом знакомстве кажется сырым и чрезмерно упрощенным. Не то чтобы он отталкивает, но и доверия с первого взгляда не внушает. А динамическая типизация? Определенно, кажется, что здесь скрывается рассадник потенциальных ошибок. Одним из основных недостатков данного языка можно назвать скорость выполнения программ, которая не всегда может быть такой же высокой, как у программ, написанных на компилируемых языках программирования, таких как C или C++. Но по большей части Python не имеет большого количества недостатков, потому что он разрабатывался позже остальных

высокоуровневых языков программирования и буквально учился на их ошибках и неточностях.

- “Python” как помощник в создании геопортала

Главная задача данной статьи состоит в том, чтобы выбрать наиболее подходящий язык программирования для создания геопортала. Геопортал — картографический веб-портал, отображающий и предоставляющий доступ к географической информации посредством веб-сервисов. Эти сервисы помогают организовать эффективное хранение информации, ее анализ при помощи специальных инструментов, а также наглядную визуализацию данных. Для создания геопортала необходимы следующие составляющие: базы данных, геоинформационные системы и серверы, библиотеки для отображения карт на веб-странице, а также веб-серверы (к примеру Apache) и Фреймворки (например Django). Исходя из всего вышеперечисленного, Python является наиболее подходящим языком программирования, так как он взаимосвязан со всеми этими компонентами.

- Заключение

Разобрав детально преимущества и недостатки высокоуровневого языка программирования Python и то, как он взаимодействует с базами данными и веб-серверами можно смело сказать, что для проектирования информационного геопортала данный язык подходит идеально т.к. в нем совмещаются огромное количество функций и простота использования.

### **Библиографический список**

1. Python 3 для начинающих [Электронный ресурс] – URL: <https://pythonworld.ru/>– (дата обращения 15.05.18).
2. Лутц М. Изучаем Python, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с., ил.
3. Лутц М. Программирование на Python, том I, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 992 с., ил.

## **ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ**

**Шляпин С.С., Просвирякова Л.В.** - научный руководитель  
ФГБОУ ВО “ИРНТУ”

shlyapin.stepan@gmail.com

**Аннотация.** Приведены статистические параметры навигационных систем. Установлены статистические данные, отражающие процент востребованности и релевантности этих систем. Также были рассмотрены перспективные направления в навигации.

**Ключевые слова:** навигация, частота, местоположение, радиоимпульс, спутник.

**Введение:** в настоящее время широко используются системы определения местоположения различных объектов. Превалирующую часть на рынке навигационных систем занимают спутниковые навигационные системы, также на сегодняшний день все чаще стали применять гибридные системы. В этих системах наряду с оборудованием спутниковой связи используется наземное приемопередающее оборудование.

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. [4] Метод измерения расстояния от спутника до антенны приёмника основан на определённости скорости распространения радиоволн. Для определения местоположения на земной поверхности обычно измеряют расстояние между наземным пунктом и спутником, а также скорость изменения этого расстояния при прохождении спутника. [3] Расстояния рассчитывают, исходя из времени, которое затрачивает электромагнитный сигнал (лазерная вспышка или радиоимпульс) на прохождение пути от спутника до принимающей станции при условии, что скорость распространения сигнала известна.

**Цель исследования** – оценка и сравнение представленных на рынке навигационных систем. Рассмотрение перспективных и развивающихся направлений в области геопозиционирования.

### **Обзор глобальных навигационных систем**

На сегодняшний день в мире существует несколько навигационных систем, использующих искусственные спутники Земли. Но действительно глобальный сервис позиционирования практически в любом месте нашей планеты осуществляют лишь две: российская ГЛОНАСС и американская GPS.

Также на рынке присутствуют навигационные системы других стран: Galileo (ЕС), IRNSS (Индия), Compas (Китай), QZSS (Япония). В данный момент они находятся на стадии развития, и уступают глобальным системам.

Американская система позиционирования GPS по своим функциональным возможностям аналогична российской системе ГЛОНАСС. Её основное назначение — высокоточное определение координат потребителя, составляющих вектора скорости и привязка к системной шкале времени.

GPS-это навигационная технология, которая используя спутники, определяет и показывает информацию о местоположении. В основном система GPS состоит из группы спутников, и хорошо применяются таких инструментах, как приемники. [1] Структура GPS является сложной. Как и система ГЛОНАСС, она состоит из космического сегмента, наземного командно-измерительного комплекса и сегмента потребителей.

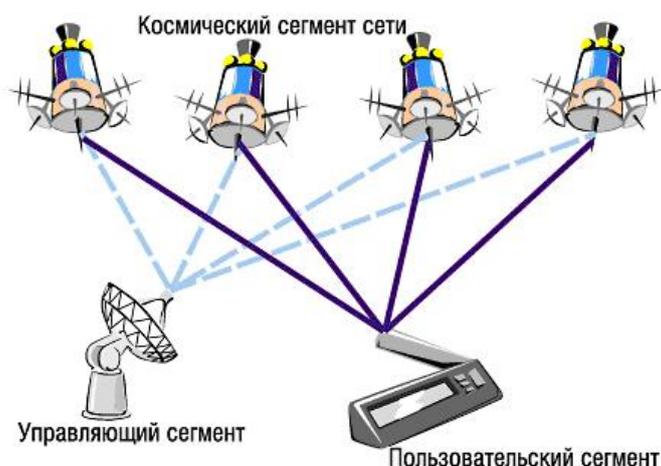


Рис 1 – Структура системы позиционирования

Космический сегмент состоит из 24 до 32 спутников или космических кораблей на одной и той же орбите, по 8 в каждой из трех круговых орбитах. В сегменте управления есть главная станция управления, наземные антенны и станции мониторинга. [6] Пользовательский сегмент состоит из тысячи гражданских, коммерческих и военных устройствах позиционирования. Спутниковая частота: все частоты спутникового вещания. Частотная полоса состоит из пяти типов, таких как L1, L2, L3, L4 и L5. Эти полосы имеют частотные диапазоны между 1176МГц и 1600МГц. Приемники GPS получают всю информацию и применяют триангуляцию, чтобы обнаружить точное местонахождение пользователя. Факторы, которые могут исказить точность сигналов GPS и, следовательно, влияют, на точность имеются следующие: Задержки ионосферы и тропосферы, переотражение сигнала, орбитальные ошибки.

ГЛОНАСС – глобальная спутниковая навигационная система. Принцип измерения аналогичен американской системе навигации NAVSTAR GPS, с небольшими особенностями. [5] Основное отличие от системы GPS в том, что спутники ГЛОНАСС в своём орбитальном

движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабильность. Таким образом, группировка космических аппаратов (КА) ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования. Тем не менее, срок службы спутников ГЛОНАСС заметно короче. Высокая устойчивость к помехам делает систему ГЛОНАСС самой надежной системой в мире, заглушить сигналы которой значительно труднее, нежели, например, сигналы GPS. Дело здесь в способе передачи и разделения сигналов. В отличие от американской системы навигации GPS, в которой разделение сигналов происходит по специальным кодам со спутников, но при этом все сигналы передаются на одной частоте. В ГЛОНАСС разделение происходит за счет передачи сигналов на разных частотах. Построение орбитальной группировки данной системы позволяет создать оптимальные условия для непрерывного и глобального обеспечения Земли радионавигационными сигналами.

Был проведен анализ характеристик навигационных систем, результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика глобальных спутниковых навигационных систем

Показатели	Кол-во Спутников (шт.)	Кол-во Орбитальных плоскостей (шт.)	Период обращения спутников	Высота нахождения аппарата над поверхностью Земли на орбитальной плоскости (км.)	Наличие атомных часов	Наличие улучшенных модификаций
GLONAS	24	3	11ч 45мин	19100	Да	Да
GPS	32	6	11ч 55мин	22100	Да	Да

Исходя из результатов видно сравнительно не большое преимущество системы GPS.

#### **Перспективные разработки**

Navigation via Signals of Opportunity (NAVSOP), это самообучающаяся система навигации, благодаря использованию радиоволн различных диапазонов, сможет функционировать в таких условиях, в которых работа GPS затруднена или вовсе невозможна, например, в лесу, внутри зданий и даже под землей. Разработчики NAVSOP считают основным преимуществом своего продукта то, что развертывание системы и ее функционирование не требует создания дополнительной инфраструктуры. ПО, задействованное в NAVSOP, является самообучающимся, благодаря чему новые источники сигналов оперативно добавляются в существующую базу данных. В целом, согласно

планам разработчиков, данная система должна использоваться в паре с GPS: технологии станут дополнять друг друга и заменять в том случае, если работа одной из них окажется невозможна [2].

Ученые с Мичиганского университета разработали TIMU (временно-инерционную навигационную однокристалльную систему), которая умеет определять местоположение в условиях временного отсутствия доступа к сигналам GPS. Навигатор выполнен в виде чипа, размеры которого меньше монеты, и содержит в себе три акселерометра, три гироскопа и схему сверхточных часов.

Ориентирование по базовым станциям. Определить местоположение сотового телефона можно и без спутников по сигналам от вышек сотовой связи оператора. Точность при этом значительно ниже — от десятков метров до нескольких километров в малонаселенных районах, где базовые станции расположены далеко друг от друга. Первый метод позволяет выяснить, какой базовой станцией в данный момент обслуживается мобильный телефон, и очень примерно определяет местоположение абонента. Точность данного способа зависит от количества базовых станций и радиоусловий. Во втором случае измеряется время прохождения сигнала до нескольких базовых станций, но это требует оснащения сети дополнительным и достаточно дорогим оборудованием.

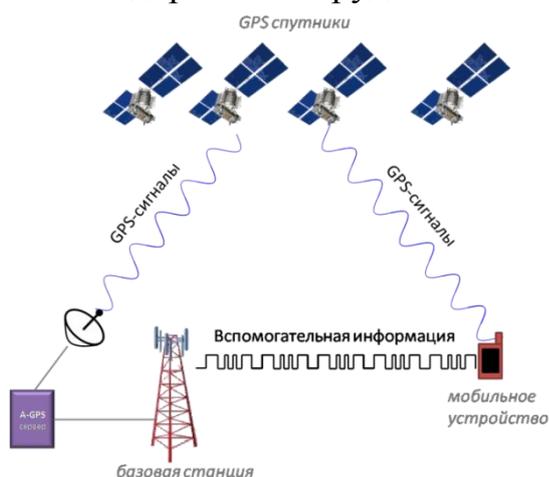


Рис 2 – Определение местоположения с использованием вышек сотовой связи

Locata: позиционирование с точностью до сантиметра. Смысл метода, который предлагают специалисты компании Locata, приблизительно такой же, только вместо спутников здесь предполагается использование сети радиомаяков. Некая технология, подробностей о которой пока нет, позволяет этим маякам синхронизировать время с точностью до наносекунды и передавать информацию о своем нахождении. Благодаря этому приемник сможет вычислять свое местоположение еще более точно. Преимущества системы состоят в том, что сигнал наземных маяков достаточно силен для того, чтобы проникать даже сквозь довольно толстые стены зданий, а кроме того, точность

определения местоположения даже в закрытом помещении составит всего пару сантиметров.

Высокоточный чип для смартфонов Broadcom BCM 4752, который будет доступен уже в ближайшее время. Точности вплоть до сантиметров этому комбинированному приемнику удастся достигать путем поддержания связи одновременно с четырьмя навигационными системами: ГЛОНАСС, GPS, SBAS и QZSS. Это позволяет получать данные с 59 навигационных спутников. В качестве дополнительных навигационных точек используются сигналы вышек сотовой связи. В помещениях чипу помогают ориентироваться сигналы сетей Wi-Fi, Bluetooth, NFC и 4G. Еще большей точности вертикального и горизонтального позиционирования позволяют добиться гироскоп, акселерометр, магнитометр, высотомер и счетчик шагов.

### **Выводы**

В ближайшей перспективе будут одновременно работать три глобальных навигационных спутниковых системы GPS, GLONASS и GALILEO. Спутниковая навигация не отличается высокой точностью, к тому же она может оказаться недоступной. Новые разработки призваны повысить точность позиционирования, и умеют определять местоположение даже при отсутствии сигналов от спутника.

Гибридные системы позиционирования способны не только определять местоположение с помощью GPS-спутников, но и ориентироваться на местности по другим радиосигналам, а также посредством гироскопов и акселерометров. Современные навигационные системы достаточно хороши, но все еще не идеальны. Существуют технологии, которые позволяют компенсировать недостатки спутникового геопозиционирования. Впрочем, спутниковые системы пока все-таки необходимы — неслучайно крупнейшие страны разворачивают собственные аналоги GPS и ГЛОНАСС.

### **Библиографический список**

1. <http://www.navigator-shop.ru/>
2. <http://www.manuagps/ru/>
3. В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. — 2-е изд.,
4. Козловский Е. Искусство позиционирования // Вокруг света. — М.: 2006. — № 12 (2795). — С. 204-280.
5. [www.iglonass.ru](http://www.iglonass.ru)
6. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз,

## **МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ВОПРОСОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Амелин А.А.**  
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»  
canepa@mail.ru

Концепция информационно-измерительных систем была сформулирована в начале 70-х годов прошлого столетия, и в основу положена системная организация совместной автоматической работы средств сбора, обработки и передачи количественной информации. Дальнейшее системное развитие целостной информационно-измерительной системы связано с развитием вычислительной техники, стандартных интерфейсов и обеспечением в энергосистемах централизованного, а затем иерархического управления.

Измерительная техника — один из важнейших факторов ускорения научно-технического прогресса практически во всех отраслях народного хозяйства. При описании явлений и процессов, а также свойств материальных тел используются различные физические величины, число которых достигает нескольких тысяч: электрические, магнитные, пространственные и временные; механические, акустические, оптические, химические, биологические и др. При этом указанные величины отличаются не только качественно, но и количественно и оцениваются различными числовыми значениями.

Присвоение числового значения физической величине осуществляется на этапе измерения. Результатом измерения является количественная характеристика в виде именованного числа с одновременной оценкой степени приближения полученного значения измеряемой величины к истинному значению физической величины. Нахождение числового значения измеряемой величины возможно лишь опытным путем, т. е. в процессе физического эксперимента [1].

Многие промышленные и энергетические системы (сети) имеют территориально распределенную структуру. Для них характерны территориальное разделение значимых участков-узлов, реализующих технологические функции, и их удаленность от центрального узла (ядра системы), в котором принимается то или иное решение о порядке реализации технологического цикла. Такая географическая распределенность указанных узлов, а также большое их количество и сложности реализуемых ими функций существенно затрудняют решение задачи получения, передачи, обработки первичных данных о состоянии системы и формирования соответствующего управления. Поэтому дистанционный мониторинг и управление удаленными объектами – весьма важные и актуальные проблемы [2].

В ИИС построение распределённой одноранговой сети соединяющей все узлы между собой в плане обмена и передачи информации предполагает некоторый риск воздействия на систему извне [3]. Построение автономных замкнутых локальных систем, несмотря на повышенную надежность, целесообразно на режимных объектах. Там же, где сверхвысокая надежность не рентабельна, есть смысл использовать широко распространенные публичные сети. Количество векторов атаки на систему, в структуру которой входит сеть Интернет, отличается в большую сторону по сравнению с аналогичным параметром для изолированной ИИС, что требует более тщательного подхода к вопросам безопасности и ее оценки в терминах риска для той или иной разработки.

Работа любой ИИС построена на работе ПЛК. Программируемые логические контроллеры имеют ограниченный объем памяти и производительность и не могут заниматься вопросами безопасности [3]. Поэтому следует организовывать локальные сети с простыми протоколами передачи данных. Все конечные узлы ИИС (датчики) должны передавать данные (и получать) специально выделенному устройству [4]. Это коммуникационное устройство должно анализировать состояние локальной системы с целью выявления аномальной активности путем пассивного или активного мониторинга. В первом случае производится прослушивание сетевых устройств выделенным узлом и статистический анализ событий приема и передачи различных типов сообщений. Во втором узел системы мониторинга в определенные моменты времени посылает запросы в виде различных команд, и осуществляет анализ временных задержек, изменений загрузки отдельных вычислительных ресурсов, сопоставление идентификационной информации и настроек.

Информация, полученная путем пассивного прослушивания или активного мониторинга, скапливается в обрабатывающем узле, где осуществляется отслеживание ряда событий, связанных с изменением характеристик в сети, например:

- появление нераспознаваемых сообщений;
- появление повторных сообщений;
- увеличение числа сообщений о сбоях и отказах;
- увеличение широковещательных и служебных сообщений;
- возникновение задержек, влекущих статистическое изменение трафика информационных, служебных сообщений;
- изменение задержек откликов устройств на служебные широковещательные запросы для различных режимов работы;
- увеличение числа потерянных сообщений;
- изменение частот информационных и служебных сообщений.

Группирование приведенной выше совокупности событий позволяет рассмотреть анализ состояний информационной безопасности на основе

идентификационных ( $I$ ), количественных ( $N$ ), частотных ( $f$ ), временных ( $T$ ) характеристик. В этом случае профиль функционирования системы будет определяться кортежем признаков [4]:

$$F = \langle I, N, f, T \rangle.$$

В зависимости от режима работы наблюдается изменение статистического портрета функционирования сети и устройств. Возникает возможность хранения признакового пространства, например, в виде таблиц событий реляционной базы данных устройств, которая наполняется по мере функционирования системы.

Для обнаружения «мягких» атак на маломощную сеть устройств особую важность приобретают признаки, которые можно представить в виде вектора значений, изменяемого во времени. Исходя из этого, для идентификации состояний возможно применение наивного байесовского классификатора, достоинством которого является малое количество данных для обучения:

$$C = \arg \max_{h \in H} \frac{p\left(\frac{X}{h}\right) p(h)}{P(X)},$$

где  $h$ ,  $X$  – предсказываемое и предшествующее события, а значения функции  $p$  – вероятности этих событий и их следствий ( $p = m/n$ , где  $m$  – количество произошедших событий,  $n$  – количество всех событий).

В различных режимах работы системы могут наблюдаться аномалии, требующие более детального изучения на предмет возможности несанкционированного доступа. Определение количественных, частотных данных, показывающих нераспознанные, пропущенные сообщения, получение информации о конечном состоянии узлов на основе статистических данных протоколов прикладного уровня взаимодействия маломощных устройств путем пассивного и активного мониторинга позволяют осуществить построение классификатора [4].

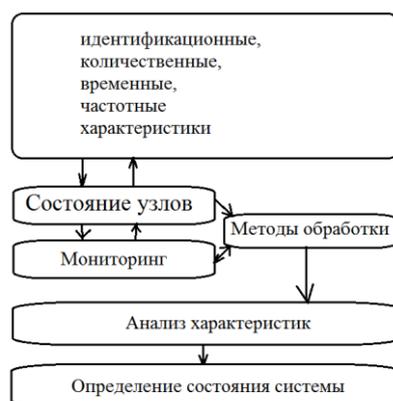


Рисунок 1 - Типовая схема оценки состояния информационной безопасности системы

Помимо выявления аномальной активности это выделенное устройство должно шифровать исходящий трафик, инкапсулировать данные в пакет протокола IP4/6 (или иной, используемый в находящейся за

ним сети и передавать на сервер через сеть Ethernet используя VPN. С сервера данная информация будет доступна обрабатывающему модулю. Также любой авторизованный пользователь, посредством web-интерфейса сумеет получить доступ к информации.

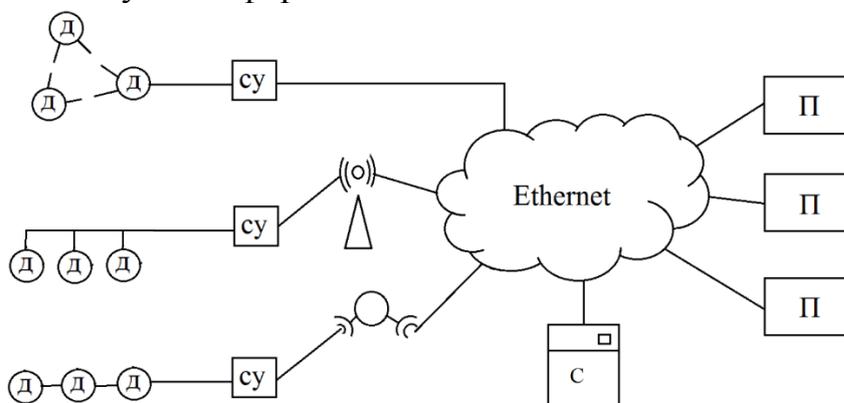


Рисунок 2 - Архитектура ИИС, где П – пользователь, С – сервер базы данных, Д – конечный датчик, су – специальный узел.

### Библиографический список

1. Богданов П.А. Развитие информационных измерительных систем и обработка измерительной информации в телекоммуникационных системах // Т-Comm. 2013. №10. С. 34-36.
2. Крымский В.Г., Жалбеков И.М., Имильбаев Р.Р., Юнусов А.Р. Автоматизация управления технологическими процессами в газораспределительных сетях: проблемы, тенденции и перспективы // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. Т.9 №2. С. 70-79.
3. Антонов А.Ю. Обзор и анализ проблематики обеспечения информационной безопасности в беспроводных сенсорных сетях // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017.
4. Бажаев Н.А., Лебедев И.С., Кривцова И.Е. Анализ статистических данных мониторинга сетевой инфраструктуры для выявления аномального поведения локального сегмента системы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 1. С. 92–99.

## **INDOOR – ТЕХНОЛОГИЯ НАВИГАЦИИ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ**

**Хилажев Р.О., Просвирякова Л.В.** - научный руководитель

ФГБОУ ВО “ИРНИТУ”

reirem@istu.edu

Целью данной работы является исследование возможности применения технологии Indoor внутри больших помещений.

Для поиска пути мы очень часто пользуемся навигацией, встроенной в наши смартфоны, технология спутниковой навигации GPS во многом стала чем-то простым и привычным, но как только мы входим в здание рассчитывать на помощь GPS не стоит, поскольку сигнал спутника не имеет возможности «пробивать» множество препятствия, так чтобы точно определить ваше местоположение внутри помещения.

Поэтому на помощь привычным технологиям поиска нашего местоположения приходят новые, такие как технологии Indoor или IPS (indoor positioning system), которые могут быть реализованы несколькими способами, самые эффективные это:

- Датчики на основе сигнала Wi-Fi
- Датчики на основе сигнала Bluetooth

В свою очередь могут быть реализованы методом триангуляции при котором погрешность определения вашего местоположения равна примерно 10 метрам.

Рассмотрим способ с использованием точек доступа Wi-Fi. Устройство находит доступные точки доступа и отправляет эту информацию на сервер на котором есть данные об их местоположении, далее исходя из этих данных определяется местоположение устройства. Но в современных реалиях существует множество Wi-Fi точек с неизвестными координатами, а устанавливать такие точки фиксировано, специально для навигации дорого поэтому нецелесообразно.

Способ с использованием Bluetooth маячков для IPS является более выигрышным поскольку такие датчики потребляют меньше энергии и расположить их можно достаточно плотно, что в разы повысит качество определения местоположения. Из примеров реализации данного способа можно выделить систему iBeacon компании Apple которая используется в сфере маркетинга для рассылки различных уведомлений на устройство пользователя тогда, когда он попадает в определенную зону.

Подробнее можно остановиться на характеристиках, используемых в iBeacon. Сама система состоит таких компонентов: устройство, датчик, сервер.

На устройстве пользователя включен Bluetooth который принимает и передает сигнал на датчики вокруг себя. Период передач сигнала может варьироваться от нескольких секунд до доли секунды. Сигнал содержит идентификатор UUID (Universally Unique Identifier - Универсальный

Уникальный Идентификатор) если устройство попало под действие датчика на него приходит push-уведомление с той или иной информацией.

Датчик может, быть как автономным устройством, работающим от аккумулятора в зависимости от объёма которого датчик будет осуществлять работу 1-3 года, так быть и подключенным к сети. Датчики собирают данные о UUID устройства. Стоит отметить что уведомление в случае зонной системы навигации встроены в приложение на устройстве пользователя и появляются лишь при входе в зону действия конкретного датчика.

Сервер, имеет доступ к базам данных с информацией о местоположении датчиков, их текущем состоянии и может осуществлять регистрацию UUID для сбора статистических данных.

Так же технология iBeacon может быть применена как система точной внутренней навигации с помощью увеличения числа датчиков соблюдением условий триангуляции.

Применение точного позиционирования внутри помещений может быть разным:

- навигация в незнакомых помещениях (поиск кафе; магазинов; определенных товаров в торговых центрах; мест на больших стадионах и т.д.)
- рекламная (рассылка уведомлений о товарах и услугах прямо рядом с вами)
- развлекательная (игры по типу «Квест» различной тематики с использованием местоположения игрока)
- поисково-спасательная (помощь в обнаружении аварийных выходов; поиск местонахождения пользователя по сигналу его устройства)

Была поставлена задача спроектировать внутреннюю систему навигации, в этом случае самым экономичным и доступным способом будет использование «маячков» на основе технологии BLE (Bluetooth Low Energy), известная под маркетинговым именем Bluetooth Smart, так как она имеет низкое энергопотребление за счет того, что устройства «спят» большую часть времени. BLE встроена в большинство смартфонов, умных часов гарнитур и прочих аксессуарах с поддержкой Bluetooth 4.0 +.

Ниже приведены характеристики датчиков технологии BLE. Она работает в стандартном для Bluetooth передатчика диапазоне 2.4 - 2.483 ГГц, но использует другой метод FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum - псевдослучайная скачкообразная перестройка рабочей частоты) который заключается в частой смене несущей частоты, изменение которой соответствует псевдослучайной последовательности чисел, известной отправителю и получателю, используется метод для увеличения помехозащищённости канала связи. По стандарту Bluetooth рабочая частота скачкообразно меняется 1600 раз в 1 секунду по 79 каналам шириной 1МГц. В BLE каналов 40 с шириной 2МГц это повышает

помехоустойчивость передачи на дальние расстояния. Также существует разница в скорости передачи данных так Bluetooth 1 – 3 Мбит/сек у BLE скорость 1 Мбит/сек с пропускной способностью 260 Кбит/сек. В Bluetooth Low Energy используется GFSK-модуляция (Gaussian Frequency Shift Keying - Гауссовская частотная модуляция) сигнал сначала проходит фильтр Гаусса для уменьшения ширины спектра сигнала, а затем поступает на частотный модулятор. Максимальная дальность связи таких датчиков 50 метров, при задержке в 6 миллисекунд, также используется алгоритм шифрования AES-128.

После рассмотрения технологии Indoor-навигации и способов ее реализации можно приступить к её применению, в качестве примера большого помещения в котором данная технология может быть использована, было выбрано здание ИрННТУ. Была разработана макет-схема расположения Bluetooth маячков(1) внутри здания университета, также указано расположение сервера(2).

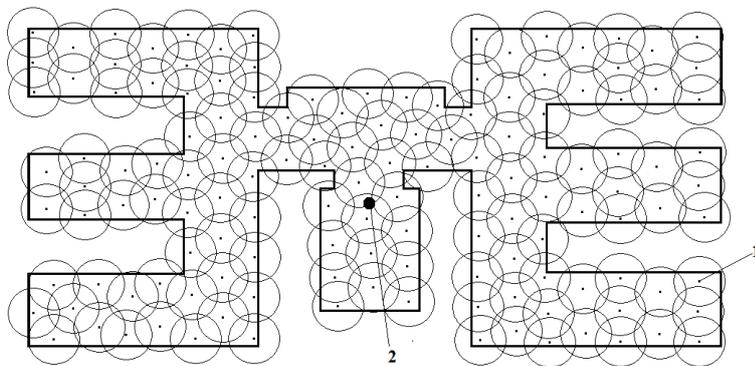


Рис. 1 – Макет-схема расположения маячков BLE в здании ИрННТУ.

Сервер может располагаться в помещениях рядом с библиотекой ИрННТУ, так как он не имеет больших размеров и такое

расположение будет самым оптимальным для поддержки связи со всеми маячками в сети. Внутренняя навигационная сеть может быть использована для различных целей, от навигации для абитуриентов и гостей университета до поиска пожарных выходов в чрезвычайной ситуации. Сервер может подсчитывать статистические данные о посещаемости различных аудитории в определенное время.

В заключение необходимо отметить для работы с навигационной сетью ИрННТУ может быть разработано приложение которое включит в себя весь спектр полезных функций Indoor навигации.

#### Библиографический список

1. IoT технологии - indoor позиционирование: <http://center2m.ru/news/novosti-iot-rynka/iot-tekhnologii-indoor-pozitsionirovanie/>
2. В чем различие между Bluetooth Low Energy и ANT: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=148861>
3. Маячки Bluetooth Low Energy: <https://www.compel.ru/lib/ne/2015/11/3-mayachki-bluetooth-low-energy>

## **ПОЛУЧЕНИЕ НАВЫКОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА Cisco**

**Сальников В.А., Просвирякова Л.В.** - научный руководитель  
ФГБОУ ВО “ИРНИТУ”

reirem@istu.edu

Сегодня одной из важнейших проблем всех студентов является отсутствие, либо малое количество опыта работы с целевым оборудованием. Именно для решения этой проблемы был создан данный лабораторный практикум - получение практических знаний и навыков. Его можно использовать как полноценную инструкцию по работе с аппаратурой компании Cisco.

Весь курс лабораторных работ был поделен на две взаимосвязанные части – теоретическую и практическую. В теоретической части рассматривался принцип работы сетевых устройств, методы их соединения, принципы построения малых и крупных многосегментных сетей, а также, рассмотрение и применение всех полученных знаний на симуляторе от самой компании Cisco, предназначенных как раз для этих целей. Cisco Packet Tracer используется для проектирования как малых офисных сетей, так и сетей, предназначенных для целых городов.

Аппаратура, используемая в данном симуляторе, является только Cisco-вой, то есть, только этой компании. Устройств компании D-Link, TP-Link, и прочих, в ней нет. Однако представлено достаточно много оборудования общего применения (принтеры, сканеры, планшеты, смартфоны, беспроводные точки доступа, стационарные компьютеры, ноутбуки, и т.д.), а также имеется возможность соединения устройств различными (только совместимыми) типами кабелей (консольные кабели типа RS-232, Ethernet разных поколений, оптоволокно, коаксиальные кабели, и пр.). С его помощью можно симулировать работу сети целого города или даже региона.

В первой лабораторной работе можно получить представление о том, как строится сеть с помощью, так называемых хабов. Из техники используется несколько компьютеров и один хаб. Задача предельно проста: собрать сеть, соединить все компьютеры с хабом, настроить сами компьютеры, присвоить вручную каждому компьютеру IP адрес и проверить что все работает. Таким образом запустить команду ping на одном из компьютеров, а целью отправляемого пакета указать другой, затем с помощью режима симуляции проследить путь пакета.

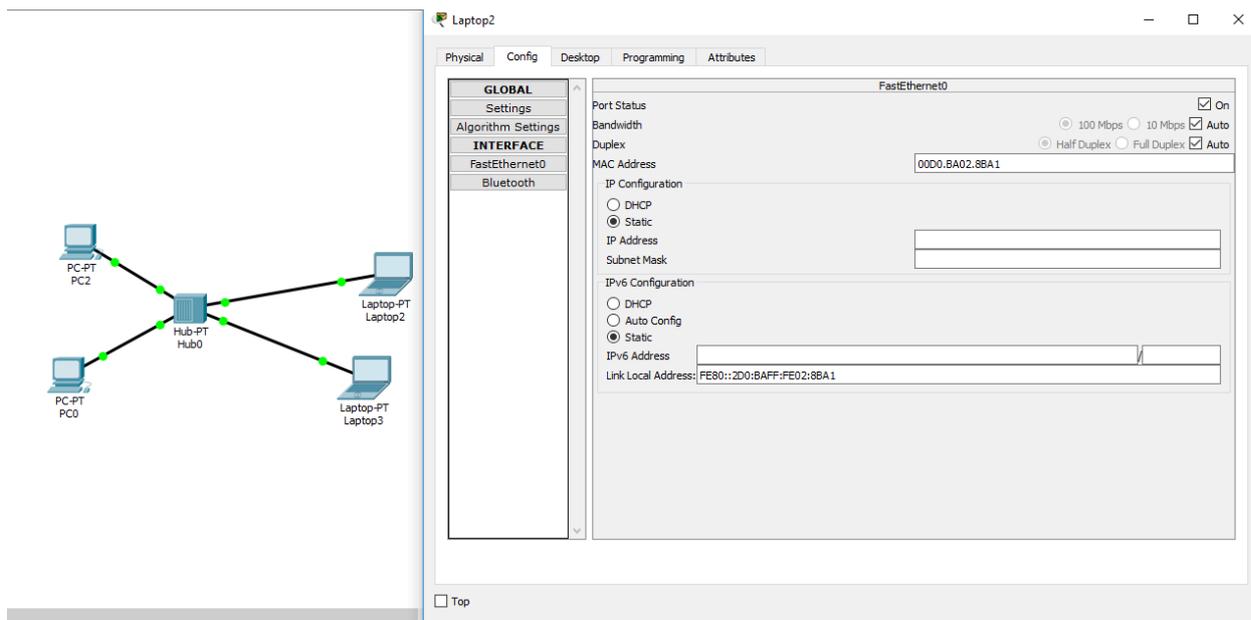


Рисунок 1 – Простейшая схема сети, и диалоговое окно настройки IP адреса компьютера

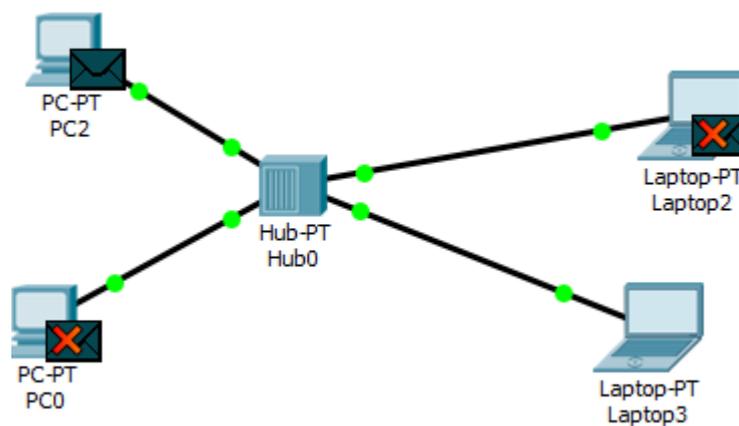


Рисунок 2- Результат отправки пакета ping

Вторая лабораторная работа выполняется аналогично первой, только добавляется еще несколько устройств, подключаемых уже не с помощью Ethernet, а при помощи Wi-Fi.

Третья лабораторная работа является началом всех последующих лабораторных работ, поскольку именно её мы и будем «доводить до ума». В ней требуется создать полноценную односегментную сеть при помощи маршрутизатора серии Catalyst 2950-24, который настраивается с помощью компьютера-сервера через терминал операционной системы IOS.

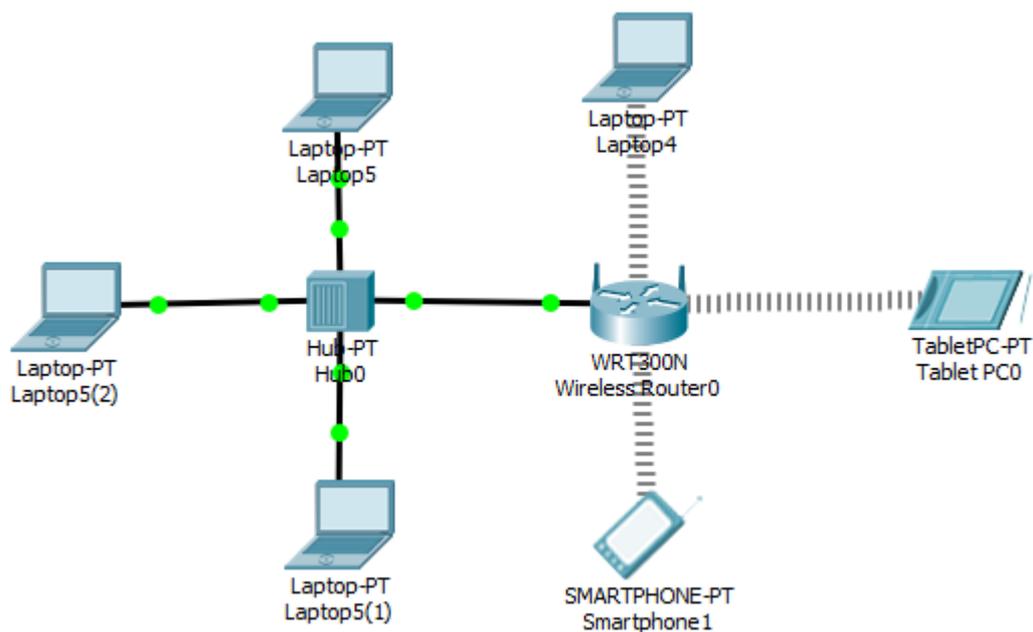


Рисунок 3 – Сеть с использованием проводного и беспроводного соединения.

The diagram shows a Catalyst 2950-24 switch connected to four PC-PT devices (PC0, PC1, PC2, PC3) and a Laptop0. Overlaid on the diagram is the CLI window for the switch, showing the status of interfaces FastEthernet0/1 through 0/4 and VLAN1.

```

IOS Command Line Interface

Press RETURN to get started!

%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/2, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/2,
changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Vlan1, changed
state to up
%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1,
changed state to up
%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/3, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/3,
changed state to up
%LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/4, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/4,
changed state to up
IFB-14-1 Salnikov V.A. 28.03.2018
  
```

Рисунок 4 – простейшая односегментная сеть с использованием коммутатора Catalyst 2950-24, и диалоговое окно настройки самого коммутатора.

В четвертой лабораторной необходимо перенастроить коммутатор таким образом, чтобы его можно было настраивать без необходимости

нахождения рядом с ним, то есть, включить возможность его настройки путем применения протоколов Telnet и SSH.

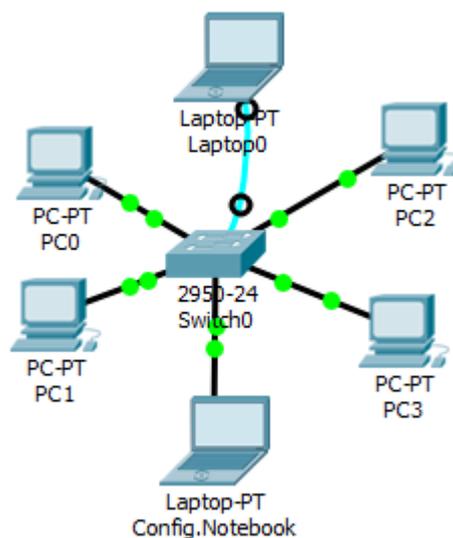


Рисунок 5 – Небольшая сеть, настраиваемая как с помощью консольного кабеля, так и с использованием протоколов Telnet и SSH.

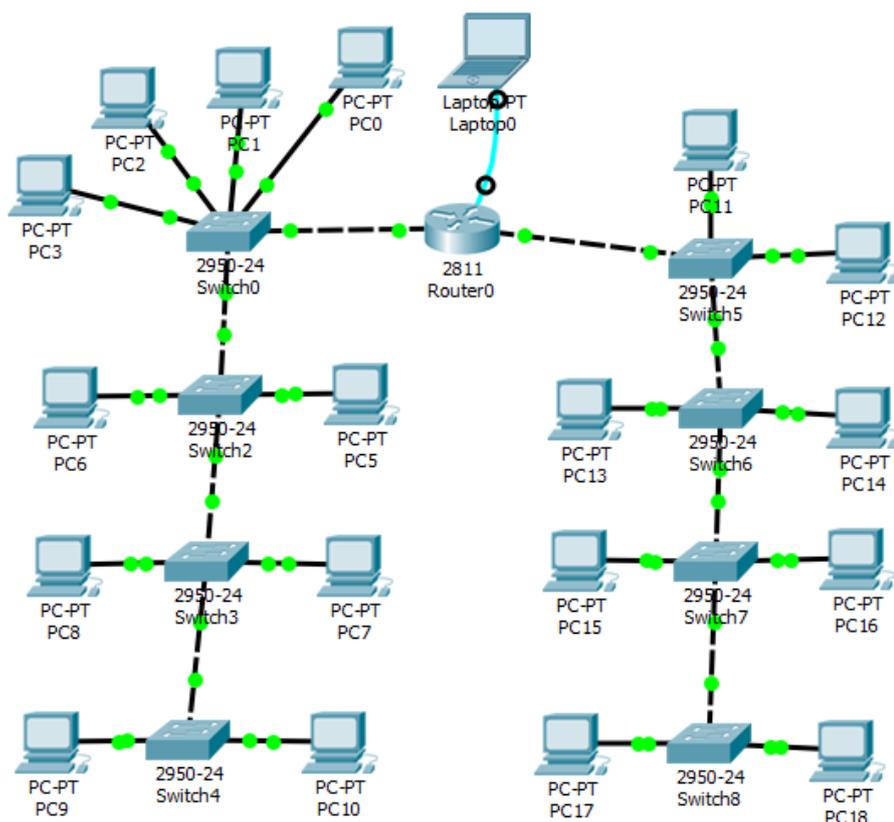


Рисунок 6 – Двухсегментная сеть.

В пятой лабораторной работе создается уже двухсегментная сеть с достаточно большим количеством устройств. Здесь придется подключиться с помощью консольного кабеля к маршрутизатору,

произвести его базовую настройку, настроить автоматическую выдачу IP адресов (чтобы не присваивать их каждому устройству вручную), и проверить как это все работает.

В шестой лабораторной работе предыдущая сеть настраивается для работы IP телефонии, причем как на реальных станциях, так и на виртуальных (программный пакет Cisco IP Communicator установленный на компьютерах с ОС Windows).

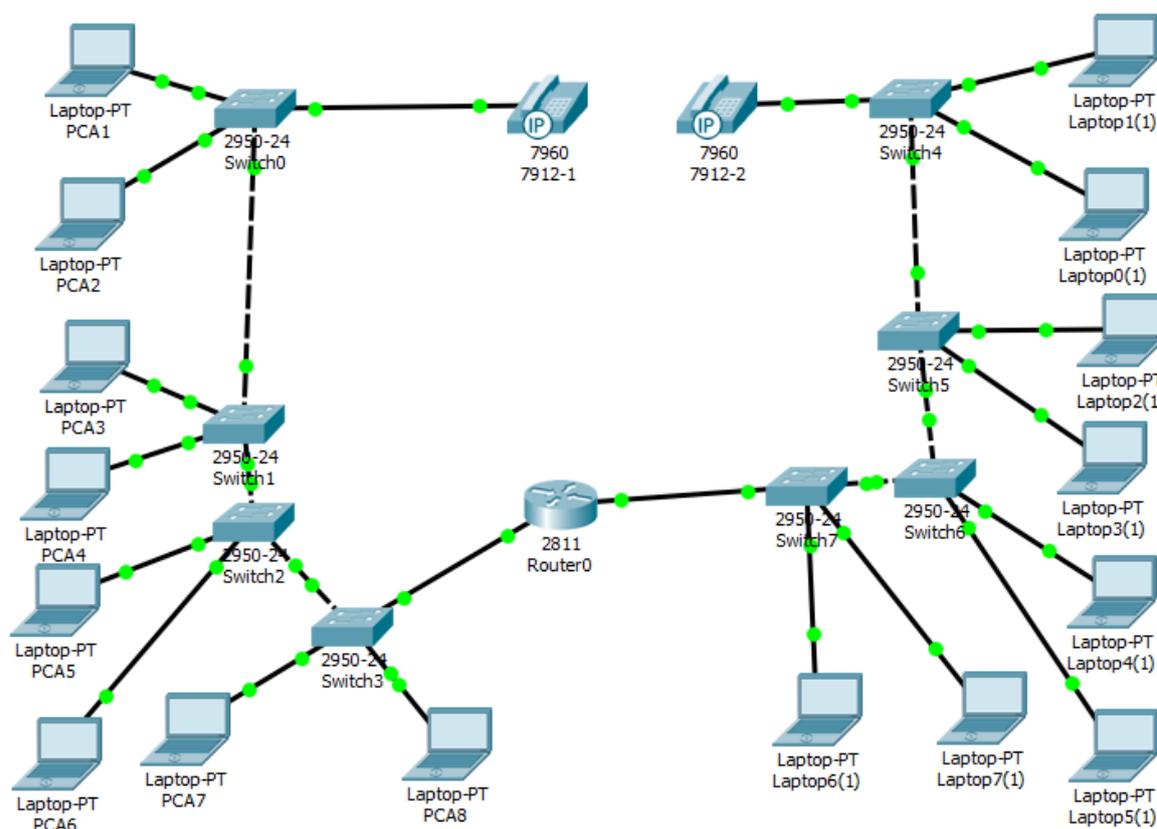


Рисунок 7 – Двухсегментная сеть с применением IP телефонии.

В седьмой лабораторной работе добавляем в существующую сеть беспроводной сегмент, и добавляем устройства для виртуальной IP телефонии. Такими средствами можно организовать подобие сотовой связи в небольшом офисе.

В практической же части все полученные знания предстояло применить на реальном оборудовании, пусть не самом новейшем, но все же полностью рабочем и исправно выполняющим свою функцию. Используемой аппаратурой являются два маршрутизатора серии Catalyst 2600, два серии Catalyst 1700, и 7 маршрутизаторов Catalyst 2950-24, и один маршрутизатор серии Catalyst 2950-48, один Wi-Fi роутер (для получения опыта настройки беспроводных сетей), и две станции IP телефонии Cisco 7912.

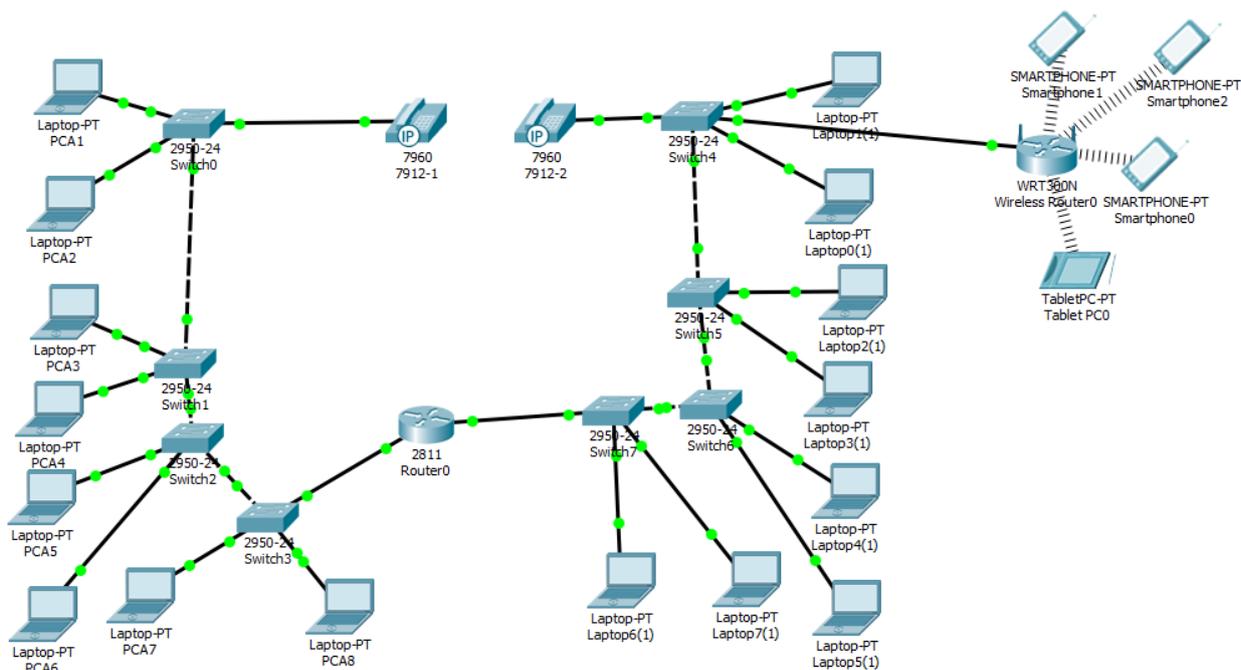


Рисунок 8 – Двухсегментная сеть с дополнением беспроводной связью.

Первые две лабораторные работы предназначены для ознакомления с симулятором, а также для того, чтобы понять, как он работает, и в чем отличия аппаратуры, представленной в симуляторе, от аппаратуры, с которой предстоит работать. Последующие лабораторные работы предназначены для построения односегментной сети с устройствами различных типов, многосегментной сети, многосегментной сети с применением IP телефонии, а также с устройствами беспроводной связи. Первые «ознакомительные» работы никак не связаны друг с другом, однако лабораторные работы с третьей и далее выполняются последовательно, и одна лабораторная работа служит основой для другой. Такой подход позволяет не создавать новую сеть каждый раз, а работать с той сетью, которая уже функционирует, тем самым расширяя её. Сложность выполнения возрастает по мере продвижения. В симуляторе на каждую лабораторную работу выделяется от двух до шести часов, а для работы с реальным оборудованием выделяется отдельное время, поскольку студентов, которым необходимо с ним работать, много, а стенд с оборудованием всего один. Данный курс лабораторных и практических работ дает как минимум, базовые знания в настройке сетевой аппаратуры, клиентских станций, а также других устройств, принимающих участие в функционировании сети.

Данный курс лабораторных работ был разработан для того, чтобы студенты направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» имели возможность поработать с реальной сетевой аппаратурой, ознакомиться с принципами их настройки, некоторыми нюансами работы, и

произвести подключение и настройку всех устройств собственноручно. Полученного опыта вполне достаточно для того, чтобы понять, как работает сеть, и при желании, углубится в более тонкие нюансы настроек коммутаторов/маршрутизаторов, и прочего сетевого оборудования.

Лабораторные работы, приведенные в данной статье, выполняются поочередно: сначала создается и разрабатывается макет будущей сети в программном пакете Cisco Packet Tracer, а затем полученные знания необходимо закрепить на имеющемся оборудовании СПИ.

По итогам выполнения всех лабораторных работ, лабораторный стенд будет представлять собой точку коммутации для двух сегментов проводной связи, и одного сегмента беспроводной связи, с возможностью совершать голосовые вызовы по средствам IP телефонии.

### **Библиографический список**

1. У.Одом «Официальное руководство CISCO по подготовке к сертификационным экзаменам CCNA»
2. Брайан Хилл «Полный справочник по CISCO [пер.с англ]»
3. Официальные инструкции по настройке оборудования от самой компании CISCO
4. Борисов М. Новые стандарты высокоскоростных сетей // Открытые системы. 1994. вып.3. С. 20-31. .
5. Локальные вычислительные сети: Справочник / Под ред. С.В.Назарова. М.: Финансы и статистика, 1994.
6. Нанс Б. Компьютерные сети / Пер с англ. - М.: Бином, 1995.
7. Протоколы информационно-вычислительных сетей / Под ред. И.А. Мизина, А.П. Кулешова. М: Радио и связь, 1990.
8. Фролов А.В., Фролов Г.В. Глобальные сети компьютеров. М.: Диалог-МИФИ, 1996.
9. Шатт С. Мир компьютерных сетей / Пер. с англ. - Киев: ВНУ, 1996. .
10. Корпоративные информационные сети./ Под ред. М.Б.Купермана. - Информсвязь, вып. 3, 1997.

## **РАЗВИТИЕ УСЛУГ ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ ПАО «МТС» В Г. ИРКУТСКЕ**

**Выголовский И.А., Минин А.А., Фискин Е.М.** – научный руководитель  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
iavygolovskiy@gmail.com

На сегодняшний день сложно представить нашу жизнь без средств связи, которые в любой момент позволяют найти нужную информацию или связаться с человеком в другой стране. Услуги по предоставлению такой возможности обеспечивают телеком-операторы. Одним из таких операторов является Публичное Акционерное Общество «Мобильные ТелеСистемы», который является ведущей компанией по предоставлению телекоммуникационных услуг в России и странах СНГ.

В 2008 году был начат процесс объединения, мобильного и фиксированного бизнесов, путем присоединения дочерних организаций. Компании были сильно раздроблены и выстроили собственную инфраструктуру. Чтобы привести все к общему виду, требовалось провести глубокую модернизацию каждого звена и объединить их с мобильной сетью. Были выполнены следующие действия:

- Перенос магистральных узлов(МУ) на площадки, принадлежащие ПАО МТС, для обеспечения надлежащей безопасности и доступа для последующего обслуживания.
- Обновление материально-технической базы, так как дочерние компания были приобретены, и уровень оснащения достался от предыдущего владельца организации.
- Корректировка логической схемы сети. Кроме закупки современного оборудования требовалось включить новые структурные подразделения в общую схему.
- Объединения старой, уже построенной сети, с вновь строящимися объектами фиксированной сети.

### **Уровень ядра**

Рассматривая структуру сети, следует отметить, что мобильная и фиксированная сеть имеют каждая свое ядро сети, но для удобства обслуживания и содержания, они находятся в одном месте. Разбирая структуру сети ШПД следует отметить, что в каждом регионе/области формируется своя «локальная сеть», иначе говоря, автономная система. Это система из сетей связи, которая управляется оператором связи и имеет единую политику взаимодействия с Интернетом, а также с другими автономными системами.

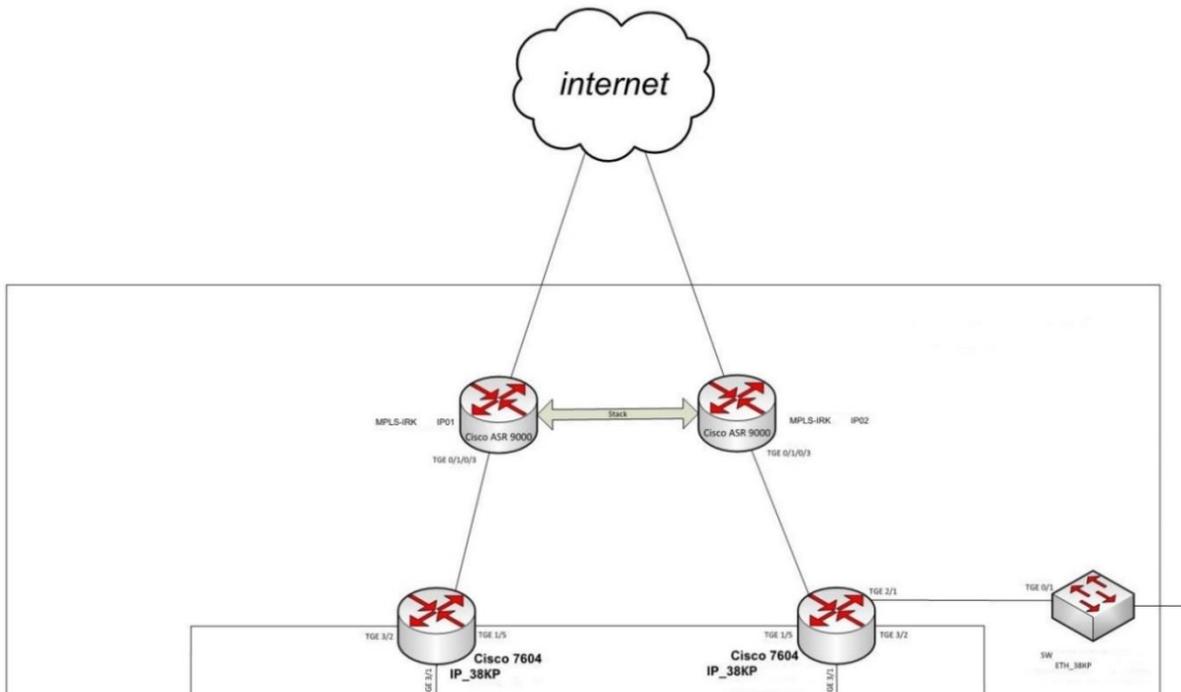


Рисунок 1 – Функциональная схема ядра сети

На стыке автономной системы нашего региона и сети интернет располагаются два маршрутизатора Cisco ASR 9000. Эти маршрутизаторы содержат таблицы адресов ближайших автономных систем, и являются границей нашей сети. В целом интернет и состоит из совокупности автономных систем.

Далее расположение граничные маршрутизаторы Cisco 7604, они отвечают за пропуск абонентов в сеть Интернет. Маршрутизатор динамически выделяет и присваивает абонентам публичные ip-адреса, так называемые «белые» ip-адреса, для доступа в Интернет. До прохождения этого этапа абонент имеет ip-адрес, который существует только внутри сети оператора, и с ним нельзя выходить в Интернет, поскольку этот адрес уже может быть занят, а каждое устройство, подключаемое к сети, должно иметь свой уникальный ip.

Но перед тем как получить доступ в сеть Интернет, проходит этап проверки прав пользователя. Эту функцию сервисные маршрутизаторы Cisco ASR 1002. Данное устройство отвечает за аутентификацию и авторизацию пользователя. Аутентификация – процесс проверки пользователя на предмет регистрации в сети, действительно ли он является абонентом данного оператора связи. Аутентификация производится по логину и паролю. Авторизация – процесс проверки полномочий аутентифицированного пользователя, например, к каким услугам он имеет доступ и какой тариф использует.

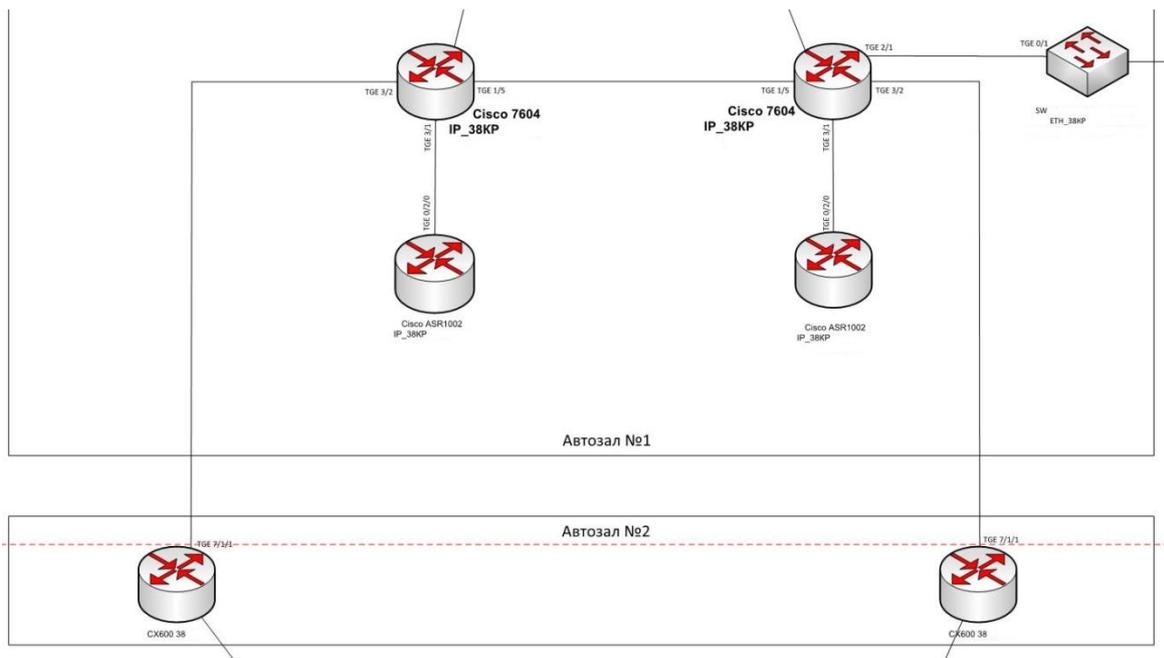


Рисунок 2 – Функциональная схема ядра сети

И на нижнем уровне находятся ядра транспортной сети, основная функция которых – агрегация и перенаправление всего трафика в ядро сети. Эту функцию выполняют маршрутизаторы Huawei CX600.

По два одинаковых устройства каждом уровне необходимо, чтобы выполнить условие горячего резервирования системы.

### Уровень распределения

Данный уровень представлен в виде сети Mobile Backhaul, которая связывает между собой все базовые станции региона. Это транспортная конвергентная сеть, которая по общим каналам доставляет трафик проводной и радиосети к ядру фиксированной и ядру мобильной сети соответственно. В этом заключается принципиальное отличие от других операторов проводной связи, так как МТС имеет возможность развернуть сети фиксированного доступа от любой базовой станции в области.

Точки подключения к сети МВН совпадают с расположением Магистральных узлов(МУ), на которых агрегируется трафик с подключенного района города.

Резервирование транспортной сети происходит по Backup соединению или через обычное кольцо.

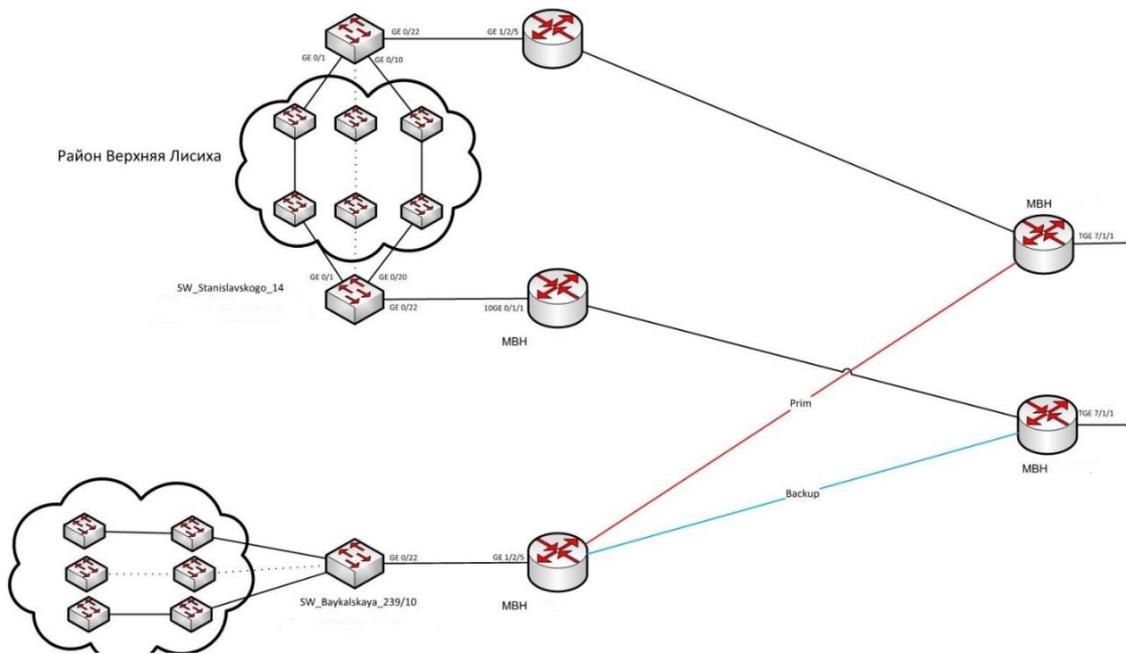


Рисунок 3 – Функциональная схема на уровне распределения

### Уровень доступа

Это уровень сети, к которому физически присоединяются сами пользователи. Тут применяются коммутаторы L2 (иногда L2/3+) с принципом настройки: VLAN услуги на порт пользователя + управляющий VLAN на устройство доступа.

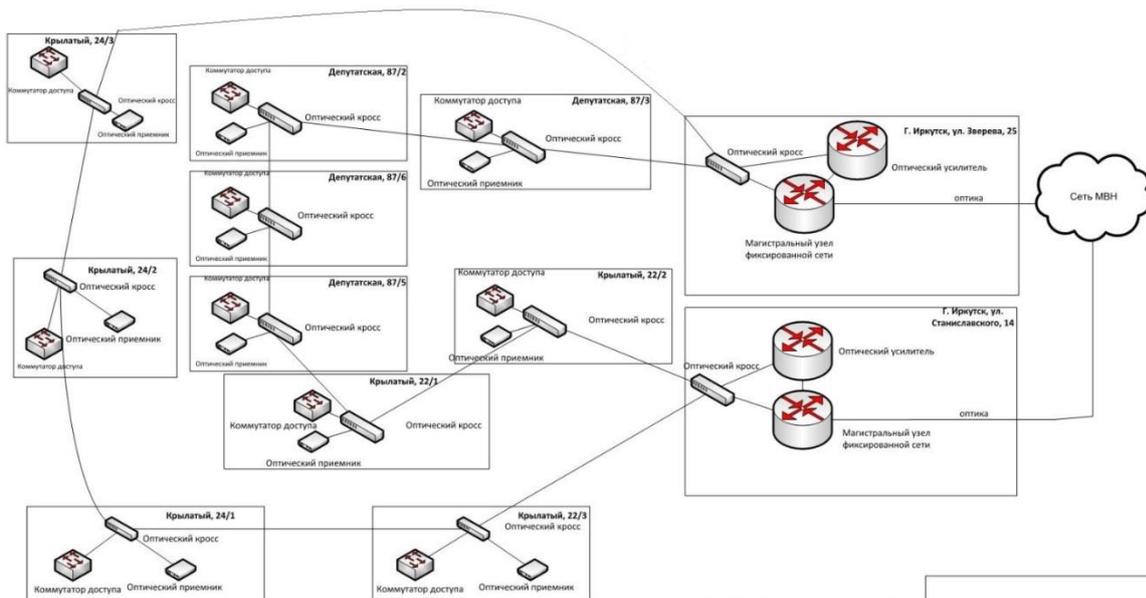


Рисунок 4 – Функциональная схема района на уровне доступа

Резервирование обеспечивается за счет двух МУ подключенных к МВН. Далее по району, дома подключены в 2 кольца для резервирования. На каждом доме установлен ДУ с оптическим кроссом, коммутатором доступа и оптическим приемником.

Подразделение по подключение корпоративных клиентов строит свои сети не по типовым проектам, а каждый раз разрабатывает индивидуальную схему под конкретного клиента. Оценивается техническая возможность (близость БС, рельеф местности, географическое расположение клиента) и экономическую целесообразность реализации такого проекта.

### **Актуальные задача телеком-оператора**

Важной задачей любого связи является сохранение и преумножение абонентской базы, а также оптимизация расходов организации для получения высоких экономических показателей. Это основная задача для любой коммерческой организации. В настоящее время телеком-рынок испытывает определенный кризис, прирост поскольку выручки от классических телеком услуг существенно замедлился. Это связано с насыщением рынка, уже каждый человек имеет смартфон и подключен к домашнему Интернету, и объем потребления этих услуг уже приближен к своему максимальному значению.

Для сохранения и увеличения абонентской базы проводятся работы по модернизации сети, включающие в себя увеличение пропускной способности, увеличение зоны покрытия и особое внимание уделяют повышению отказоустойчивости сети. В нашем случае коэффициент безаварийности фиксированной сети составляет 99,8%.

Чтобы сохранить показатели и лидирующую позицию на рынке, компания последние несколько лет осваивает новые для российского телеком-рынка сферы деятельности.

### **Диверсификация**

Компания расширяет ассортимент предоставляемых услуг, тем самым находя для себя новые, более прибыльные рынки сбыта. Происходит перераспределение центров внимания с традиционных источников дохода, на новые более выгодные и перспективные. Сегодня МТС готова предоставлять те услуги, которые раньше конечные пользователи получали на наших сетях не от нас.



Рисунок 5 – Новые виды услуг

Фокус сместился с продаж мобильной связи и широкополосного доступа в интернет на сервисы, доступ к которым основан на них. К таким сервисам относятся фирменные приложения для мобильных устройств, интернет-банкинг, онлайн и розничная торговля. К более прогрессивным и перспективным сферам относится IoT и облачные сервисы. Доступ ко всем этим новым технологиям строится с помощью базисной технологии – скоростного широкополосного доступа в интернет. Оператор связи стремится стать «оператором жизни», тем самым внедряя в разные сферы свои выгодные для существующего абонента услуги. Такой подход увеличивает спрос абонентов на новые услуги, а также увеличивает количественное потребление базовый услуг, через которые осуществляется доступ к новым сервисам. Такая практика широко распространена у крупных операторов Азии, местные операторы предлагают все от сервисов по доставке еды до банковского обслуживания. ПАО «МТС» стремится достичь такого уровня развития своих сервисов на территории России.

### Библиографический список

1. Cisco Networking Academy Program CCNA<sup>®</sup> //1 and 2 Companion Guide. – Revised Third Edition. – Cisco Press. - 2008. - 697 p.
2. Березной А.Н., Будущее – за «облаками». Что предлагает современный телеком иркутскому бизнесу: статья / [Электронный ресурс] [http://sia.ru/?section=398&action=show\\_news&id=357523](http://sia.ru/?section=398&action=show_news&id=357523)

# УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗОНЕ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Ноянов В.И., Дёмин А.П. –научный руководитель  
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»  
apd\_60@mail.ru

В современных технологических процессах важнейшим аспектом является неразрушающий контроль металлов. Эта задача решается с использованием различных методов неразрушающего контроля. Одним из таких методов является магнитооптический (магнитодоменный).

В данной работе используется магнитооптический датчик феррит-граната, принцип работы которого основан на эффекте Фарадея.

С помощью эффекта Фарадея можно наблюдать доменную структуру магнитных пленок, например гранатов. При этом изображение областей с разным направлением намагниченности обычно достаточно контрастное, даже без дополнительной обработки.

Целью настоящей работы является увеличение точности обнаружения дефектов на образце, посредством внедрения вращающегося магнитного поля над исследуемым объектом.

Магнитодоменный преобразователь представляет собой однородную магнитную среду определенной толщины, в которой домены (однородные области, обладающие одинаковой намагниченностью) ориентируются в зависимости от магнитного поля рассеяния, создаваемого дефектами в изделиях из ферромагнитных материалов.

Применяемые в настоящее время магнитодоменные преобразователи основаны на визуализации топографии магнитного поля с помощью феррит-гранатовой магнитной пленки. На рис. 1 показана доменная структура такой пленки, размещенной на бездефектном участке ферромагнитного объекта и доменная структуры пленки, находящейся над дефектом (трещина).



Рисунок 1 – Магнитодоменная структура пленки на бездефектном участке детали и участке с трещиной

Изменение доменной структуры происходит под влиянием магнитных полей рассеяния. Визуализация этих изменений производится так, как показано на рис. 2.

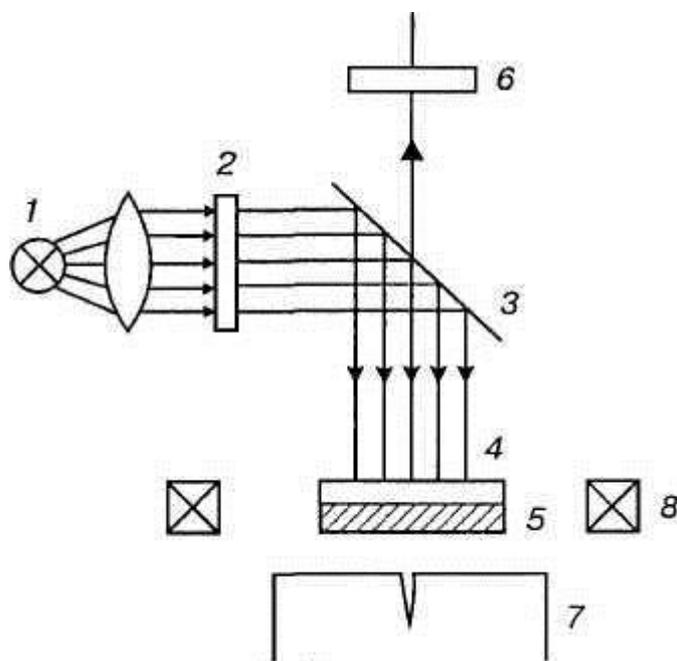


Рисунок 2 – Принципиальная схема магнитодоменного дефектоскопа

Световой поток от источника света 1 проходит через поляризатор 2 и с помощью полупрозрачного зеркала 3 перпендикулярно освещает магнитную пленку 4 плоскополяризованным светом. Пройдя через пленку и отразившись от зеркального покрытия 5, световой поток вторично проходит через пленку. Далее свет вторично проходит через полупрозрачное зеркало 3 и анализатор 6. Вращая анализатор вдоль оси, наблюдаем доменную структуру пленки. Доменная структура пленки определяется свойствами ферромагнитного образца 7 и внешним магнитным полем создаваемым катушкой подмагничивания 8, кроме того, может изменяться с помощью приставных электромагнитов.

Основным элементом преобразователя является висмутсодержащая феррит-гранатовая магнитная пленка 4, выращенная на подложке из галлий-гадолиниевого граната. На пленку нанесен отражающий слой 5, закрытый предохраняющим слоем. Для управления доменной структурой пленки служит катушка 8.

Информативным параметром магнитодоменного преобразователя является видимое изображение доменной структуры магниточувствительной пленки. Доменная структура пленки представляет собой лабиринтную структуру близ лежащих доменов с разной ориентацией намагниченности (расположение светлых и темных доменов).

Под влиянием внешнего магнитного поля доменная структура пленки изменяется.

На работу магнитодоменного преобразователя влияют два основных фактора: параметры пленки, направление и величина напряженности внешнего магнитного поля. Для улучшения параметров регистрации магнитного поля объекта, необходимо внешнее воздействие магнитным полем на магнитооптический датчик и исследуемый образец.

До настоящего времени, магнитооптический датчик намагничивали магнитным полем, имеющим один вектор направленности, что позволяло обнаруживать дефекты только перпендикулярные магнитному полю. Для решения этой проблемы предложено применение вращающегося магнитного поля.

Для получения вращающегося магнитного поля необходимо трехфазное напряжение, усилитель и устройство подмагничивания магнитооптического датчика вращающимся магнитным полем.

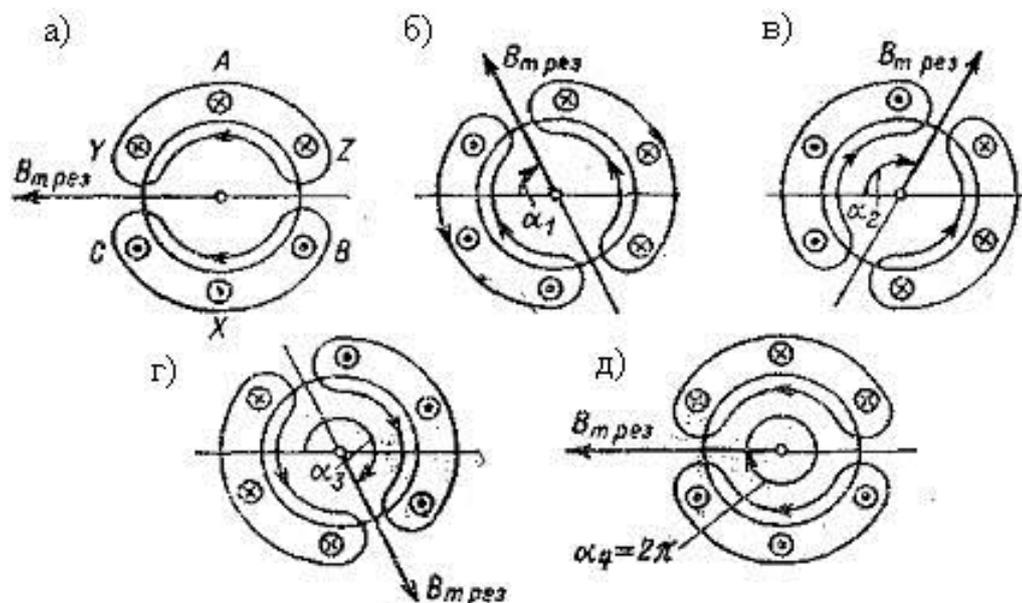


Рисунок 3 – Направление магнитного поля в различные моменты времени

На рис.3, б показана картина магнитного поля в момент времени  $t_1$ , соответствующий изменению фазы тока на угол  $\alpha_1 = 60^\circ$ . В этот момент времени токи в фазах А и В положительные, т. е. ток идет в них от начала к концу, а ток в фазе С – отрицательный, т. е. идет от конца к началу. Магнитное поле оказывается повернутым по часовой стрелке на угол  $\alpha_1 = 60^\circ$ . Если угловая частота тока  $\omega$ , то  $\alpha = \omega * t$ . В моменты времени  $t_2$  и  $t_3$  ось магнитного поля соответственно повернется на углы  $\alpha_2 = \omega * t_2$  и  $\alpha_3 = \omega * t_3$  (рис. 3, в и г). Через время, равное периоду  $T$ , ось поля займет первоначальное положение. Следовательно, за период  $T$  поле делает один оборот (рис. 3, д).

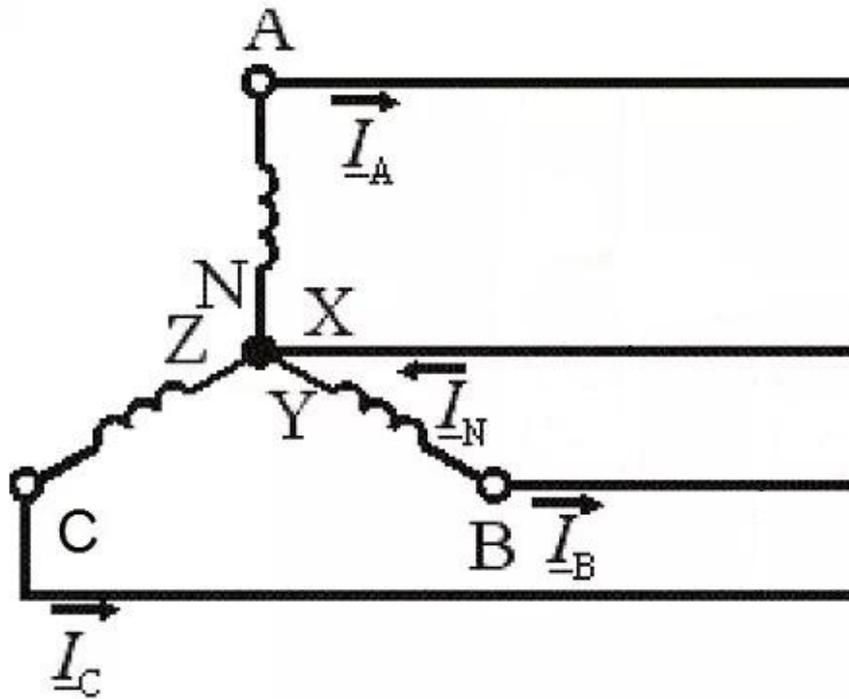


Рисунок 4 – Схема включения катушек индуктивности

На рис.4 показана схема включения катушек индуктивности, данная схема состоит из трех пар катушек, катушки подключены к трехфазному питанию, при таком включении получаем вращающееся магнитное поле.

Каждая катушка намотана проводом ПЭЛ диаметром 0,215 мм, на оправу 6 мм, длиной 10 мм, по 250 витков.

Расчет индуктивности катушек произведен по формуле:

$$L = \frac{\frac{D^2}{10} * n^2}{4.5 * D + 10 * l}$$

где,

L – индуктивность катушки, мкГн;

D – диаметр катушки, мм;

l – длина катушки, мм;

n – число витков катушки.

$$L = 176.415 \text{ мкГн}$$

Напряженность магнитного поля в цилиндре катушки составила

$$H = 25 \text{ кА/м}$$

Для получения вращающегося магнитного поля генерируем трехфазный сигнал питающий подмагничивающие катушки, питание катушек организовано по следующей схеме:

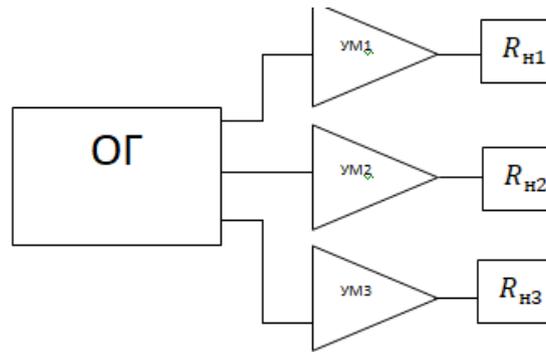


Рисунок 5 – Трехфазное питания катушек

Для разработки опорного генератора трехфазного сигнала использована Arduino UNO. На Arduino была написана программа и прошит микроконтроллер.

Программный код:

```
int f = 30; // Присваиваем символу f значение 30, частота сигнала
int t; // Создаем область в памяти микроконтроллера для записи времени
void setup(){
    // Здесь записывается та часть кода, которая выполняется один раз,
    // при подключении питания
    t = 1000 / (3*f); // Формула для расчета времени задержки, относительно
    // выбранной частоты
    pinMode(13, OUTPUT); // Указываем 13 выход как активный и используемый в
    // коде
    pinMode(12, OUTPUT); // Указываем 12 выход как активный и используемый в
    // коде
    pinMode(11, OUTPUT); // Указываем 11 выход как активный и используемый в
    // коде
}

void loop(){
    // Часть кода которая повторяется постоянно
    digitalWrite(13, HIGH); // Подаем сигнал высокого уровня на 13 вывод
    delay(t); // Задержка(время наличия сигнала на выводе)
    digitalWrite(13, LOW); // Низкий уровень сигнала на 13 выводе
    digitalWrite(12, HIGH); // Подаем сигнал высокого уровня на 12 вывод
    delay(t); // Задержка(время наличия сигнала на выводе)
    digitalWrite(12, LOW); // Низкий уровень сигнала на 12 выводе
    digitalWrite(11, HIGH); // Подаем сигнал высокого уровня на 11 вывод
    delay(t); // Задержка(время наличия сигнала на выводе)
    digitalWrite(11, LOW); // Низкий уровень сигнала на 11 выводе
}
}
```

После проверки кода на симуляторе Virtual Breadboard, прошили Arduino UNO с использованием программного обеспечения Arduino 1.8.5. Проверили генерацию сигналов на осциллографе.

После генерации сигналов для их усиления использован трехканальный усилитель мощности.



Рисунок 6 - Общая схема усилителя мощности

В качестве источника сигнала выступает среда разработок Arduino, в роли нагрузки три пары катушек индуктивности с сопротивлением 7 Ом и источник питания уахун ps-d305. Усилитель мощности включается между источником сигнала с регулируемым выходным напряжением и нагрузкой.

Для усиления трехфазного сигнала необходим усилитель, работающий в диапазоне низких частот, а так же имеющий три канала усиления. Основой для усилителя послужила микросхема TDA7385.

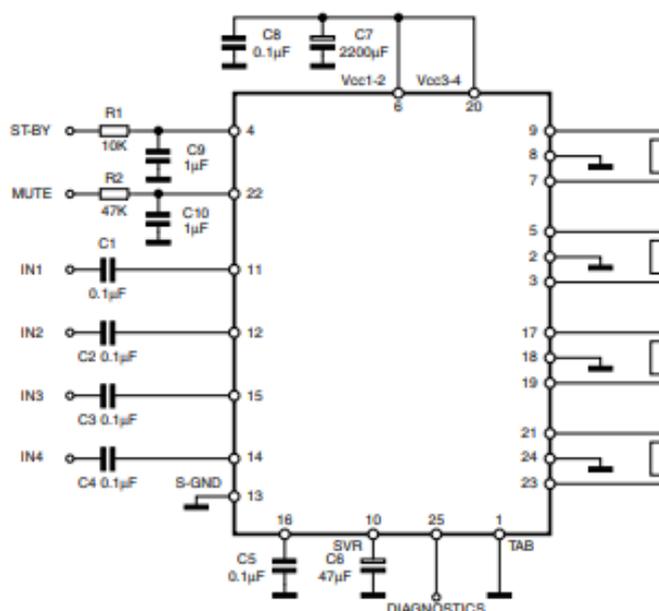


Рисунок 7 – Схема включения микросхемы TDA7385

Для изучения поведения доменной структуры пленки во вращающемся магнитном поле, необходимо расположить три пары катушек подмагничивания вокруг магнитооптического датчика так, чтобы

угол между парами катушек был  $120^{\circ}$ . При этом питание катушек обеспечивается усиленным трехфазным сигналом, потребляемая мощность каждой катушки 12 Вт.

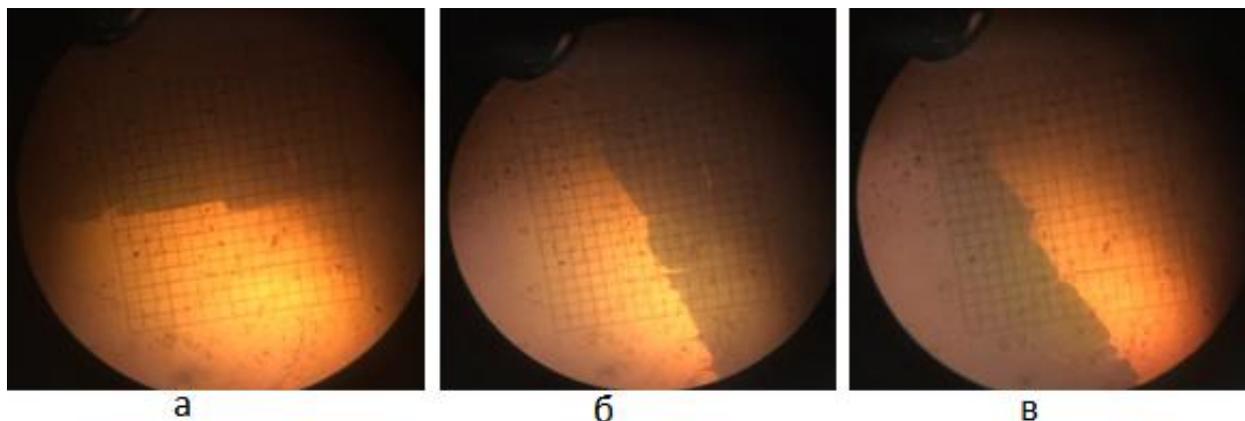


Рисунок 9 – Доменная структура пленки во вращающемся магнитном поле в различные моменты времени

добавить в текст. граница светлого и темного домена, линия нулевого поля. Показать ее на картинке. расшифровка ЛНП. Нормальная составляющая напряженности магнитного поля равна нулю

На рисунке 9 (а) представлено изображение доменной структуры пленки в момент времени работы первой пары катушек, при включении второй пары катушек структура пленки меняется, линия нулевого поля поворачивается по часовой стрелке на угол  $120^{\circ}$  (рисунок 9,б), так как меняется вектор магнитного поля и (в) доменная структура пленки при включении третьей пары катушек. Соответственно пленка меняет свою структуру в зависимости от того какая катушка включена в данный момент, при подаче трехфазного напряжения на три пары катушек домены начинают совершать вращательные движения что можно наблюдать на рисунке 9(а–в).

Вращающееся магнитное поле генерируется, пленка магнитооптического датчика во вращающемся магнитном поле ведет себя, как и ожидалось. Это позволяет подмагничивать образец с дефектом под разным углом и лучше увидеть наличие и расположение дефекта.

#### Библиографический список

1. Белоус А. И., Емельянов В. А., Турцевич А. С. Основы схемотехники микроэлектронных устройств. – М.: Техносфера, 2012. – 471 с.

# ПОИСК АВТОМОБИЛЬНОГО ГРЗ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Ма Жуй  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"  
maruima@yandex.ru

Распознавание автомобильного государственного регистрационного знака (ГРЗ) представляет собой специализированную задачу для систем машинного зрения, позволяющая идентифицировать автомобиль и его владельца, что является важной частью интеллектуальной транспортной системы. Технология распознавания номерных знаков объединяет множественные знания в сфере графической обработки, компьютерного зрения, технологии распознавания образов и искусственный интеллект. Автором работы разрабатывается система распознавания ГРЗ на статичном и сложном фоне с использованием платформы разработчика Qt и Open Source библиотеки Open Vision. В настоящей работе рассматривается способ решения задачи поиска ГРЗ на изображении с использованием фильтрации по границам и морфологических методов для определения контура номерного знака.

Выбор платформы Qt совместно с библиотекой Open Vision обусловлен широкими возможностями интеграции в проект инструкций и блоков, реализованных на языках Python, Ruby, MATLAB и др., а также кроссплатформенностью, что в перспективе позволит разместить разработанную систему на энергоэффективной платформе Raspberry Pi, STM32 и т.п. без изменений в исходном коде.

## Предварительная обработка изображения

Для определения расположения ГРЗ, каждое изображение проходит предварительную обработку. В первую очередь производится преобразование цветного изображения в изображение в оттенках серого с использованием функции взвешенных значений `cvtColor`. Далее производится размытие по Гауссу. В результате данных операций информация, заключённая в каналах цветности изображения переносится в канал яркости и устраняется высокочастотный шум изображения.

Код выглядит следующим образом:

```
cv::cvtColor(srcimage, gray, CV_BGR2RGB); // Исходное изображение
GaussianBlur(gray, gaussimg, Size(3, 3), 0, 0); // Гауссовский
фильтр
```

Результат предварительной обработки изображения показан на рисунке 1.

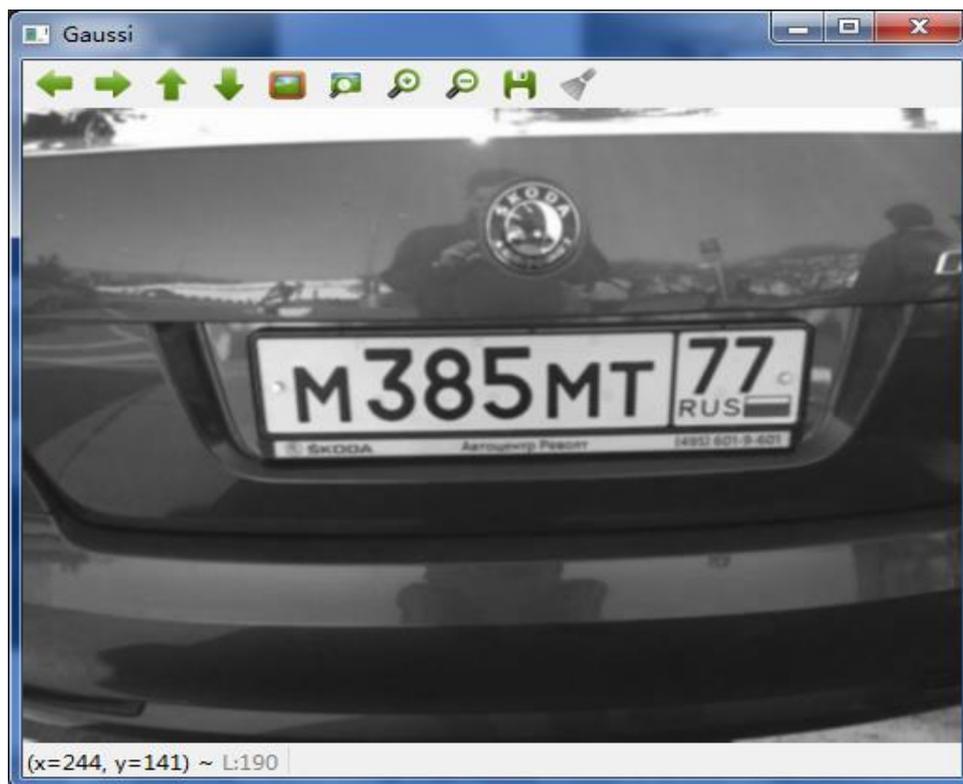


Рис.1. Предварительная обработка изображения

### Обнаружение контуров

Существует множество методов обнаружения контуров, такие как Sobel, Canny, Laplace и т.д. В данной работе используется функция Sobel для получения вертикальных границ изображения ГРЗ. Обычно, вертикальные границы ГРЗ имеют высокий контраст яркости с окружающим его фоном. Если применять данную функция для обнаружения как вертикальных, так и горизонтальных границ, то велика вероятность получения большого количества ложных линий вследствие шумов на изображении и сложности фона.

Для примера, на рисунке 2 показан результат работы функции Canny. Несмотря на то, что в пределах ГРЗ контуры проработаны достаточно хорошо, результат обработки имеет большое количество ложных контуров.

Вызов функции Sobel выглядит следующим образом:

```
void Sobel (InputArray src, OutputArray dst, int ddepth, int dx,
int dy, intksize=3, double scale=1, double delta=0,
int borderType=BORDER_DEFAULT )
```

Поскольку необходимо извлечь информацию о вертикальных границах,  $dx = 1$ ,  $dy = 0$ , соответственно, составляется матрица:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Код выглядит следующим образом :

```
Mat grad_x, sobelimg ; //Градиент X-направления
Sobel (gaussimg, grad_x, CV_16S, 1, 0, 3, 1, 1, BORDER_DEFAULT) ;
```

```
convertScaleAbs( grad_x, sobelimg );
```

Результат обработки изображения показан на рисунке 3.

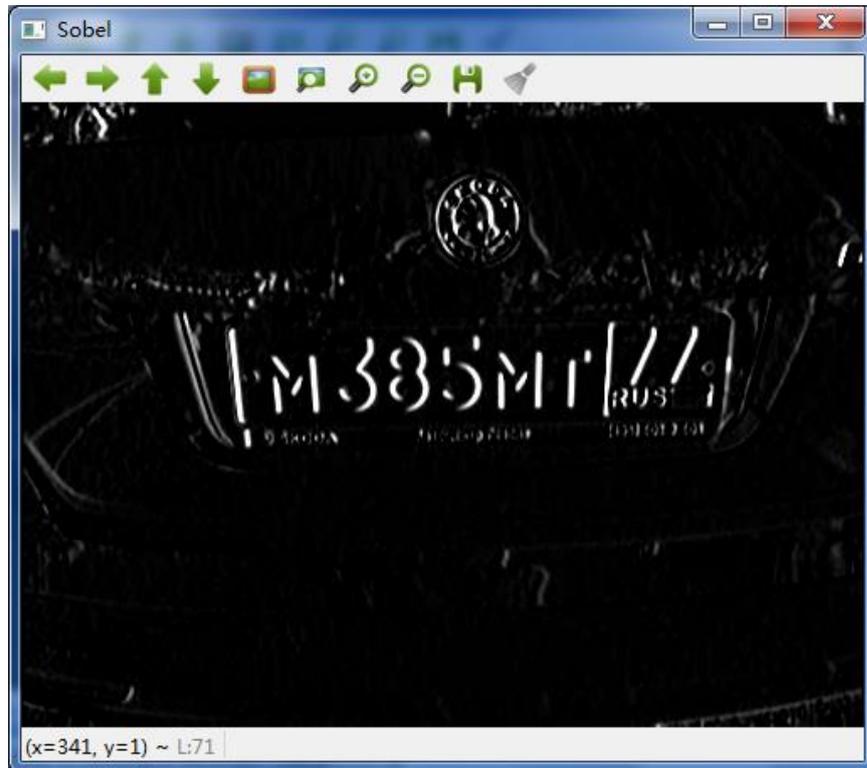


Рис. 3. Поиск вертикальных контуров функцией Sobel

### **Пороговая обработка, бинаризация**

После обработки изображения функцией Sobel, производится бинаризация изображения с использованием порогового алгоритма OTSU и функции `cvThreshold`, которая определяет оптимальный уровень порога бинаризации (рисунок 4).

Код выглядит следующим образом:

```
Mat threshImg;
threshold(sobelimg, threshImg, 0, 255, CV_THRESH_BINARY |
CV_THRESH_OTSU);
imshow("threshold", threshImg);
```

### **Морфологическое преобразование**

В результате бинаризации изображения, необходимо выделить область с характерным для ГРЗ микроконтрастом. Это можно сделать методом «эрозии» изображения, заполняя небольшие пустоты и удаляя «шумовые» точки. Т.к. в области ГРЗ присутствует множество контуров, данная область будет закрашиваться в белый, а фоновая в черный цвета (рисунок 5).

Код выглядит следующим образом:

```
Mat dst, opening;
morphologyEx(threshImg, dst, MORPH_CLOSE,
Mat(3, 3, CV_8U), Point(-1, -1), 11);
imshow("CLOSE", dst); //close
```

```
morphologyEx(dst, opening, MORPH_OPEN, Mat(3,3,CV_8U),Point(-1,-1),11);  
imshow("OPEN", opening); //open
```

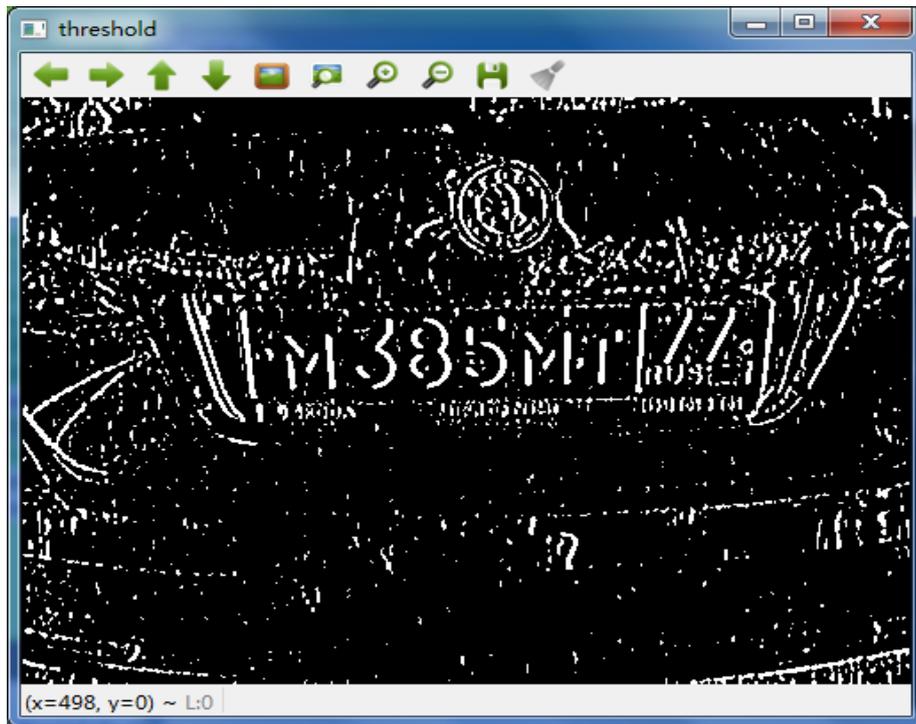


Рис. 4. Бинаризованное изображение

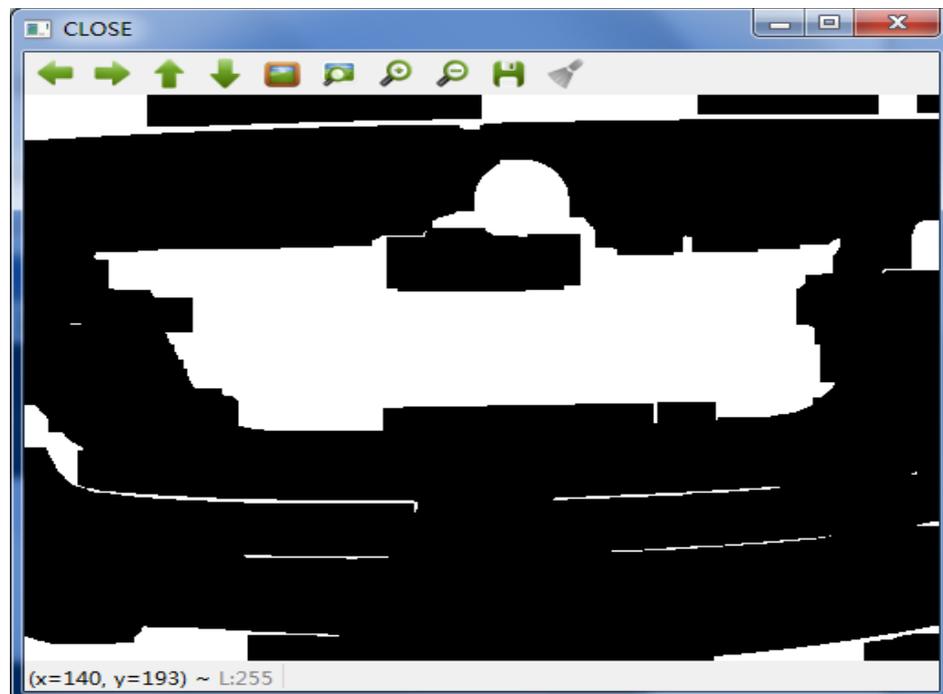


Рис. 5. Эрозия бинаризованного изображения ГРЗ

### Извлечение контура

После морфологической обработки можно приступить к определению контура ГРЗ из полученного бинаризованного изображения.

Наиболее простой алгоритм извлечения контуров - это систематическое сканирование изображения до тех пор, пока он не встретится точка в связанной области, с которой начинается отслеживание контура, а входящие в него пиксели маркируются. Как только контур замыкается, сканирование переходит к поиску следующей точки и отслеживанию контура.

Пример использования функции `findContours` в OpenCV:

```
void findContours( InputOutputArray image, OutputArrayOfArrays contours, int mode, int method, Point offset=Point())
Код выглядит следующим образом:
vector<vector<Point>>contours;
vector<Vec4i>hierarchy;
findContours( opening, contours, hierarchy, RETR_CCOMP, CHAIN_APPROX_SIMPLE, Point(0,0));
Mat drawing = Mat::zeros( dst.size(), CV_8UC3);
int index = 0;
for( ; index>=0; index = hierarchy[index][0]){
Scalar color (255,0,0);
drawContours( opening, contours, index, color, FILLED, 8, hierarchy);}
```

### Морфологический поиск

После предварительной обработки получается наиболее вероятная область расположения ГРЗ. Далее, для того, чтобы идентифицировать контур, внутри которого расположен ГРЗ, производится фильтрация найденных контуров на предмет соответствия определённому соотношению длины к ширине, характерному для ГРЗ Российской Федерации (рисунок 6).

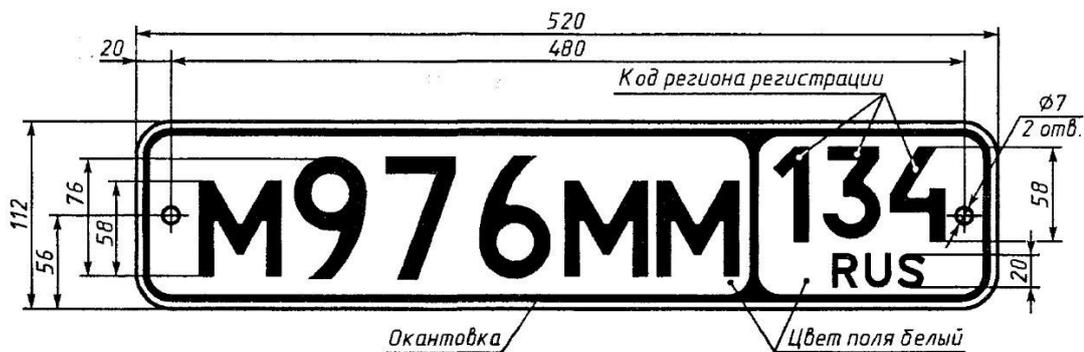


Рис.6. Типоразмер ГРЗ российского образца

Код программы, определяющий контур ГРЗ, выглядит следующим образом:

```
vector<vector<Point>>::iterator itc = contours.begin();
vector<RotatedRect> rects;
while (itc!= contours.end()){
RotatedRect mr = minAreaRect(Mat(*itc));
if( ! verifySizes(mr) ){
itc = contours.erase(itc);
}else{
++itc ;
}
```

```

        rects.push_back (mr);
    }
}

bool MainWindow:: verifySizes(RotatedRect mr)
{
    float error = 0.4;
    float scale = 4.7272;
    int min = 150 * scale *100; //Минимальная площадь      int
max = 200 * scale * 200; //Максимальная площадь
    float rmin = scale - scale*error;
    float rmax = scale + scale*error;
    int area = mr.size.height * mr.size.width ;
    float r = (float)mr.size.width / (float)mr.size.height ;
    if (r<1)
        r = (float)mr.size.height / (float)mr.size.width ;
    if ((area < min || area > max) || (r < rmin || r > rmax)) {
        return false;
    }
    else {
        return true;
    }
}
}

```

**Код программы, рисующий контур ГРЗ на изображении:**

```

for( int i = 0; i < contours.size(); i++ )
{
    CvRect aRect = boundingRect (contours[i]) ;
    int tmparea =aRect.height*aRect.height;
    if (((double) aRect.width/(double)aRect.height>2)&& ((double)
aRect.width/ (double) aRect.height<6) &&
tmparea>=2000&&tmparea<=25000) {
        Scalar color = Scalar(rand()&255,rand()&255,rand()&255);
        rectangle(srcimage,cvPoint(aRect.x,aRect.y),
cvPoint(aRect.x+aRect.width ,aRect.y+aRect.height),color,2);
    }
}
}

```



Рис. 7. Расположение ГРЗ, определённое программой

В результате выполненной работы разработан способ выделения границ автомобильного государственного регистрационного знака на изображении. В качестве дальнейшей работы будет проведена оптимизация алгоритма выделения границ ГРЗ и распознавание символов на нём. Полученная система будет использоваться для обеспечения контроля доступа транспортных средств на ограниченные территории.

### **Библиографический список**

1. Можно ли записать распознавание номеров в любой тамагочи? [Электронный ресурс] // Хабрахабр URL: <https://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/343512/> (дата обращения: 13.01.2018)
2. Распознавание номеров: от А до 9 [Электронный ресурс] // Хабрахабр URL: <https://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/221891/> (дата обращения: 13.01.2018)
3. Algorithmic and mathematical principles of automatic number plate recognition systems [Электронный ресурс] // URL: <http://javaanpr.sourceforge.net/anpr.pdf> (дата обращения: 13.01.2018)
4. Выделение границ [Электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Выделение\\_границ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Выделение_границ) (дата обращения: 13.01.2018)
5. Преобразование Хафа [Электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование\\_Хафа](https://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование_Хафа) (дата обращения: 13.01.2018)
6. Классификатор kNN [Электронный ресурс] // Хабрахабр URL: <https://habrahabr.ru/post/149693/> (дата обращения: 13.01.2018)
7. Метод k-ближайших соседей [Электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_k-ближайших\\_соседей](https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_k-ближайших_соседей) (дата обращения: 13.01.2018)

## **НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА МНОГОЦЕЛЕВОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КАТАМАРАНА**

**Ченский Д.А., Григорьев К.А., Ченский А.Г.**

**ФГБОУ ВО "ИРНТУ"**

dimpson05@yandex.ru

gka\_1986@mail.ru

chens-01@yandex.ru

Роботизированный катамаран эксплуатируется на открытой местности и видит все созвездие спутников, в таком случае точность определения координат составляет не менее 7-3 метров. Такая точность соответствует линейным размерам катамарана. Использование дифференциальных поправок позволяет, повысить точность до нескольких десятков сантиметров, что является избыточной, так как в несколько раз меньше размеров катамарана. Для автономного движения катамарана помимо определения координат еще необходимо рассчитать скорость и курс. Для определения курса используются 3 осевой датчик магнитного поля, гироскоп, акселерометр. На основании показания этих датчиков рассчитываются математическая модель перемещения катамарана в пространстве. Модель показывает, направление движется катамарана по магнитному полю, векторы скорости, крен и деферент. Скорость рассчитывается из показаний акселерометра и GPS. На основании скорости и времени рассчитывается пройденный путь. [1]

На сегодняшний день существует 4 спутниковых навигационных систем. Американская GPS, отечественная ГЛОНАСС, европейская GALILEO и китайская BeiDou. На 2017 год полностью рабочими системами являются GPS и ГЛОНАСС. Европейская и китайская система находится на стадии разработки. Спутниковые системы навигации позволяют определить местоположение практически в любой точке земного шара. В основе спутниковой навигации лежит радиоволна, атомные часы и формула расчета расстояния исходя из скорости распространения радиоволны и времени, за которое это произошло. Для определения местоположение используется все тот же принцип только с большим числом спутников. На сегодняшний день точность определения координат без учета дифференциальных поправок составляет +/- 5 метров. А прием дифференциальных поправок от наземной станции или от спутника позволяет достичь точности в несколько десятков сантиметров. Но стоимость сервиса дифференциальных поправок может достигать нескольких сотен тысяч рублей в год. При этом сам приемник сигналов со спутников по стоимости в несколько десятков раз больше чем обычный модуль спутниковой навигации. Что существенно увеличивает стоимость разрабатываемого аппарата. Применение дифференциальных поправок

может быть выгодно только в случае применения целого флота роботизированных аппаратов, вследствие применения одного ретранслятора на все аппараты. Существуют навигационные приемники с возможностью самостоятельного расчета дифференциальных поправок. После длительного пребывания на одном месте навигационный приемник рассчитывает погрешности спутников в районе радиусом не более 100 км. Поправки от приемника могут передаваться по радиомодему на катамаран. Точность определения координат будет зависеть от удаленности от ретранслятора дифференциальных поправок NAVITEL. На расстояние не более 10 км от ретранслятора определения координат будет происходить с точностью от 10 до 50 см. [2]

Основной принцип работы инерциальной системы навигации это определение текущих координат движущегося объекта его скорости и угловых положений. При этом учитываются только начальные координаты и угловые положения объекта. Расчет координат осуществляется за счет датчиков: магнитного поля, углов ориентации и ускорений. Датчики магнитного поля позволяют определять направление относительно магнитного поля земли. Акселерометр позволяет определить ускорение, по которому вычисляется угловая ориентация и скорость движения. Гироскопы позволяют измерить углы наклона. На основании этих датчиков навигационная система рассчитывает координаты аппарата. Но система обладает существенным недостатком, вследствие погрешности датчиков с течением времени накапливаются ошибки и существенно ухудшается точность расчёта координат. Широкое распространение инерциальных навигационных систем получили в автономных необитаемых подводных аппаратах, в связи с отсутствием возможности, применения спутниковых навигационных систем под водой. В настоящее время существуют комбинированные системы с ретрансляторами спутниковой навигации под воду по акустическому каналу связи. [3]

На катамаране применяется комбинированная навигационная система с применением, как спутниковой навигации, так и инерциальной. Спутниковая навигация позволяет с точностью  $\pm 5$  метров определить положение катамарана в пространстве. Инерциальные датчики в свою очередь позволяют точно определить магнитный курс угловые перемещения и направление движения. Магнитный курс позволяет определить направление движения катамарана относительно магнитного поля земли. Акселерометр и гироскоп позволяет определить углы наклона катамарана. Истинный курс рассчитывается из нескольких параметров: магнитного курса, курса по спутниковой навигационной системе и угловым скоростям. На основании этих параметров рассчитывается истинный курс.



Рисунок – 1. Многоцелевой роботизированный катамаран

Навигация катамарана в автономном режиме осуществляется за счет определения текущих координат и расчета курса до следующей точки. Первым этапом текущая координата сравнивается с координатой следования, определяется квадрант направления в зависимости нахождения точки следования к сторонам света. В зависимости от выбранного квадранта и расстояния до точки рассчитывается угол направления. Угол пересчитывается в истинный курс. Так происходит каждый 100 мсек. пока расстояние до точки не станет меньше чем 10 метров. После чего программа перейдет к следующей точке.

В наши дни машинное зрение успешно применяется в различных сферах жизнедеятельности в аэропортах и вокзалах для распознавания лиц и поиска преступников. На заводах для распознавания и отбраковки продукции. Машинное зрение стало возможным после массового применение цифровых камер и большого вычислительного потенциала современных компьютеров. Изображение с телекамер оцифровывается, передается на компьютер где происходит обработка изображений математическими методами в зависимости от реализуемой задачи. С развитием микроэлектроники и миньютеризации оптических матриц появились «smart cam» которые совмещают оба устройства в единое целое и напрямую управляют процессом на заводе либо передают готовое решение поставленной задаче оператору. Так же стремительно

развиваются системы ориентации на основе машинного зрения. Например, навигация в замкнутом пространстве на основе получаемых изображений различных объектов с использованием данных визуального одометра [4]. Навигация по средствам машинного зрения, на водных объектах затруднена отсутствием близко расположенных объектов с известными размерами. Возможно, применение водной ряби либо волнения. Основная проблема при этом в отсутствии стабильно объекта постоянного размера. Но при этом у каждого плав средства существует кильватерная струя либо волны, созданные самим судном. Размер и направление кильватерной струи напрямую зависит от скорости и направления движения. Периодичность собственных волн и неоднородностей судна зависит от скорости, направления движения и от осуществляемого маневра. Применение телекамер на корме и по бортам судна обеспечит навигацию на основе неоднородностей водной среды создаваемой самим судном с заранее известными характеристиками в зависимости от параметров судна. Применение машинного зрения позволяет определять объекты на расстоянии нескольких сотен метров. Простор и расстояние до объекта гораздо больший, чем на суше в условиях города или магистральных трасс. Резкие маневры осуществляются гораздо реже, скорость движения в несколько раз меньше. Вследствие этих факторов изображение с камеры менее динамично, что позволяет точнее определять и классифицировать объекты

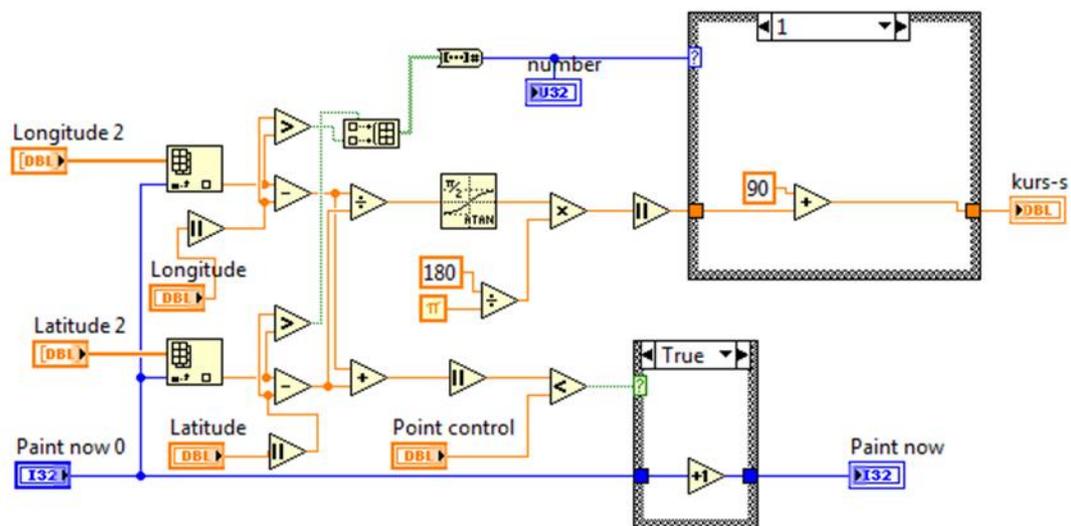


Рисунок 2. – Программа расчета маршрута по точкам

Информационно управляющая система катамарана анализирует принятые данные с других систем, рассчитывает маршрут и передает управляющие сигналы на драйвера моторов. Информационно-управляющая система (электронный штурман), должна рассчитать

скорость и курс, как судна, так и других объектов, определить место предполагаемого расчетного столкновения принять меры путем изменения маршрута. В случае неподвижных объектов необходимо пересмотреть маршрут. ИУС рассчитывает маршрут согласно электронной карте. На карте располагаются границы водоема, мели, динамические и статические объекты наносятся на карту по ходу следования судна. Нанесение объектов на карту проводится несколькими способами. Первый способ данные с системы машинного зрения. Второй способ с акустического эхолотатора. Третий способ нанесение объекта оператором вручную. Порядок Навигации по системе машинного зрения состоит из нескольких этапов. Первое поиск объекта, второе измерение расстояния до объекта, третье классификация объекта. После чего, зная расположения катамарана, параметры объекта и расстояние до него объект, размещается на цифровой карте местности. Цифровая карта местности представляет собой интерпретацию местности для системы управления. Объекты размещенные на карте позволяют системе управления рассчитывать курс и при необходимости огибать объекты.

### **Библиографический список**

1. Авиационное оборудование / под ред. Ю. П. Доброленского. — М.: Военное издательство, 1989. — 248 с. — ISBN 5-203-00138-3.
2. Khan (May 24, 2016). "NAVIC could be operationalised during July-August this year". The Hindu. Retrieved September 2, 2017.
3. "A Beginner's Guide to GNSS in Europe" (PDF). IFATCA. Retrieved 20 May 2015.
4. Девятериков Е.А. Мультисенсорная система автономной навигации для автоматического возвращения мобильного робота с использованием данных визуального одометра / Диссертационная работа / Московский Государственный Технический Университет имени Н. Э. Баумана Laiqh A.

# СЕТЕВАЯ ОНТОЛОГИЯ ЭМОЦИЙ И ИХ КРАУДСОРСИНГОВОГО ТЭГГИНГА

Коровина О.Е., Берестнева О.Г.  
ФГБОУ ВО НИ ТПУ  
olgakorovina92@gmail.com

Тихомиров А.А.  
Университет Инха, Инcheon

Труфанов А.И.  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"

**Введение.** Эмоции как внутренний психологический процесс, сопровождаются практически любой жизненной активностью человека и животных и определяются как их субъективные реакции на воздействие внутренних и внешних раздражителей, порождают у человека переживания в виде удовольствия или неудовольствия, радости или печали, страха или робости и т. д. Эмоции издавна представляют интерес для социально-исторической науки и психологии.

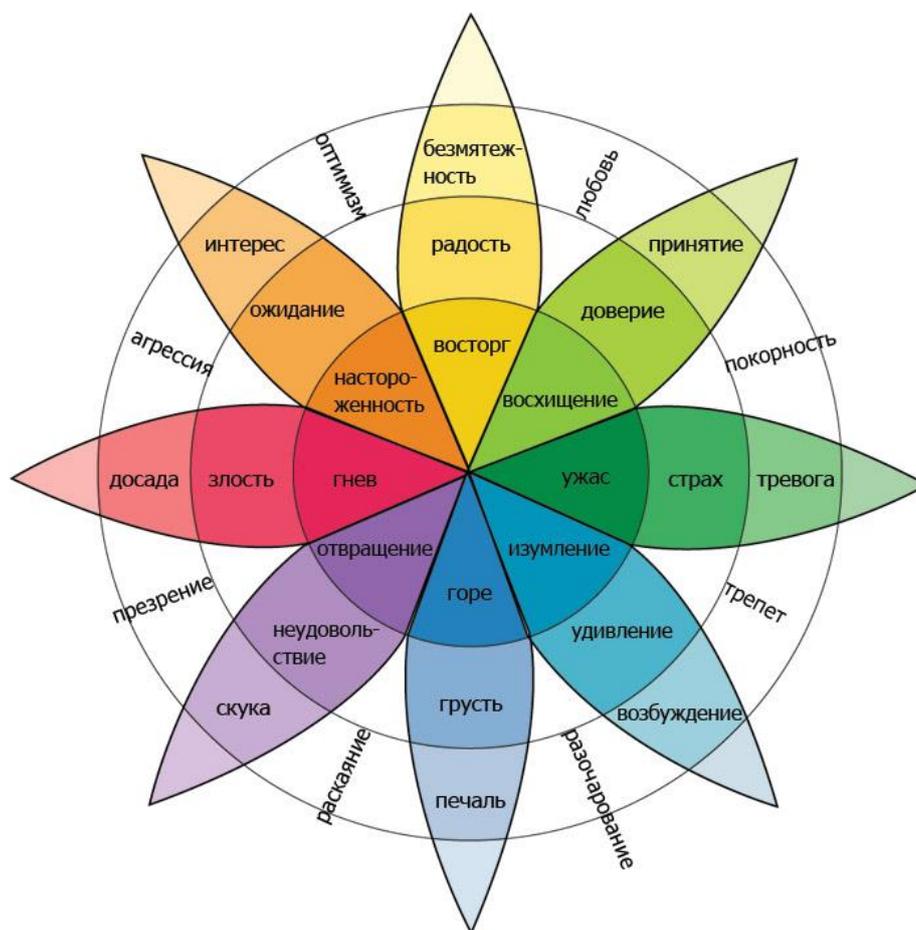
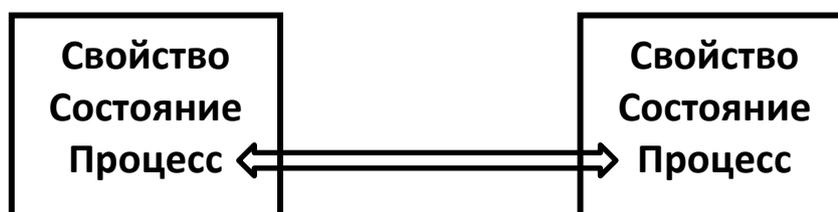


Рис. 1. Модель эмоций Плутчика [2]

Основной формат описания эмоций базируется на модели ОСС (Ortony, Clore, Collins) [1] и вытекающих из нее серии других, в том числе модели Плутчика (Plutchik) [2].

В рамках последней, связи между предлагаемыми восемью базисными эмоциями могут быть представлены в виде «колеса» (рис.1), в котором отражается полярность противоположных эмоций. При этом некоторые эмоции являются первичными, другие — их производные. Интересно, что в последнее время эмоции привлекли внимание исследователей в области информатики и особенно в вычислительной лингвистике [3]. Эмоциональная оценка («раскраска») элементов контента каждым отдельным пользователем постоянно претерпевает изменения. Основным механизмом изменения эмоциональной оценки является информационное взаимодействие между акторами-пользователями. Исследователи в моделях социального информационного обмена, наряду с непосредственно информационным компонентом и некоторых других, включают эмоциональную составляющую [4]. При этом преобладание того или иного компонента форматирует весь вид взаимодействия, и демонстрирует топологические характеристики организации психических мотивов социальной деятельности. Можно полагать, что эмоциональный канал информационного обмена в психологическом пространстве со свойствами, состояниями и процессами реализуется на уровне процессов



**Рис. 2. Эмоциональный канал информационного обмена**

Платформой эмоционального канала информационного обмена наряду со средствами традиционного бинарного и группового социального взаимодействия (встречами, письмами, телефонными разговорами, митингами...) все в большей степени становятся SMS – сообщения, современные инструменты социальных сетей (Вконтакте, Facebook, Одноклассники, Twitter...) и мессенджеры (WhatsApps, Viber, Telegram, ...).

#### **Сетевая теория и психология: трансдисциплинарность.**

Хотя психология находится на переднем крае объяснения мотиваций, процессов достижения целей, поведенческого прогнозирования, и процессов человеческих эмоций. Тем не менее, данная предметная область все еще упускает многочисленные возможности для

применения своей концептуальной широты к современной области анализа социальных сетей, социальному взаимодействию и деятельности социальных медиа. В попытке преодолеть этот разрыв работа [5] представила динамическую перспективу сетевой теории и продемонстрировала множество новых возможностей для исследований, которым требуется строгое психологическое внимание.

С другой стороны наука о сетях в последнее десятилетие заняла достойное место в самых различных областях исследований и практики. Теория и приложения комплексных сетей как основной платформы сетевой науки должны в полном объеме войти в область психологии, подступаясь к изучению и таких явлений как эмоции.

Примеры подобной трансдисциплинарности можно отметить в исследованиях [6-7].

### Социальные сети, основанные на эмоциях.

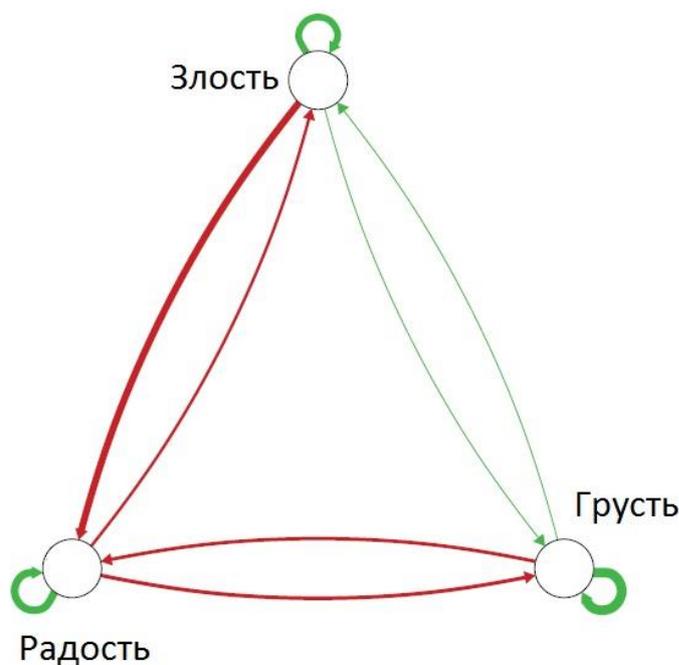


Рис. 3. Сеть эмоций с тремя узлами[5]

В [6] изучены и визуализированы как сетевые мультивариантные психологические процессы. В этом сетевом подходе психологические конструкции представлены как сложные системы взаимодействующих компонентов. На рис.3 представлен гипотетический пример сети эмоций с тремя узлами (радость, злость и грусть). Красные линии являются отрицательными (то есть, тормозящими) дугами и зелеными стрелки – положительными (то есть, возбуждающие) дуги.

Толщина линии представляет силу дуги. Например, дуги на узлах (собственных петлях) являются самыми сильными связями в сети. Помимо сетевой визуализации, дающей глубокое понимание динамики процессов, сама сетевая перспектива приводит к новому способу мышления о природе психологических явлений, предлагая новые инструменты для изучения динамических процессов в психологии. Иллюстрируя сетевой подход, в [6] рассматривался эмпирический пример, с фокусировкой на связи между ежедневными колебаниями эмоций и невротизмом. в отличие

от модели Плутчика [2] в [6] использовалось 10 базисных эмоций ((положительные и : безмятежность, радость, удовлетворение, возбуждение, негативные : дисфория ( мучения), тревога, раздражение, грусть, стресс и злость) .Результаты показали, что люди с высоким уровнем невротизма имели более плотную сеть эмоций по сравнению с их менее невротическими сверстниками. Этот эффект особенно ярко выражен для сети отрицательных эмоций, что соответствует депрессивным субъектам, нежели здоровым людям.

Исследование [7] демонстрирует, как эмоции варьируются между пользователями, развиваются со временем и в какой степени обусловлены социальными связями. Основываясь на выявленных шаблонах социальных связей, была предложена сетевая модель, способная имитировать формирование дружеских отношениях, основанных на эмоциях. Для этого исследовались эмоциональные паттерны на 5 уровнях социального взаимодействия: пользовательском ( с идентификацией основных пользовательских эмоций) , отдельном сознательном ( определяющем отношения между акторами, зависящими от эмоций) , триадном, групповом и общесетевом уровнях . Показано, что на уровне группы (сообщества) члены сообщества эмоционально схожи, и что это сходство сильнее в небольших сообществах. При этом структурные свойства сообществ, такие как их разреженность или изолированность, также связаны с эмоциями их членов. Отмечалось, что на общесетевом уровне существует жесткая связь между глобальной структурой сети и эмоциями ее членов. Продемонстрировано, как можно достаточно точно предсказывать долю пользователей в сети, настроенных положительно / негативно, исследуя лишь ее топологию.

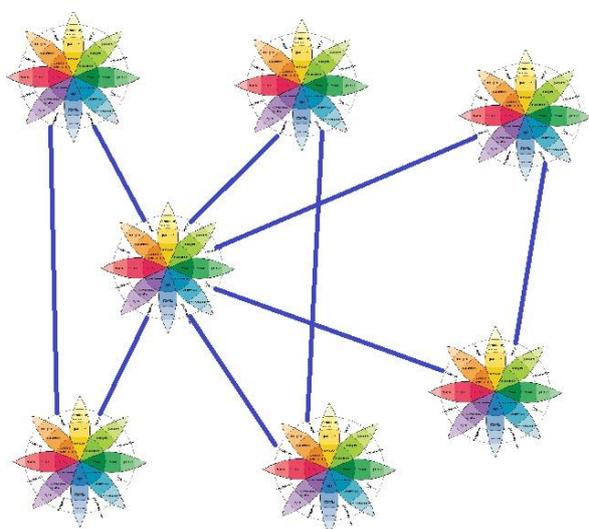
#### **Сетевые модели и тэггинг эмоций.**

Отметим, что использование специальных структурирующих информацию меток, помогает не только подписать контент, но также обеспечить его эффективный поиск по ключевым словам. Поэтому расстановка тэгов является одним из необходимых и полезных действий, что используется для тэгов различных сущностей : объектов, субъектов, свойств , отношений... Важным компонентом тэггинга является тэггинг эмоций. В связи с активным ростом пользовательского контента, значимость тэгов постоянно возрастает. Достоверный тэггинг эмоций пользовательского контента способствует как устойчивому эмоциональному каналу информационного обмена, так и реализации высокопроизводительного поиска необходимой информации, в первую очередь нетекстовой .

Характерно, что стабильные , долговременные эмоции отражаются в тэггинге , демонстрируя психологические свойства. Среднесрочным эмоциям и соответствующему тэггингу отвечают психологические состояния. Кратковременные эмоциональные вспышки можно

рассматривать как психологический процесс, отпечатками которого являются тэги.

Обращение к масштабному сообществу людей в сети Интернет для тэггинга эмоций – краудсорсингу, должно стать популярным инструментом улучшения доступа к онлайн-ресурсам, особенно к нетекстовой информации. Характерно, что эмоции, как фактор социальной сети практически исследователями не рассматривались, как и сопутствующий им тэггинг пользовательского контента. В то же время и у краудсорсинга наблюдается целый ряд недостатков, которые обычно увязываются с личными и профессиональными качествами участников процесса. Однако топологическая составляющая взаимодействия социальных акторов- исполнителей краудсорсинга также оставалась вне



**Рис. 4. Оценка краудсорсинга на различных топологиях**

этом формулируются следующие задачи:

- анализ сетевых моделей распространения информации;
- построение динамической сетевой модели формирования эмоций (ДСМФЭ) пользователей в отношении информационным сущностей (объектов, субъектов, свойств, отношений) с учетом взаимодействия между пользователями ;
- топологическое описание и формализация тэггинга эмоций ( как отклика сети эмоциональных акторов);
- выявление топологических метрик определяющих значимость в отношении тэггинга эмоций ( Рис.4.);
- имитация краудсорсинга в рамках ДСМФЭ;
- построение эффективных топологических стратегий краудсорсинга для реализации достоверного тэггинга.

внимания экспертов . При этом сетевые модели в их развитом состоянии [8] могут быть эффективным инструментом как познания контента, так и выработки надежных стратегий краудсорсинга. Подчеркнем, что при построении сетевой модели, важно установить взаимосвязь между краудсорсингом и сетевыми элементами, обозначить сетевые метрики, определяющие краудсорсинг.

**Цель исследования.** Целью настоящих исследований является обеспечение эффективной работы с пользовательским контентом за счет достоверного тэггинга эмоций. При

**Выводы.** Характерно, что если сетевая наука предлагает описание взаимодействия эмоций и их динамику, то область тэггинга эмоций только ожидает дальнейшего внимания исследователей. Решение поставленных в настоящей работе задач даст возможность осуществить корректное описание процессов в эмоциональном канале информационного обмена, сопутствующего формированию эмоциональной оценки в отношении различных сущностей пользовательского контента (объектов, субъектов, свойств, отношений) с учетом взаимодействия между акторами-пользователями информационной сети. Моделирование динамики эмоций акторов позволит разработать адекватные приемы достоверного тэггинга контента (как отклика этих эмоций), в первую очередь на основе эффективных стратегий краудсорсинга.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-37-50078

#### **Библиографический список**

1. Ortony A., Clore, G. L., Collins, A. The Cognitive Structure of Emotions. Cambridge, UK: Cambridge University Press. -1988. -207 p.
2. Plutchik R. The Nature of Emotions//American Scientist. 2001. - V.89. -P. 344 -350. URL: <http://www.emotionalcompetency.com/papers/plutchiknatureofemotions%202001.pdf> (Дата обращения: 16.05.2018)
3. Ghazi D. Identifying Expressions of Emotions and Their Stimuli in Text . PhD Thesis in Computer Science , ,University of Ottawa , Ottawa, Canada. 2016.- 135 p. URL: [https://ruor.uottawa.ca/bitstream/10393/34268/1/Ghazi\\_Diman\\_2016\\_thesis.pdf](https://ruor.uottawa.ca/bitstream/10393/34268/1/Ghazi_Diman_2016_thesis.pdf) (Дата обращения: 16.05.2018)
4. Розанов Ф.И. Социальное взаимодействие как информационный обмен. Автореф. дисс. канд. филос. наук. Новосибирск – 2010. URL : <http://cheloveknauka.com/sotsialnoe-vzaimodeystvie-kak-informatsionnyy-obmen> (Дата обращения: 16.05.2018)
5. Westaby J.D., Pfaff D.L., Redding N. Psychology and social networks: a dynamic network theory perspective// Am Psychol.- 2014.-Vol. 69(3).-P. 269-84
6. Bringmann L. F., Pe M. L., Vissers N., Ceulemans E., Borsboom D., Vanpaemel W., Tuerlinckx F., Kuppens P. Assessing Temporal Emotion Dynamics Using Networks// Assessment. 2016. -Vol. 23(4).-P. 425–435
7. Jin S., Zafarani R. Emotions in Social Networks: Distributions, Patterns, and Models// In: Proc. Conf. CIKM'17, November 6–10, 2017, Singapore .- P. 1907-1916.
8. Тихомиров А. А., Труфанов А. И., Россодивита А. Модель взаимодействующих стволовых сетей в решении задач топологической устойчивости сложных систем// Безопасность информационных технологий.-2013.- №1. -С.125-126.

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОБЪЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЭМОЦИЙ: СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ КОНКУРИРУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

**Берестнева О.Г., Коровина О.Е., Никитина С.С.**  
ФГБОУ ВО НИ ТПУ  
ogb@yandex.ru

**Тихомиров А.А.**  
Университет Инха, Инчон

**Кинаш Н.А., Труфанов А.И.**  
ФГБОУ ВО "ИРНИТУ"

**Россодивита А.**  
Медицинский центр Луиджи Сакко, Милан

**Введение.** Множество работ посвящено распространению информации, достоверной и фейковой, содержательной и наполненной слухами. Недавние исследования выявили несколько факторов, способствующих распространению информации, таких как связанные с контентом функции (например, темы [1], единообразный локатор ресурсов) и включение хэштега [2]), а также характеристики пользователя и сети [3], популярность и схожесть [4]). Исследователи обратили внимание, что представляет интерес и распространение эмоций (эмоциональной информации). Под эмоциями понимаю кратковременную реакцию индивида на конкретную ситуацию, объект или явление, для эмоций характерна спонтанность и неосознанность. Долговременное же проявление функционального состояния выражается в осознаваемых чувствах, далее в настроении. Примечательно, что эмоции проявляются вовне, и, зачастую, быстро, так же моментально могут раствориться, их сложно и скрывать и контролировать [5]. В [6] показано, что настроения, происходящие в социальном медиасодержимом, обуславливают поведение участников информационного обмена. Так разработана тонкая, модель эмоций для классификации и визуализации эмоциональных реакций пользователей в публичных мероприятиях [7]. Этими же авторами подготовлен EmotionWatch, инструмент, который генерирует визуальные оттиски публичных эмоций. Однако подобных работ крайне мало, из которых следует выделить [8]. Характерно, что наиболее эффективная модель исследования распространения информации – сетевая, такая модель используется и для изучения распространения инфекционных заболеваний, включая каскадные явления [9]. Исследовались также эпидемические явления во взаимозависимых сетях с различными топологическими компонентами [10]. Интересны и значимы работы, посвященные эпидемическим процессам в условиях осведомленности [11]. Так, авторы

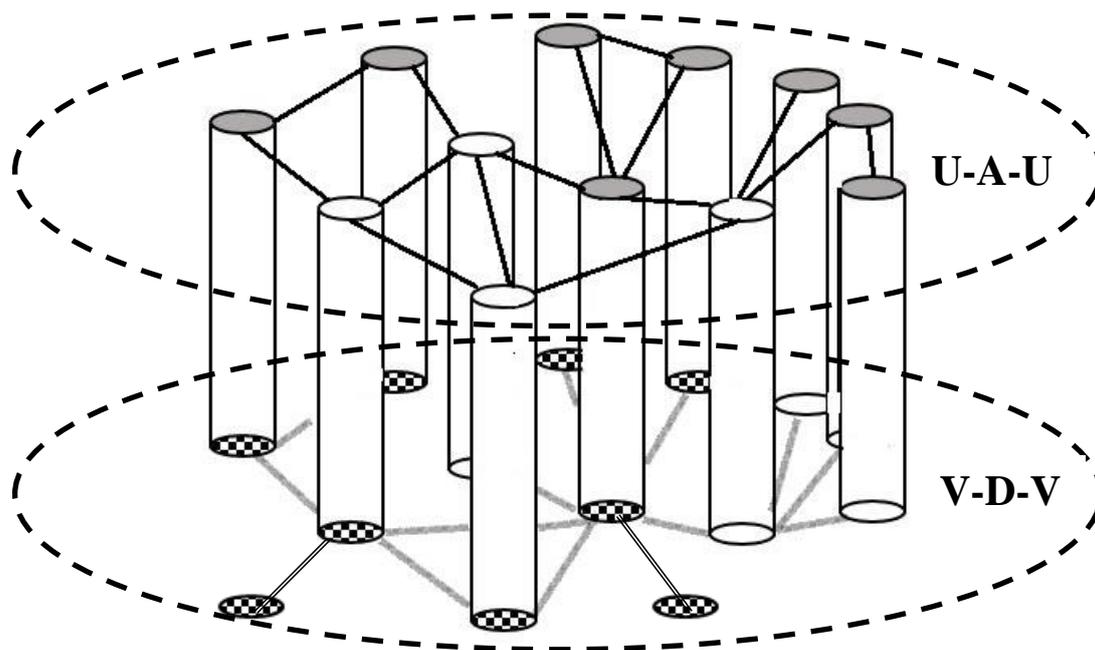
[12] исследуя динамику восприимчивой к заражению (SIS) модели с местной осведомленностью в сетях, показали, что порог эпидемии зависит от осознания факта инфицирования соседями. Интересно отметить, что, когда выбрана степенная функция информирования, порог эпидемии может появиться и в бесконечных сетях.

Характерно, что эмоций и чувства передаются также через тексты, которые таким образом являются не просто средством коммуникации [13]. При этом в [6] обнаружено, что эмоционально заряженные сообщения Twitter, как правило, перекликаются чаще и быстрее по сравнению с нейтральными. Размещение чувств в словах, указывает на то, что таковое может смягчить положительные и отрицательные эмоции. В [14.] было отслежена эволюция личных эмоций более десятков тысяч пользователей Twitter и проанализировано эмоциональное содержание твитов до и после того, как они явно заявили о сильных эмоциях. Причем результаты показывают, что эмоции развиваются во времени. Кроме того, стоит отметить, что, хотя информация в социальных сетях может быть разных модальностей, таких как тексты, изображения, аудио или видео, традиционные подходы в анализе обычно используют только какую-либо одну преимущественную модальность [15]. Также отмечалось влияние культуры на выражение эмоций в онлайн-социальных сетях [16]. Важность используемого словаря общения в механизме взаимодействия между субъектом и окружающей средой, роль пользователей в распространении эмоций через социальные сети и сопутствующее формирование общественного мнения изучались авторами [17].

Известно, что во многих социальных сетях рассматривается использование специально настроенных роботов (socbots), чат-ботов. Под чат-ботом понимается программный инструмент, который способен имитировать диалог разумных участников общения, предлагающая реальному или такому же боту - собеседнику контент различной модальности, зачастую несущий эмоциональную нагрузку. Важно, что данная технология предусматривает анализ социальной структуры в рамках сетевой парадигмы [18]. Использование технологии чат-ботов, с запуском эмоциональной заряженной информации позволяет управлять сетевым сообществом (в т.ч. повышая или снижая его чувствительность к различного рода факторам), в частности, формировать отношение к тем или иным событиям.

Исследуя взаимодействие на уровне эмоционального поведения представляется необходимым выяснить, каким образом это поведение связано с процессами обмена объективной информацией. Важно при этом понять что оказывается определяющим при применении чат-ботов, как средств, используемых для дальнейшего повышения или снижения внимания к той или иной общественной проблеме.

**Модель.** Предполагая, что эмоции и объективная информация формируются и передаются в единой среде как в межличностном общении так и с помощью специализированных средств ( в том числе и социальными ботами ) , но двумя разными механизмами , мы построили двухслойную модель стволовой сети участников информационного обмена , которые одновременно являются носителями эмоций и обмениваются таковыми. Данная модель также близка по идеологии модели распространения инфекция в условиях информирования [19].



**Рис. 1. Сетевая модель информационного и эмоционального обмена в стволовой интерпретации**

$N_C$  стволы ( сознательных участников ) в предлагаемой двухслойной стволовой сетевой модели могут быть в следующих четырех состояниях: UV ( неосведомленный , валентный ), AV ( осведомленный , валентный ), UD ( неосведомленный , возбужденный и восприимчивый ) , AD ( осведомленный , возбужденный ). Эмоциональное состояние при этом отвечает модели VAD [20] с объединением фаз возбуждения ( Arousal ) и доминирования ( Dominance ). Конкурирующие эмоции отсутствуют.

Все  $N_B$  стволы, представляющих участников - ботов , фактически-узлов эмоционального слоя V-D-V, находятся в одном состоянии – возбужденном (D). Условное изображение состояний участников взаимодействия продемонстрировано на рис. 2.

Валентные UV и AV могут быть возбуждены в эмоциональном слое

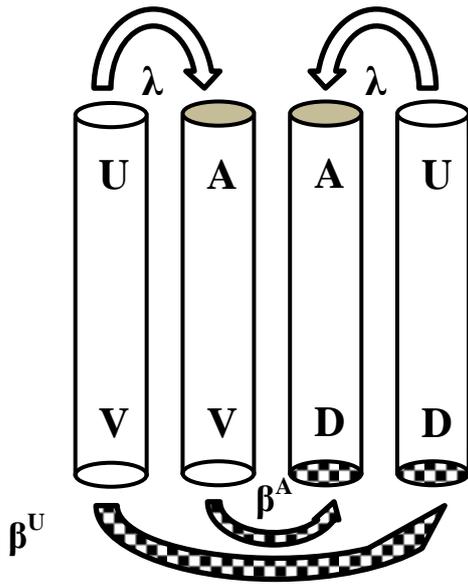


Рис. 2. Наборы состояний участников информационного и эмоционального обмена

с вероятностями:  $\beta$ -возбуждение неосведомленным соседом неосведомленного;  $\sigma_U\beta$ - неосведомленным -осведомленного;  $\sigma_A\beta$ - осведомленным-неосведомленного;  $\sigma_A\sigma_U\beta$ - осведомленным -осведомленного;  $\tau_A, \tau_U$  – возбуждение за счет собственной осведомленности или неосведомленности соответственно. Заряженные эмоциями UD и AD возвращаются к валентному состоянию UV и AV соответственно с вероятностью  $\mu_U$  и  $\mu_A$ ; Стволы UV и UD могут перейти в осведомленное состояние AV и AD, за счет информации, осведомленного соседа в информационном слое (U-A-U) с вероятностью:  $\lambda$  полученной невозбужденным от невозбужденного;  $\theta_V\lambda$  - невозбужденным от возбужденного;  $\theta_D\lambda$  - возбужденным от невозбужденного;  $\theta_D\theta_V\lambda$  - возбужденным от возбужденного;  $\kappa$ - индуцированной множеством возбужденных соседей. В обратном процессе стволы AV и AD могут возвращаться в состояние неосведомленности UV и UD с вероятностью  $\delta_V$  и  $\delta_D$ . UV может перейти в AV также за счет собственного осознания ситуации с вероятностью  $\eta$ . Соответственно, AD может перейти в AV, также за счет собственного осознания ситуации с вероятностью  $\nu$ . (Прямые переходы  $U \rightarrow A$ ,  $V \rightarrow D$ , также как и обратные  $A \rightarrow U$ , и  $D \rightarrow V$  с сопутствующими вероятностями, дополнительно пояснены на рис. 3).

Взаимодействие между обоими процессами моделируется следующим образом: узел, который возбужден в слое V-D-V, станет A в слое U-A-U, с вероятностями  $\theta_D$ ,  $\theta_V$ . Эти вероятности учитывает факты того, что узлы могут не придавать значения, что они возбуждены и не распространять информацию об этом. Точно так же узел, который осведомлен в слое U-A-U, будет возбуждаться по-разному, поэтому параметры  $\sigma_A$ ,  $\sigma_U$  регулируют вероятность возбуждения узла.

Далее отметим, что параметры  $\sigma_A$ ,  $\sigma_U$  колеблются от 0, представляющий собой полное отрицание возбуждения, до 1, что определяет максимальное эмоциональное состояние без всякого влияния осведомленности. а

Эквивалентно, мы можем регулировать воздействие узла V-D-V слоя на U-A-U узел в стволе, настраивая параметры  $\theta_D$ ,  $\theta_V$  от 0 до 1. Заметим

, что при  $\sigma_A, \sigma_U = 1$  и  $\theta_D, \theta_V = 0$  оба взаимодействия как бы отключены, процессы происходят в однослойных независимых U-A-U и V-D-V сетях.

Процессы, отвечающие вероятностям  $\lambda, \tau_A$  и  $\tau_U, \delta_V$  и  $\delta_D, \mu_U$  и  $\mu_A, \nu$ ,  $\eta, \upsilon$  могут быть также отключены с помощью соответствующих настроек.

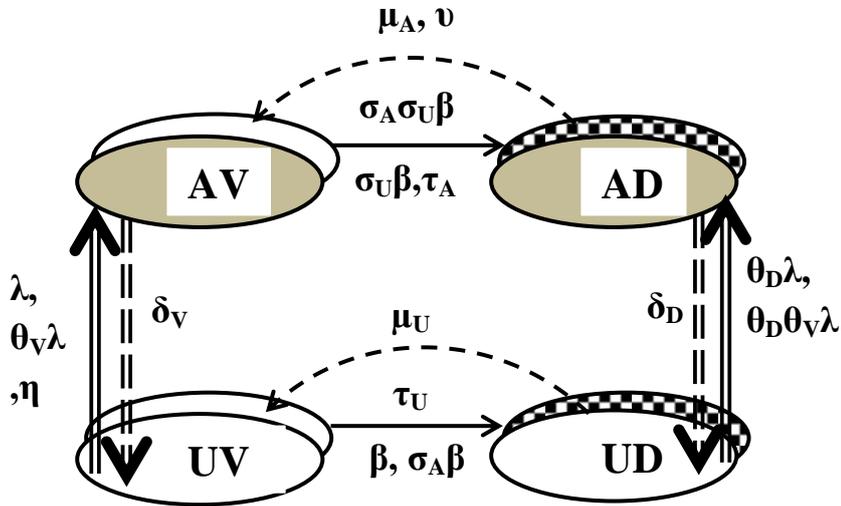


Рис.3. Переходы состояний участников информационного и эмоционального взаимодействия

### Результаты расчетов.

В настоящей работе были проведены численные расчеты стационарных фракций сети стволы, осведомленных и охваченных эмоциями. Общее число стволы ( сознательных участников и чат-ботов ) составляло 2500. Сети в двух слоях представляли собой безмасштабную топологию с показателем степени  $\gamma=2.5$  в распределении связности  $P(k) \sim k^{-\gamma}$ . Плотность связей ориентировалось на величину 0.1 ( соответствует внутренней плотности сообществ размером по числу Данбэра - до 150 [21]) Доля ботов  $m = N_B / N_C$  изменялась от 0 до 0.2. Изначально осведомленные и возбужденные стволы составляли 10% от числа сознательных участников взаимодействия

Рассчитывались доли осведомленной и возбужденной компоненты как функция параметра возбужденности  $\beta$  при разных значениях  $\sigma_A, \sigma_U$  и  $\theta_D, \theta_V$  ( Рис.4-5 ).

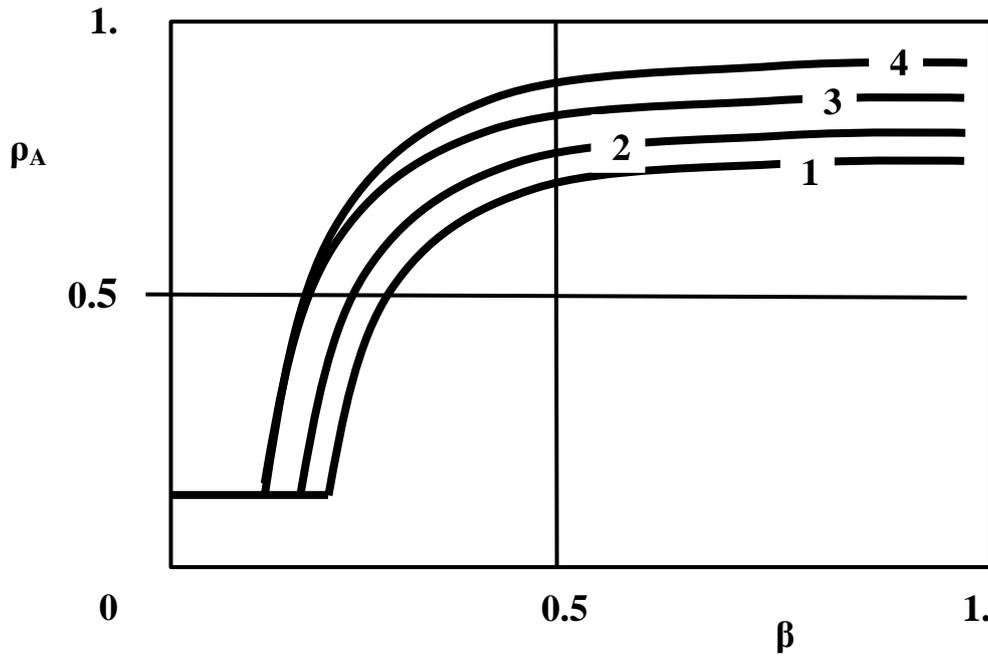


Рис. 4. Осведомленность участников информационного обмена как функция параметра возбужденности  $\beta$

1 -  $\lambda = 0.5$  ;  $\sigma_A, \sigma_U = 0$  и  $\theta_D, \theta_V = 0$ ; 2 -  $\lambda = 0.5$   $\sigma_A, \sigma_U = 0.5$  и  $\theta_D, \theta_V = 0.5$ ; 3 -  $\lambda = 0.5$  ;  $\sigma_A, \sigma_U = 1$  и  $\theta_D, \theta_V = 1$ ; 4 -  $\lambda = 1$  ;  $\sigma_A, \sigma_U = 1$  и  $\theta_D, \theta_V = 1$ ; для всех  $\mu_U, \mu_A = 0.5$  . Доля ботов  $m = 0.1$  .

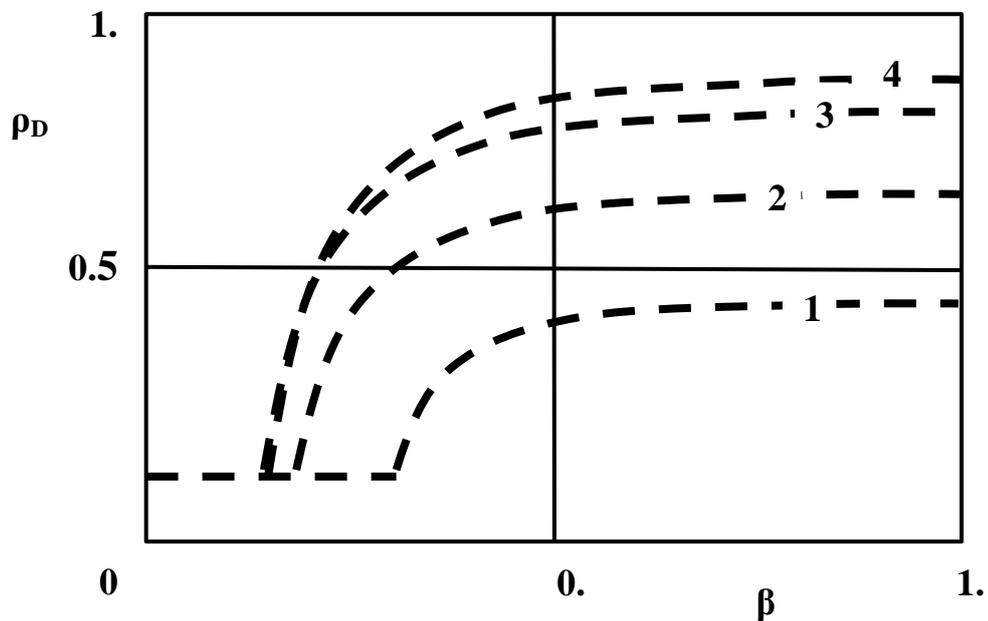


Рис. 5. Возбужденность участников информационного обмена как функция параметра возбужденности  $\beta$

1 -  $\lambda = 0.5$  ;  $\sigma_A, \sigma_U = 0$  и  $\theta_D, \theta_V = 0$ ;  $m = 0$ ; 2 -  $\lambda = 0.5$   $\sigma_A, \sigma_U = 0.5$  и  $\theta_D, \theta_V = 0.5$   $m = 0.05$ ; 3 -  $\lambda = 0.5$   $\sigma_A, \sigma_U = 0.5$  и  $\theta_D, \theta_V = 0.5$   $m = 0.1$ ; 4 -  $\lambda = 0.5$   $\sigma_A, \sigma_U = 0.5$  и  $\theta_D, \theta_V = 0.5$   $m = 0.2$ ;  $\mu_U, \mu_A = 0.5$  .

**Выводы.** Представлена модель и первые результаты анализа конкурирующих процессов осведомления и эмоционального возбуждения на платформе стволовых сетей. Модель поясняет взаимодействие между осведомлением и эмоциями, которые распространяются, конкурируя в одних и тех же стволах, но в двух разных слоях. Можно обратить внимание на появление некоей мета-критической точки, определяющей начало и осведомленности и возбуждения, зависящей также от других факторов. Особо примечательным таким фактором является доля чат-ботов в сети информационного обмена.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-37-50075 и № 17-37-50078**

### **Библиографический список**

1. Nagarajan M., Purohit H. and Sheth A. A qualitative examination of topical tweet and retweet practices/ In W. Cohen and S. Gosling (eds.) Proceedings of the Fourth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. Palo Alto, CA: AAAI Press, 2010.-P. 295–298.
2. Suh B., Hong L., Pirolli P., Chi E. Want to be retweeted? Large scale analytics on factors impacting retweet in Twitter network/ In A. Pentland (ed.), Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Social Computing. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 2010.-P. 177–184.
3. Recuero R., Araujo R., Zago G. How does social capital affect retweets?/ In L. Adamic, R. Baeza-Yates, and S. Counts (eds.), Proceedings of the Fifth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. Palo Alto, CA: AAAI Press, 2011.-P. 305–312.
4. Macskassy S.A., Michelson M. Why do people retweet? Anti-homophily wins the day!/ In L. Adamic, R. Baeza-Yates, and S. Counts (eds.), Proceedings of the Fifth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. Palo Alto, CA: AAAI Press, 2011.-P. 209–216.
5. Отличие эмоций от чувств. [Электронный документ] URL: <http://kak-bog.ru/otlichie-emociy-ot-chuvstv>. (Дата обращения: 06.05.2018).
6. Stieglitz S., Dang-Xua. Emotions and Information Diffusion in Social Media—Sentiment of Microblogs and Sharing Behavior// Journal of Management Information Systems / Spring 2013. -Vol. 29.-N. 4.-P. 217–247.
7. Kempter R., Sintsova V., Musat C., Pu P. EmotionWatch: Visualizing Fine-Grained Emotions in Event-Related Tweets / Proceedings of the Eighth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. Palo Alto, CA: AAAI Press, 2014.-P. 236-245.
8. Barsade S.G. The ripple effect: Emotional contagion and its influence on group behavior// Administrative Science Quarterly. 2002. -Vol. 47.-N4.-P. 644–675.

9. Friggeri A., Adamic L, Eckles D., Cheng J. Rumor Cascades/ Proceedings of the Eighth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. Palo Alto, CA: AAAI Press, 2014.-P. 101-110.
10. Wang L., Zhu G., Kang H, Fu X. Epidemic Spreading on Three-Layer Interdependent Networks//Journal of Biological Systems. 2016.- Vol. 24.- N.4.- P. 469–494.
11. Bei L. , Sun Z., Fu X., Zhu G . Spreading dynamics of a disease-awareness SIS model on complex networks// International Journal of Biomathematics.2013.-Vol. 6, -N. 4 - 1350025 -13 p.
12. Wu Q., Zhu W. Toward a generalized theory of epidemic awareness in social networks// International Journal of Modern Physics C . 2017.–Vol-8.- N.5. -9 p.
13. Jasleen Kaur, Jatinderkumar R. Saini. Emotion Detection and Sentiment Analysis in Text Corpus: A Differential Study with Informal and Formal Writing Styles// International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) , 2014. –Vol. 101– N.9.– 9 p.
14. Fan R., Varamesh A., Varol O, Barron A., Van de Leemput I., Scheffer M., Bollen J. Does putting your emotions into words make you feel better? Measuring the minute-scale dynamics of emotions from online data// arXiv:1807.09725. 2018. -32 p.
15. Duong C.T., Lebret R., Aberer K. Multimodal Classification for Analysing Social Media // arXiv:1708.02099v1 . 2017. – 19 p.
16. Papi C. The influence of culture on the expression of emotions in online social networks// Journal for Communication Studies, 2016.-Vol. 9. -N. 2(18).-P. 33-42.
17. Wei-dong H., Qian W., Jie C. Tracing Public Opinion Propagation and Emotional Evolution Based on Public Emergencies in Social Networks// International Journal of Computers Communications & Control. 2018.-Vol.13.-1.-P. 129-142.
18. Тихомиров А. А., Труфанов А. И., Россодивита А. Модель взаимодействующих стволовых сетей в решении задач топологической устойчивости сложных систем// Безопасность информационных технологий. - 2013.-№1. -С.125-126.
19. Granell C., Gomez S., Arenas A. Dynamical interplay between awareness and epidemic spreading in multiplex networks// Phys. Rev. Lett. 2013.-Vol.111.- 128701-10 p.
20. Wood I. D., McCrae J. P., Andryushechkin V., Buitelaar P. A Comparison of Emotion Annotation Approaches for Text// Information. 2018.- Vol.-9.- 117. – 13 p.
21. Wagenseller P., Wang F. Size Matters: A Comparative Analysis of Community Detection Algorithms// arXiv:1712.01690v1. 2017. – 9 p.

# ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ

Куулар Э.К., Труфанов А.И.

ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

[Kuular1991@mail.ru](mailto:Kuular1991@mail.ru)

Тихомиров А. А.

Университет Инха, Инчон

**Введение.** Сравнение идентичных аудиозаписей одного диктора, установление подлинности и аутентичности аудиозаписи и верификация личности, стали проблемами современного мира. Анализ голоса представляет собой одну из форм биометрической аутентификации, позволяющая установить личность индивида по набору его уникальных акустических характеристик.

Основная задача биометрической системы заключается в сравнении двух биометрических экземпляров и установлении принадлежности их к одной или разным личностям (субъектам). Субъект является носителем модуля биометрик – идентификаторов и одновременно признаков, позволяющих провести проверку – верификацию- и тем самым подтвердить или опровергнуть искомую аутентичность. Характерно, что для биометрии трудности задач идентификации в большей мере носят технологический характер, когда одна регистрируемая биометрика пользователя сравнивается со всеми  $N$ , хранящимися в базе данных, (1:N). Так, Integrated Automated Fingerprint System (IAFIS), репозиторий в США, управляемый ФБР в 2016 году содержал сведения о более чем 100 млн. лиц, давая возможность доступа к базе данных правоохранительным органам в режиме 24x7x365 [2].

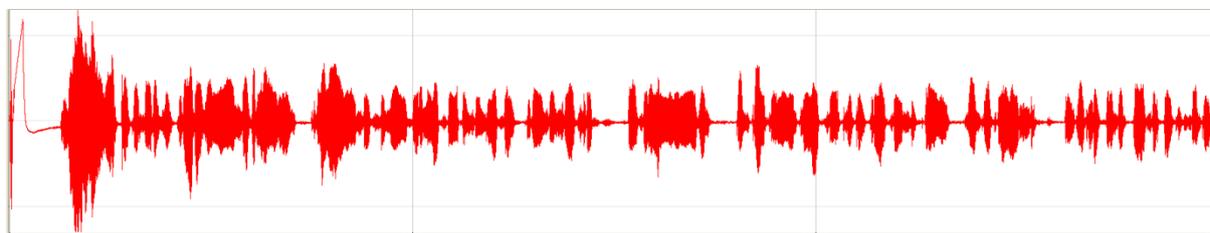
Анализ голоса представляет собой одну из форм биометрической аутентификации, позволяющая установить личность индивида по набору его уникальных акустических характеристик.

Голосовая модальность, среди прочих [3], демонстрирует свою эффективность в задачах идентификации личности, что особенно важно в телекоммуникационных приложениях [4], подчеркивалось, что это единственная биометрическая модальность, которая позволяет идентифицировать человека по телефону. Субъекта просят назвать определенную кодовую фразу, ранее уже внесенную в базу данных, например ФИО, паспортные данные, или уникальный идентификатор ключевое слово.

Оценка точности идентификации, как правило основывается на характеристике, введенной Национальным институтом стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology, NIST)- Equal Error Rate, EER, равной ошибке первого и второго рода. (Ошибка

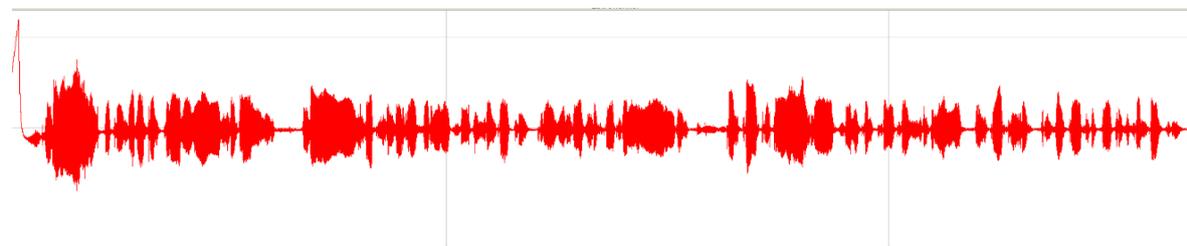
первого рода – предоставление прав самозванцу, ошибка второго рода – отказ в правах легальному пользователю [5]). Среди систем распознавания личности по голосу, использующих базы данных, с голосовыми фразами сотен актеров -дикторов, наилучшие показатели EER составляют 3–5% [6,7]

**Двухкомпонентная сетевая модель [8].** В работе применялся сетевой метод для анализа аудиоданных. Ранее было выполнено сравнение записей дикторов мужского и женского рода, С1 и Э1 с применением данной сетевой модели [8]. Аудиозаписи для сравнительного анализа были сделаны с применением микрофона мобильного устройства. Условно диктор обозначен как Э1, Э2 - женского рода, 26 лет. В качестве речевой информации, воспроизводимой дикторами выбрано одно предложение с одинаковым количеством слов. Аудио файлы предварительно



*Рисунок 2 Запись озвучивания речевой информации Э1*

обрабатывались, переводились из MP3 формата в формат данных WAV. Запись Э2 является повторным воспроизведением речевой информации



*Рисунок 1 Запись с повторным озвучиванием речевой информации Э2*

одним и тем же диктором, в записи имеются незначительные изменения в произношении и интонации. Традиционно необработанная аудио-дорожка представлена в виде осциллограммы.

В осциллограмме записей Э1 и Э2 можно увидеть, что записи не являются абсолютно идентичными, но имеют лишь незначительные различия.

Для построения сетевой модели, полученные данные преобразуем в сеть с применением «Модели соседства». В нашем случае при конвертировании данных в комплексную сеть узлом для построения сетевой модели является либо амплитуда, либо частота в определённой временной точке. Применяя схему «Модели соседства» устанавливается последовательная связь между узлами – частотами - соседняя присоединяется к соседней (по значению, не по времени) и между

Метрика (Запись Э1)	Статистика амплитуды	Статистика частоты
узлы	188	16
ребра	331	37
Средняя степень	1,761	2,312
Средняя взвешенная степень	2,144	24,625
Средний коэффициент кластеризации	0,141	0,412
Средняя длина пути	24,607	4,722

амплитудами. Повторение узлов определено увеличением их весовых значений. Для получения матрицы метрик строятся по отдельности 2 графа по частотным и амплитудным показателям.

*Таблица 1 Матрица метрик Запись Э1* Естественно, что объединить два графа ни в мультиплекс, ни в общую стволую структуру не представляется возможным, хотя изначально данные соответствуют одной временной точке. Отметим, что при установлении связи амплитуда и частота будут определены их первыми значениями. Повторяющиеся амплитуды и частоты просто

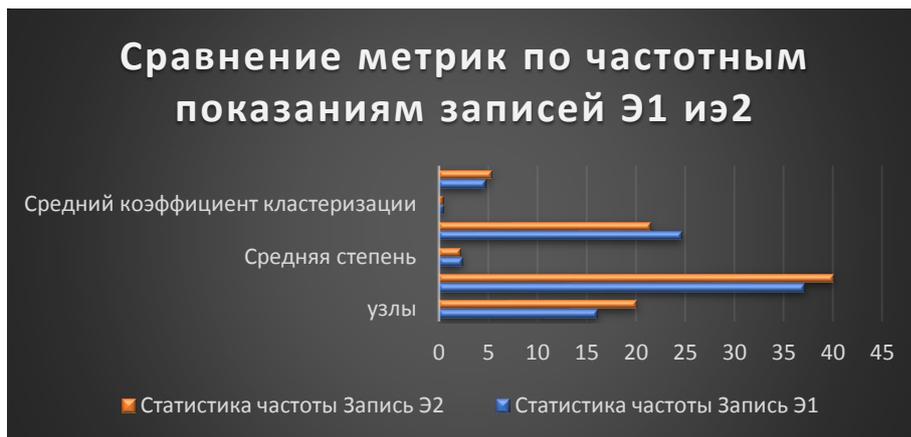
Метрика (Запись Э2)	Статистика амплитуды	Статистика частоты
узлы	152	20
ребра	334	40
Средняя степень	2,197	2,15
Средняя взвешенная степень	2,711	21,45
Средний коэффициент кластеризации	0,169	0,353
Средняя длина пути	14,969	5,235

приведут к увеличению весовых значений.

Сравнение матриц, характеризующих метрик показывает, что определяющими биометрическими данными являются

*Таблица 2 Матрица метрик Запись Э2* частотные показания. Из матрицы метрик можно увидеть, что для аутентичных аудиозаписей частотные показатели близки по значению и имеют небольшую погрешность. Данный метод требует доработки, и дальнейшего изучения: в области получения входных данных, нормализации входных данных, и расчетов вероятности ошибок системы на выходе.

Область применения системы идентификации по голосовым биометрическим данным достаточно обширна: верификация клиентов при доступе к данным, тем более что остальные биометрические данные человека не так-то просто получить через системы удаленного доступа. Обработка речевых баз данных, сравнительный анализ на соответствие данных. Довольно часто применяется в криминалистике.



Данный метод можно применять при верификации, пользователь предъявляет в том или ином виде свой идентификатор, и система распознавания должна сравнить

*Рисунок 3 Сравнение метрик полученных по частотным показателям Записей Э1, Э2*

полученную матрицу метрик с имеющейся матрицей метрик соответствующего идентификатору личности предъявителя, и система распознавания должна подтвердить или отвергнуть этот идентификатор. Поскольку пользователь заинтересован в подтверждении его идентификатора, то старается не вносить в речевой пароль вариаций, которые отсутствовали в период записи его голосовых биометрических данных.

**Выводы.** Подготовлена двух компонентная сетевая модель голосовой биометрической модальности, включающей амплитудную и частотную составляющие, к которым можно применить известные алгоритмы топологического сопоставления. Сделан вывод о том, что матрица ключевых топологических параметров сетевых компонентов модели может служить сетевым цифровым отпечатком, позволяющим эффективно сравнивать голоса предъявителя и имеющиеся в базе данных, в предположении большей чувствительности метода и значительно меньших технологических затрат, чем того требуют традиционные системы.

Планируется исследовать особенности использования сетевых моделей в текст зависимых и текст независимых системах голосовой идентификации. Важным и необходимым представляется дальнейшее изучение влияния на результаты голосового распознавания личности с помощью сетевых метрик таких факторов, как помехи и шумы, ошибочность произношения, состояние диктора, различие устройств голосовой записи. С другой стороны, если предлагаемый сетевой подход продемонстрирует чувствительность к состоянию индивида – физиологическому, психологическому, эмоциональному, он может оказаться полезным не только для задач идентификации личности, но и для определения ее состояния. Концепцию комплексных сетей, как исследовательскую платформу разумно оценить для применения также к иным биометрическим модальностям. Дальнейшие исследования будут

включать сравнение записей одного диктора с аутентичными и неаутентичными записями и изучение ошибки системы, подсчет вероятности ошибки ложного отклонения FRR(false rejection error rate), вероятность ложного пропуска FAR(false acceptance error rate).

### Библиографический список

- 1 Talreja V., Ferrett M. T., Valenti C., Ross A. Biometrics-as-a-Service: A Framework to Promote Innovative Biometric Recognition in the Cloud. arXiv:1710.09183v1. 2017. -6 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1710.09183.pdf> (дата обращения: 25.11.17)
- 2 Goode A. Biometric Identification or Biometric Authentication? URL: <https://www.veridiumid.com/blog/biometric-identification-and-biometric-authentication/> (дата обращения: 18.02.16)
- 3 Ibrahim D.R., Tamimi A.A., Abdalla A.M. Performance Analysis of Biometric Recognition Modalities// 8th International Conference on Information Technology (ICIT). Amman, Jordan. 2017. pp. 980-984
- 4 Матвеев Ю.Н. Технологии биометрической идентификации личности по голосу и другим модальностям // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. 2012 , С. 46-61
- 5 Wu J. C., Martin A. F., Greenberg C. S., Kacker R. N., Stanford V.M. Significance Test with Data Dependency in Speaker Recognition Evaluation// Proc. of SPIE. 2013. Vol. 8734, no. 87340I – 13 p.
- 6 Сорокин В.Н. Распознавание личности по голосу: аналитический обзор / В.Н. Сорокин, В.В. Вьюгин, А.А. Тананыкин // Информационные процессы. 2012. Т. 12, вып. 1. С. 1–30
- 7 Poddar A., Sahidullah M., Saha G. Performance comparison of speaker recognition systems in presence of duration variability// India Conference (INDICON), 2015 Annual IEEE, 2015 -6 p.
- 8 Куулар Э.К., Труфанов А.И., Тихомиров А.А. Двухкомпонентная сетевая модель в технологиях голосовой идентификации личности // Безопасность информационных технологий// 2018. №1 С 81-89 Том 25 URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1096>
- 9 Sahidullah M., Saha G. A novel windowing technique for efficient computation of MFCC for speaker recognition // IEEE signal processing letters. 2013. vol. 20. no. 2. pp. 149–152.
- 10 Bahmaninezhad F., Hansen J.H.L. . I-vector/PLDA speaker recognition using support vectors with discriminant analysis // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2017. pp. 5410-5414
- 11 Yao T., Meng C., Liang H., Jia L. Speaker recognition system based on deep neural networks and bottleneck features// Journal of Tsinghua University (Science and Technology). 2016. vol. 56, no. 11, pp. 1143–1148

- 12 Shulipa A., Novoselov S., Melnikov A. Approaches for Out-of-Domain Adaptation to Improve Speaker Recognition Performance. A. Ronzhin et al. (Eds.): SPECOM 2016, LNAI 9811.2016. pp. 124–130
- 13 Reynolds D.A. Gaussian mixture models // Encyclopedia of biometric recognition. Heidelberg: Springer 2015.– pp. 827–832
- 14 Идентификация человека по голосу URL: [http://infoprotect.net/varia/identifikaciya\\_po\\_golosu](http://infoprotect.net/varia/identifikaciya_po_golosu) (дата обращения: 06.11.17)
- 15 Куулар Э.К., Тихомиров А.А., Труфанов А.И. Идентификация источников звуковой информации методом сетевого анализа. // Безопасность информационных технологий// 2016. №2 С. 43-48 URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/78/85>
- 16 Yang D. , Li X.. Bridge time series and complex networks with a frequency-degree mapping algorithm// Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 2012 . pp.910-913
- 17 Bezudnov I.V., Snarskii A.A.. From the time series to the complex networks: the parametric (dynamical) natural visibility graph. Physica .2014 no. 414 pp. 53-60 arXiv:1208.6365 URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.6365.pdf>
- 18 Zinoviev D. Networks of Music Groups as Success Predictors// arXiv:1709.08995v1 . 2017 -6 p. URL: <https://arxiv.org/abs/1709.08995> (дата обращения: 04.08.17)
- 19 Ferretti S. On the Complex Network Structure of Musical Pieces: Analysis of Some Use Cases from Different Music Genres// arXiv:1709.09708v1. 2017 - 32 p. URL: <https://arxiv.org/abs/1709.09708> (дата обращения: 13.09.17)
- 20 SpectraPLUS ®. Pioneer Hill Software. [Электронный ресурс] URL: <http://www.spectraplus.com/>
- 21 Boccaletti S., Bianconi G., Criado R., Del Genio C.I., Gómez-Gardeñes J., Romance M., Sendiña-Nadal I., Wang Z., Zanin M. The structure and dynamics of multilayer networks //Physics Reports, 2014, no. 544 (1) pp. 1-122
- 22 Тихомиров А. А., Труфанов А. И., Россодивита А.. Модель взаимодействующих ствольных сетей в решении задач топологической устойчивости сложных систем// Безопасность информационных технологий. 2013, №1, с.125-126
- 23 Ворона В. А., Костенко В. О.. Биометрические технологии идентификации в системах контроля и управления доступом// Computational nanotechnology. 2016 вып. 3,с. 224–241

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Ступин А.Н., Бардаков В.М., Строкин Н.А. Анализ прохождения плазменного потока через азимутатор плазмооптического масс-сепаратора.....	3
2	Агарышев А.И., Куклин В.Л. Анализ влияния неровностей местности на характеристики ультракоротких радиоволн.....	11
3	Агарышев А.И., Симоненко А.М. Расчет координат одночастотных радионавигационных приемников .....	17
4	Губин Н.А., Григорьев К.А., Полетаев А.С., Ченский А.Г. Микроволновой радиометр для обнаружения очагов лесных пожаров.....	28
5	Григорьев К.А., Ченский А.Г. Информационно управляющая система гидроакустического ЛЧМ профилографа.....	33
6	Матвеев И.С., Засенко В.Е. Устройство детектирования фазоманипулированных сигналов .....	37
7	Вахромов В.М., Волощенко А.О. , Запольских А.С., Иванов Н.А. Прозрачные электропроводящие покрытия на основе углеродных нанотрубок.....	42
8	Айсуев Б.Б., Ченский Д.А., Ченский А.Г. Информационно-управляющая система для телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов.....	45
9	Токмачев Д.А., Ченский А.Г. Гидроакустическая система связи и навигации для водолазов.....	49
10	Тюменцев И.А., Фискина М.М. Организация беспроводной сети WI-FI в ОАО «СИБЭКСПОЦЕНТР» для проведения выставок....	54
11	Дудин А. Д., Просвирякова Л. В. Система контроля микроклиматического состояния помещений в режиме реального времени.....	61
12	Климов Н.Н., Чернов И.Н. Об одном возможном механизме опережения "акустическим" сигналом момента появления сейсмического толчка.....	64
13	Николаев А.А., Фискин Е.М. Компактный, универсальный шестипортовый радарный модуль для медицинских и промышленных применений.....	70
14	Сизых А.О., Дресвянский В.А., Благодарный Н.С. Реализация интеллектуальной системы распознавания аварий на компьютерном тренажере.....	81
15	Малыш Ю.А., Степанова О.В., Кальченко О.И., Мазур А.А., Шолохова М.А., Чернов И.Н. Разработка лабораторного комплекса для исследования пассивных компонентов ВОЛС.....	87

16	Ушаков В.В., Сазонов Д.Ю., Чернов И.Н., Козиенко Л.В. Модернизация линейного оборудования в лаборатории системы передачи информации.....	94
17	Евдокимов Н.Л., Фискина М.М. Модернизация системы управления газобаллонным оборудованием.....	99
18	Жилкин И.И., Агалаков Б.В. Алгоритмы умножения больших чисел.....	107
19	Миронов Д.Ю., Агалаков Б.В. Методы стеганографии.....	112
20	Нгуен Тхе Тханг, Строкин Н.А., Казанцев А.В. Адаптация фильтра Вина для диагностики результатов разделения многокомпонентного потока ионов в масс-сепараторе ПОМС-Е-3	117
21	Нгуен Тхе Тханг, Строкин Н.А., Казанцев А.В. Изучение возможности анализа пучка ионов по массам и энергиям в совмещенных секторных анализаторах.....	125
22	Ядренникова О.В. Исследование телефонной загрузки голосовым трафиком телефонной сети оперативно-технологических каналов связи.....	132
23	Яшкардин Р. В. Система диагностики на базе измерения высоковольтных импульсных напряжений.....	136
24	Ларина М. А., Яшкардин Р. В. Искажения восстановленной формы радиоимпульса при сравнимых значениях длительности импульса и периода вписанной в него синусоиды .....	142
25	Сабуров Н.И., Коломин И.В, Просвирякова Л.В. Трехмерное сканирование и анализ объектов при помощи программно-аппаратного комплекса.....	146
26	Губанов А.С., Дмитриев А.А. Проведение этапа проектно-изыскательских работ и проблемы, встречающиеся в процессе...	151
27	Губанов А.С., Дмитриев А.А. Разработка алгоритма взаимодействия отделов при проведении приемо-сдаточных работ линейно-кабельного сооружения.....	157
28	Агарышев А.И., Портнов М.А. Методы оперативного прогнозирования максимальных наблюдаемых частот радиоволн.	164
29	Горшков А.С. Мониторинги и распознавание объектов на перегонах и переездах.....	172
30	Петров И.С., <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Засенко В.Е.</span> Корректирующие возможности декодера при наличии в канале помех сверточных кодов.....	176
31	Жуйков А.С., Просвирякова Л.В. Исследование коэффициента стоячей волны в несогласованном фидере.....	180
32	Будовкина А. А., Ченский А.Г. Геоинформационные системы как основной компонент создания геопортала озера Байкал.....	186
33	Иванова М.В., Ченский А.Г. “РУТНОН”, как неотъемлемая часть в создании графического веб-портала.....	192

34	Шляпин С.С., Просвирякова Л.В. Обзор и сравнение навигационных систем, выявление перспективных направлений...	197
35	Амелин А.А. Модель построения информационно-измерительной системы с учетом вопросов информационной безопасности.....	202
36	Хилажев Р.О., Просвирякова Л.В. INDOOR – технология навигации внутри помещения.....	206
37	Сальников В.А., Просвирякова Л.В. Получение навыков проектирования сети при помощи программно-аппаратного комплекса Cisco.....	209
38	Выголовский И.А., Минин А.А., Фискин Е.М. Развитие услуг фиксированной связи ПАО «МТС» в г. Иркутске.....	216
39	Ноянов В.И, Дёмин А.П. Устройство формирования вращающегося магнитного поля в зоне магнитооптического датчика.....	222
40	Ма Жуй Поиск автомобильного ГРЗ на изображении.....	229
41	Ченский Д.А., Григорьев К.А., Ченский А.Г. Навигационная система многоцелевого роботизированного катамарана.....	236
42	Коровина О.Е., Берестнева О.Г., Тихомиров А.А., Труфанов А.И. Сетевая онтология эмоций и их краудсорсингового тэггинга.....	241
43	Берестнева О.Г., Коровина О.Е., Никитина С.С., Тихомиров А.А. Кинаш Н.А., Труфанов А.И., Россодивита А. Распространение объективной информации и эмоций: сетевые модели конкурирующих процессов .....	247
44	Куулар Э.К., Труфанов А.И., Тихомиров А. А. Применение двухкомпонентной сетевой модели для верификации личности...	255

Научное издание

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ**

Материалы XV Всероссийской  
научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
с международным участием

(Иркутск, 17 мая 2018 г.)

Под ред. Н.А. Строкина, Е.М. Фискина

Редакционная коллегия сборника оставляет авторам право  
на свой стиль изложения рассматриваемых проблем

Подписано в печать 03.10.2018. Формат 60 x 90 / 16  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 16,75.  
Тираж 100 экз. Зак. 248. Поз. плана 20

Отпечатано в типографии Издательства  
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»  
664074, ул. Лермонтова, 83.