

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средствам массовой коммуникации  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-57975  
от 28 апреля 2014 г.

ISSN 2409-1650

Главный редактор  
**Артюшенко  
Владимир  
Михайлович,**  
д.т.н., профессор

Над выпуском работали:  
Паршина Ю.С.  
Пирогова Е.В.

Адрес редакции:  
141070, Королев,  
Ул. Октябрьская, 10а  
Тел. (495)543-34-31

При перепечатке любых материалов ссылка на журнал «Информационно-технологический вестник» обязательна

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в материалах, в том числе рекламных, предоставленных авторами для публикации

Материалы авторам не возвращаются

Подписано в печать  
25.12.2017.

Отпечатано  
в типографии

ООО «Научный консультант»  
г. Москва,  
Хорошевское ш., 35, корп. 2

Тираж 500 экз.

## СОДЕРЖАНИЕ

### *АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА*

Артюшенко В.М., Виноградов Д.Ю.  
**АНАЛИЗ СВОЙСТВ ОРБИТ МИНИМАЛЬНОГО  
ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ.....3**

Артюшенко В.М., Воловач В.И.  
**СИНТЕЗ СЛЕДЯЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ,  
РЕАЛИЗУЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ БЛОКОВ  
НЕЛИНЕЙНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ С  
КВАДРАТУРНЫМИ ГЕНЕРАТОРА-  
МИ.....16**

Исаев В.Г., Антипова Т.Н.  
**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ  
КАЧЕСТВОМ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....30**

Калачева Д.Н.  
**СИСТЕМНО-ПРОЦЕССНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА.....39**

### *РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ*

Аббасова Т.С., Аббасов Э.М., Нгуен Куанг Тхиеу  
**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ.....47**

Горская Т.В., Тетерина А.А.  
**АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОРГАНИЗАЦИИ  
СОСТАВНОГО КАНАЛА СВЯЗИ  
В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ.....62**

Епифанов М.А.  
**КРАТКИЕ ИТОГИ АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОГО  
СОСТОЯНИЯ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ  
АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ  
КОСПАС-САРСАТ.....70**

Мартынов П.В., Маликов А.П., Орлов А.Е., Кунаева Н.А.  
**МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ СИНТЕЗА ДИАГРАММЫ  
НАПРАВЛЕННОСТИ В АКТИВНОЙ  
ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКЕ.....79**

Сальников О.Н.  
**АНАЛИЗ СКОРОСТИ КОДИРОВАНИЯ КОДОВ LDPC  
И ТРАДИЦИОННЫХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ  
КОДОВ.....87**

Семенов А.Б., Былина М.С.  
**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ  
МНОГОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЬНЫХ  
ТРАКТОВ КАТЕГОРИИ OM5 ДЛЯ ЦОД.....91**

Татаринов А.И.  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ В СИСТЕМЕ  
ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПУНКТАМИ.....102**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. **Барканов Е.Н.**, *Dr.sc.ing.*
2. **Васильев Н.А.**, *д.т.н., профессор*
3. **Леоненко Д.В.**, *д.ф.-м.н., профессор*
4. **Ставровский М.Е.**, *д.т.н., профессор*
5. **Тимофеев А.Н.**, *д.т.н., профессор*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. **Аббасова Т.С.**, *к.т.н., доцент*
2. **Бухаров С.В.**, *д.т.н., профессор*
3. **Воловач В.И.**, *д.т.н., профессор*
4. **Логачева А.И.**, *д.т.н., профессор*
5. **Матвиенко Ю.Г.**, *д.т.н., профессор*
6. **Мороз А.П.**, *д.т.н., профессор*
7. **Разумовский И.М.**, *д.ф.-м.н., профессор*
8. **Рудаков В.Б.**, *д.т.н., профессор*
9. **Самаров К.Л.**, *д.ф.-м.н., профессор*
10. **Смердов А.А.**, *д.т.н., профессор*
11. **Стрэналюк Ю.В.**, *д.т.н., профессор*
12. **Фоминский В.Ю.**, *д.ф.-м.н., профессор*
13. **Щурин К.В.**, *д.т.н., профессор*

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

- Девин И.В.  
**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ.....110**
- Исаева Г.Н., Теодорович Н.Н., Сидоров Ю.Ю.  
**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ.....117**
- Комраков А.А.  
**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВИДЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ.....126**
- Коптилин Р.М., Гайнутдинов А.В.  
**ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ ТУРБИНЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ NUMESA.....138**
- Маслобоев А.В.  
**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «СИНТЕЗАТОР СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ».....145**
- Сенюгин Н.П.  
**ВИЗУАЛЬНЫЙ ДЕКЛАРАТИВНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ЯЗЫК «INTELOGRAF» В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ.....156**
- Стрэналюк Ю.В.  
**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ....165**
- Сухотерин А.И.  
**ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПЛАТЕЖНОЙ СИСТЕМЫ.....174**
- Харламова Е.С.  
**ОНЛАЙН-ОБРАЗОВАНИЕ: ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОГНОЗ НА БУДУЩЕЕ.....182**
- МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**
- Голубев А.П., Корнеев А.А.  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ.....191**
- Скрябин М.Л., Смахова И.Н.  
**ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ ПОРШНЕВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....200**

УДК 521.322+531.391.5:629.78:528

### **Анализ свойств орбит минимального изменения высоты**

**В.М. Артюшенко**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и управляющие системы»,  
**Д.Ю. Виноградов**, аспирант кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье рассматривается вопрос об использовании класса орбит минимального изменения высоты (ОМИВ) в качестве программных орбит при баллистическом проектировании космических систем дистанционного зондирования Земли. Приводятся основные соотношения, позволяющие определить параметры ОМИВ в восходящем узле. Указана область возможного применения орбит такого типа.*

Космическая система, космический аппарат, дистанционное зондирование Земли, программная орбита, устойчивая орбита.

### **Analysis of the properties of orbit minimum elevation changes**

**V.M. Artyushenko**, doctor of Technical Sciences, Professor,  
**D.Y. Vinogradov**, graduate student «Information technology and control systems»,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*The article discusses the use of a class of orbits of minimal change in height (OMIV) as a software orbits in ballistic design of space systems of Earth remote sensing. The basic ratio for determining the parameters of the OMIV in ascending node. Indicate the area of possible application of orbits of this type.*

Space system, spacecraft, Earth remote sensing, software orbit, stable orbit.

### **Введение**

Создание и развитие космических средств и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в настоящее время является одним из важнейших направлений применения космической техники для решения множества задач [5], например, задач космической разведки заданных районов Земли в интересах различных ведомств, задач гидрометеорологии, экологического мониторинга, мониторинга чрезвычайных ситуаций, картографии, океанографии, океанологии, геологии и т.д. Для решения большинства задач ДЗЗ необходимо применять совокупность согласованно функционирующих кос-

мических аппаратов (КА), образующих космические системы (КС) или орбитальные группировки КА. В соответствии с [5], перспективные КС ДЗЗ планируется размещать на околокруговых орбитах в диапазоне высот от 500 до 2500 км.

#### **Анализ требований предъявляемых к орбитам**

При проектировании КС предъявляется требование устойчивости к отдельным элементам орбит [6]. Это может быть средняя высота, наклонение плоскости орбиты, период обращения, положение аргумента перигея и др. При этом под устойчивостью орбиты в общем случае понимается соответствие отдельных её элементов условиям выполнения целевой задачи космической системы в течение заданного интервала времени при воздействии максимального множества возмущений.

Одним из основных требований, предъявляемых к перспективным КС ДЗЗ, как правило, является требование обеспечения режима автономного функционирования каждого КА системы [5]. Основой для реализации автономного управления полётом КА и системы КА является принцип удержания КА относительно движения по программной орбите [3]. При этом под программной орбитой понимается некоторая опорная («идеальная») орбита, выбранная с учётом требований к КС и условий обеспечения устойчивости орбитальных параметров, по которой должно осуществляться фактическое движение КА. Параметры программной орбиты выбираются таким образом, чтобы были выполнены два требования. Во-первых, должна быть обеспечена устойчивость структуры КС, для чего необходимо, чтобы орбиты КА, входящих в систему, сохраняли постоянство драконического периода обращения (времени между последовательным прохождением КА восходящего узла орбиты) и одинаковые скорости прецессии линии узлов (смещения долготы восходящего узла орбиты за время драконического периода обращения спутника). Во-вторых, программное движение всех КА системы должно быть максимально приближенным к реальному движению, осуществляющемуся в поле сил, учитывающем притяжение со стороны Земли, Солнца, Луны, торможение в земной атмосфере, влияние солнечного давления и пр.

Абсолютно устойчивая идеально круглая орбита наблюдается при рассмотрении движения КА в центральном поле тяготения Земли, когда за модель фигуры Земли принята сфера с равномерным распределением плотности земного вещества. Потенциал центрального поля  $U$  имеет вид:

$$U = \frac{\mu}{r}, \quad (1)$$

где  $\mu = 398600,4418 \text{ км}^3/\text{с}^2$  – гравитационный параметр Земли;  $r$  – модуль радиуса-вектора КА;

В такой модели движения все кеплеровы (оскулирующие) элементы орбиты спутника: большая полуось, эксцентриситет, наклонение, долгота восходящего узла, аргумент перигея и время прохождения перигея орбиты – остаются постоянными на протяжении всего интервала времени существования КА (при отсутствии коррекции элементов орбиты при помощи двига-

тельной установки). Такое движение называют кеплеровым (невозмущённым), а орбиту – кеплеровой. Изложение характеристик невозмущённого движения даётся, например, в пособии [4].

Реальное воздействие на КА, вызывающее эволюцию оскулирующих элементов орбиты, можно представить в виде суммы основного слагаемого, центрального поля притяжения Земли, и дополнительного, различных возмущающих сил. В произвольно выбранный начальный момент  $t_0$  векторы состояния реальной и оскулирующей орбит совпадают по определению.

По мере удаления от этого момента времени орбиты расходятся за счёт того, что реальное силовое воздействие гравитационного поля, определяющее движение по реальной орбите, отличается от воздействия центрального гравитационного поля, которое порождает кеплерово движение. Это расхождение будет тем меньше, чем меньше промежутков времени  $\Delta t$  действия возмущающей силы, т.е. чем меньше сдвиг от момента  $t_0$ . В пределе, когда  $\Delta t \rightarrow 0$ , реальное движение можно рассматривать как непрерывно меняющееся кеплерово движение, а оскулирующие элементы – как непрерывные функции времени [7].

Основным возмущающим фактором на высотах полётов КА до 2500 км является отличие реального поля тяготения Земли от центрального. При проведении точных баллистических расчётов в качестве приближения к реальной земной поверхности принимается геоид – гипотетическая поверхность уровня потенциала силы притяжения, приблизительно совпадающая с поверхностью спокойных океанов и мысленно продолжающаяся на части Земли, занятые материками. Притягивающий потенциал для такой формы Земли может быть записан в виде разложения в ряд по сферическим функциям [2]:

$$U = \frac{\mu}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} C_{n0} \left( \frac{R_e}{r} \right)^n P_n(\sin \varphi) + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^n \left( \frac{R_e}{r} \right)^n P_{nm}(\sin \varphi) (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) \right\}, \quad (2)$$

где  $C_{n0}$ ,  $C_{nm}$ ,  $S_{nm}$  – безразмерные постоянные коэффициенты;  $R_e = 6378,136$  км – средний экваториальный радиус Земли;  $P_n(\sin \varphi)$  – функция Лежандра степени  $n$ ;  $\varphi$  – геоцентрическая широта КА;  $P_{nm}(\sin \varphi)$  – присоединённая функция Лежандра степени  $n$  и порядка  $m$ ;  $\lambda$  – гринвичская долгота КА.

Члены выражения (2), содержащие  $P_n(\sin \varphi)$ , называют *второй*, *третьей* и т.д. *зональными гармониками*, а члены, содержащие  $P_{nm}(\sin \varphi)$  – *секториальными* (при  $n = m$ ) и *тессеральными* (при  $0 < m < n$ ) *гармониками*. Геометрический смысл гармоник подробно изложен в [1].

Как правило, при проектировании КС программные орбиты определяют в модели движения КА, учитывающей только заданное количество  $N$

зональных гармоник разложения геопотенциала (2):

$$U = \frac{\mu}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^N C_{n0} \left( \frac{R_e}{r} \right)^n P_n(\sin \varphi) \right\}, \quad (3)$$

При записи геопотенциала в виде (3) форма Земли приобретает вид тела несимметричного относительно плоскости экватора, но симметричного относительно своей оси вращения. При этом зональные гармоники чётного порядка характеризуют полярное сжатие Земли при сохранении симметрии её формы относительно экватора, а зональные гармоники нечетного порядка определяют асимметрию Земли относительно плоскости экватора. Принятая модель геопотенциала (3) определяет основные тенденции эволюции орбитальных параметров, которая, к тому же, не зависит от начального значения гринвичской долготы начала трассы КА в восходящем узле орбиты. Влияние неучтенных возмущений от тессеральных и секториальных гармоник, а также сил притяжения со стороны Луны и Солнца на параметры орбиты незначительно. Снижение высоты орбиты вследствие торможения КА, обусловленного возмущающим влиянием со стороны атмосферы, компенсируется за счёт разгонных трансверсальных импульсов скорости.

Порядок величин членов, определяющих зональные гармоники, задаётся величиной безразмерных коэффициентов [2]:  $C_{20} = -1082,7 \cdot 10^{-6}$ ,  $C_{30} = 2,56 \cdot 10^{-6}$ ,  $C_{40} = 1,58 \cdot 10^{-6}$ .

Как видно, добавочные члены, характеризующие отличие потенциала (3) от потенциала центрального поля (1), дают относительно небольшой вклад: член с  $C_{20}$  – около десятой доли процента, последующие члены – на три и более порядков меньше [2]. Поэтому для многих проектных расчётов достаточно учитывать лишь основной добавочный (возмущающий) член, содержащий  $C_{20}$  (вторую зональную гармонику):

$$U = \frac{\mu}{r} \left\{ 1 + C_{20} \left( \frac{R_e}{r} \right)^2 \frac{3 \sin^2 \varphi - 1}{2} \right\}, \quad (4)$$

При движении КА в модели, учитывающей геопотенциал в форме (4), параметры орбиты характеризуются короткопериодическими и вековыми отклонениями, что отлично от движения, осуществляющегося в модели с учётом геопотенциала в форме (3), порождающем, помимо названных отклонений, дополнительно долгопериодические отклонения. Вековыми отклонениями называют такие отклонения параметров, которые приводят к постоянному изменению элементов орбиты (с увеличением времени полёта такие отклонения накапливаются).

К периодическим отклонениям относят отклонения параметров орбиты, действие которых повторяется через определённый интервал времени [4]. Так короткопериодические отклонения повторяются на интервале времени, равному драконическому периоду обращения спутника, а долгопериодические – на интервале времени, равному времени полного оборота линии апсид

(линии, соединяющей перигей и апогей орбиты).

Потенциал в виде (4) обычно называют потенциалом нормального поля, а форму Земли, определяющую такой потенциал, называют общеземным эллипсоидом (ОЗЭ), являющимся сплюснутым эллипсоидом вращения. Малая (полярная) полуось такого эллипсоида равна  $R_p = 6356,751$  км, а большая экваториальная полуось равна среднему экваториальному радиусу  $R_e$ . Отношение  $\alpha = \frac{R_e - R_p}{R_e} = \frac{1}{298,258}$  называется сжатием эллипсоида.

Расстояние от центра эллипсоида до точки его поверхности, соответствующей геоцентрической широте  $\varphi$ , с точностью не хуже 0,1 км, может быть определено по формуле [2]

$$R = R_e (1 - \alpha \sin^2 \varphi), \quad (5)$$

При этом высота полёта КА над ОЗЭ может быть вычислена по простой формуле

$$h = r - R, \quad (6)$$

В отечественной и зарубежной литературе [12, 8, 10, 9] известен класс устойчивых околокруговых орбит, определённых в модели движения с учётом только сжатия Земли. Такие орбиты принято называть орбитами минимального изменения высоты (ОМИВ) или геометрически средними орбитами.

Первая публикация об ОМИВ появилась за рубежом [12]. Противоположные точки ОМИВ равноудалены от центра притяжения. ОМИВ в модели движения, учитывающей нормальное поле тяготения Земли, имеет наименьшую разницу между максимальным и минимальным радиусами, а также между максимальной и минимальной высотами, отсчитываемыми относительно ОЗЭ. В результате такая орбита оказывается минимально отклонённой от кеплеровой круговой орбиты.

#### **Анализ свойств ОМИВ перспективных систем ДЗЗ**

Рассмотрим и проанализируем свойства ОМИВ на предмет их использования в качестве программных орбит перспективных систем ДЗЗ путём исследования поведения оскулирующей геометрии на некотором интервале движения КА.

Известно [2], что оскулирующая геометрия орбиты в орбитальной плоскости (форма орбиты и ориентация линии апсид) полностью характеризуется оскулирующими эксцентриситетом  $e(t)$  и аргументом перигея  $\omega(t)$  или вектором Лапласа:

$$\bar{f} = \mu \bar{e} = \bar{V} \times \bar{c} - \mu \frac{\bar{r}}{|\bar{r}|} \quad (7)$$

где  $\bar{c} = \bar{r} \times \bar{V}$  – векторная константа площадей;  $\bar{e}$  – вектор эксцентриситета.

При малом значении эксцентриситета  $e$  положение аргумента широты перигея  $\omega$  становится неопределённым, поэтому при анализе возмущений геометрии почти круговой орбиты целесообразно перейти от кеплеровых элементов  $e$  и  $\omega$  к новым элементам [11]:

$$e_1 = e \cos \omega; e_2 = e \sin \omega, \quad (8)$$

представляющим собой проекции вектора эксцентриситета на две оси, одна из которых,  $e_1$ , направлена по линии узлов и соответствует аргументу широты  $u = 0$ , а другая,  $e_2$ , нормальна к первой и соответствует  $u = 90^\circ$ .

Параметры  $\{e_1, e_2\}$  вычисляются, исходя из определения ОМИВ, т.е. из условия равенства радиусов орбиты в узлах и в точках вертекса [8]:

$$r_{(0)} = r_{(\pi)}, r_{\left(\frac{\pi}{2}\right)} = r_{\left(\frac{3\pi}{2}\right)}.$$

Радиус орбиты в функции аргумента широты определяется как [11]:

$$r(u) = \frac{p}{1 + e_1 \cos u + e_2 \sin u} - \frac{1}{r_{cp}} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} \left[ 1 - \cos u + \frac{1}{6} \sin^2 i (4 \cos u - \cos 2u - 3) \right] \quad (9)$$

где  $p$  – фокальный параметр орбиты;  $\varepsilon = 2,634 \cdot 10^{10} \text{ км}^5/\text{с}^2$  – константа сжатия Земли;  $r_{cp}$  – средний радиус орбиты, определяемый по формуле [11]

$$r_{cp} = p - \frac{1}{p} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \cdot \sin^2 i \right) \quad (10)$$

в предположении, что для ОМИВ  $r_{cp} \approx p$ ;  $i$  – наклонение плоскости орбиты.

Формула (9) содержит тригонометрические функции от аргумента широты, обращающиеся в нуль и единицу в 4-х точках орбиты с аргументами широты  $u = 0; \pi/2; \pi; 3/2\pi$ . Это обстоятельство дает возможность выразить значения радиусов орбиты в этих точках с помощью следующих простых соотношений:

$$\left. \begin{aligned} r_{(0)} &= \frac{p}{1 + e_1}, \\ r_{\left(\frac{\pi}{2}\right)} &= \frac{p}{1 + e_2} - \frac{1}{p} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} \left( 1 - \frac{1}{3} \sin^2 i \right), \\ r_{(\pi)} &= \frac{p}{1 - e_1} - \frac{2}{p} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} \left( 1 - \frac{2}{3} \sin^2 i \right), \\ r_{\left(\frac{3\pi}{2}\right)} &= \frac{p}{1 - e_2} - \frac{1}{p} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} \left( 1 - \frac{1}{3} \sin^2 i \right). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

После некоторых преобразований, отбросив члены, содержащие  $e^2$ , можно получить следующие формулы для параметров  $\{e_1, e_2\}$  в восходящем узле орбиты [8]:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \frac{1}{p^2} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \sin^2 i\right) \\ e_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Определение параметров ОМИВ осуществляется методом последовательных приближений. Если задана большая полуось  $a$ , то значение фокального параметра  $p$  определяется итерационным способом, учитывая соотношения:  $p = a \cdot (1 - e^2)$ ,  $e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2}$ . Если задано значение драконического периода, то с использованием выражения [11]:

$$T_{op} = 2\pi \left\{ a \sqrt{\frac{a}{\mu}} - \frac{\varepsilon}{\mu \sqrt{\mu p}} \left[ 3 - \frac{5}{2} \sin^2 i - e_1 (1 - 5 \sin^2 i) \right] \right\}. \quad (13)$$

При этом должна быть задана требуемая величина наклона плоскости орбиты.

Для исследования поведения геометрии ОМИВ были построены профили изменения радиуса ОМИВ и её высоты относительно ОЗЭ, изображённые соответственно на рис. 1 и рис. 2. Для этого проведено прогнозирование параметров орбиты в модели движения с учётом геопотенциала в форме (4) на интервале в 2000 витков полёта от начальных условий, заданных в восходящем узле:

$$\begin{aligned} a_0 &= 7107,206 \text{ км}; e_0 = 0,000452; i_0 = 98^\circ,339; \\ \Omega_0 &= 0^\circ; \omega_0 = 0; u_0 = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

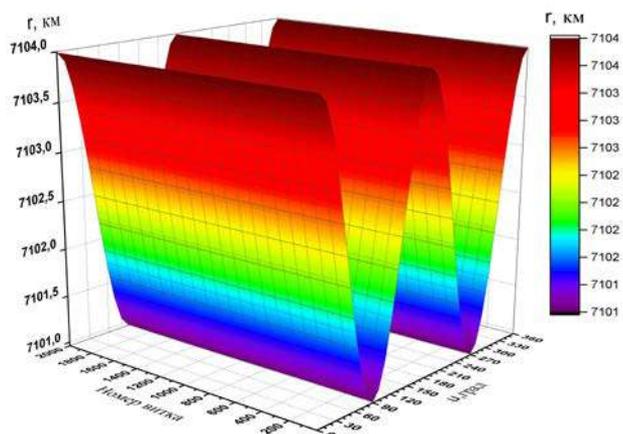
Для орбиты с начальными данными (14) интервал 2000 витков эквивалентен примерно 140 суткам полёта, т.е. более трети года.

На рисунке 1 по оси абсцисс откладывается аргумент широты подспутниковой точки, по оси ординат – номер полётного витка, по оси аппликат – соответственно радиус и высота орбиты КА.

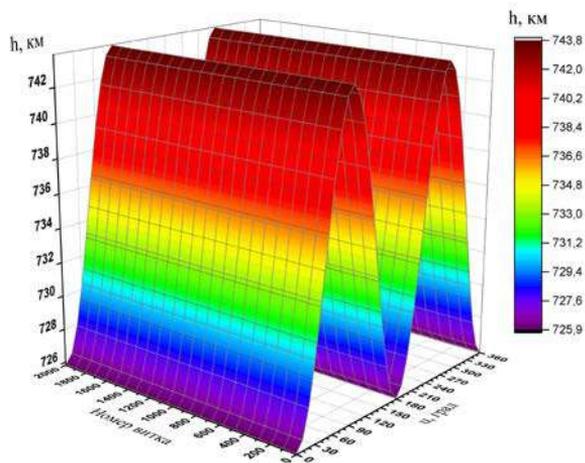
Из рисунка 1 видно, что в противоположных точках орбиты (например, с аргументами широты  $0^\circ$  и  $180^\circ$  или  $90^\circ$  и  $270^\circ$ ) одинаковы и радиусы, и высоты.

В течение всего интервала моделирования движения КА в каждой подспутниковой точке наблюдается постоянство профилей радиуса и высоты орбиты над ОЗЭ. У такой орбиты имеются два максимальных радиуса, расположенные в восходящем ( $u = 0^\circ$ ) и нисходящем ( $u = 180^\circ$ ) узлах, и два минимальных радиуса, расположенные на аргументах широты  $u = 90^\circ$  и  $u = 270^\circ$ . Высоты орбиты, наоборот, в узлах имеют минимумы, а в точках  $u = 90^\circ$  и  $u = 270^\circ$  – максимумы.

Разность экстремальных радиусов орбиты на витках полёта составляет  $\Delta r_{экс} = r_{\max} - r_{\min} = 3$  км, а разность экстремальных высот составляет  $\Delta h_{экс} = h_{\max} - h_{\min} = 17,9$  км.



а)



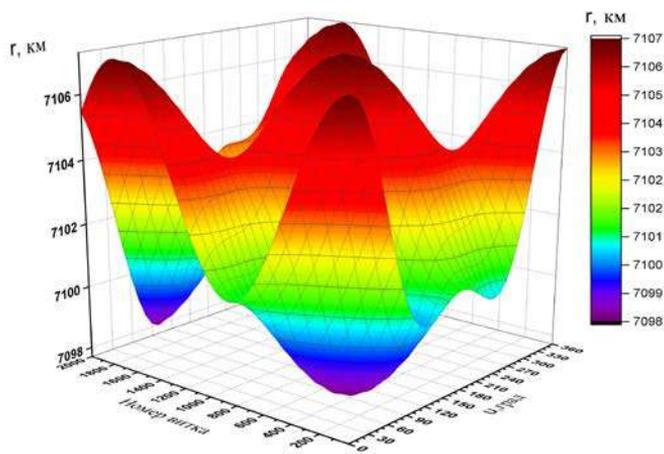
б)

Рисунок 1 – Профиль: *a* – радиуса ОМИБ; *б* – высоты ОМИБ относительно ОЗЭ

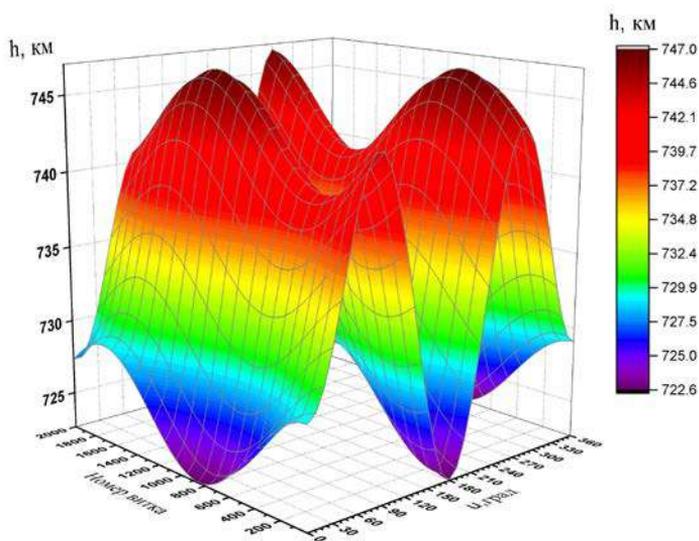
Изображённый на рисунке 1 характер эволюции радиуса и высоты ОМИБ достигается вследствие отсутствия векового ухода линии апсид, что становится возможным при использовании величин  $\{e_1, e_2\}$ , определяемых соотношениями (12). То есть у ОМИБ, помимо постоянства величин большой полуоси, эксцентриситета наклона в восходящем узле, драконического периода и угловой скорости прецессии линии узлов, свойственного для всех орбит в модели движения с учётом сжатия Земли, сохраняется постоянство величины аргумента перигея в восходящем узле орбиты.

Орбиты, обладающие перечисленными выше характеристиками, принято называть устойчивыми в заданном поле возмущений. Такого рода околокруговые орбиты, как правило, используют в качестве программных орбит при проектировании орбитальных структур систем КА наблюдения земной поверхности [3]. В результате параметры программной орбиты в восходящем

узле любого заданного витка будут зависеть только от известного значения изменения долготы восходящего узла за виток полета.



а)



б)

Рисунок 2 – Профиль орбиты с параметрами (14) при  $e_0 = 0$ :  $a$  – радиуса;  
 $b$  – высоты относительно ОЗЭ

Устойчивые ОМИВ в рассматриваемом поле возмущений обладают минимальными перепадами экстремальных радиусов и высот, вследствие чего такие орбиты среди всех множеств орбит с одинаковыми величинами

большой полуоси и наклона плоскости наиболее близки к круговым орбитам. Для сравнения, на рисунке 2 показаны профили радиуса и высоты орбиты в модели ГПЗ с учётом второй зональной гармоники с теми же начальными параметрами ОМИВ за исключением величины эксцентриситета, которая взята равной нулю ( $e_0 = 0$ ), что соответствует круговой орбите в начальный момент времени.

Из зависимостей, представленных на рисунке 2 видно, что несоблюдение в восходящем узле начальных параметров ОМИВ приводит к нарушению постоянства профилей радиуса и высоты, несмотря на то, что на момент начала интегрирования орбита была круговой. В данном случае наблюдается вековой уход линии апсид, в результате наибольший диапазон изменения радиусов составляет около 9 км, а высоты – порядка 24,4 км. При этом диапазон изменения радиуса в каждой подспутниковой точке составляет порядка 7 км, а высоты – порядка 5 км.

Размещение КС ДЗЗ на устойчивых околокруговых орбитах позволит обеспечить, помимо простого определения параметров орбиты в восходящем узле, следующие преимущества при наблюдении земной поверхности:

- минимальный диапазон фокусировки аппаратуры наблюдения;
- простое программирование закона изменения фокуса аппаратуры, так как эволюция высоты на каждом полётном витке остаётся неизменной;
- улучшается детализация съёмки, так как меньше изменяется полоса обзора при фиксированном угле обзора.

Однако в более сложной модели геопотенциала (3) ОМИВ со временем теряет свои свойства вследствие деструктивных воздействий от гармоник высоких степени и порядка, порождающих, помимо дополнительных вековых и короткопериодических отклонений, долгопериодические отклонения элементов орбиты. В результате, параметры возмущённой орбиты перестают соответствовать параметрам устойчивой орбиты – первоначальный профиль высоты искажается.

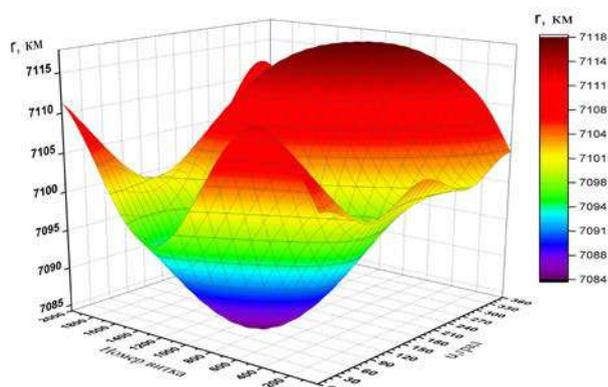
Вид профилей возмущённой ОМИВ изображён на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что в более сложной модели ГПЗ (в данном случае, учитывающей 32 зональные гармоники), положение экстремальных радиусов и высот возмущённой ОМИВ и их величина эволюционируют от витка к витку. В течение полного оборота линии апсид наибольший диапазон изменения радиуса составляет порядка 34 км, а диапазон изменения радиуса в каждой подспутниковой точке составляет порядка 15-25 км. Для высоты аналогичные величины составляют порядка 44,2 км 16-23 км.

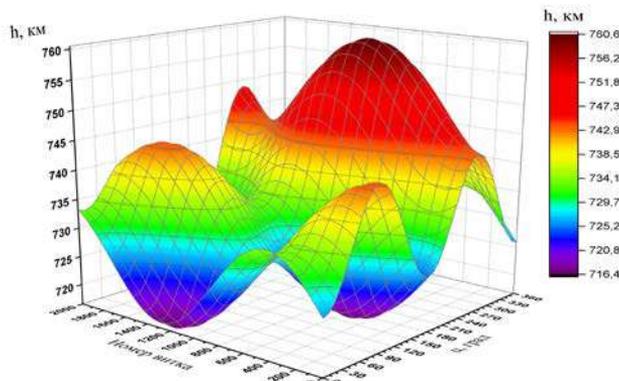
При выборе ОМИВ в качестве программных орбит при проектировании КС для поддержания устойчивости орбитальной структуры системы потребуются частые коррекции драконического периода обращения, эксцентриситета и аргумента перигея для обеспечения движения реальной системы в заданной окрестности программного движения, что делает их не столь привлекательными ввиду больших энергетических затрат топлива.

Стоит отметить, что данный класс орбит нашёл своё применение и

используется на начальном этапе баллистического проектирования КС ДЗЗ. Так, если высота рабочей геометрически средней ОМИВ лежит в диапазоне 200 – 300 км, где торможение КА в атмосфере достаточно ощутимо, то поддержание свойств ОМИВ зависит от интервала времени между коррекциями поддержания периода рабочей орбиты КА, который для указанного диапазона высот, как правило, достаточно мал. Это подтверждается результатами навигационно-баллистического обеспечения полётов при реализации экспериментальной программы орбитальной пилотируемой станции «Алмаз», когда из-за интенсивного торможения станции в атмосфере интервал между манёврами поддержания рабочей орбиты составлял около 7-ми суток, что позволяло в результате реализации манёвров поддержания обеспечивать «скругление» орбиты.



а)



б)

Рисунок 3 – Профиль возмущённой ОМИВ с начальными параметрами (14):  
а – радиуса; б – высоты относительно ОЗЭ

В большинстве работ, посвящённых определению оптимального ор-

битального построения системы КА при заданных требованиях к землеобзору, фигурирует ограничение, что все спутники должны находиться на круговых орбитах с одинаковыми высотами (драконическими периодами) и наклонениями.

Использование ОМИВ в методиках, излагаемых в обозначенных работах, может позволить получить более точный облик КС в первом приближении, поскольку ОМИВ, как показывают результаты исследований, являются самыми приближенными к круговым орбитам.

### **Выводы**

Таким образом, в статье приведены основные соотношения для определения параметров ОМИВ. Показано, что данный тип орбит в модели геопотенциала с учётом сжатия по своим свойствам удовлетворяет требованию устойчивости, предъявляемым к орбитам при проектировании перспективных КС ДЗЗ. Более того, орбиты этого класса имеют наиболее скруглённую форму среди всех остальных орбит в нормальном поле тяготения. Однако параметры ОМИВ достаточно сильно подвержены долгопериодическим отклонениям, порождаемым гармониками геопотенциала высших степеней, в связи с чем поддержание устойчивости такой орбиты потребует значительных затрат энергетики. Поэтому использование класса устойчивых ОМИВ является оправданным лишь на начальном этапе проектирования системы.

### *Литература*

1. Аксёнов Е.П. Специальные функции в небесной механики // М.: Наука/ 1986. 320 с/
2. Аппазов Р.Ф., Сытин О.Г. Методы проектирования траекторий носителей и спутников Земли // М.: Наука/ 1987. 440 с.
3. Давыдов Е.А., Кисленко К.В., Суевалов В.В. Методы автономного поддержания параметров баллистической структуры перспективных систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Материалы Научно-практической конференции с международным участием «Космонавтика XXI века», ЦНИИМАШ. 2016.
4. Зеленцов В.В., Казаковцев В.П. Основы баллистического проектирования искусственных спутников Земли: учеб. Пособие // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 174 с.
5. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года // М.: Российское космическое агенство. 2006. 72 с.
6. Назаренко А.И., Скребушевский Б.С. Эволюция и устойчивость спутниковых систем // М.: Машиностроение. 1981. 284 с.
7. Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полёта: учеб. Пособие // М.: Наука. 1990. 448 с.
8. Пшеничников В.В., Лысов Н.С., Бабяк А.П. Результаты исследования характеристик орбиты минимального изменения высоты // ЦИВТИ, указатель № 3 (137). 1978.

9. Соловьев Г.М. Теория орбит стационарных высот: сб. тр. СИП РИА // Методические материалы по проблемам развития космической отрасли и конверсии оборонного комплекса. 2002. № 9. С. 4-17.
10. Сытин О.Г., Ястребов В.Д. Элементы геометрически средней орбиты и их использование при решении баллистических задач // Тезисы докладов участников конференции «Теория и практика баллистики и навигации ЛА» // ГОНТИ № 1. 1979. С. 125-127.
11. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полёта искусственных спутников Земли // М.: Наука. 1965. 540 с.
12. Rider L. Class of Minimum Altitude Variation an Oblate Earth // ARS Journal. 1961. No 11. Vol. 31. pp. 1580-1582.

УДК 621.391.26:519.2

**Синтез следящих измерителей, реализуемых с помощью блоков нелинейных преобразований с квадратурными генераторами**

**В.М. Артюшенко**, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой информационные технологии и управляющие системы,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев Московская область,

**В.И. Воловач**, доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Информационный и электронный сервис»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования, Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти

*Рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с синтез алгоритмов адаптивной нелинейной обработки следящих измерителей, реализуемые с помощью блоков нелинейных преобразований с квадратурными генераторами. Проанализирована работа адаптивных блоков нелинейных преобразований с обратной связью с квадратурными генераторами при воздействии широкополосных помех и помех с полосовым спектром. Проанализированы ограничения, накладываемые на динамический диапазон адаптивных блоков нелинейного преобразования с квадратурными генераторами.*

Следящий измеритель, плотность распределения вероятностей мгновенных значений воздействующей помехи, адаптивные блоки нелинейных преобразований, амплитудная характеристика.

**The synthesis of the servo gauges are implemented using blocks of nonlinear transformation with quadrature generators**

**V.M. Artyushenko**, doctor of Technical Sciences, Professor,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,

**V.I. Volovach**, doctor of technical Sciences, associate Professor,  
head of the Department «Information and electronic service»,  
State budgetary educational institution of higher education  
Volga region state University of service, Tolyatti

*Reviewed and analyzed issues related to the synthesis of algorithms for ADAP-tive non-linear processing of the servo gauges that are implemented with blocks of non-linear transformations of the quadrature generators. Analyzed the operation of the adaptive blocks nonlinear transformations with feedback from quadrature GE-neatorama when exposed to broadband noise and jamming with a*

*band spectrum. Analyzed the restrictions imposed on the dynamic range of the adaptive blocks nonlinear transformation with quadrature oscillators.*

The tracking meter, the probability density function of instantaneous values of the whocurrent disturbance, adaptive blocks nonlinear transformation of the amplitude characteristic.

### Введение

Известно большое число работ, посвященных оптимальному обнаружению слабых сигналов  $s(t)$  на фоне помех  $n(t)$  [1, 2]. Как правило, алгоритмы оптимального обнаружения рассматриваются в предположении, что помеха является стационарной с известной плотностью распределения вероятностей (ПРВ) мгновенных значений  $W_n(n)$  или ее огибающей  $W_n(U)$  [5, 8]. Однако, в реальной помеховой обстановке это не выполняется, поэтому обработка принимаемого сигнала должна быть адаптивной, согласующейся с вероятностными свойствами воздействующих помех [6, 7].

Кроме того, необходимость в адаптивной нелинейной обработке при оценке информационных параметров сигнала с минимальной величиной обобщенной среднеквадратической ошибкой (ОСКО), обусловлена чувствительностью оптимальных амплитудных характеристик (АХ) БНП к величине текущей расстройки  $\varepsilon_i = \lambda_i - \hat{\lambda}_i$  между измеряемыми параметрами  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)$  и их оценками  $\hat{\lambda} = (\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \dots, \hat{\lambda}_l)$ , которая реально неизвестна и может изменяться с течением времени.

Алгоритмы адаптивной нелинейной обработки, реализуемые с помощью адаптивных блоков нелинейных преобразований (АБНП), основываются на аппроксимации ПРВ помехи, параметры которой априорно связаны с некоторыми числовыми характеристиками помехи расчетными соотношениями.

Для согласования АБНП с реальной помеховой обстановкой эти числовые характеристики оцениваются по текущей реализации помехи [3, 4]. Затем, по связующим формулам рассчитываются значения параметров модели, и производится настройка АБНП на рассчитанные значения.

Рассчитанные по этому методу АБНП используют связь оптимальных АХ БНП с ПРВ помехи. При этом в выражении для оптимальной АХ БНП действующей помехи

$$Z_n(n) = \frac{\partial}{\partial n} \ln W_n(n),$$

ПРВ мгновенных значений  $W_n(n)$  заменяется параметрической моделью  $W_M(n, \alpha)$  с параметрами настройки  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)^T$ , где  $T$  – символ транспонирования;  $m$  - число параметров настройки.

В результате получается квазиоптимальный БНП с АХ

$$Z_M(n, \alpha) = \frac{\partial}{\partial n} \ln W_M(n, \alpha),$$

эффективность которого зависит от того, на сколько удачен выбор модели  $W_M(n, \alpha)$  и способа оценки ее параметров.

Критерием, характеризующим точность аппроксимации, является кри-

терий максимума коэффициента подавления помехи  $\mu_{n.\max}$

$$\mu_{n.\max} = \frac{M\left\{\frac{d}{dn}z_M(n,\alpha)\right\}^2}{M\{z_M^2(n,\alpha)\}},$$

где  $M\{\cdot\}$  – знак математического ожидания.

Рассмотрим алгоритмы адаптивной нелинейной обработки, реализующиеся в адаптивных нелинейных преобразователях, являющихся устройствами автоматического регулирования с обратной связью с квадратурными генераторами.

### **Адаптивные блоки нелинейных преобразований с квадратурными генераторами при воздействии широкополосных помех**

Используемые в своем составе управляемые квадратурные генераторы АБНП получаются в результате синтеза, оптимального по критерию максимума показателя коэффициента подавления помехи, алгоритма адаптации БНП с линейной относительно своих параметров регулировки амплитудной характеристики при наличии ограничений, накладываемых на параметры настройки.

Необходимость разработки подобных адаптивных БНП обусловлена ограничениями динамического диапазона существующих операционных элементов: сумматоров, интеграторов, перемножителей и т.п.

Рассмотрим способы получения АБНП, одним из основных функциональных элементов которых является квадратурный генератор (КГ).

Вначале остановимся на синтезе алгоритма адаптации БНП с амплитудной характеристикой вида

$$z(n) = \alpha_1\varphi_1(n) + \alpha_2\varphi_2(n), \quad (1)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – параметры настройки БНП;  $\varphi_1(n), \varphi_2(n)$  – произвольные линейно-независимые функции от  $n$ .

Для этого подставим амплитудную характеристику (1) в выражение для коэффициента подавления помехи

$$\mu_n = p_n \frac{M\left\{\frac{d}{dn}z_n(n)\right\}^2}{M\{z_n^2(n)\}},$$

где  $p_n$  – скалярный множитель.

В результате получим

$$\mu_n = p_n \frac{M\{\alpha_1\varphi_1'(n) + \alpha_2\varphi_2'(n)\}^2}{M\{[\alpha_1\varphi_1(n) + \alpha_2\varphi_2(n)]^2\}}, \quad (2)$$

где (') – знак производной.

Оптимальные значения параметров  $\alpha_{1.\text{opt}}, \alpha_{2.\text{opt}}$ , максимизирующие выражение (2), удовлетворяют уравнению

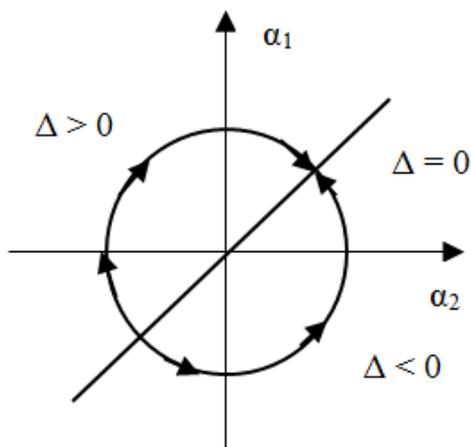
$$M\{\varphi_0(n)[\alpha_1\varphi_1(n) + \alpha_2\varphi_2(n)]\} = 0, \quad (3)$$

где  $\varphi_0(n) = \varphi_2(n)M\{\varphi_1'(n)\} - \varphi_1(n)M\{\varphi_2'(n)\}$ .

Выражение (3) имеет бесконечное множество решений. Оно представляет собой с геометрической точки зрения прямую линию в координатах  $\alpha_1, \alpha_2$ , проходящую через начало координат с тангенсом угла наклона к оси абсцисс

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\alpha_{1,\text{opt}}}{\alpha_{2,\text{opt}}} = - \frac{M\{\varphi_0(n)\varphi_2(n)\}}{M\{\varphi_0(n)\varphi_1(n)\}}.$$

Любая точка на этой прямой является решением уравнения (3). Поэтому поиск оптимального решения можно производить по любой замкнутой кривой, охватывающей начало координат, двигаясь по ней до пересечения с прямой, описываемой уравнением (3). Данный процесс проиллюстрирован на рис. 1.



**Рисунок 1 – Геометрическая иллюстрация процесса поиска оптимального решения**

Автоматической системой. Осуществляющий такой поиск, является управляемый КГ, описываемый системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} T \frac{d\alpha_1}{dt} = \alpha_2 \Delta(\alpha_1, \alpha_2); \\ T \frac{d\alpha_2}{dt} = -\alpha_1 \Delta(\alpha_1, \alpha_2), \end{cases} \quad (4)$$

где  $T$  – постоянная времени КГ;

$$\Delta(\alpha_1, \alpha_2) = \varphi_0(n)[\alpha_1 \varphi_1(n) + \alpha_2 \varphi_2(n)] - \quad (5)$$

управляющее напряжение КГ, вырабатываемое дискриминатором следящей системы адаптивного БНП.

Для пояснения принципа работы КГ применим метод фазовой плоскости.

Разделим первое уравнение системы дифференциальных уравнений (4) на второе

$$\frac{d\alpha_1}{d\alpha_2} = - \frac{\alpha_2}{\alpha_1}.$$

После разделения переменных

$$\alpha_1 d\alpha_1 = -\alpha_2 d\alpha_2$$

и интегрирования, получим

$$\alpha_1^2 + \alpha_2^2 = r^2, \quad (6)$$

где  $\beta$  – постоянная интегрирования, величина которой определяется начальными условиями интегрирования.

На фазовой плоскости в координатах  $\alpha_1, \alpha_2$  уравнение (6) задается окружностью радиуса  $r$  с центром в начале координат (см. рис. 1).

Следовательно, выходные величины КГ  $\alpha_1, \alpha_2$  являются квадратурами и их можно представить в виде

$$\begin{aligned}\alpha_1(t) &= r \cos \varphi(t); \\ \alpha_2(t) &= r \sin \varphi(t).\end{aligned}\tag{7}$$

Подставив выражение (7) в первое уравнение системы (4), получим

$$-Tr \sin \varphi(t) \frac{d\varphi(t)}{dt} = r \sin \varphi(t) \Delta(\alpha_1, \alpha_2)$$

Из данного уравнения следует равенство

$$T \frac{d\varphi(t)}{dt} = -\Delta(\alpha_1, \alpha_2).\tag{8}$$

Следовательно, угловая скорость перемещения точки с координатами  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  по окружности радиуса  $r$  пропорциональна управляющему напряжению  $\Delta$ .

Если  $\Delta > 0$ , то  $\frac{d\varphi(t)}{dt} < 0$  и движение точки с координатами  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  по окружности радиуса  $r$  происходит в сторону уменьшения текущей фазы  $\varphi(t)$ , то есть по часовой стрелке.

Если  $\Delta < 0$ , то  $\frac{d\varphi(t)}{dt} > 0$  и движение указанной выше точки по окружности происходит против часовой стрелки.

Если  $\Delta = 0$ , то  $\frac{d\varphi(t)}{dt} = 0$  – это соответствует отсутствию перемещения точки с координатами  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  по окружности, описываемой уравнением (6).

Проинтегрировав уравнение (8), получим

$$\varphi(t) = \frac{1}{T} \int_0^t \Delta(\alpha_1(t), \alpha_2(t)) dt + \varphi_0,\tag{9}$$

где  $\varphi_0$  – постоянная интегрирования, которая определяется начальными условиями интегрирования.

Таким образом, при включении КГ в цепь обратной связи, последний, благодаря управляющему напряжению  $\Delta \neq 0$  осуществляет вращение точки с координатами  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  по окружности (6) до пересечения с прямой  $\Delta = 0$ , в которой указанная точка останавливается, а ее координаты (они же параметры настройки БНП)  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  соответствуют оптимальным.

В процессе интегрирования управляющего напряжения  $\Delta$  с постоянной времени  $T$  (см. выражение (9)) происходит сглаживание (усреднение) флюктуаций напряжения  $\Delta$  около своего среднего значения.

Структурная схема КГ может быть представлена в двух вариантах.

Первый вариант реализует алгоритм работы (4). В этом случае схема КГ имеет вид, представленный на рисунке 2, а. Второй вариант КГ основывается на выражениях (7) и (9) и представлен схемой на рисунке 2, б.

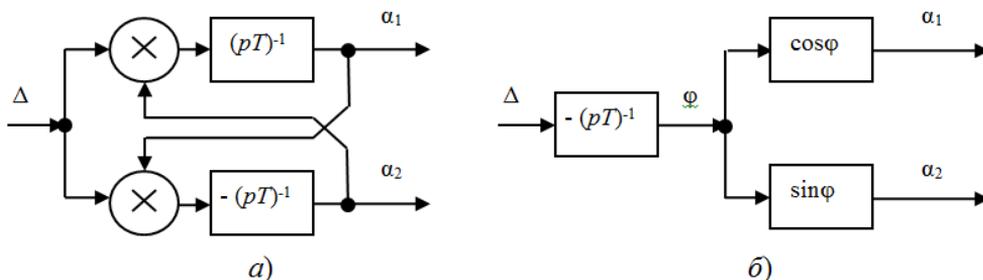


Рисунок 2 – Структурная схема квадратурного генератора, реализующего алгоритм: *a* – (4); *б* – (7) и (9)

Теперь рассмотрим структуру дискриминатора следящей системы адаптивного БНП, который формирует напряжение  $\Delta(\alpha_1, \alpha_2)$  управляющее работой КГ.

Величину  $\Delta(\alpha_1, \alpha_2)$ , как следует из выражения (5) можно рассматривать, как результат перемножения процессов с выходов двух БНП с амплитудной характеристикой  $z_n(n)$  и  $\varphi_0(n)$ .

Анализируя выражения для амплитудной характеристики  $\varphi_0(n)$  второго БНП в формуле (3), можно видеть, что она так же, как и в  $z_n(n)$  является линейной комбинацией функций  $\varphi_1(n), \varphi_2(n)$ , но с другими весовыми коэффициентами:

$$\begin{aligned} \alpha_1^* &= M\{\varphi_2'(n)\}; \\ \alpha_2^* &= -M\{\varphi_1'(n)\}, \end{aligned}$$

которые получаются в результате решения линейного уравнения

$$M\{\varphi_0'(n)\} = M\{\alpha_1^* \varphi_1'(n) + \alpha_2^* \varphi_2'(n)\} = 0, \quad (10)$$

Из выражения (10) следует вывод о том, что БНП с амплитудной характеристикой  $\varphi_0(n)$  обеспечивает полное подавление сигнала, так как коэффициент подавления помехи, в силу равенства  $M\{\varphi_0'(n)\} = 0$ , также равен нулю.

Так как выражение (10) представляет собой уравнение прямой линии в координатах  $\alpha_1^*, \alpha_2^*$ , проходящей через начало координат, то решение уравнения (10) можно также осуществлять с помощью системы авторегулирования на базе КГ, управляемого величиной

$$\Delta^* = \frac{d}{dn} [\alpha_1^* \varphi_1(n) + \alpha_2^* \varphi_2(n)].$$

На основании полученных выше результатов, структурная схема адаптивного БНП с КГ примет вид, представленный на рисунке 3.

### Адаптивные блоки нелинейных преобразований с квадратурными генераторами при воздействии узкополосных помех

Для полосовых помех можно получить адаптивный БНП, аналогичный изображенному на рисунке 3, если ввести амплитудную характеристику БНП на огибающей в виде

$$g(U) = \alpha_1 z_1(U) + \alpha_2 z_2(U), \tag{11}$$

где  $z_1(U)$  и  $z_2(U)$  связаны соответственно с  $\varphi_1(U)$ ,  $\varphi_2(U)$ .

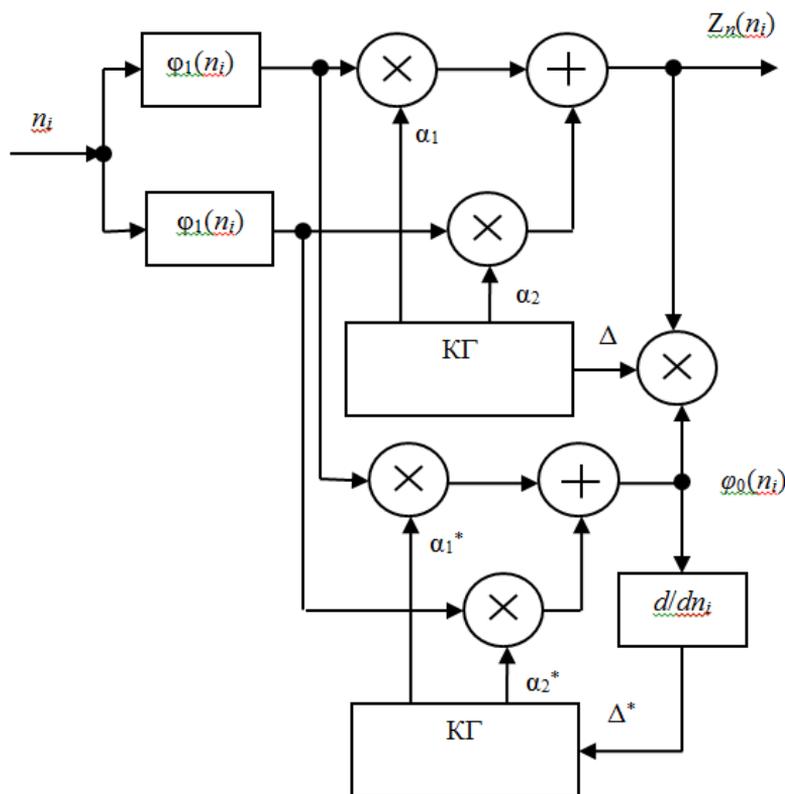


Рисунок 3 – Структурная схема адаптивного БНП с квадратурными генераторами, реализующего алгоритм (10), где КГ – квадратурный генератор

В этом случае оптимальные параметры настройки БНП удовлетворяют уравнению

$$M\{z_0(U)[\alpha_1 z_1(U) + \alpha_2 z_2(U)]\} = 0, \tag{12}$$

где  $z_0(U) = z_2(U)M\left\{\frac{z_1(U)}{U} + z_1'(n)\right\} - z_1(U)M\left\{\frac{z_2(U)}{U} + z_2'(U)\right\}$ .

Из выражения (12) следует, что для определения оптимальных параметров настройки БНП  $\alpha_{1,opt}$  и  $\alpha_{2,opt}$  необходимо вычислить среднее значение величины

$$\Delta = z_0(U)g(U),$$

и сводить это среднее значение к нулю с помощью следящей системы на базе рассмотренного выше КГ.

Проиллюстрируем это на примере БНП с амплитудной характеристикой по первой гармонике  $g(U)$  описываемой обобщенным полиномом

$$g(U) = \sum_{i=1}^m \alpha_i z_i(U),$$

где  $z_i(U)$  – произвольные линейно независимые от  $U$  функции, для которой  $z_1(U) = U, z_2(U) = 1$ .

Для определения структуры дискриминатора такого адаптивного БНП найдем характеристику  $z_0(U)$ , которая входит в выражение (12)

$$z_0(U) = 2 - UM\{U^{-1}\}.$$

Затем умножим полученное выражение на  $g(U)$ :

$$\Delta(\alpha_1, \alpha_2) = g(U)[2 - UM\{U^{-1}\}], \quad (13)$$

В данном выражении  $M\{U^{-1}\}$  означает постоянную составляющую процесса  $U^{-1}(t)$ . Следовательно, операция вычитания  $U^{-1}(t) - M\{U^{-1}\}$  эквивалентна фильтрации высоких частот процесса  $U^{-1}(t)$ .

Это говорит о том, что дискриминатор следящей системы адаптивного БНП на базе БНП с полигональной амплитудной характеристикой может быть реализован (см. рис. 4) с помощью фильтра высоких частот (ФВЧ), сумматора, вычисляющего величину  $2U^{-1}(t) - M\{U^{-1}\}$  и двух перемножителей, осуществляющих перемножение процессов  $U(t), g(U)$  и  $U^{-1}(t) - M\{U^{-1}\}$ .

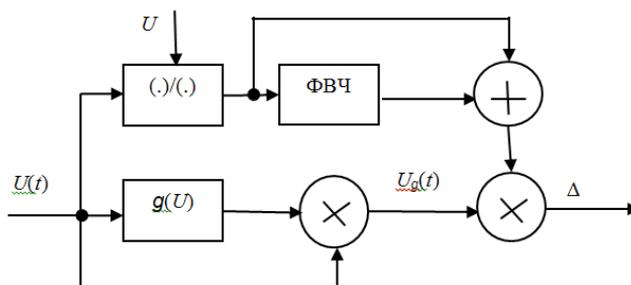


Рисунок 4 – Структурная схема дискриминатора следящей системы адаптивного БНП на базе БНП с полигональной амплитудной характеристикой

В результате математического моделирования работы, представленного на рисунке 5 дискриминатора в составе адаптивного БНП с одним КГ, были получены зависимости усредненного по 200-м реализациям коэффициента подавления помехи  $\mu_{n,ср}$  от времени адаптации  $H\Delta t$  и величины параметров распределения  $d$  и  $\sigma$  огибающей  $U$  райсовской (рис. 5, а).

$$W_n(U) = \frac{U}{\sigma^2} \exp \left\{ \frac{-(U^2 + d^2)}{2\sigma^2} \right\} I_0 \left( \frac{Ud}{\sigma^2} \right),$$

где  $I_0(\cdot)$  – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка, и логнормальной помехи (рис. 5, б).

$$W_n(U) = \frac{1}{U\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ \frac{-(\ln U + d)^2}{2\sigma^2} \right\},$$

Пунктирной линией на рисунке 5, для сравнения, приведены зависимости максимального коэффициента подавления  $\mu_{n,макс}$  помехи в рассматриваемом БНП.

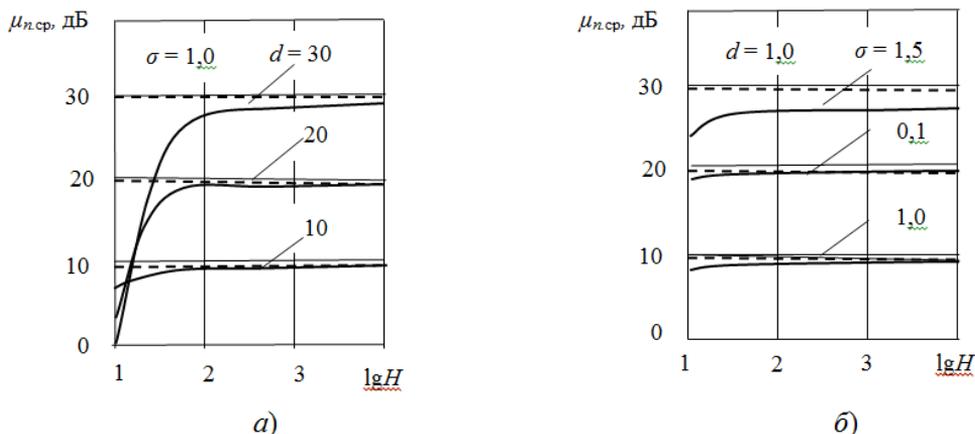


Рисунок 5 – Результаты расчета величины коэффициента подавления помехи, от объема выборки, для различных значений параметров распределений  $d$  и  $\sigma$  огибающей:  $a$  – райсовской;  $b$  – логнормальной

Представленные на рисунке 5 графики показывают асимптотическое приближение с течением времени усредненного коэффициента подавления помехи  $\mu_{n,ср}$  к  $\mu_{n,max}$ .

Рассмотренные выше процедуры получения адаптивного БНП приводит к весьма громоздким алгоритмам адаптации, если число линейно независимых функций  $\varphi_i(n)$  в формуле (1) более трех.

Более простые алгоритмы адаптации можно получить, если воспользоваться уравнением

$$D\alpha - c\mathbf{v} = 0; c \neq 0, \quad (14)$$

которое является условием максимума

$$\mu_n = p_n \frac{(\mathbf{v}^T \alpha)^2}{\alpha^T D \alpha},$$

где элементы вектора  $\mathbf{v}$  и положительно определенной симметрической матрицы  $D$  размером  $m \times m$ , определяются, соответственно, выражениями

$$v_i = M \left\{ \frac{d}{dn} \varphi_i(n) \right\}; d_{ij} = M \{ \varphi_i(n) \varphi_j(n) \},$$

Здесь  $p_n$  – скалярный множитель;  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)^T$  – параметры настройки;  $m$  – число параметров настройки;  $T$  – символ транспонирования.

Заметим, что максимум коэффициента подавления помехи  $\mu_{n,max}$

$$\mu_{max} = p_n \mathbf{v}^T D^{-1} \mathbf{v},$$

наступает тогда, когда параметры настройки  $\alpha$  амплитудной характеристики БНП выбираются в соответствии с выражением (14):

$$\alpha = \alpha_{opt} = c D^{-1} \mathbf{v},$$

где  $c \neq 0$  – произвольный скалярный множитель.

Включим скалярную величину  $c$  в число параметров настройки нели-

нейного преобразования, то есть  $\alpha_{m+1} = c$ , и введем новую  $m \times (m + 1)$  матрицу  $D$  с элементами

$$d_{ij}^* = \begin{cases} d_{ij} = M\{\varphi_i(n)\varphi_j(n)\}, \text{ если } i, j = \overline{1, m} \\ -v_j = -M\{\varphi_j'(n)\}, \text{ если } i = m + 1, j = \overline{1, m} \end{cases}$$

В новых обозначениях уравнение (14) принимает вид  $D^* \alpha = 0$ .

Раскрывая фигурные скобки, обозначающие операцию математического ожидания, из последнего уравнения получим

$$M\{\Delta\} = 0,$$

$\Delta$  – вектор с элементами

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^m \alpha_i \varphi_i(n) \varphi_j(n) - c \varphi_j'(n) = f(n) \varphi_j(n) - c \varphi_j'(n), \quad (15)$$

Каждое уравнение (15) описывает гиперплоскость.

Пересечение гиперплоскостей в  $m$  мерном пространстве параметров настройки дает прямую линию, проходящую через начало координат. Поэтому поиск одного из множества решений уравнения  $M\{\Delta\} = 0$ , можно производить по любой замкнутой гиперповерхности, охватывающей начало координат, до пересечения с указанной выше прямой.

Произвести такой поиск возможно с помощью автоматической системы, являющейся аналогом управляемого КГ, структурная схема которого приведена на рисунке 6.

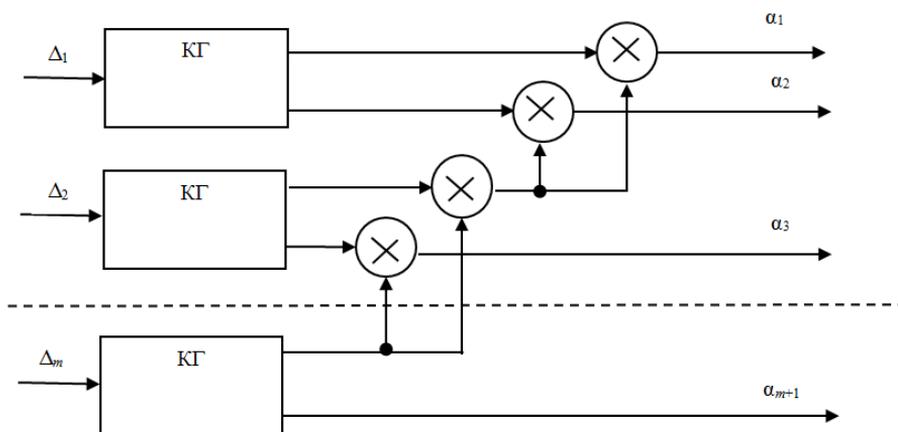


Рисунок 6 – Структурная схема автоматической системы, являющейся аналогом квадратурного генератора

Многомерный КГ, приведенный на рисунке 6, составлен из  $m$  обычных КГ и имеет  $m$  управляемых входов, на которые поступают управляющие сигналы  $\Delta_j$  с выходов многомерного дискриминатора, и  $m+1$  выходов, с которых снимаются сигналы, соответствующие параметрам настройки нелинейного преобразования  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ , а также дополнительной переменной

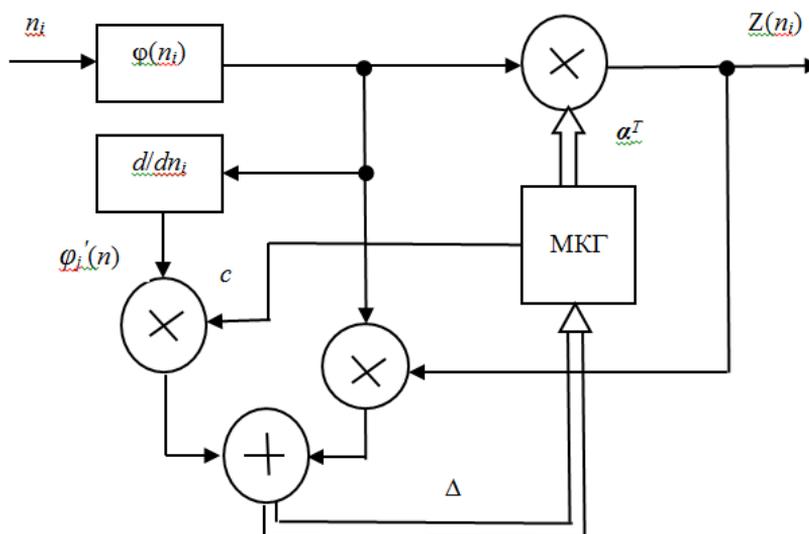
$\alpha_{m+1} = c$ .

Первые  $m$  сигналов  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$  поступают на собственно нелинейный подавитель помехи для управления его амплитудной характеристикой, а  $\alpha_{m+1}$  – в дискриминатор, структура которого определяется выражением (15).

Описанный выше КГ осуществляет поиск точки, координаты которой являются оптимальными параметрами настройки БНП, на гиперсфере, описываемой уравнением

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i^2 = r^2.$$

Общая структурная схема адаптивного БНП с многомерным КГ представлена на рисунке 7, где двойные стрелки означают векторно-матричные связи.



**Рисунок 7 – Структурная схема адаптивного БНП с многомерным квадратурным генератором, где МКГ – многомерный квадратурный генератор**

Адаптивный БНП такого типа, предназначенный для подавления полосовых помех, получается введением амплитудной характеристики БНП по первой гармонике  $g(U)$  описываемой обобщенным полиномом

$$g(U) = \sum_{i=1}^m \alpha_i z_i(U),$$

где  $z_i(U)$  - произвольные линейно независимые от  $U$  функции, и заменой в выражении (14) элементов вектора  $\mathbf{v}$  и матрицы  $\mathbf{D}$  и в соответствии с выражениями

$$v_i = \frac{1}{2} M \left\{ \frac{\varphi_i(U)}{U} + \frac{d}{dU} \varphi_i(U) \right\};$$

$$d_{ij} = \frac{1}{2} M \{ \varphi_i(U) \varphi_j(U) \},$$

что приводит к изменению структуры дискриминатора.

Алгоритм адаптации БНП, получаемый вторым способом удобен, когда число параметров настройки БНП  $m \geq 3$ .

Если  $m < 3$ , то оба рассмотренных способа получения адаптивного БНП с квадратурными генераторами могут применяться с одинаковой эффективностью. При этом для реализации следует брать наиболее простой адаптивный БНП.

### **Ограничения, накладываемые на динамический диапазон адаптивных БНП с квадратурными генераторами**

Рассмотрим и проанализируем вопрос, связанный с влиянием реальных операционных элементов в адаптивном БНП с квадратурными генераторами, на ограничения динамического диапазона.

Обычно, ограничения на динамический диапазон задаются в виде неравенства:

$$|\alpha_i| \leq \alpha_0, i = \overline{1, m+1}.$$

Указанные ограничения могут возникать в собственно нелинейном подавителе при управлении коэффициентом передачи  $\alpha_i$  на выходе БНП с амплитудной характеристикой  $\varphi_i(n)$  и в самом КГ.

Ограничения в нелинейном подавителе оказывают свое влияние на работу КГ лишь через формирование в дискриминаторе сигнала ошибки  $\Delta_j(\alpha, c)$ , изменяя тем самым только угловые скорости перемещения точки с координатами  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{m+1}$  по гиперсфере радиуса  $r$ , а не форму замкнутой гиперповерхности, на которой осуществляется поиск оптимального решения. При этом реальный коэффициент передачи  $\alpha_i^*$  на выходе БНП с амплитудной характеристикой  $\varphi_i(n)$  отличается от  $\alpha_i$ , получаемого на  $i$ -м выходе КГ, поэтому в течение некоторого времени точка с реализуемыми координатами  $\alpha_i^*$  движется не по гиперсфере, а по гиперплоскости, что происходит вследствие ограничений одного или нескольких сигналов  $\alpha_i$ .

В ситуации, когда  $r \geq \alpha_0$ , реализуемая замкнутая гиперповерхность, пересекающая множество оптимальных решений, представляет собой гиперкуб, вершины которого одинаково удалены от осей координат.

Ограничения, возникающие в КГ, приводят к изменению формы гиперповерхности поиска в  $(m+1)$ -мерном пространстве координат  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{m+1}$ .

В пределе, когда перемножители в КГ большую часть времени проводят в нелинейном режиме ограничения и начинают работать как инверторы, изменяя знак подаваемого на интеграторы управляющего напряжения  $\Delta_j$  при изменении знака одного из сигналов  $\alpha_i$ , гиперповерхность поиска представляет собой гиперктаэдр, вершины которого лежат на осях координат. Однако полученная гиперповерхность поиска пересекает множество оптимальных решений по-прежнему в одной точке и только в ней угловые скорости  $\Delta_j$  равны нулю. Следовательно, независимо от ограничений все траектории поиска будут заключаться в точке, соответствующей оптимальному решению, а это значит, что при любых ограничениях динамического диапазона реальных

операционных элементов будет достигаться максимальное подавление помехи в адаптивном БНП с КГ.

### **Выводы**

Рассмотрен и проанализирован синтез алгоритмов адаптивной нелинейной обработки следящих измерителей, реализуемых с помощью блоков нелинейных преобразований с обратной связью.

Показано, что задачей адаптивного БНП с обратной связью является достижение максимума коэффициента подавления помехи и непрерывное слежение за ним при изменении вероятностных свойств воздействующей помехи и при наличии внешних возмущений, например, колебаний температуры, нестабильность питающих напряжений, старение операционных элементов.

Адаптивный БНП с обратной связью содержит дискриминатор, вырабатывающий сигнал ошибки, вызванный неточностью настройки БНП на максимум коэффициента подавления помехи; объект управления – собственно нелинейный подавитель и сглаживающую цепь.

Рассмотрены и проанализированы адаптивные БНП с квадратурными генераторами. К этой группе относятся адаптивные БНП с амплитудной характеристикой в виде обобщенного полинома, когда диапазон изменения параметров настройки БНП ограничен, что соответствует реально существующим ограничениям динамического диапазона операционных цифровых элементов.

Показано, что максимуму подавления помех в таком БНП соответствует определенным образом ориентированная в пространстве параметров настройки БНП прямая линия, проходящая через начало координат, исключая точку с нулевыми координатами. Поэтому поиск оптимального решения (координат любой точки на этой прямой) можно производить по любой замкнутой гиперповерхности, охватывающей начало координат.

В качестве такой поисковой следящей системы предлагается использовать адаптивный БНП с управляемыми квадратурными генераторами. В своем составе они содержат: собственно нелинейный подавитель, дискриминатор и сглаживающую цепь – управляемый квадратурный генератор.

Проведен анализ работы управляемого квадратурного генератора. Показано, что гиперповерхность поиска, реализуемая адаптивным БНП с квадратурным генератором, определяется ограничениями динамического диапазона в собственно нелинейном подавителе и в квадратурном генераторе, и может быть произвольной формы (гиперкуб, гипертетаэдр, гипероктаэдр). Однако, независимо от ограничений, благодаря использованию в цепи обратной связи в качестве сглаживающей цепи квадратурного генератора, адаптивный БНП с квадратурным генератором обеспечивает автоматическую настройку на максимальное подавление помехи.

Приведены результаты математического моделирования адаптивного БНП с квадратурным генератором и полигональной амплитудной характеристикой в виде зависимостей усредненного по множеству реализаций помехи

коэффициента подавления от времени адаптации при действии помех, описывающихся логнормальной и райсовской плотностью вероятности распределения огибающей, которые свидетельствуют о сходимости в среднем к оптимальному БНП с полигональной амплитудной характеристикой.

*Литература*

1. Акимов П.С., Бакут П.А., Богданович В.А. и др. Теория обнаружения сигналов / Под ред. П.А. Бакута // М.: Радио и связь. 1984. 440 с.
2. Антонов О.Е. Оптимальное обнаружение сигналов в негауссовских помехах // Радиотехника и электроника. 1967. № 4. С.579-587.
3. Артюшенко В.М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех // М.: ФГБОУ ВПО ФТА; изд-во «Канцлер». 2014. 298 с.
4. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Измерения информационных параметров сигнала в условиях воздействия аддитивных негауссовских коррелированных помех // Автометрия. 2016. Т. 52. № 6. С.22-28.
5. Валеев В.Г., Ганопольский В.Б. Метод амплитудного подавления негауссовских помех // Радиотехника и электроника. 1981. № 11. С.2301-2307.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин; 3-е изд., перераб. и доп. // М.: Сов. Радио. 1989. 656 с.
7. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптации информационных систем // М.: Сов. Радио. 1977. 288 с.
8. Тихонов В.И., Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазиоптимальный прием сигналов // М.: Сов. Радио. 1975. 704 с.

УДК 629.78

**Концептуальные положения управления качеством системы  
производства композиционных материалов  
для ракетно-космической техники**

**В.Г. Исаев**, к.т.н., заведующий кафедрой управления качеством  
и стандартизации,

**Т.Н. Антипова**, д.т.н., профессор,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Предложены основные положения концепции и методология производства композиционных материалов для ракетно-космической техники. Предложена система целей, реализующая принцип приоритета целей заказчика. Разработана система критериев оценки и показателей качества композиционных материалов реализующая взаимосвязь требований заказчика к качеству материала и зависимость обеспечения требуемого качества от используемых технологий. Показано, что для обеспечения качества композиционных материалов для агрегатов и систем РКТ в первую очередь необходима разработка математических зависимостей свойств материалов от параметров технологических режимов в условиях обязательного выполнения требований заказчика.*

Качество, композиционные материалы, критерий, математические модели.

**Conceptual imposings of quality management of system of production  
of composite materials for it is rocket the space equipment**

**V.G. Isaev**, candidate of technical Sciences, head of Department quality  
management and standardization,

**T.N. Antipova**, doctor of technical Sciences, Professor

State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Basic provisions of the concept and methodology of production of composite materials for the missile and space equipment are offered. The system of the purposes realizing the principle of a priority of the purposes of the customer is offered. The system of evaluation criteria and indicators of quality of composite materials the realizing interrelation of requirements of the customer to quality of material and dependence of ensuring the required quality on the used technologies is developed. It is shown that for ensuring quality of composite materials for units and the RKT systems first of all it is necessary development of mathematical dependences of properties of materials on parameters of the technological modes in the condi-*

*tions of obligatory implementation of requirements of the customer.*

Quality, composite materials, criterion, mathematical models.

Решение проблем повышения эффективности ракетно-космической техники поставило исследователей перед необходимостью описания, изучения и моделирования принципиально нового класса объектов, сочетающих в себе различные виды инженерных систем, неразрывно связанных и реализующих определенные цели деятельности человека.

Одним из направлений повышения эффективности Российской ракетно-космической техники является разработка технологий создания композиционных материалов и изготовление самих композиционных материалов, которые можно использовать в качестве конструктивных при создании образцов ракетно-космической техники (РКТ) и одновременно в авиации, судостроении, строительстве и многих других областях, а также клеев и герметиков различного назначения. Например, при создании чисто российского среднефюзеляжного самолета МС-21, первый полет которого состоялся 28 мая 2017 года, большинство элементов конструкции планера изготовлены из композиционных материалов. В конструкции космического аппарата (КА) «Глонасс-К2», запуск которого планируется провести в 2019 году, используются композиционные материалы, что позволяет значительно увеличить массу аппаратуры, размещаемой на КА, и повышает прочность его конструкции. Кроме того, использование композиционных материалов, возможно, приведет к снижению стоимости пусковых услуг.

Для научного обоснования производства композиционных материалов необходимо разработать методологию исследования как совокупность принципов, методов, концептуальных, функциональных и информационных моделей.

Проведенные исследования работ, проводимых ведущими предприятиями разработчиками композиционных материалов показал следующее.

Производство изделий различного назначения из композиционных материалов является мелкосерийным и имеет ряд особенностей: небольшие объёмы производства, высокие требования к показателям качества, отсутствие ритмичности производства, практически не зависит от маркетинговой конкуренции, имеет невысокий уровень автоматизации и т.д.

Для повышения эффективности данных работ необходимо разработать единый концептуально-методологический подход к разработке композиционных материалов применяемых в ракетно-космической технике, включающий:

- разработку основных положений концепции создания композиционных материалов применительно к ракетно-космической отрасли;
- разработку основных составляющих методологии системного исследования и моделирования системы производства композиционных материалов и их логическую увязку;

- научное обоснование и построение иерархии (дерева) целей системы производства композиционных материалов и системный анализ ее структуры;
- обоснование системы показателей качества материалов и критериев оценки их соответствия поставленным целям.

Для научного обоснования системы управления качеством системы производства композиционных материалов для ракетно-космической техники в соответствии с системным и процессным подходом необходимо определить объект исследования.

Объектом исследования предлагается считать систему производства композиционных материалов, которую следует рассматривать как часть системы создания ракетно-космической техники.

Система производства композиционных материалов представляет собой совокупность продукта деятельности, технической подсистемы, реализующей комплекс технологических процессов создания композиционных материалов, системы контроля качества, системы сдачи продукта деятельности заказчику.

Анализ существующих систем управления качеством, схожих по типу производства показал, что данные системы, как правило, учитывают широкий спектр факторов, воздействующих на качество готовой продукции, начиная с внутренних факторов (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, персонал организации, логистические процессы, маркетинговые мероприятия, менеджмент организации, технологический процесс и др.) и заканчивая внешними воздействующими факторами (техническое регулирование, качество оборудования, качество сырья и др.) [1, 2,3].

Применение принципов управления качеством к мелкосерийному производству композиционных материалов требует учёта специфических требований.

Основным фактором воздействия на качество композиционных материалов является технология изготовления продукции, включая закупку исходных материалов с требуемыми свойствами.

Трудность проведения системного исследования системы производства композиционных материалов для ракетно-космической техники связана с многокритериальностью большого числа разномасштабных технологических, организационных процессов, нуждающихся в оценке и управлении.

В качестве основных технологических процессов можно выделить технологические процессы, связанные с изготовлением конструкций из полимерных композиционных материалов;

технологические процессы, связанные с изготовлением конструкций из металлических и углеродных композиционных материалов;

технологические процессы, связанные с соединением и герметизацией конструкций из композиционных материалов.

При этом можно говорить об отсутствии адекватных методологических подходов, концепций и формализованных моделей для решения проблем производства композиционных материалов и конкретных задач управления

качеством как системы производства композиционных материалов в целом, так и ее функциональных элементов.

Методология должна позволить обосновывать и оптимизировать производство композиционных материалов с учетом, как требований заказчика, так и технологических возможностей на различных иерархических уровнях, начиная с каждой операции и до получения конечного продукта.

Предлагаемая методология основана на системном исследовании и описании специфики объекта изучения – системы производства композиционных материалов, выявлении их технологических и инженерных особенностей, и на изучении влияния режимов на конечные показатели качества композиционного материала.

Для моделирования и создания научно обоснованных систем производства композиционных материалов предлагается системно-процессный методологический подход, который включает следующие основные этапы.

1. Разработка иерархически организованной системы основных целей системы производства композиционных материалов.

2. Принятие принципов моделирования, которые позволят:

а) реализовать два основных методологических подхода – системный и процессный, рассматривая каждый объект изучения как целостную систему и одновременно как функциональный элемент (для учета обратных связей) системы более высокого уровня;

б) исследовать и моделировать объект управления в свете его исторического развития, выявляя и учитывая его целевые и технологические особенности;

в) учитывать с разной степенью обобщения и детализации особенности моделируемых процессов производства композиционных материалов различного масштаба и приобретение совокупностью моделируемых объектов принципиально новых качеств, отсутствующих на более детальном уровне рассмотрения;

г) многоаспектное рассмотрение моделируемого объекта и привлечение к его изучению всего комплекса научных дисциплин, что позволит решать проблемы создания современных композиционных материалов в широком смысле слова.

3. Построение концептуальных моделей системы производства композиционных материалов объектов, реализующих поставленные цели на различных уровнях иерархии и позволяющих выделить подсистемы и определить состав и границы моделируемых элементов.

4. Разработка методов и построение системы функциональных моделей системы производства композиционных материалов на различных уровнях иерархии, исходя не только из целей создания ракетно-космической техники, обеспечивающей безопасность России, но и с учетом особенностей и ограничений технологических процессов получения композиционных материалов с заданными свойствами.

5. Разработка системы информационных моделей, включающей систему критериев оценки деятельности по созданию композиционных материалов для ракетно-космической техники, основным приоритетом которой является обеспечение безопасности страны, а также систему показателей производства композиционных материалов, которая позволяет выявить причинно-следственные связи между свойствами и параметрами технологических операций всего цикла создания материалов.

6. Разработка принципов и методов обоснования параметров и ограничений технологических процессов производства композиционных материалов.

Основополагающим этапом разработки методологии создания композиционных материалов должна быть система целей. Предлагается выделять три уровня конечных целей создания ракетно-космической техники, которые представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Система целей создания элементов РКТ**

1-ый уровень (государственный)	Создание ракетно-космической техники, обеспечивающей безопасность России.
2-ой уровень (отраслевой)	Получение качественных композиционных материалов, используемых в ракетно-космической технике при оптимальных энерго- и ресурсозатратах.
3-ий уровень (технологический)	Разработка технологий получения композиционных материалов с требуемыми свойствами.

Каждому уровню системы целей ставится в соответствие определенный объект (система), реализующий данную цель.

Предварительные, приближенные представления системы, отражающие основной аспект моделирования называют концептуальными. Такие модели часто имеют вид схем, на которых изображены наиболее существенные элементы и связи между ними.

Основными методами исследования для построения концептуальной модели являются системный и процессный подходы [4]. Целью построения концептуальной модели системы, является обоснование ее основных подсистем, определение состава ее элементов, задание границ и среды системы. Кроме того необходимо обоснование набора моделей, представляющих функционирование исследуемого объекта как сложной системы, сочетающей в себе все аспекты целенаправленной деятельности.

Вопросы корректного определения границ системы и состава ее элементов на каждом иерархическом уровне являются существенным не только для моделирования и формализованного описания системы, но и для правильного решения проблем управления, в том числе управления качеством, и построения системы управления.

Существуют два подхода в декомпозиции системы. При первом способе декомпозиции элементы системы выделяются таким образом, что они

сохраняют свойства исследуемой системы. Например, при выделении отдельного района города как элемента системы, район сохраняет практически все признаки присущие городу.

При втором способе декомпозиции системы, получаемые в итоге элементы, не несут на себе целостных свойств исходной системы и для того, чтобы сохранить принцип целостности при декомпозиции системы, имеющей пространственно-временную структуру, пользуются категорией процесса как целостно образующего фактора.

При этом для задания объекта как целостности необходимо задать его как определенный процесс, который в свою очередь может быть разбит на элементарные процессы.

Элементы множества рассматриваются как принадлежащие некоторому единству, когда они обладают целостными признаками. Целостные признаки также задает пространственная граница множества. Она же задает и внешнюю среду как другое множество, лежащее «вне границы» системы.

Концептуальная модель производства композиционных материалов, включает ряд функциональных элементов – технологических операций, каждый из которых характеризуется комплексом показателей качества. При этом свойства промежуточных материалов полученных на каждом этапе технологического процесса связаны функциональными зависимостями с показателями технологических операций. Получение соответствующих графических и математических моделей является ключевым требованием при разработке моделей функционирования и научном обосновании режимов технологических процессов получения композиционных материалов.

Для формализованного представления и количественной оценки функционирования системы производства композиционных материалов необходимо разработать систему информационных моделей (критериев оценки и показателей качества композиционных материалов).

Предлагается выделять подсистему критериев оценки конечных изделий, опираясь на требования заказчика. Другой подсистемой предлагается считать систему показателей качества технологических процессов.

Система информационных моделей должна реализовывать следующие принципы.

1. Принцип целостности системы информационных моделей для оценки качества композиционных материалов. То есть система критериев и показателей качества композиционных материалов должна отражать как целевое назначение, так и свойства материалов или их составляющих на всех стадиях технологического цикла их получения.

2. Принцип иерархической организации системы заключается в том, что при движении вверх по иерархии моделируемая система не просто является совокупностью соответствующих элементов нижнего уровня, а приобретает принципиально новые качественные свойства, отсутствующие на предыдущем уровне, реализуя принцип целостности.

3. Принцип приоритета критериев более высокого уровня управления. В системе производства композиционных материалов этот принцип реализуется приоритетом требований Заказчика.

4. Принцип отражения целевого назначения каждого композиционного материала. Этот принцип также реализуется приоритетом требований Заказчика.

5. Принцип развития системы, требующий в качестве отправных моментов:

а. учитывать прогнозные требования Заказчика в связи с развитием ракетно-космической техники.

б. учитывать развитие техники и технологий создания перспективных композиционных материалов.

6. Совместное применение принципа целостности и иерархической организации системы резко расширяет горизонты наших знаний о моделируемом объекте и позволяют учитывать, прогнозировать и управлять такими взаимосвязями элементов системы, которые раньше вообще не учитывались.

7. Принцип многомодельности представления системы информационных моделей качества композиционных материалов или многоаспектного моделирования исследуемого объекта как сложной системы.

8. Принцип опережающего развития композиционных материалов.

Для теоретического обоснования подхода к управлению системой производства композиционных материалов разработана постановка в общем виде задачи управления объектом управления  $m$ -го уровня как динамической системы характеризуется  $n$  переменными состояниями (фазовыми переменными –  $Z_1, Z_2, \dots, Z_i$ , удовлетворяющие  $n$  уравнениям состояния:

$$Z_i = f [ X_1, X_2, \dots, X_n ; U_1(t), U_2(t), \dots, U_k(t); R_1(t), R_2(t), \dots, R_p ]$$

Переменные состояния – функции во времени характеристик технологических процессов в системе производства композиционных материалов, характеризуют весь комплекс технологических операций, характерных для производства конкретного композиционного материала.

Уравнения состояний отражают изменения во времени состояния композиционного материала под влиянием управляющих  $U_k(t)$  и неуправляемых  $R_p(t)$  воздействий, а также показателей качества исходным материалов  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .

Задача управления в системе производства композиционных материалов  $n$ -го уровня состоит в определении  $k$  управляющих переменных технологических режимов)  $U_k(t)$ , как функций от времени  $t$  в интервале  $t_0 \leq t \leq t_F$ , удовлетворяющих, прежде всего требованиям заказчика, т.е. системы более высокого уровня, а также техническими возможностями данного уровня.

Неравенство  $B_j (U_1(t), U_2(t), \dots, U_k(t)) < 0, (j=1,2,\dots,n)$  определяет замкнутую область допустимых управлений для данного уровня, например, ограничения по ресурсам или техническим возможностям на современном этапе развития (режим намотки, режим нагрева и др.).

Для того чтобы удовлетворить требованиям системы более высокого

уровня необходимо ввести ограничения изменений процессов данного уровня.

Уравнения  $A_i < \{ G_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_i) < C_i$  отражают возможные ограничения фазовых координат  $Z_i$  и означают допустимые пределы регулирования состояния объекта управления  $n+1$ -го уровня.

Фазовые координаты  $G_i$  верхнего уровня принимают ограничения в пределах доверительного интервала варьирования  $G_i$  вокруг «средней» обусловленной требованиями развития космической техники для обеспечения безопасности страны. Например, допустимыми колебаниями прочности на растяжение считаются те, которые обеспечивают требования использования их либо в конкретном элементе одного изделия, либо нескольких изделий.

На современном уровне научных знаний мы не располагаем возможностями решения задач управления в полном объеме.

Для практической реализации обоснования параметров технологических операций для получения композиционных материалов с заданными свойствами необходимо получать парные либо множественные регрессионные зависимости показателей качества –  $Z_1, Z_2, \dots, Z_i$ , от управляемых параметров технологических операций  $U_k(t)$  и ограничений  $G_i$ , диктуемых требованиями заказчика.

Таким образом, применение представленных концептуальных положений управления качеством системы производства композиционных материалов для агрегатов и систем РКТ показывает следующее

при разработке композиционных материалов (технологий их производства) целесообразно использовать предложенную систему целей, реализующую принцип приоритета целей более высокого уровня;

система критериев оценки и показателей качества композиционных материалов должна реализовывать взаимосвязь требований заказчика к качеству материала и зависимость обеспечения требуемого качества от используемых технологий.

Реализация представленных концептуальных положений управления качеством системы производства композиционных материалов для агрегатов и систем РКТ предполагает в первую очередь поиск и определение математических зависимостей свойств материалов от параметров технологических режимов в условиях обязательного выполнения требований заказчика.

#### *Литература*

1. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия // М. «Мир». 2000. С. 6-8.
2. Шамаев А.М., Озерский М.Д. Разработка методов оценки изменения коэффициента поглощения солнечного излучения терморегулирующих покрытий и температуры в отсеках космического аппарата при его нахождения на орбите // Информационно-технологический вестник № 2(04). 2015. С. 127-136.
3. Разина А.С., Асташева Н.П. Оценка пористой структуры заготовки камеры сгорания на основе плетеного углеродного каркаса и углерод-

- керамической матрицы // Информационно-технологический вестник № 4, т. 10. 2016. С 83-90.
4. Мазур И.И. Управление качеством: учебное пособие / под редакцией И.И. Мазура // М.: Высшая школа. 2003.

УДК 608.4

### Системно–процессный анализ качества

**Д.Н. Калачева**, аспирант кафедры управления качеством и стандартизации,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Системный метод иерархической декомпозиции и последующей композиции широко применяется на практике. Однако декомпозиция не только не упрощает, но и усложняет анализ качества, так как исследовать нужно уже кроме самого объекта еще и все выделенные подсистемы и элементы, которые как целостные образцы характеризуются своими свойствами и связями. Чтобы обеспечить требуемое качество изделий, необходимо рассматривать и контролировать не только свойства создаваемого результата (элемента, подсистемы, изделия), но и все процессы, формирующие характеристики качества.*

Системный и процессный анализ, декомпозиция, позитивные и негативные процессы, статические и динамические объекты.

### System–process analysis of quality

**D.N. Kalacheva**, graduate of the the Department of Quality  
Management and Standardization,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*The system method of hierarchical decomposition and subsequent composition is widely used in practice. However, decomposition does not simplify, but even complicates the analysis of quality, since it is necessary to investigate, in addition to the object itself, all the selected subsystems and elements, which as integral patterns are characterized by their properties and connections. To ensure the required quality of products, it is necessary to consider and control not only the properties of the result (element, subsystem, product), but also all processes that form quality characteristics.*

System and process analysis, decomposition, positive and negative processes, static and dynamic objects.

Как известно, все сложные проблемы человек решает с помощью метода декомпозиции: проблема представляется в виде системы с многоуровневой иерархической структурой, каждый элемент которой является её частью, но может рассматриваться независимо, а объединение (композиция) элемен-

тов образует единую систему с необходимыми свойствами. На такой системной иерархической декомпозиции организуется разработка и производство всей сложной продукции: любая продукция представляется в виде системы и разделяется на подсистемы (сборочные единицы) и элементы. По такому же принципу организуется любая совместная деятельность – она разделяется на отдельные операции (работы), которые должны быть согласованы между собой, но могут выполняться разными исполнителями, в разное время и в разных местах.

На методе иерархической декомпозиции организуется работа конструкторов, проектирующих сложные изделия с требуемыми характеристиками. При этом путь последовательного разделения создаваемых изделий (систем) конструкторы проходят дважды. Сначала разрабатывается ТЗ на изделие в целом, в котором определяются основные требования к его характеристикам. Затем также, «сверху вниз» формируются требования ко всем составляющим подсистемам и элементам, из которых состоит проектируемое изделие. При производстве изделий метод последовательного иерархического представления работает в обратном порядке и становится методом иерархической композиции или иерархического объединения: сначала изготавливаются или приобретаются необходимые элементы, а затем из них производится последовательная сборка всех подсистем, начиная с нижнего уровня (деталей, сборочных единиц – ДСЕ) и заканчивая изделием в целом. И на каждом уровне проверяются необходимые характеристики качества.

На такой же системной декомпозиции строится работа технологов, разрабатывающих технологические процессы по организации производства изделий. Сначала для производства сложного изделия выбирается головное предприятие, которое формирует производственную кооперацию и программу, в рамках которой каждое предприятие обеспечивает создание вполне определенной подсистемы, действуя по выбранным технологиям по единому плану и соблюдая заранее оговоренные условия, например, по срокам поставки разрабатываемых подсистем и видам поставляемой документации.

Но декомпозиция не только не упрощает, а напротив усложняет последующий анализ качества, так как исследовать нужно уже кроме самого объекта еще и все выделенные подсистемы и элементы, которые как целостные образцы характеризуются своими свойствами и связями. Декомпозиция сложного объекта предполагает последовательный переход от показателей качества системы к показателям качества подсистем и элементов: чтобы система обладала необходимым качеством, нужно чтобы характеристики составляющих её подсистем и элементов соответствовали вполне определенным требованиям. Некоторые показатели качества у элементов и систем остаются неизменными, а их значения связаны простыми линейными зависимостями. Так, все реальные элементы и системы обладают массой, которая при объединении элементов складывается. Также все операции характеризуются продолжительностью выполнения, а время выполнения последовательных операций суммируется. Но связь между показателями часто оказывается более

сложной, нелинейной. Более того, часто у системы появляются новые свойства, которых не было у составляющих подсистем и элементов. В этом состоит очень важный системный, синергетический эффект (или эффект эмерджентности). Поэтому задача разработки иерархической системы требований декомпозированного объекта является далеко не тривиальной.

Очевидно, чтобы обеспечить требуемое качество изделия, нужно чтобы каждая подсистема и каждый элемент обладали необходимым качеством. А для этого необходимо рассматривать и контролировать не только свойства создаваемого результата (элемента, подсистемы, системы), но и все составляющие, все факторы, оказывающие заметное (значимое) влияние на его качество, например, работу непосредственных исполнителей, оборудования, инструмента, свойства исходных материалов, условия, в которых проводятся операции. Если мы хотим обеспечивать требуемое качество и понимать, как это необходимо делать, нужно рассматривать процессы формирования каждой характеристики изделия.

При обеспечении требуемого качества без процессного рассмотрения не обойтись. При этом необходимо анализировать каждый процесс, каждую конкретную операцию и процедуру, понимать влияние каждого фактора. В противном случае мы не сможем регулировать характеристики и обеспечивать их требуемые значения. Без знания происходящих процессов создавать объекты с требуемыми потребительскими свойствами и управлять качеством невозможно. Вероятностно-статистические методы для решения таких задач не пригодны. Для этого нужны иные, процессные методы анализа.

В последние десятилетия интерес к процессному рассмотрению неуклонно возрастает. Так, в СМК процессный подход провозглашен одним из основополагающих принципов, на которых строится вся работа по контролю и обеспечению необходимого качества. Но этот подход рассматривается только применительно к организации деятельности по обеспечению качества, акцентируя внимание на её конечных результатах – на максимальном удовлетворении запросов потребителей и получении наибольшей прибыли производителями. При этом процессный подход предлагается как альтернатива функциональному управленческому подходу, который логичнее было бы называть системным.

Важность процессных методов анализа отмечается и в других сферах. Например, хорошо известен метод функционально-стоимостного анализа (ФСА), основанный на выделении основных функций объекта и ресурсов, расходуемых на их реализацию. При разработке технологических процессов часто используется экспертный метод развертывания функций качества QFD (Quality Function Deployment), предполагающий логическое описание процесса по определенным правилам и табличное представление данных по основным операциям. При исследовании качества проектных решений можно встретить предложения по использованию метода функционально-физического анализа (ФФА), сущность которого при этом детально не раскрывается.

При организации целенаправленного обеспечения требуемого качества сложных объектов без процессного рассмотрения не обойтись. Для этого, прежде всего, необходимо анализировать процессы, происходящие внутри объекта, а именно, процессы, под действием которых реализуются значения показателей качества. Методов для проведения такого анализа до последнего времени не было. Чтобы перейти к процессному рассмотрению, остановимся вначале на основных определениях и особенностях процессного подхода.

Под процессом (от лат. *processus* – прохождение, продвижение) следует понимать изменение какого-либо свойства объекта во времени и пространстве. Процессы представляются в виде динамических величин, могут быть самой разной природы (физические, химические, биологические, экономические, социальные, психологические...) и происходить либо естественным образом, либо специально организовываться человеком. В свою очередь, естественные процессы могут развиваться в направлении, совпадающем с интересами человека и приводить к определенным положительным для него результатам (например, деревья могут расти и плодоносить, снег может таять и наполнять реки...), т.е. могут быть позитивными, но могут быть и негативными и даже приводить к разрушительным последствиям. Утилитарные процессы, т.е. процессы, которые организует человек, всегда направлены на получение вполне определенного результата, это всегда хорошо продуманные, целенаправленные изменения.

В качественном объекте, во-первых, все утилитарные процессы направлены на получение необходимого результата, а во-вторых, в нем не должно быть активно развивающихся негативных естественных процессов, так как они могут привести к неожиданным и нежелательным последствиям. Все негативные процессы в объекте должны быть небольшой интенсивности и не влиять на общее состояние объекта, а развитие опасных процессов должно находиться под контролем и не приводить к разрушительным последствиям.

Чтобы контролировать и регулировать процесс, нужно знать источник и механизм его развития и проявления, хорошо понимать последствия, к которым он может привести. Обеспечить требуемое качество объекта без анализа его внутренних процессов невозможно – без правильно организованных утилитарных процессов мы не сможем обеспечить получение желаемого результата, а без знания негативных процессов мы не сможем избежать нежелательных последствий. В качественных объектах все существенное должно контролироваться и регулироваться.

Как известно, в мире все изменяется, все находится в движении. Но это движение может быть интенсивным и важным, значительным, а может быть медленным и инерционным, несущественным. По виду происходящих изменений все объекты можно разделить на статические и динамические. У статических объектов нет активно изменяющихся процессов и параметров качества, а в динамических объектах происходят интенсивные процессы и эти объекты обладают и статическими, и динамическими характеристиками. Ста-

тическими или конструктивными характеристиками могут быть габаритные размеры, внутренний состав, масса объекта, а динамическими или функциональными – тяга двигателя, скорость движения, поток жидкости или газ. Применительно к автомобилю будут рассматриваться: износ тормозных колодок, объем жидкости в тормозных цилиндрах, увеличение люфтов соединений системы управления.

Статические объекты обладают статическим или конструктивным, а динамические – не только статическим, но и динамическим или функциональным качеством. Существующие статистические методы пригодны только для анализа статических характеристик и элементов, внутреннее состояние которых мы не анализируем. Динамические объекты уже нельзя рассматривать как простейшие элементы, т.е. в виде «черных ящиков»: чтобы обеспечивать требуемое качество динамических объектов недостаточно измерять их свойства и происходящие изменения. В этом случае можно только констатировать, удовлетворяют или не удовлетворяют значения характеристик заданным требованиям. Но почему реализовались именно эти значения и что нужно делать, чтобы изменить их соответствующим образом, сказать невозможно. При таком, эмпирическом подходе мы работаем на уровне фиксации внешних проявлений, на уровне величин, отражающих следствия, не понимая причин происходящего.

Чтобы динамическими параметрами качества управлять, необходимо устанавливать причинно-следственные связи их изменений, подниматься с фиксирующего, эмпирического уровня на объяснительный, теоретический уровень исследований, переходить от «простого созерцания» и отвлеченного описания, к содержательному пониманию происходящих процессов. Для обеспечения динамического качества уже недостаточно только измерений характеристик, нужно переходить к их процессному анализу и функциональному описанию.

Функция (от лат. *functio* – осуществление, выполнение) в отличие от величины – это не просто отражение происходящих изменений, а отражение направленного, управляемого процесса, т.е. процесса, который для нас не случаен, а хорошо известен, с понятным механизмом формирования. Функция или функциональный процесс – это упорядоченная совокупность операций (действий), осуществляемая известным энергетическим носителем и обеспечивающая получение необходимого результата. Чтобы динамические объекты стали утилитарными, т.е. полезными для человека и приобрели способность удовлетворять определенные потребности, необходимо уметь оценивать и обеспечивать не только статическое, но и динамическое или функциональное качество. Функциональное качество – это способность объекта обеспечивать выполнение требуемых функций.

Чтобы обеспечить требуемое функциональное качество, необходимо понимать, как реализуется каждая функциональная характеристика. При создании объектов их функциональность является определяющей. Очень часто даже статические свойства, например, форма, цвет, степень гладкости по-

верхности выбираются из соображений функциональности. Это характерно для многих динамических объектов – кораблей, самолетов, автомобилей, ракет... Даже в статичной архитектуре очень часто конструкция, форма и дизайн зданий и сооружений выбираются в зависимости от их назначения и стремления наилучшим образом соответствовать процессам жизнедеятельности людей. Для многих сфер деятельности функционализм стал синонимом рационализма, означающего осмысленность, обоснованность и целенаправленность.

С точки зрения обеспечения качества кроме системного представления очень важно понимать, насколько объект соответствует своему функциональному или целевому назначению, как он выполняет свои потребительские функции. Например, насколько дом удобен для проживания людей и организации жизнедеятельности, как в нем обеспечивается и сохраняется тепло, как осуществляется освещение, водоснабжение, канализация... Чтобы это оценить, нужно выделить и проанализировать каждую функцию объекта, т.е. проконтролировать его функциональное качество.

Функциональным качеством обладает каждый полезный динамический объект, т.е. объект, используемый для удовлетворения определенных функциональных потребностей. Все составляющие утилитарных объектов участвуют в обеспечении определенных функций. Например, двигатель нужен для создания тяги и обеспечения необходимой скорости передвижения, топливная система нужна для хранения требуемого запаса топлива и создания для двигателя горючей смеси и т.д. Каждый элемент объекта должен обладать необходимым функциональным качеством, которое должно сохраняться на требуемом уровне в течение всего жизненного цикла.

Чтобы гарантированно обеспечивать требуемое качество, нужно не только конструировать объект как сложную систему с определенной иерархической структурой, но и понимать, чем обусловлены значения динамических показателей качества, от каких факторов они зависят и как работает причинно-следственный механизм происходящих изменений. Для этого нужно исследовать процессы и явления, анализировать функциональное качество. Но делать это нужно с учетом реально существующей неопределенности, используя не детерминированные, а гарантированные методы, применимые к анализу единичных объектов.

Не понимая внутренних процессов и не разрабатывая процессных моделей, мы остаемся на эмпирическом, поверхностном (созерцательном) уровне восприятия внешних проявлений (следствий, симптомов). Действия на этом уровне – это работа наугад, методом практического экспериментирования (на уровне фельдшера, реагирующего на проявления болезни). Чтобы действовать осмысленно, обоснованно, нужно подниматься на объяснительный, теоретический уровень исследований – понимать причины и механизм происходящих процессов и явлений (нужно быть уже не фельдшером, а врачом). А для этого требуются уже не только системные, но и операционные модели качества.

Исследовать качество процессов задача более сложная, чем обеспечить простой контроль годности результатов. При анализе качества результата необходимо измерять его характеристики и соотносить их с требованиями. Но чтобы понимать, почему произошло неприемлемое отклонение необходимо вначале представить процесс получения результата и правильно выделить те факторы, от которых зависят значения контролируемой характеристики. Причем, это приходится делать не только для динамических, но и для статических характеристик. Например, это могут быть габаритные размеры устройства. Чтобы обеспечить их требуемый уровень, необходимо понимать, в каких пределах (допусках) могут находиться допустимые значения и как на них отражаются свойства исходных материалов, используемого оборудования и действия исполнителей. Так, если требования к допустимым отклонениям очень высокие, то и зернистость исходных материалов должна быть очень малой и материал не должен при обработке скалываться и выщербляться, а используемый инструмент не должен приводить к таким последствиям.

При рассмотрении процессов очень важными становятся свойства надежности устройств и стабильности характеристик. Обычно под надежностью понимают комплексное, обобщенное свойство технической системы (прибора, устройства, машины...), заключающееся в её способности выполнять заданные функции в определенных условиях эксплуатации, сохраняя свои характеристики в установленных пределах. Как правило, надежность представляется в виде четырех основных свойств – безотказности, долговечности, ремонтно-пригодности и сохраняемости [1].

Теория надежности относится к числу наиболее развитых инженерных наук, в которой широко используются математические методы исследований. В теории надежности выделяются два самостоятельно развивающихся направления – вероятностное (или статистическое), используемое, прежде всего, для анализа работоспособности систем при наличии необходимых объемов статистических данных, и детерминированное, используемое для установления причин происходящих отказов. В рамках первого направления развиты статистические методы оценки надежности, основанные на обработке результатов массовых наблюдений [17–20]. В рамках второго направления изучены многообразные физико-химические процессы взаимодействия материалов, износа, коррозии, прочности, изменения свойств элементов и систем в широком диапазоне условий эксплуатации [17, 19].

Как отмечал академик РАН В.С. Авдуевский в предисловии к десятитомному справочнику «Надежность и эффективность в технике», «идет процесс взаимного слияния этих двух направлений, перенесения рациональных идей и научных результатов из одной области в другую и формирования на этой основе единой науки о надежности техники».

Однако объединение детерминированного и вероятностного подходов предполагает, во-первых, уточнение понятия надежности, во-вторых, введение единых показателей, пригодных для индивидуальных и статистических исследований, и в-третьих, разработку методов для расчета единичных

значений показателей надежности.

Хорошую методическую базу для объединения существующих направлений и имеющихся результатов теории надежности можно создать на основе метода интервального гарантированного оценивания, применимого не только к статистическим, но и к единичным количественным данным. При этом переход к методу интервального гарантированного оценивания не только не отвергает имеющиеся статистические и детерминированные результаты, но и предполагает их использование, позволяя получать более корректные и конструктивные выводы, пригодные для характеристики как массовых, так и единичных объектов.

Таким образом, использование предложенного методического подхода позволяет оценивать функциональное качество ракетно-космической техники с использованием операционных моделей, которые разрабатываются на основе анализа происходящих физических процессов.

#### *Литература*

1. Васильев Н.А. Теория гарантированного качества // М. 2011.
2. Гиссин В.И. Управление качеством продукции: Учебное пособие. Ростов н Д: Феникс. 2000. 256с.
3. ГОСТ Р 50779.0-95 Статистические методы. Основные положения.
4. ГОСТ Р 50779.30-95 Статистические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования.
5. Методическое пособие по статистическим методам управления качеством продукции // М.: ВНИИС. 1995.
6. Статистические методы повышения качества. Под. ред. Хитоси Кумэ: Пер. с англ // М.: Финансы и статистика. 1990.
7. Лапидус В.А., Розно М.И., Глазунов А.В. и др. Статистический контроль качества продукции на основе принципа распределения приоритетов / Финансы и статистика. 1991. 224с.
8. Статистическое управление процессами (SPC). Руководство. Пер. с англ. (с дополн.) // Н.Новгород: АО НИЦ КД. СМЦ «Приоритет». 1997г.

УДК 621.373.52

**Разработка компьютерных моделей для исследования характеристик и оптимизации телеметрических систем мониторинга и управления**

**Т.С. Аббасова**, к.т.н. доцент,

**Э.М. Аббасов**, к.т.н. доцент,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область,

**Нгуен Куанг Тхиеу**, д.т.н., ООО «Квант», г. Москва

*Создан радиоканал с фильтрами Баттерворда для систем мониторинга и телеметрии с однополосной квадратурной частотной манипуляцией. Канал связи для скорости 180 000 (Бит/с) исследован на наличие минимума межсимвольных искажений. Описаны организационно-технические мероприятия по проектированию, проверке и настройке стенда цифровой передачи данных в основной полосе (без несущей) для обоснования теоретических положений. Получены характеристики цифрового канала связи.*

Дистанционный контроль параметров, имитационный эксперимент, компьютерные модели.

**Development of computer models for the study of characteristics and optimization of telemetric monitoring and control systems**

**T.S. Abbasova**, Ph.D., assistant professor,

**E.M. Abbasov**, Ph.D., assistant professor,

State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,

**Nguyen Kuang Thieu**, Ph.D., LLC «Quantum», Moscow

*A radio channel with Butterworth filters for monitoring and telemetry systems with single-band quadrature frequency manipulation is created. The communication channel for the speed of 180 000 (Bit / s) was investigated for the presence of a minimum of inter-symbol distortion. The organizational and technical measures for designing, testing and setting up a digital data transmission stand in the main band (without a carrier) are described to justify the theoretical positions. The characteristics of the digital communication channel.*

Remote monitoring of parameters, simulation experiment, computer models.

**Введение**

Оборудование узкополосных каналов применяется для организации

систем передачи данных с целью дистанционного сбора и обработки телеметрических данных; дистанционного контроля параметров; дистанционного управления объектами; дистанционного управления процессами [1-3]. Развертывать обширные системы сбора телеметрических данных позволяют отечественные радиомодемы «Интеграл 400» («Integral 400»).

Цель статьи: исследовать одноканальный передатчик с прямой модуляцией генератора, управляемого напряжением (ГУНа) и оптимизировать характеристики приемного устройства с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ).

### Результаты проведения имитационных экспериментов

Имитационные эксперименты проводятся в программной среде VisSim 5.0. Для моделирования канала связи скорость генератора псевдослучайной последовательности цифрового потока  $F$  выбрана равной  $180\,000 \frac{\text{бит}}{\text{с}}$ . Для вычисления значений частот используем формулу  $\frac{R}{2} \cdot 1.72$  (где  $R$  – скорость битового потока) для частоты среза передатчика и  $\frac{R}{2} \cdot 0.86$  для частоты среза приемника. Получаем значения передающей частоты  $T_x$ , которая равна  $154\,800 \text{ Hz}$ , и принимающей частоты  $R_x$ , равной  $77\,400 \text{ Hz}$  фильтров Баттерворда. Имитационные эксперименты в среде VisSim позволяют получить характеристики канала связи, показанные на рисунке 1.

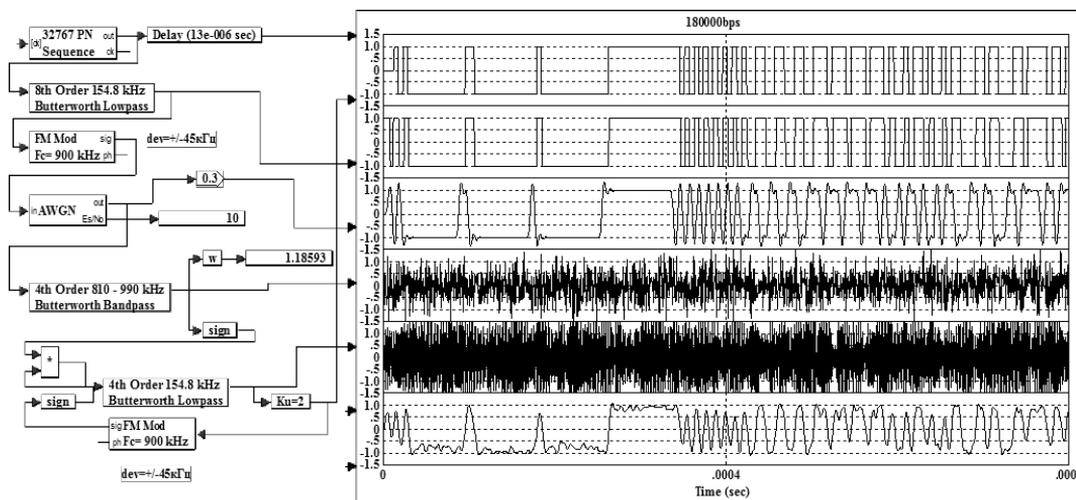


Рисунок 1 – Временные характеристики канала связи, скорость 180кБит/с, несущая частота 900 кГц

Рисунок 1 содержит блок схему канала связи и многоканальный осциллограф, показывающий формы сигнала после прохождения каждого элемента канала связи. На осциллограмме рисунка 1 представлены следующие сигналы: исходный сигнал, принятый сигнал, сигнал после передающего фильтра Баттерворда 8-ого порядка, сигнал с воздействием аддитивного гаус-

сового белого шума (АГБШ), сигнал, пропущенный через полосовой фильтр Баттерворда 4-ого порядка и сигнал после фильтра низких частот Баттерворда 4-ого порядка.

Перед выполнением работы было проведено нормирование мощностей сигнала и шума в полосе пропускания канала связи.

Контур ФАПЧ состоит из трех основных компонентов: детектора фазы, контурного фильтра и ГУН. Детектор фазы – это устройство, измеряющее различия фаз поступающего сигнала и локальной копии. Если поступающий сигнал и его локальная копия изменяются относительно друг друга, то эта разность фаз (или рассогласование по фазе) – это зависимый от времени сигнал, поступающий на контурный фильтр. Контурный фильтр регулирует отклик контура ФАПЧ на эти изменения сигнала. Качественно спроектированный контур должен иметь возможность отслеживать изменения фазы поступающего сигнала и не должен быть чрезмерно восприимчив к шуму приемника. ГУН – это устройство, создающее копию несущей. Данный генератор, является генератором синусоидального сигнала, частота которого управляется уровнем напряжения на входе устройства. На рисунке 2 показана схема контура ФАПЧ. ГУН – это генератор, выходная частота которого является линейной функцией входного напряжения. Положительное входное напряжение приведет к тому, что выходная частота ГУН будет выше неуправляемого значения  $\omega_0$ , тогда как отрицательное напряжение приведет к тому, что частота ГУН будет меньше этого значения. Синхронизация по фазе достигается путём фильтрованной версии разности фаз (т.е. рассогласованием по фазе) между входным сигналом  $r(t)$  и выходным сигналом с ГУН  $x(t)$ , на вход ГУН.



Рисунок 2 – Схема контура фазовой автоподстройки частоты

ФАПЧ работает с точностью до фазы, т.е. при образовании взаимного частотного рассогласования между синхронизирующим и синхронизируемым генераторами она компенсирует это рассогласование до нуля за счет образования некоторого фазового сдвига между двумя сравниваемыми колебаниями.

На рисунке 3 представлен контур смоделированного в среде VisSim ФАПЧ в канале связи.

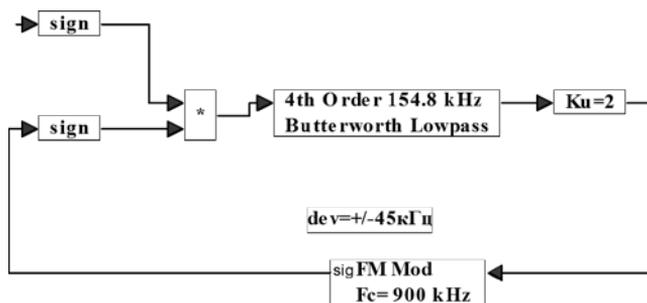


Рисунок 3 – Контур ФАПЧ

Сигнал после полосового фильтра Butterworth 4<sup>th</sup>/Баттерворда 4-ого порядка проходит через детектор и сравнивается с сигналом, генерируемым в контуре ФАПЧ блоком FM (FrequencyModulation). Выходная частота несущей, в этом блоке установлена равной частоте несущей передатчика в канале связи. Далее сигнал поступает на контурный фильтр Butterworth 4<sup>th</sup>/Баттерворда 4-ого порядка и после него на блок Ku2, который усиливает сигнал. Таким образом, полученный после прохождения контура ФАПЧ сигнал восстанавливается в прямоугольные импульсы той же амплитуды, что и исходный, передаваемый сигнал, как показано на осциллографе, изображенном на рисунке 82.

При использовании контура ФАПЧ и фильтров Баттерворда в канале связи, по изображенным на осциллограмме сигналам видно, что даже при отношении энергии сигнала к энергии шума ( $E_s/N_0$ ) равным 10 дБ сигнал полностью декодирован.

На рисунке 4 изображена компьютерная модель узкополосного квадратурного канала связи с частотной манипуляцией. Она состоит из источника псевдокодовой последовательности, передатчика с модулятором, смесителя, который вносит помеху в канал связи и приемника. Для наглядности процессов модель содержит спектроанализатор и осциллографы, показывающие временные и векторные диаграммы.

Для сравнения радиоспектров разработанного канала с аналогичными, в данную компьютерную модель помещен обычный цифровой канал связи. Спектр аналогичного канала или маска – красного цвета, спектр разрабатываемого канала связи – зеленого цвета (рисунок 4, экран осциллографа).

Спектральная эффективность разработанного канала по уровню  $-30$  дБ равна  $(20000\text{Vps}/19000\text{Hz}) = 1,1 \text{ Vps/Hz}$ , а у обычного канала связи по тому же уровню она равна  $(20000\text{Vps}/47000\text{Hz}) = 0,4 \text{ Vps/Hz}$ .

Эти цифры означают, что разработанный передатчик может передать примерно на 60% больше информации, чем его аналог. А станция будет занимать меньшую полосу, то есть пространство в диапазоне радиочастот.

Компьютерные модели передатчика и приемника изображены на рисунках 5 и 6 соответственно.

Данные, полученные в результате построения компьютерных моделей,

показали целесообразность проведения натурной проверки и конструирования опытных образцов. Синтезированный квадратурный радиоканал обладает узким радиоспектром, почти прямоугольным, это позволяет увеличить число каналов (абонентов) в два раза. На рисунке 4 четко видно, что спектр нашего канала связи (зеленого цвета) больше по мощности сигнала в децибелах, чем стандартный радиоспектр-маска (красного цвета). Это означает, что сигнал от нашего передатчика будет, различим приемником на значительно большем расстоянии. Важным достоинством радиоканала является оригинальная идея применения квадратурного модулятора, построенного на триггерах и логике ТТЛ. Данное обстоятельство избавляет от применения модуляторов и демодуляторов (модемов), для создания квадратурных сигналов. Самым важным результатом является компьютерная проверка теории фильтров, не создающих межсимвольную интерференцию.

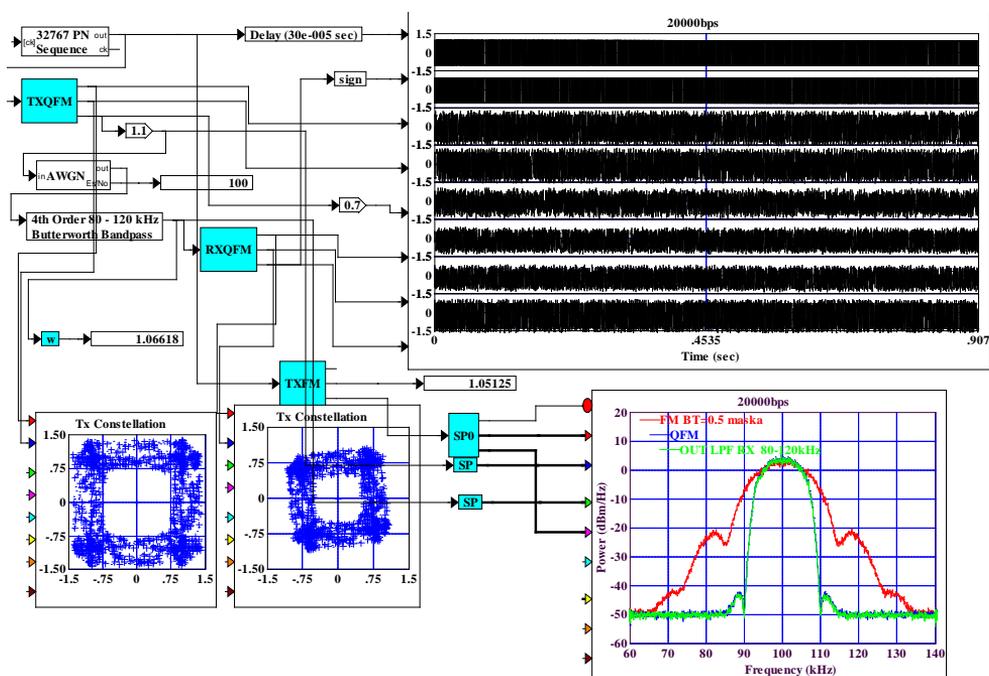


Рисунок 4 – Компьютерная модель квадратурного узкополосного канала связи

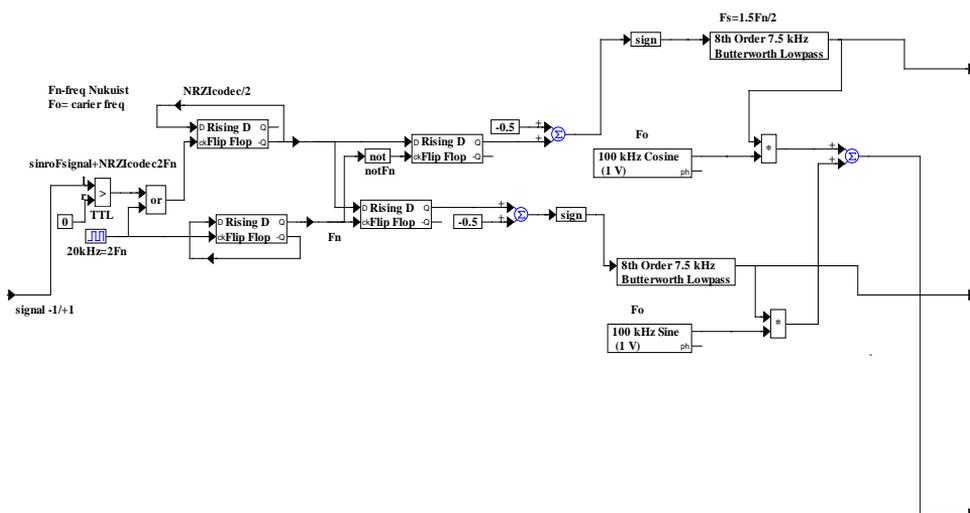


Рисунок 5 – Компьютерная модель передатчика квадратурного канала связи

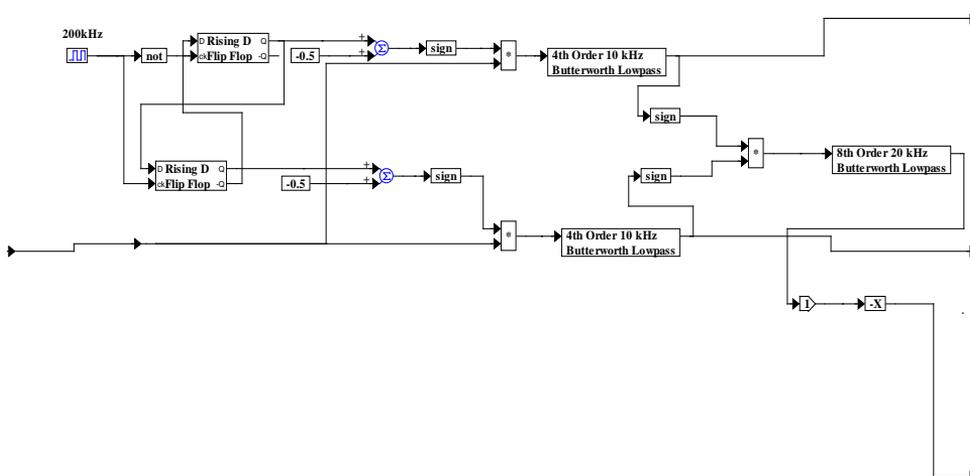


Рисунок 6 – Компьютерная модель приемника квадратурного канала связи

Моделирование, результаты которого приведены на рисунке 7, показало, что благодаря специально подобранным фильтрам, получается значительно узкий радиоспектр и отличный показатель качества (характеристика BitErrorRate).

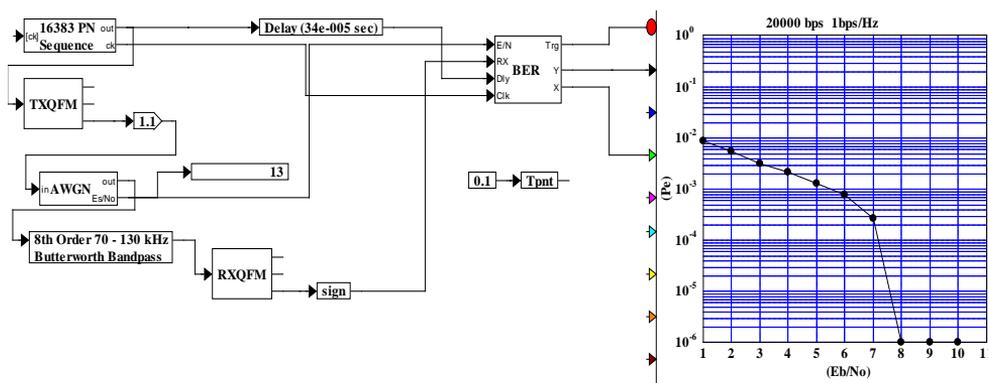


Рисунок 7 – Компьютерная модель квадратурного канала и его BER-характеристика

Техническая система приемник/передатчик должна проектироваться как единое целое специально друг для друга, а не по отдельности. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) приемных фильтров должны точно повторять радиоспектр переданного сигнала. Фильтр должен очищать от помех и ни в коем случае не обрезать ничего от полезного сигнала.

#### *Результаты аппаратной проверки фильтров модуляторов демодуляторов в основной немодулированной полосе частот*

Для аппаратного исследования цифрового канала связи были рассчитаны по результатам теоретических фильтры модулятора и демодулятора приемные и передающие низких частот Баттерворда 8 и 4 порядка. На частоты среза 440400 Гц и 10-220200 Гц. По формулам, полученным экспериментальным путем:

$$F_{tx} = F_n \cdot 1.7, \quad (1)$$

$$F_{rx} = F_n \cdot 0.85; \quad (2)$$

где  $F_{tx}$  – частота среза передающего фильтра;  $F_{rx}$  – частота среза приемного фильтра;  $F_n$  – частота Найквиста.

Собран передающий фильтр на контактной макетной плате. Электрическая схема фильтра приведена на рисунке 8, а его характеристики на рисунке 9.

Для построения активного фильтра ФНЧ выбрано построение по структуре Сайлен Ки, как одной из самых простых. Эта структура позволяет получить хорошие амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики. Каждый каскад фильтра фазу сигнала не инвертирует. Вместе они формируют требуемую АЧХ. Поскольку они соединены последовательно, то передаточные функции каждого звена умножаются, а, следовательно, умножаются их АЧХ. Однако такая схематехника имеет недостаток. Фильтр, построенный по такой конфигурации, очень чувствителен к внешней «обвязке» и разводке печатной платы. При самом удобном случае начинает само возбуждаться. Применение резистивных делителей в цепи «выход объекта управления – инвертирующий вход» уменьшает эффект самовозбуждения. Фильтры при этом ра-

ботают исправно.

Также исследованы электрическая схема приемного фильтра Баттерворда и его характеристики (рисунки 10, 11), электрическая схема передающего фильтра Гаусса и его характеристики (рисунки 12, 13), электрическая схема полосового фильтра (ПФ) Гаусса на рисунке 14.

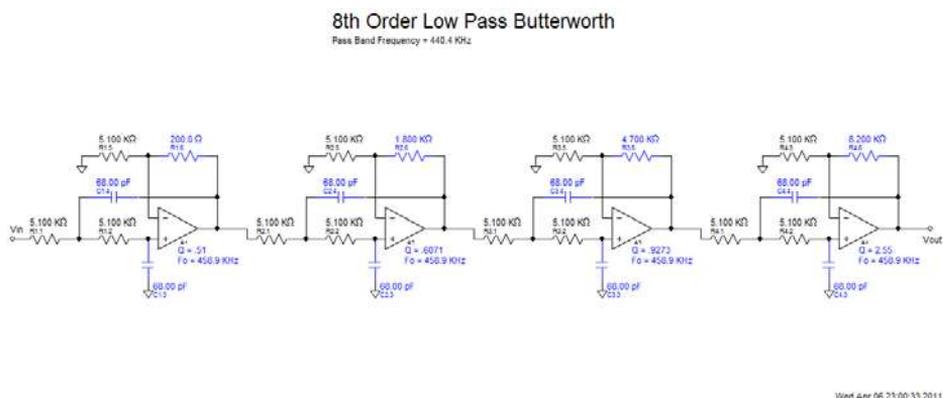


Рисунок 8 – Электрическая схема фильтра Баттерворда передающего

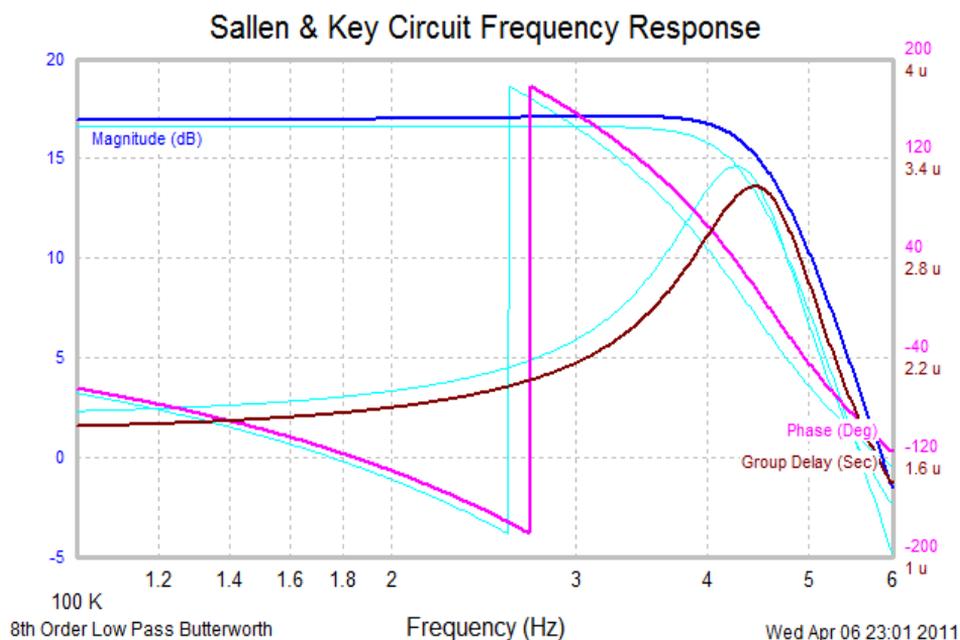
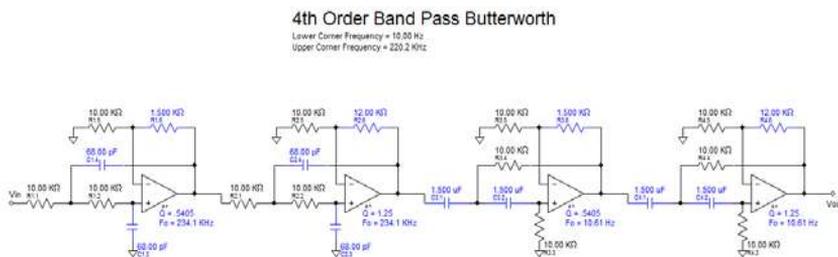
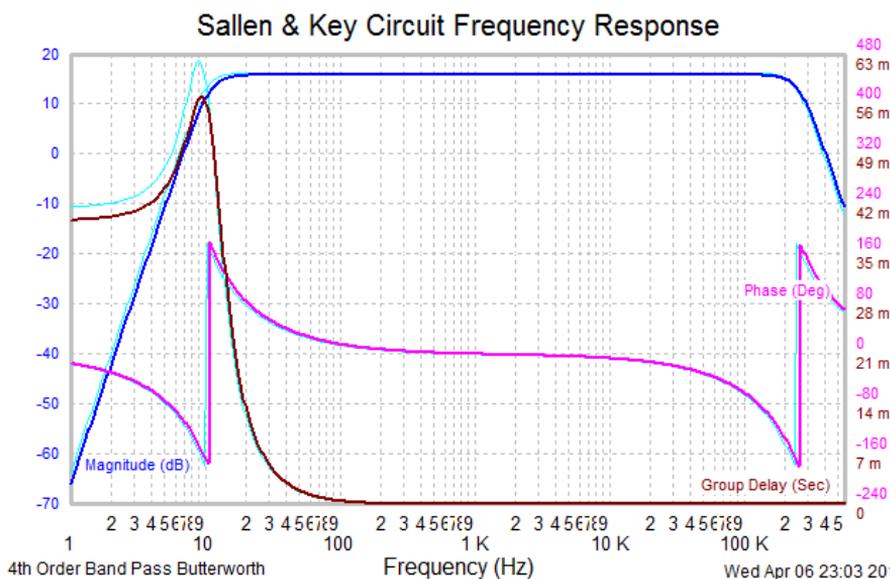


Рисунок 9 – Характеристики передающего фильтра с 10% номиналами RC. Синий – АЧХ, розовый – ФЧХ, коричневый – Групповое время запаздывания. Голубые – опорные кривые показывающие степень отклонения характеристик при 1%-ой точности номиналов RC

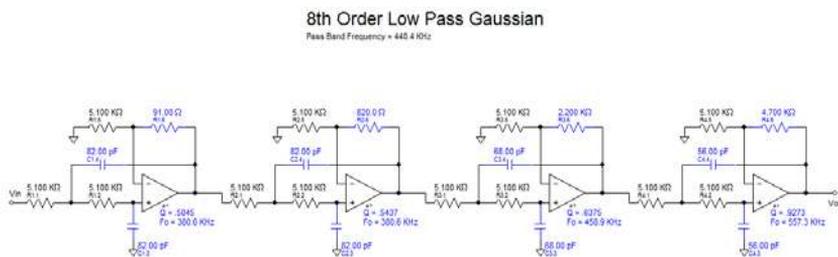


Wed Apr 06 23:02:33 2011

**Рисунок 10 – Электрическая схема приемного фильтра Баттерворда**

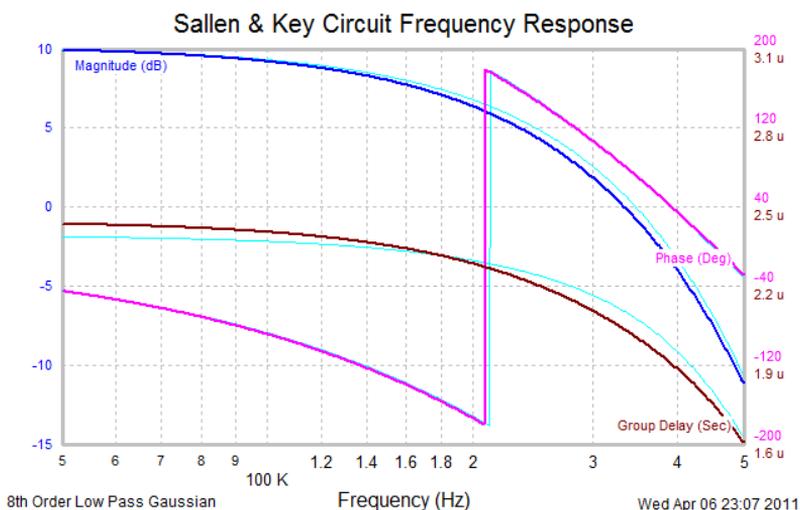


**Рисунок 11 – Характеристики приемного фильтра Баттерворда. Характеристики фильтра с 10% номиналами RC. Синий – АЧХ, розовый – ФЧХ, коричневый – Групповое время запаздывания. Голубые – опорные кривые показывающие степень отклонения характеристик при 1% точности номиналов RC**

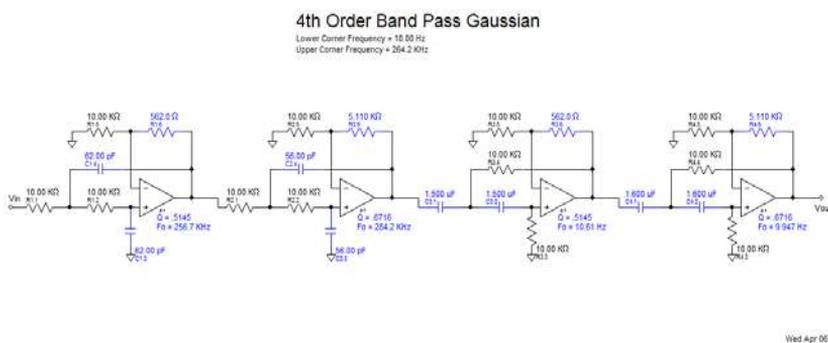


Wed Apr 06 23:06:16 2011

**Рисунок 12 – Электрическая схема фильтра Гаусса передающего**



**Рисунок 13 – Временные характеристики ФНЧ Гаусса. Характеристики фильтра с 10% номиналами RC. Синий – АЧХ, розовый – ФЧХ, коричневый – Групповое время запаздывания. Голубые – опорные кривые показывающие степень отклонения характеристик при 1% точности номиналов RC**



**Рисунок 14 – Электрическая схема ПФ Гаусса**

Блок-схема стенда проверки приведена на рисунке 15.

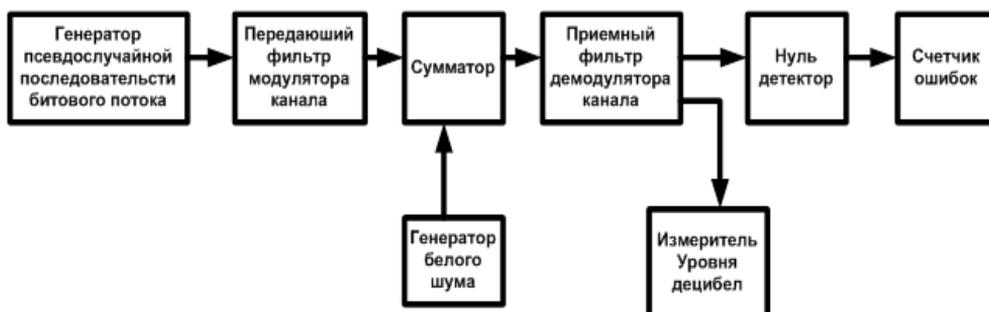


Рисунок 15 – Общая блок-схема стенда

Стенд, внешний вид которого приведен на рисунке 16, работает следующим образом. Битовый поток данных на скорости 1024 кБит/с с генератора псевдослучайной последовательности (ИКО832 режим генерации) подается на передающий фильтр модулятора канала связи. Далее сигнал поступает в сумматор и к нему добавляется помеха (Бьюль Кьер 2706). Затем «сигнал + помеха» поступают в приемный фильтр, с него на нуль детектор и далее на счетчик ошибок (ИКО832 режим счета ошибок). К выходу приемного фильтра подключен измеритель уровня децибел (ВЗ-38).



Рисунок 16 – Внешний вид стенда

Под цифрами на рисунке 16 показаны следующие приборы: 1) двухлучевой осциллограф С1-55, предназначен для просмотра формы сигналов на входах и выходах модулей стенда; 2) передающий прибор ИКО832 – служит для генерации псевдо последовательности; 3) Приемный прибор ИКО832 – служит для подсчета количества ошибок за определенное время; 4) генератор белого шума, вносит искусственную помеху в канал связи; 5) универсальный

генератор сигналов разных форм (синус, меандр, пила), служит для синхронизации двух приборов ИКО832 и осциллографа; 6) лабораторный блок питания до 5 Вольт с защитой по току №1; 7) лабораторный блок питания до 5 Вольт с защитой по току №2; 8) высокочастотный вольтметр (ВЗ-38), предназначен для измерения уровня сигнала на выходе приемного фильтра в децибелах; 9) универсальный частотомер, служит для измерения частоты такта (частоты Найквиста); 10) аттенюатор №1 с измерителем уровня (не задействован); 11) аттенюатор №2 с измерителем уровня (не задействован).

В состав комплекта блоков стенда, показанных на рисунке 17, входят: фильтры нижних частот модулятора и демодулятора радиоканала на 1024Кбит/с Баттерворда и Гаусса 8 порядка (под цифрами 1 и 2); сумматор (смеситель) (под цифрой 3); полосовые фильтры приемника Баттерворда и Гаусса 4 порядка (под цифрами 4 и 5); коаксиальные кабели с ВЧ разъемами типа CP-50(BNC).



Рисунок 17– Общий комплект блоков стенда

Все приборы комплекта сделаны в виде отдельных малогабаритных модулей. Они выполнены на одностороннем фольгированном стеклотекстолите с использованием стандартных выводных элементов. Каждый модуль имеет на плате ВЧ разъемы, разъемы питания и индикаторы напряжения.

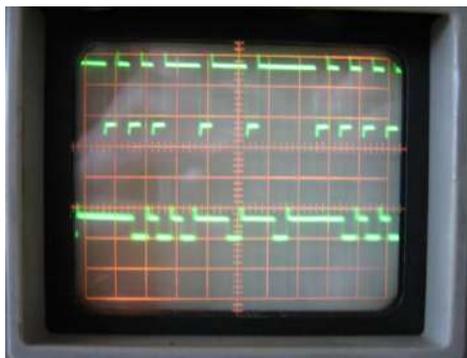
Работа с приемным прибором ИКО-832 сводится к установке необходимых режимов кнопками на передней панели, вертикального ряда и горизонтального, показанных на рисунке 18.



Рисунок 18 – Панель программирования ИКО832

Согласно прилагаемой технической документации, прибор Измеритель коэффициента ошибок 832 имеет встроенный генератор псевдослучайной последовательности (ПСП), сигнал от которого нужен для проведения измерений коэффициента ошибок и построения «характеристики падающего водопада». В ИКО 832 нет внутреннего тактового генератора, поэтому первый тактировался от внешнего генератора сигналов. Прямоугольные импульсы, поступающие от него, подавались на ВЧ вход ИКО 832 «Такт» через коаксиальный кабель сопротивлением 50 Ом. На панели 832 выставлялась программа работы в следующем порядке: время 5 – бесконечность; тактовая частота МГц – 2; период ПСП –  $2^7$ ; код – бифазный; режим работы – внутр.

После этого с выхода ИКО 832 «ПСП/ОШИБКА» поступал сигнал псевдослучайной последовательности со скоростью 1024 кбит/с. Вид сигнала на двулучевом осциллографе с учетом псевдослучайной последовательности (ПСП) показан на рисунке 19.



**Рисунок 19 – Рекуррента (ПСП) на осциллографе (верхний луч исходный битовый поток, нижний – выход канала связи)**

Поскольку входное сопротивление осциллографа 1 Мом, было проведено согласование его с ВЧ кабелем сопротивлением 50 Ом. Для этого резистор сопротивлением 51 Ом подключен параллельно входу осциллографа, между сигнальным проводом и землей. Из-за отсутствия этого сопротивления на осциллографе наблюдались завалы фронтов рекурренты (ПСП). Таким образом, прибор 832 работал в качестве генератора псевдослучайной последовательности.

Для подсчета количества ошибок был задействован другой прибор ИКО-832. Минимальная скорость цифрового потока, при котором прибор начинает считать, равна 512 Кбит/с, таким образом, минимальная частота Найквиста или частота тактирования всего стенда равна 256 КГц. В дополнение генерирующий прибор ИКО-832 выдает сигнал в размахе от 0 до -1. Это не соответствует тем параметрам, которые представлены в документации к прибору.

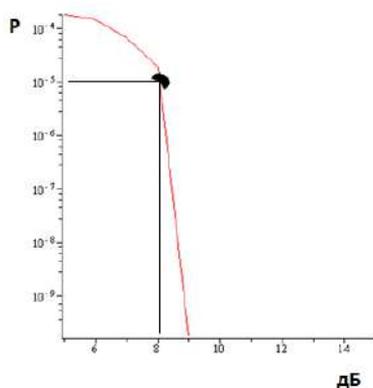
После измерения количества ошибок на аппаратном стенде при раз-

личных отношениях сигнал/шум была составлена программа построения характеристики BER в программе Maple 13. Данная программа автоматически вычисляет по формуле 25 вероятность возникновения ошибок в канале связи и строит график характеристики BER.

$$P = \frac{N}{t \cdot R}, \quad (3)$$

где  $N$  – число посчитанных ошибок,  $t$  – время измерения,  $R$  – скорость битового потока.

Полученные характеристики коэффициента ошибок BER представлены на рисунке 20.



**Рисунок 20 – Характеристика BER спроектированного канала связи в основной немодулированной полосе частот**

Как видно из графической зависимости рисунка 20, характеристика Bit Error Rate при отношении сигнал/шум 8 дБ имеет вероятность возникновения одной ошибки на 100000 бит. Таким образом, результаты моделирования совпадают с аппаратной проверкой.

Исследования проведены в рамках научно-исследовательской работы на кафедре информационных технологий и управляющих систем «Московского государственного технологического университета» под руководством профессора Артюшенко В. М. и доцента Аббасовой Т.С.

### **Выводы**

На основе проведенных теоретических исследований и построения имитационных моделей создан радиоканал с фильтрами Баттерворда для систем мониторинга и телеметрии с однополосной квадратурной частотной манипуляцией. Канал связи для скорости 180 000 (Бит/с) исследован на наличие минимума межсимвольных искажений. Благодаря применению подобных радиоканалов на низкоорбитальных спутниках появляется возможность применять более дешевое и доступное оборудование для связи через космос, а также для мониторинга наземной космической инфраструктуры, дистанционного контроля и управления объектами.

*Литература*

1. Круглов А.В., Молотов Е.П., Ватутин В.М., Снегирев В.М. Радиообеспечение пилотируемых полетов к Луне и Марсу // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 033-040.
2. Вокин Г.Г., Азаренко Л.Г. Актуальные вопросы оценки качества и эффективности технологий использования космических систем двойного назначения в интересах сферы сервиса // Научно-технический журнал «Стратегическая стабильность». № 1. 2011.
3. Аббасова Т. С. Информационное и программное обеспечение для тестирования производительности сетевых узлов территориально-распределенных центров обработки данных // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 3. С. 10-13.

УДК 621.391.26:2

**Анализ подходов к организации составного канала связи  
в высокочастотном диапазоне**

**Т.В. Горская**, оператор систем и комплексов радиосвязи,  
**А.А. Тетерина**, оператор систем и комплексов радиосвязи,  
воинская часть в/ч 34608, г. Подольск Московская область

*Рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с организацией составного канала связи в высокочастотном диапазоне. Проанализированы три типовых способа формирования составного (ВЧ-локальная вычислительная сеть) канала. Показано, что прозрачность высокочастотного канала обеспечивается за счёт применения Internet протоколов на сетевом и транспортном уровнях. Рассмотрены режимы использования аппаратуры связи в системе мобильного радиосервиса. Осуществлен анализ подходов к организации составного канала связи с применением спутниковой связи.*

Составной канал связи, прозрачность высокочастотного канала, мобильная система связи, спутниковая система связи, мобильный радиосервис, локальная вычислительная сеть, диапазоны частот.

**Analysis of approaches to the organization of a composite communication channel in the high frequency range**

**T.V. Gorsky**, the operator of the systems and complexes of radio communication,  
**A.A. Teterina**, operator systems and complexes of radio communication,  
Military unit 34608, Podolsk, Moscow region

*Reviewed and analyzed issues related to the organization of a composite ka-Nala connection in the high frequency range. Analyzed three typical ways of forming compound (RF local area network) channel. It is shown that the transparency of the high frequency channel is provided through the use of Internet protocols at network and transport levels. Examines the use of communications equipment in mobile Radioservice. The analysis of approaches to the organization with a set of communication channel with the use of satellite communications.*

Composite communication channel, transparency of the high frequency channel, a mobile communication system, a satellite communication system, mobile Radioservice, local area network frequency bands.

**Введение**

Процесс нарастающей информатизации современного общества во всех странах мира, включая её в глобальное информационное пространство, значительно повышает значение мониторинга, а внедрение современных тех-

нологий передачи данных требует соответствующих изменений в организации и способах её ведения [1-3].

Развитие современных средств связи ведущих стран мира характеризуется общим трендом, направленным на адаптацию каналов связи различных частотных диапазонов к передаваемому информационному контенту. Данный подход позволил осуществлять передачу информации любого формата практически во всех сетях любых диапазонов радиоволн (таблица 1.)

**Таблица 1 – Диапазон радиоволн**

Название частот	Диапазон частот
Крайне низкие (КНЧ)	3-30 Гц
Сверхнизкие (СНЧ)	30-300 Гц
Инфранизкие (ИНЧ)	300-3000 Гц
Очень низкие (ОНЧ)	3-30 кГц
Низкие (НЧ)	30-300 кГц
Средние (СЧ)	300-3000 кГц
Высокие (ВЧ)	3-30 МГц
Очень высокие (ОВЧ)	30-300 МГц
Ультравысокие (УВЧ)	300-3000 МГц
Сверхвысокие (СВЧ)	3-30 ГГц
Крайне высокие (КВЧ)	30-300 ГГц
Гипервысокие частоты (ГВЧ)	300-3000 ГГц

В системах связи ОНЧ-СЧ диапазонов в силу физических ограничений связь, организуется между двумя абонентскими терминалами, при этом используется американский стандарт связи MIL-STD-188-140A для тактической и дальней связи, описывающий сигналы с частотной манипуляцией и скоростями до 50 бод. Информация передаётся в традиционном телеграфном виде.

За последние 15 лет осуществлена «информационная революция», которая стала возможна благодаря разработке и применению сложных сигнально-кодовых конструкций (СКК), таких, например, как сигналы стандартов RACTOR 1/2/3/4, CLOVER, RFSM, GLOBAL WIRELESS, MT-63. Повышение скоростей передачи данных для сигналов стандартного телефонного канала более чем в 30 раз (с 300 бит/с до 9600 бит/с и более) позволило осуществлять

передачу практически любых бинарных данных за приемлемое время. После окончания процесса внедрения широкополосных сигналов (48 кГц – СКК фирмы Rockwell Collins, Didjital Radio Mondiale) скорости возрастут до 120-240 кбит/с, что сделает возможным передачу в высокочастотном (ВЧ) диапазоне видеопотоков. На современном этапе информация передаётся в виде сообщений электронной почты, электронных документов, электронных графических документов, цифровых речевых сообщений (с применением алгоритмов вокодерных преобразований), а также в традиционных видах аналоговых речевых сообщений. Объёмы передаваемой информации в виде телеграмм и факсов за последнее десятилетие существенно снизились [4].

### Организация связи в ВЧ диапазоне

Основное назначение ВЧ систем – организация связи является мобильным экономичным видом связи.

Анализ подходов к организации связи в диапазоне ВЧ показывает, что современная каналообразующая аппаратура по-прежнему применяется для формирования соединения типа «точка-точка». Несмотря на это в значительном количестве случаев образуемый ей канал задействуется более чем двумя корреспондентами или является лишь частью составного канала передачи данных. При этом можно выделить три типовых способа формирования составного (ВЧ-локальная вычислительная сеть) канала:

1. Классический вариант, когда соединение «точка-точка» формируется в интересах двух корреспондентов (рис. 1);

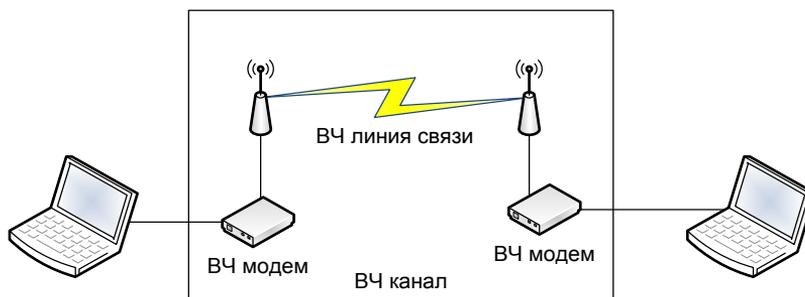
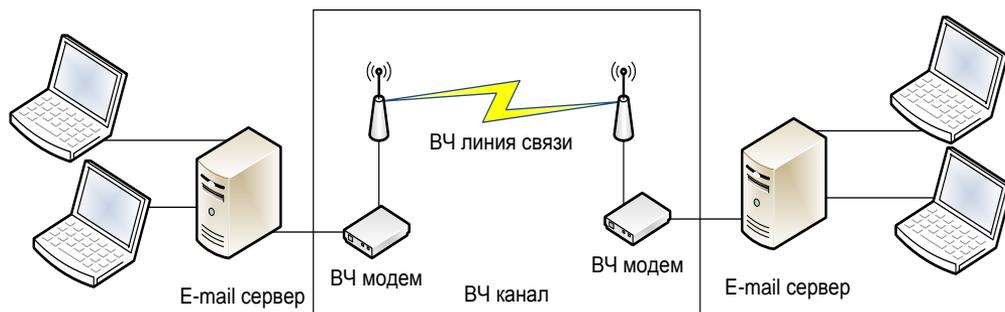


Рисунок 1 – Пример применения оборудования связи ВЧ диапазона в режиме «один модем – один корреспондент»

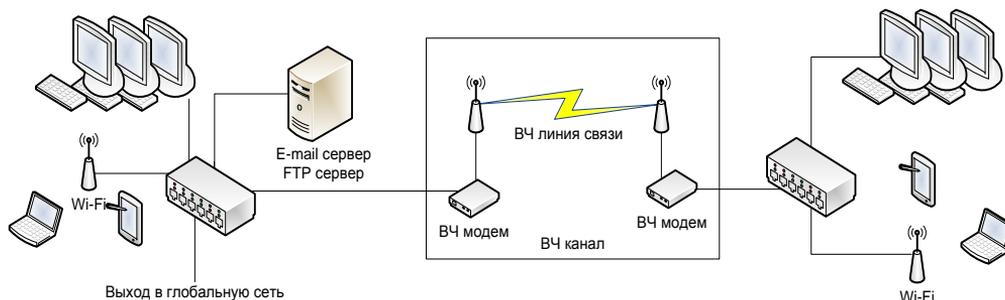
2. Соединение «точка-точка» формируется для обмена сообщениями электронной почты (рис. 2).



**Рисунок 2 – Пример применения оборудования связи ВЧ диапазона для организации обмена электронной почтой**

При этом сервер электронной почты является шлюзом между локальной сетью пункта управления (ПУ) и ВЧ каналом;

3. Соединение «точка-точка» формируется для обмена данными между двумя территориально разнесёнными элементами локальной сети ПУ (рис. 3).



**Рисунок 3 – Пример применения оборудования связи ВЧ диапазона в качестве каналообразующего оборудования локальной сети**

Транспарентность ВЧ канала обеспечивается за счёт применения Internet протоколов на сетевом и транспортном уровнях. Во всех вариантах на канальном уровне применяются протоколы, разработанные специально для ВЧ диапазона. Они предназначены для установления связи между каналообразующим оборудованием, сегментации информации, обнаружения ошибок, а также для перезапроса ошибочно принятой информации. В целях уменьшения объёма трафика при реализации процедуры автоматического запроса на повторение существенно, относительно канальных протоколов ОВЧ-УВЧ диапазонов, уменьшена длина информационных сегментов, введена обязательная процедура проверки целостности пакетов.

Такой подход позволяет осуществлять межмашинный обмен информацией, используя ВЧ диапазон, как в качестве резервного (дублирующего),

так и в качестве основного, снимает ограничения по типам и форматам передаваемой информации и упрощает процесс организации сети. Современные СКК обладают высокой степенью помехозащищенности, а в случае невозможности передачи данных на выбранной частоте, рабочая частота оперативно меняется.

### Система мобильного радиосервиса

Организация связи в ОВЧ-УВЧ диапазонах, применительно к одноканальным системам связи, аналогична ВЧ диапазону. Отличительные особенности проявляются в системе мобильного радиосервиса (СМРС), в которых услуги связи предоставляет оператор сотовой (транкинговой) связи, а абонентский терминал не способен функционировать без установления соединения с базовой станцией (рис. 4).

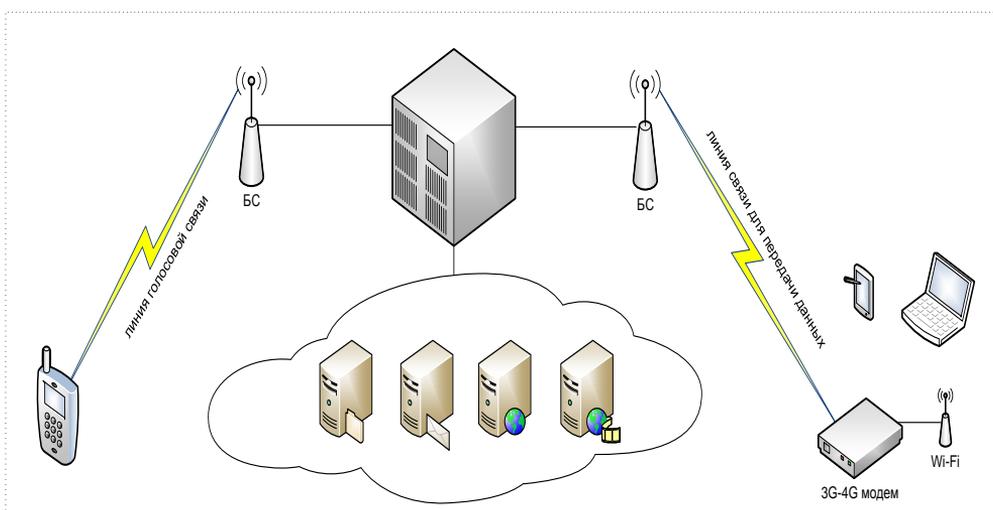


Рисунок 4 – Организация системы мобильного радиосервиса

Развитие современных сетей мобильной связи, активная эксплуатация оборудования третьего и лавинообразный переход на аппаратуру четвертого поколения обуславливают применение средств сотовой и транкинговой связи не столько для передачи речевых сообщений, сколько для организации доступа к ресурсам глобальной сети Internet, особенно к различным мультимедиа сервисам и социальным сетям.

Таким образом, в СМРС можно выделить три режима использования аппаратуры связи:

1. Для осуществления голосовой связи между двумя (для транкинговых систем связи более двух) абонентами, как с использованием сервисов голосовой связи, так и в режиме IP-телефонии с применением сервисов сторонних разработчиков;

2. Для осуществления обменом короткими текстовыми сообщениями, как с использованием встроенных сервисов, так и сервисов сторонних разра-

ботчиков;

3. Для осуществления доступа к ресурсам глобальной сети Internet.

### Спутниковые системы связи

Многоканальные наземные системы связи ОВЧ-УВЧ-СВЧ диапазонов (радиорелейные и тропосферные), с точки зрения формирования многоканальных трактов, могут рассматриваться в качестве аналога систем спутниковой связи (ССС), в котором роль искусственного спутника земли-ретранслятора (ИСЗ-Р) выполняют радиорелейные (тропосферные) станции.

Разработка новых образцов аппаратуры связи, реализующей современные стандарты связи (сигналы DVB, DVB-S, DVB-S2) существенно повысило пропускную способность спутниковых каналов связи, что позволяет передавать информацию любого вида. Кроме того, задействование подобных каналов связи в качестве компонента локальных вычислительных сетей приводит к передаче не только собственно информационных сообщений, но и существенного объема служебной информации.

Анализ подходов к организации спутниковой связи показывает, что современная каналообразующая аппаратура применяется в следующих вариантах:

1. Спутниковый канал является элементом составного канала связи (спутниковой вставкой), который может включать другие спутниковые, радиорелейные или проводные вставки (рис. 5).

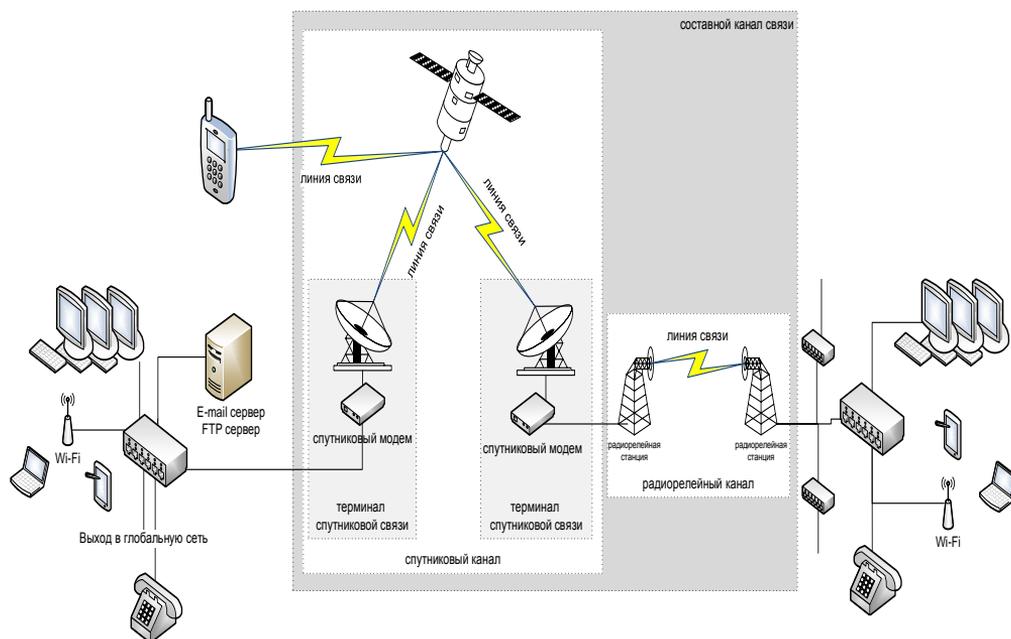
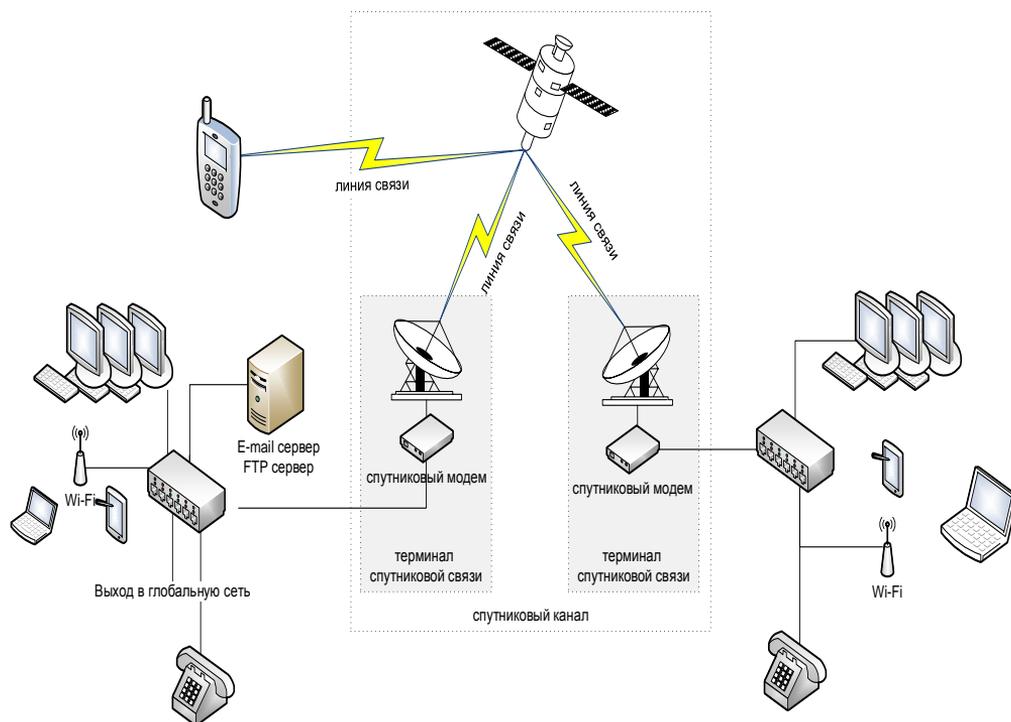


Рисунок 5 – Пример задействования спутникового канала в качестве элемента составного канала связи

Подобная конфигурация характерна для глобальных систем связи, в том числе коммерческих;

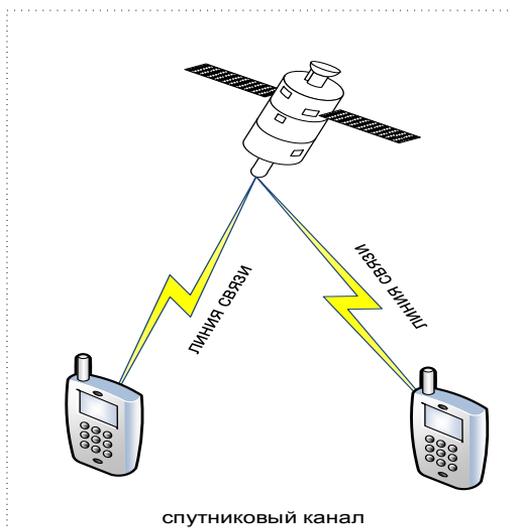
2. Спутниковый канал связи объединяет два абонента, основной трафик между которыми представляет собой передачу данных различного вида, а также IP-телефонию и видеосвязь (рис. 6).



**Рисунок 6 – Пример задействования спутникового канала для связи двух абонентских пунктов**

Данный вариант реализуется, как с задействованием ССС, использующих искусственные спутники Земли ретрансляторы (ИСЗ-Р), находящиеся на геостационарной орбите (ГСО), так и систем персональной спутниковой связи (ПСС), когда терминал спутниковой связи используется в качестве точки доступа для нескольких абонентов;

3. Спутниковый канал связи объединяет два абонентских терминала мобильной спутниковой связи (МСС), трафик между которыми представляет собой передачу речевых сигналов и коротких текстовых сообщений (рис. 7).



**Рисунок 7 – Пример применения спутникового канала связи для мобильной связи**

### **Выводы**

Исследование всех частотных диапазонов показывает, что на адаптация каналов связи различных частотных диапазонов к передаваемому информационному контенту позволяет сделать вывод о том, что признаки в общем случае во всех диапазонах достаточно однообразны. Поэтому целесообразно строить систему, ориентированную на унифицированные признаки систем связи. Это позволит однозначно классифицировать и оптимизировать систему сбора и классификации информации.

### *Литература*

1. Аббасова Т.С., Артющенко В.М. Сервис информационных систем при аварийном планировании // Вестник Ассоциации ВУЗов туризма и сервиса. 2010. № 4. С. 68-74.
2. Артющенко В.М., Корчагин В.А. Оценка влияния помех от радиоэлектронных систем на беспроводные устройства малого радиуса действия с блоковым кодированием // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 4. С. 3-6.
3. Артющенко В.М., Корчагин В.А. Оценка влияния электромагнитных помех радиоэлектронных средств на беспроводные устройства малого радиуса действия // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 2. С. 10-17.
4. Артющенко В.М., Корчагин В.А. Анализ беспроводных технологий обмена данными в системах автоматизации жизнеобеспечения производственных и офисных помещений // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 2. С. 18-24.

УДК 621.396.946

**Краткие итоги анализа современного состояния и мировых тенденций развития абонентских терминалов международной космической системы поиска и спасания КОСПАС-САРСАТ**

**М.А. Епифанов**, аспирант,  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики» (НИУ «ВШЭ»), Москва

*В статье представлены краткие итоги анализа абонентского сегмента международной космической системы поиска и спасания КОСПАС-САРСАТ. Представлены предложения по номенклатуре абонентских аварийных терминалов и пеленгаторов, необходимых для разработки и постановки в серийное производство в России, с целью недопущения отставания в этой сфере и реализации программы импортозамещения. Рекомендации разработаны с учетом материалов, обсуждаемых на рабочих технических группах, Объединенном комитете и Совете КОСПАС-САРСАТ в последние годы, а также по результатам технического анализа номенклатуры терминалов, производимых и разрабатываемых зарубежными компаниями. Кроме того, при разработке рекомендаций учтены основные действующие и перспективные направления развития экономики и промышленности России.*

КОСПАС-САРСАТ, поиск и спасение, аварийные терминалы.

**Brief results of the analysis of current state and global trends in the development of The International Cospas-Sarsat Programme terminals**

**M.A. Epifanov**, graduate student,  
National Research University Higher School of Economics (NRU HSE), Moscow

*The article presents brief results of the analysis of the subscriber segment of the international space search and rescue system COSPAS-SARSAT. Proposals on the nomenclature of emergency subscriber emergency terminals and direction finders are presented, which are necessary for development and production in batch production in Russia, in order to prevent a backlog in this area and to implement the import substitution program. The recommendations are developed taking into account the materials discussed at the working technical groups, the Joint Committee and the COSPAS-SARSAT Council in recent years, as well as the results of the technical analysis of the nomenclature of terminals produced and developed by foreign companies. In addition, the development of recommendations takes into account the main current and prospective directions for the development of Russia's economy and industry.*

Cospas-Sarsat, search and rescue, emergency terminals.

### **Введение**

Эффективность применения терминалов международной космической системы поиска и спасания КОСПАС-САРСАТ доказана на многочисленных учениях, а также в ходе выполнения реальных спасательных операций. Однако существует ряд причин, по которым терминалы не используются в различных сферах деятельности.

Часто несрабатывание аварийного терминала обусловлено неправильным его использованием эксплуатантом. Это говорит о том, что при проектировании новых терминалов необходимо учесть опыт работы с эксплуатантами с целью минимизации возможных проблем при возникновении аварийной ситуации и обеспечения безусловного срабатывания терминала. Кроме того, следует организовать мероприятия по повышению технической грамотности эксплуатирующего и обслуживающего персонала. Также необходимо повышать интеграцию системы КОСПАС-САРСАТ в сферы деятельности, связанные с опасностью и проводить соответствующие законодательные инициативы.

На сегодняшний день Россия не готова к пеленгации терминалов нового поколения. На спасательных средствах (вертолетах, автомобилях) стоят морально устаревшие модели пеленгаторов, не обеспечивающие обработку широкополосных сигналов терминалов нового поколения для обеспечения вторичной пеленгации, отсутствует поддержка новых типов приводных сигналов таких как привод на частоте 406 МГц, АИС, АЗН. Отсутствие спасательного оборудования, предназначенного для работы с терминалами нового поколения, может привести не только к нераскрытию всего потенциала, заложенного в них, но и значительно снизить эффективность применения спасательного оборудования в целом.

Сегодня в России проводится курс на импортнезависимость от поставок комплектующих из-за рубежа. К сожалению, за последние годы отечественная промышленность не выпустила ни одного элемента, который можно использовать для импортозамещения в комплектации серийно выпускаемых терминалов первого поколения, не говоря о новом поколении. Для обеспечения реализации государственной политики в области импортозамещения следует начать разработку «системы на кристалле», которая должна стать базой для новых моделей терминалов.

Основной проблемой при эксплуатации персональных аварийных терминалов КОСПАС-САРСАТ является отсутствие нормативной базы, регулирующей их применение на законодательном уровне. Так, не определен порядок проведения спасательной операции при получении аварийного сообщения от персонального терминала и ответственные лица за ее проведение. Если в специальных ведомствах эта проблема решена локальными актами, то применение гражданскими лицами персональных терминалов сегодня не гарантиру-

ет спасение даже при корректном приеме специальными службами аварийного сообщения от терминала.

Кроме организационно-правовых, существует ряд проблем с внедрением персональных аварийных терминалов в различные сферы деятельности, не смотря на высокую, относительно других стран, смертность и без учета географических особенностей России. Так, например, с января 2017 года на новые автомобили, продаваемые в России, устанавливается оборудование ЭРА-ГЛОНАСС. К сожалению, данное оборудование не работает без сигналов сотовых сетей связи, покрытие которыми отдаленных территорий России оставляет желать лучшего.

### **Предложения по номенклатуре абонентских терминалов КОСПАС-САРСАТ, рекомендуемых к разработке**

В результате проведенного анализа современного состояния и мировых тенденций развития абонентских терминалов КОСПАС-САРСАТ получен подробный обзор существующих решений на мировом рынке, являющимися функциональными аналогами или составными частями изделий, предлагаемых к реализации. Также отмечены возможные улучшения, которые могут привести к повышению тактико-технических и экономических показателей терминалов и пеленгаторов.

Концепция терминалов типа ELT (DT) ускоренно разрабатывается КОСПАС-САРСАТ и будет утверждена в ближайшее время. В настоящее время ведутся разработки прототипов, планируемых к серийному выпуску к 2019 г. (Франция). Разработка терминала такого типа Россией должна выйти на первые позиции с целью обеспечения требований ИКАО перспективными ВС и обеспечения политики импортозамещения технологичной продукции.

Сегодня за рубежом существует огромное множество прототипов и серийных изделий, представляющие собой авиационный абонентский аварийный терминал КОСПАС-САРСАТ с отделяемым накопителем данных, устанавливаемых обычно на военные борты в виду высокой стоимости такого оборудования. Отмечается, что возможно применение терминала такого типа в исключительных случаях, когда необходимо повысить скорость нахождения аварийного воздушного судна, а также разбора информации из накопителя с целью установления причин аварии.

Система АЗН-В имеет значительный задел в виде нормативных актов ИКАО, но концепция развития этой технологии в России не утверждена. В ближайшей перспективе оборудование АЗН-В, несомненно, будет устанавливаться на воздушные суда различного применения. В свете этого, при разработке совмещенных АЗН-В и КОСПАС-САРСАТ терминалов необходимо предусмотреть его максимальную унификацию с имеющимся бортовым оборудованием, необходимым для установки. Это не только позволит уменьшить массогабаритные характеристики и стоимость конечного терминала, но позволит значительно повысить эффективность проведения спасательных операций.

Авиационные переносные терминалы с возможностью активации от воды востребованы на рынке в силу их универсальности и относительно невысокой цены. Применение такого терминала позволит значительно повысить шансы обнаружения воздушного судна, пассажиров и экипажа после аварии при приводнении за счет его универсальности по месту активирования.

Расширение номенклатуры АРБ с применением системы AIS-SART существенно повлияет на интересы потребителя, замещение одним изделием нескольких поднимет конкурентоспособность продукции Российского производителя, что актуально в условиях масштабного импортозамещения, является одним из наиболее перспективных направлений и имеет в основании подготовленную международную нормативную базу.

Регистраторы данных рейса, с недавнего времени, прочно вошли в состав бортового оборудования современных судов и кораблей. На зарубежном рынке имеется достаточное количество серийных изделий, однако нет ни одного российской разработки, что идет в разрез с проводимой в государстве политики импортозамещения. Кроме того, регистратор данных рейса имеет доступ к многим источникам конфиденциальной информации, относящейся к судну (данные о местоположении, переговоры экипажа и т.д.), и возможности для ее передачи абоненту, заложенному на заводе-изготовителе.

На рынке аварийно-спасательного оборудования существует потребность в аварийных абонентских терминалах с функцией борьбы с обледенением. Имеющиеся предложения не в полной мере удовлетворяют требованиям борьбы с обледенением, т.к. при превышении его уровня, терминал не сможет отделиться от борта при возникновении бедствия. В полной мере это может быть реализовано введением специальных средств, например, подогрева устройства отделения.

Сегодня в мире есть тенденция к оснащению каждого спасательного жилета терминалов систем спасения. Наиболее распространены сегодня терминалы АИС в силу их простоты и невысокой цены. Однако с каждым годом себестоимость аварийных терминалов КОСПАС-САРСАТ снижается в силу повышения спроса, увеличения числа конкурентов на рынке, удешевления технологий разработки и производства. Скоро каждый пассажир и член экипажа воздушного или морского судна будет оснащен терминалом системы КОСПАС-САРСАТ, что, несомненно, повысит число спасенных в катастрофах жизней людей. Этот факт требует разработки терминалов такого типа в России с целью обеспечения импортнезависимости, а также принятия мер по предотвращению множественного срабатывания аварийных терминалов в ограниченной локации на системном и государственном уровнях.

На мировом рынке присутствуют НАП с возможностью передачи голосовой информации и других данных по радиоканалу, а также НАП с передатчиком КОСПАС-САРСАТ и переговоров со спасательными службами на аварийной частоте. Реализация всех этих функций в едином моноблоке вызывает популярность у конечного потребителя такого изделия, например, для экстремального туризма, для специальных служб, для оборудования служб

лесничеств и других направлений, где необходимо получение навигационной информации на карте местности, передача голосовых данных, собственных координат и других данных другим абонентам, а также наличие функции вызова спасательных служб в случае возникновения аварийной ситуации.

Терминал, предназначенный для укладки в носимый аварийный запас экипажа пилотируемого космического корабля, имеющийся сегодня в составе НАЗ экипажа требует модернизации для удовлетворения современным требованиям к изделиям космической техники. Новый терминал должен отличаться от своих существующих аналогов по следующим критериям:

будет первым изделием, работающим в системе КОСПАС-САРСАТ, аналогом PLB или ELT (S), целенаправленно разработанным и сконструированным для применения в составе бортовой аппаратуры космической техники (изделия, применяемые сейчас изначально не разрабатывались как космическая техника);

должен обладать функционалом, выполненным в соответствии с требованиями КОСПАС-САРСАТ, может быть дополнен режимом «НАВИГАТОР» и функцией работы с каналом обратной связи (RLS);

конструкция должна быть разработана с учетом требований к ВВФ, требований к эргономике, требований к безопасности, действующими для бортовой аппаратуры космической техники;

схемотехника терминала будет выполнена с применением современной электронной элементной базы, в отличии от аналогов, некоторые из которых выпускаются уже больше 10 лет, в том числе будет использоваться номенклатура отечественной электронной элементной базы;

терминал сможет работать в системе второго поколения.

В России и мире уже имеется опыт применения аварийных терминалов КОСПАС-САРСАТ в условиях Арктики. Однако следует отметить, что применение вышеуказанных моделей не является совсем корректным, т.к. они сертифицированы на работу только от минус 40°C, что не всегда может быть соблюдено, т.к. температура в Арктическом регионе может достигать минус 50°C или даже минус 60°C. Следовательно, необходимо, чтобы люди, идущие в северные районы, брали с собой терминалы, предназначенные для работы в тех условиях. На сегодняшний день серийные модели таких терминалов отсутствуют на рынке.

Сейчас в мире не существует аналогов пеленгатора для слежения и поиска приземляемой капсулы ПТК. Такой пеленгатор позволит отслеживать капсулу еще от момента ее нахождения в стратосфере и до момента приземления, а также при поиске в районе приземления. Согласно прогнозам, со временем число пилотируемых запусков будет увеличиваться, что повысит требования к качеству работы служб поиска и спасения экипажей, и, несомненно, применение такого пеленгатора позволит повысить эффективность этих операций.

Параметры проанализированных пеленгаторов для поиска и спасения на море и реке не в полной мере отвечают современным требованиям, например, по следующим критериям:

- многие не рассчитаны для работы с сигналами аварийных радиомаяков системы КОСПАСС-САРСАТ и не имеют соответствующих демодуляторов;
- большинство имеют широкополосную антенную систему – что сказывается на дальности действия пеленгатора;
- у некоторых изделий рабочий температурный диапазон не позволяет их применение в арктическом регионе;
- определенные модели имеют большие габаритно-массовые показатели.

Применение таких пеленгаторов значительно повысит эффективность проведения спасательных операций на реке и море. Также изделие может использоваться для контроля радиотехнической обстановки в условиях мест большого скопления судов, например, в морских и речных портах.

Обзор пеленгаторов индивидуального применения для обнаружения активированных аварийных терминалов на отечественном и зарубежном рынках показывает, что:

- имеется достаточно большой спектр изделий пеленгационной тематики, но все они разработаны для общего применения, имеют в своем составе широкополосные ПАЭ и широкую полосу обработки сигналов (ухудшает чувствительность изделия), большие габаритные и массовые показатели изделия, отсутствует возможность одновременной пеленгации нескольких сигналов на близких или одинаковых частотах;
- многие не рассчитаны для работы с сигналами аварийных радиомаяков системы КОСПАСС-САРСАТ и не имеют соответствующих демодуляторов;
- у некоторых изделий рабочий температурный диапазон не позволяет применять их в Арктике.

Применение таких пеленгаторов значительно повысит проведение поисково-спасательных операций в различных сферах. Особенно эффективны пеленгаторы такого типа в зонах со сложным рельефом, где прохождение техники затруднено, а искомый терминал может находиться в месте, малодоступном для пеленгации с вертолета (пещера, ущелье и т.д.).

В настоящее время на рынке существует большое количество систем, предназначенных для удаленного мониторинга различных потенциально опасных объектов. Однако все эти системы используют в качестве канала аварийного оповещения либо общедоступные каналы связи, например, сотовые сети, которые доступны далеко не везде в удаленных территориях, либо используют собственные каналы связи, что требует проведения отдельного лицензирования и не гарантирует помехозащищенность и постоянную доступность данного канала для передачи. Одним из потенциальных путей выхода может быть применение системы КОСПАС-САРСАТ для передачи аварийного сообщения и обеспечения принятия своевременных мер по минимизации ущерба и спасения жизней людей.

С 2017 года система ЭРА-ГЛОНАСС обязательна к установке на все новые автомобили, продаваемые в России. Введение в эксплуатацию данной системы позволит повысить оперативность и качество проведения процедуры спасения людей при возникновении дорожно-транспортного происшествия, поломки транспортного средства и других ситуаций, угрожающих жизни и здоровью людей. Однако охват данной системы в нынешней реализации позволяет говорить лишь о крупных и средних городах, в остальных локациях использование системы будет затруднено. Ситуацию можно исправить путем введения в состав терминалов системы передатчика КОСПАС-САРСАТ. Кроме того, в составе терминала уже есть алгоритмы и средства автоматического срабатывания, что может значительно упростить интеграцию. Однако предстоит выработать алгоритм срабатывания таких устройств, при массовом срабатывании, например, при крупных дорожно-транспортных происшествиях и стихийных бедствиях, подобно терминалам в спасательных жилетах, рассмотренных ранее.

#### **Заключение**

Перспективы развития абонентского сегмента системы КОСПАС-САРСАТ в России описаны с учетом новых требований, а также тенденций, диктуемых различными международными и национальными организациями. При их подготовке проанализирована имеющаяся сегодня в России кооперация по разработке, испытаниям, внедрению и эксплуатации различных сегментов системы КОСПАС-САРСАТ. Особое внимание уделено различным проблемам, решаемым при разработке, испытаниях, производстве и эксплуатации новых абонентских аварийных терминалов.

Выработаны наиболее перспективные направления развития абонентских терминалов в России:

- арктическое направление:
- терминал морского применения с возможностью работы в экстремально низких температурах с функцией антиобледенения;
- персональный терминал, способный работать при экстремально низкой температуре в условиях Крайнего севера;
- космическое направление:
- персональный терминал, предназначенный для укладки в носимый аварийный запас экипажа пилотируемого космического корабля;
- пеленгатор для поиска места приземления экипажа пилотируемого космического корабля;
- Направление предотвращения чрезвычайных ситуаций:
- пеленгатор для обнаружения активированных аварийных терминалов на море и реке;
- пеленгатор индивидуального применения для обнаружения активированных аварийных терминалов.
- терминал для активации при возникновении чрезвычайной ситуации в труднодоступных местах и обеспечения аварийного оповещения.
- Гражданское направление:

- автоматический терминал типа ELT (DT);
- терминал типа ADFR с отделяемым накопителем данных;
- переносной терминал с возможностью переноса в спасательный плот и активации в воде;
- терминал с интеграцией в систему АЗН-В;
- терминал с интеграцией в систему АИС;
- регистратор данных рейса с отделяемым накопителем данных (VDR);
- персональный терминал для применения в составе аварийно-спасательных жилетах;
- НАП с функциями передачи аварийного сообщения в систему КОС-ПАС-САРСАТ, связи между пользователями на общедоступной частоте и связи на аварийно-спасательной частоте в случае бедствия.

Кроме того, в ходе подготовки анализа отмечена необходимость переоснащения производственной и испытательной базы предприятий для серийного выпуска терминалов нового поколения для контроля параметров в соответствии с требованиями C/S T.001, C/S T.007, C/S T.018 и C/S T.021 КОС-ПАС-САРСАТ.

Все вышеуказанные выводы говорят о том, что в России имеется довольно широкий рынок внедрения абонентских аварийных терминалов КОС-ПАС-САРСАТ. Разработка и внедрение обозначенных терминалов сможет помочь спасти множество жизней людей при чрезвычайных ситуациях.

#### *Литература*

1. C/S G.003. Introduction to the Cospas-Sarsat System [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-G003-OCT-2014.pdf> (дата обращения: 10.04.2017).
2. C/S G.004. Cospas-Sarsat Glossary (English, French, Russian) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-G004-DEC-2016.pdf> (дата обращения: 10.09.2017).
3. C/S G.008. Operational Requirements for Cospas-Sarsat Second-Generation 406-MHz Beacons [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-G008-OCT-2014.pdf> (дата обращения: 10.09.2017).
4. C/S R.007. Cospas-Sarsat Report on System Status and Operations No. 32 (Jan - Dec 2015) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-R007-DEC-2016.pdf> (дата обращения: 10.09.2017).
5. C/S R.017. Second Generation 406 MHz Beacon Implementation Plan [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/R017-MAY-2016.pdf> (дата обращения: 06.09.2017).
6. C/S T.001. Specification for Cospas-Sarsat 406 MHz Distress Beacons [Элек-

- тронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T001-DEC-2016-Corr-1.pdf> (дата обращения: 05.09.2017).
7. C/S T.007. Cospas-Sarsat 406 MHz Distress Beacon Type Approval Standard [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T007-DEC-2016.pdf> (дата обращения: 05.09.2017).
  8. C/S T.018. Specification for Second-Generation Cospas-Sarsat 406-MHz Distress Beacons [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T018-DEC-2016.pdf> (дата обращения: 05.09.2017).

УДК 621.317

## Метод реализации синтеза диаграммы направленности в активной фазированной антенной решетке

**П.В. Мартынов**, аспирант, инженер 1 категории,  
**А.П. Маликов**, аспирант, инженер-конструктор 1 категории,  
**А.Е. Орлов**, начальник группы, кандидат технических наук,  
**Н.А. Кунаева**, заведующий аспирантурой, кандидат технических наук,  
Акционерное общество «Научно-производственное объединение  
измерительной техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королев, Московская область

*Основная задача, которую ставили перед собой авторы при написании статьи, – по возможности, систематически изложить принципиальные положения рассматриваемого синтеза диаграммы направленности в активной фазированной решетке и лежащие в его основе идеи, а также продемонстрировать техническую реализацию метода. Актуальность темы заключается в применении технологии обработки приемных высокочастотных сигналов на новой элементной базе. Данная технология позволяет повысить тактико-технические характеристики антенных систем и комплексов при испытаниях изделий ракетно-космической техники.*

Фазированная антенная решетка, коэффициент направленного действия, диаграмма направленности, амплитудно-фазовое распределение, фазовращатель.

## Method for realizing the synthesis of the directional pattern in the active phased array

**P.V. Martynov**, graduate student, first category engineer,  
**A.P. Malikov**, graduate student, first category design engineer,  
**A.E. Orlov**, head of group, candidate of engineering science,  
**N.A. Kunaeva**, head of the graduate school, candidate of engineering science,  
Stock company «Scientific-production Association measuring equipment»  
(SC «SP AME»), Korolev, Moscow region

*The main task set by the authors in writing the article – if possible systematically to present the fundamental provisions of the synthesis of the directivity diagram in the active phased array (PAA) and its underlying ideas, as well as demonstrate the technical implementation of the method. The application of processing technology for receiving high-frequency signals on a new element base. This technology improves the performance characteristics of antenna systems and systems under test rocket and space technology.*

Phased array antenna, the directivity of action, the radiation pattern, the amplitude-phase distribution, a phase shifter.

Современная радиотехническая обстановка, характеризующаяся высоким уровнем помех и плотностью заполнения всех частотных диапазонов, ставит перед разработчиками необходимость в создании многофункциональных антенных комплексов (АК), которые эксплуатируются в среде, а также в модернизации всех видов АК (бортовых, наземных) и радиосистем, находящихся в составе комплекса [1. С. 2, 4].

Одной из таких радиосистем АК является антенна (или антенная система), в значительной степени определяющая характеристики комплекса в целом. Различные изделия космической техники, как бортовые, так и наземные, имеют антенны различных свойств и частотных диапазонов, и обеспечение их электромагнитной совместимости в первую очередь зависит от конструкций антенн, входящих в состав высокочастотной части АК [1].

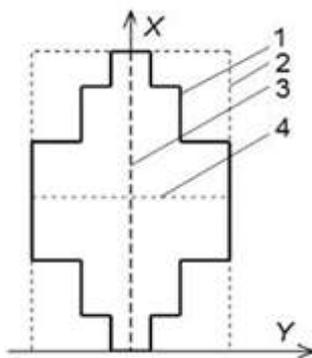
Фазированная антенная решётка (ФАР), состоящая из значительного числа излучающих элементов, объединенных единой электрической схемой и конструктивом, позволяет увеличить коэффициент направленного действия (КНД) примерно на число равное количеству этих излучателей по сравнению с одиночным излучателем, а также сузить луч для повышения точности определения угловых координат источника.

При этом очевидно, что ФАР также обеспечивает большую электрическую прочность по сравнению с одиночным излучателем.

Важной особенностью ФАР является обзор пространства при помощи изменения диаграммы направленности электрическими способами. Электрически управляемое фазовое распределение обеспечивает сканирование луча в пространстве со скоростью, которая гораздо выше скорости антенн с механическим сканированием. Переход антенны в определенную точку пространства луча ФАР зависит от быстродействия электронного фазовращателя или перестройкой частоты при частотном сканировании и не связан с массогабаритными характеристиками антенны. ФАР позволяют создать многофункциональные антенные комплексы, в которых за счет электрически управляемых СВЧ-устройств изменяется ширина диаграммы направленности в зависимости от задач, выполняемых радиосистемой [3].

Применение на практике современных электрически управляемых СВЧ-устройств позволяет создать управляемое фазовое распределение для сканирования пространства, а также производить непосредственную обработку данных в фидерном тракте антенны. Таким образом, современные антенны представляют собой сложные многофункциональные системы, содержащие десятки и более излучателей, фазовращателей, управление которыми осуществляется специальной ЭВМ [7, С. 10].

Функциональные возможности ФАР расширяются за счет применения совместно с каждым излучающим элементом активного приемного модуля [5, 6].



**Рисунок 1 – Плоский раскрыв ФАР:**

- 1 – граница реального раскрыва;  
 2 – граница равнозначного раскрыва;  
 3,4 – линейные антенные решетки в ортогональных сечениях равнозначного раскрыва

Авторами статьи были проведены исследования точности формирования диаграммы направленности активной ФАР с плоским раскрывом и произвольной границей, по отношению к вспомогательной диаграмме направленности. В качестве критериев точности применялось снижение коэффициента направленного действия (КНД) для раскрыва с границей 1 (рисунок 1) и величина нормированного среднеквадратического отклонения формируемой диаграммы направленности по отношению к диаграмме направленности прямоугольного раскрыва 2, определяемое следующим образом [2]:

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} |F_{aux}(\theta, \varphi) - F_0(\theta, \varphi)|^2 \sin \theta d\theta d\varphi}{\int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} |F_{aux}(\theta, \varphi)|^2 \sin \theta d\theta d\varphi} \quad (1)$$

Излучающий раскрыв антенны состоит из 384 излучателей. Вспомогательная диаграмма направленности формируется с использованием 480-элементного (40x12) прямоугольного раскрыва [2].

Излучатели располагаются во всех случаях вдоль обеих поляризаций на расстоянии друг от друга равном  $0.5\lambda$  (где  $\lambda$  – рабочая длина волны). Направления, в которых накладываются требования совпадения вспомогательной и синтезируемой диаграммы направленности, выбираются равномерно по углам  $\theta_\rho, \varphi_\rho$  в верхнем полупространстве. Указанные характеристики близки к характеристикам, изложенным в [5].

Рассматриваемый метод синтеза заключается в том, что из заранее рассчитанных массивов выбираются амплитудно-фазовые распределения  $A_{xm}^L, n = 1, \dots, N_x, A_{ym}^L, m = 1, \dots, N_y$ , где  $N_x, N_y$  – количество излучателей в равнозначных решетках максимальной длины из состава исследуемого плос-

кого раскрыва с произвольной границей [2].

В выбранных антенных решетках в заданных ортогональных линейках формируется общее амплитудно-фазовое распределение в раскрыве прямоугольной формы с  $N = N_x \times N_y$  излучателей. Вспомогательная диаграмма направленности  $F_{aux}(\theta, \varphi)$ , имеющая в главных плоскостях заданный закон огибающей боковых лепестков, определяется как диаграмма, формируемая равнозначным прямоугольным раскрывом:

$$F_{aux}(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^{N_x} \sum_{m=1}^{N_y} A_{mn} \mu_{mn}(\theta, \varphi) \exp(-ik(\sin \theta (x_{mn} \cos \varphi + y_{mn} \sin \varphi))), \quad (2)$$

где  $x_{mn}, y_{mn}$  - координаты излучателя, расположенного в точке пересечения  $m$ -й строки и  $n$ -го столбца,  $\mu_{mn}(\theta, \varphi)$  - его диаграмма направленности,  $A_{mn}$  - амплитудно-фазовое распределение равнозначного прямоугольного раскрыва, определяемое по строчно-столбцовому закону управления амплитудно-фазовым распределением в виде:

$$A_{mn} = A_{xn}^L \cdot A_{ym}^L. \quad (3)$$

Диаграмма направленности ФАР с плоским раскрывом из  $N$  элементов с произвольными границами, имеет вид:

$$F_0(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^{N_x} J_n \mu_n(\theta, \varphi) \exp(-ik(x_n \sin \theta \cos \varphi + y_n \sin \theta \sin \varphi)), \quad (4)$$

где  $x_n, y_n, \mu_n(\theta, \varphi)$  - координаты и диаграмма направленности  $n$ -го излучателя в составе излучающего раскрыва, имеющего произвольную границу [2, 4, 5].

При исследовании предполагалось, что диаграммы направленности излучателей в раскрыве ФАР и вспомогательном раскрыве являются одинаковыми.

Для определения амплитудно-фазового распределения  $J_n$  в данном раскрыве вводится условие: диаграмма направленности ФАР и вспомогательная диаграмма направленности в  $P$  направлениях совпадают [2]:

$$F_0(\theta_p, \varphi_p) = F_{aux}(\theta_p, \varphi_p), \quad (p = 1, \dots, P), \quad (5)$$

На первом этапе исследований проведена оценка влияния количества направлений  $P$ , на которых распространяется условие (5), на формирование диаграммы направленности с заданным законом изменения уровня боковых лепестков (УБЛ) в главных плоскостях. Указанные направления выбраны равномерно по азимуту и углу места с равным шагом в пределах полупространства. Исследования рассматривались для следующих условий:  $P=N$ ,  $P=4N$  и  $P=6N$ .

Выполненные исследования показали, что при выполнении условия  $P=N$  решение задачи амплитудно-фазового синтеза не имеет практического значения, поскольку зафиксированный УБЛ превосходит заданный. При вы-

полнении условия  $P=4N$  УБЛ практически совпадают. При условии  $P=6N$  УБЛ, формируемых диаграммой направленности, не превышает заданный. Таким образом, в дальнейшем решение задачи синтеза проводится при условии  $P=4N$ .

На втором этапе исследований проведен сравнительный анализ двух алгоритмов синтеза амплитудно-фазового распределения: возбуждение всех элементов раскрыва 1; возбуждение в пределах раскрыва 1 двух взаимно перпендикулярных линеек, представлены в таблице 1. Значения КНД для прямоугольного раскрыва соответственно равны 25,55 дБ и 21,85 дБ.

**Таблица 1 – Снижение КНД и среднеквадратическое отклонение  $\varepsilon$  вспомогательной**

Положение главного лепестка ДН	ФАР с раскрывом 1 на рис.1 и синтезированной диаграммой направленности		ФАР с раскрывом 1 на рис.1 при возбуждении по формуле (3)	
	КНД, дБ	$\varepsilon$	КНД, дБ	$\varepsilon$
$\theta_0 = 0^0$ , $\varphi_0 = 0^0$	24,87	0,006	23,43	0,012
$\theta_0 = 30^0$ , $\varphi_0 = 0^0$	21,37	0,022	18,37	0,166

Из анализа таблицы 1 следует: при совпадении луча главного лепестка диаграммы направленности с направлением приема сигнала КНД антенны увеличивается на 1,4 дБ; а при отклонении луча – на 3 дБ. При этом снижение КНД, связанное с отклонением формы излучающего раскрыва от равнозначной прямоугольной, в которую вписывается реальный раскрыв, не превышает 0,7 дБ при неотклоненном луче и 0,5 дБ при отклоненном на  $30^\circ$  от нормали к раскрыву луче. Тем не менее, незначительное снижение КНД позволяет уменьшить площадь раскрыва антенны на 25%, что примерно совпадает с [5].

По результатам выполненных исследований разработана функциональная схема реализации предлагаемого метода синтеза объемной диаграммы направленности ФАР с уровнем лепестков, меньшим заданного (рисунок 2).

Принцип работы данной схемы следующий: данные, к которым относятся направления формирования максимума диаграммы направленности  $F_0(\theta, \varphi)$  ФАР и заданный закон изменения огибающей УБЛ, поступают на вход блока формирования диаграммы направленности (БФДН), где преобразуются в цифровую форму. Из этих данных выбираются соответствующие амплитудно-фазовые распределения  $A_{xn}^L, n = 1, \dots, N_x$ ,  $A_{ym}^L, m = 1, \dots, N_y$ , для двух взаимно ортогональных линеек, выбранных из состава плоского раскры-

ва с произвольной границей и образующих равнозначный прямоугольный раскрыв (см. рисунок 1). В БФДН происходит вычисление амплитудно-фазового распределения  $A_{mn}$  равнозначного плоского раскрыва. По результатам расчёта определена вспомогательная диаграмма направленности  $F_{aux}(\theta, \varphi)$  в  $P$  направлениях, имеющая заданный закон огибающей боковых лепестков в главных плоскостях и необходимое значение КНД [2]. Сигналы, соответствующие значениям вспомогательной диаграммы направленности в  $P$  направлениях, поступают с выходов БФДН на входы блока обработки сигналов (БОС), в котором производится решение задачи амплитудно-фазового синтеза ФАР с плоским раскрывом и произвольной границей, и формируется минимальное среднеквадратическое отклонение синтезируемой диаграммы направленности от вспомогательной [2]. Также в БОС содержится микроконтроллер, управляющий коммутаторами, фазовращателями и аттенюаторами.

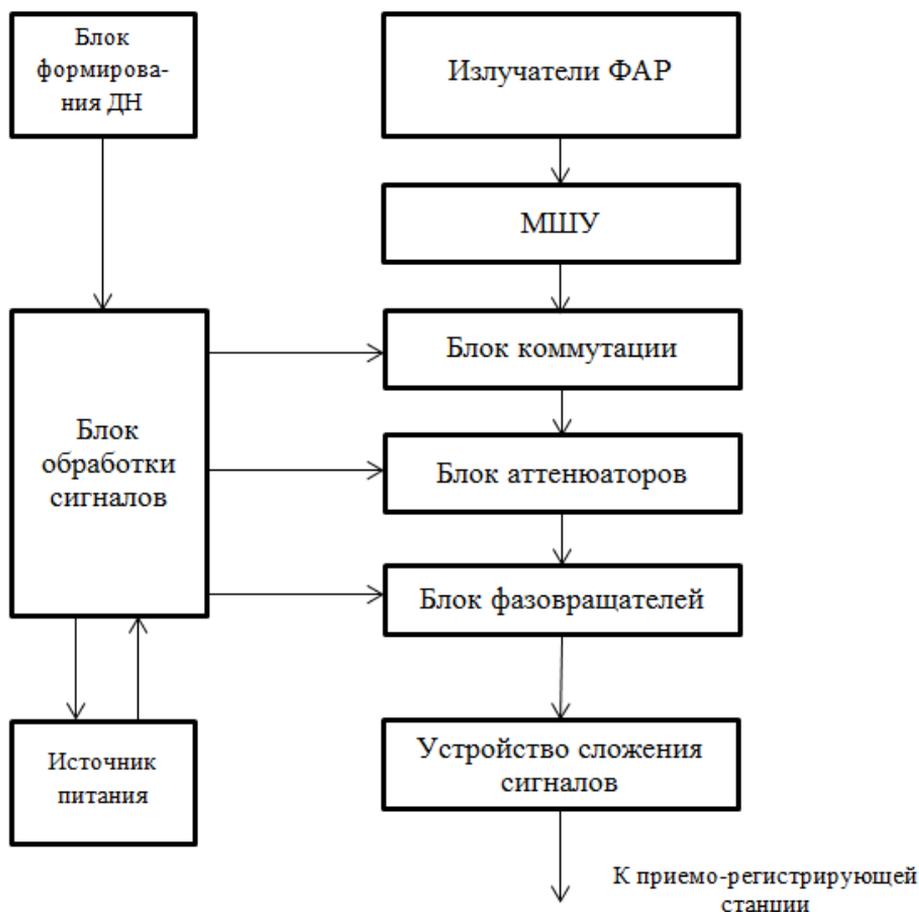


Рисунок 2 – Функциональная схема реализации предлагаемого метода синтеза диаграммы направленности

Сигналы, соответствующие значениям полей возбуждения в каналах ФАР с плоским раскрывом и произвольной границей, обрабатываются, и происходит выделение действительных и мнимых составляющих полей возбуждения, определение модуля и фазы указанных полей и формирование управляющих воздействий. Сигналы, соответствующие модулям полей возбуждения, поступают на входы аттенуаторов, а сигналы, соответствующие фазам полей возбуждения, - на входы фазовращателей.

Сигналы, принимаемые антенной, проходят через излучатели.

Малошумящие усилители (МШУ) предназначены для уменьшения шума и повышения коэффициента усиления приемного сигнала. Для каждого частотного диапазона и ортогональной поляризации установлен отдельный МШУ.

Коммутаторы, расположенные в составе ФАР осуществляют переключение частотного диапазона приемных сигналов. Аттенуаторы и фазовращатели, расположенные в составе ФАР, задают требуемые амплитуды и фазы, обеспечивающие формирование синтезированного амплитудно-фазового распределения.

Далее сигналы поступают на вход устройства сложения сигналов (УСС), в котором мощности принятых сигналов суммируются. Выходной сигнал с УСС соответствует ориентации антенны в направлении приема сигнала и тем самым обеспечивается формирование диаграммы направленности ФАР, имеющей плоский раскрыв с произвольной границей, в требуемом направлении при заданном законе огибающей боковых лепестков в главных плоскостях и необходимом значении КНД.

Питание всех блоков и устройств ФАР осуществляется с помощью источника питания.

Таким образом, предложенный в статье метод за счет точного формирования объемной диаграммы направленности с заданными законами изменения огибающей боковых лепестков не только в главных, но и промежуточных сечениях позволяет уменьшить площадь раскрыва антенны на 25% по сравнению с равнозначным раскрывом канонической формы. Установленное при этом снижение значения КНД не превышает 0,5 дБ даже при отклонении луча от нормали.

Данная система может быть успешно реализована в ФАР как перебазируемых, так и стационарных телеметрических комплексах с применением современной элементной базы.

#### *Литература*

1. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова // М.: Радиотехника. 2004. 488 с.: ил.
2. Габриэлян Д.Д., Звездина М.Ю., Цыпорина И.Г., Шацкий В.В., Шацкий Н.В. Формирование диаграммы направленности плоской активной фазированной антенной решетки с произвольной границей раскрыва // Журнал

- радиоэлектроники. 2012. № 12. [Электронный ресурс]. URL: <http://jre.cplire.ru/iso/dec12/1/text.pdf> (дата обращения: 25.09.2017).
3. Стрижков В.А. Направленные свойства и уровень бокового излучения слабовыпуклых фазированных антенных решеток // Антенны. 2007. № 1.С. 7-27.
  4. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ // М.: Высшая школа. 1988.
  5. Самойленко В.И., Шишов Ю.А. Управление фазированными антенными решётками // М.: Радио и связь. 1983.
  6. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. Теория и методы расчета // М.: Сов.радио. 1974.
  7. Шостак А.С. Антенны и устройства СВЧ: Учебное пособие // Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2012. 125 с.

УДК 621.391

**Анализ скорости кодирования кодов LDPC и традиционных помехоустойчивых кодов**

**О.Н. Сальников**, аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В работе исследованы зависимости скорости кодирования блочных кодов LDPC и широко используемых традиционных (БЧХ) кодов от длины кодового слова при фиксированном кодовом расстоянии.*

Кодирование, помехоустойчивость, анализ скорости.

**The analysis of LDPC code rate and traditional antinoise codes**

**O.N. Salnikov**, post graduate student of the Department of Information technologies and control systems,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*The code rate dependencies for LDPC and traditional error correcting codes (BCH) as a function of code length and code distance are studied.*

Coding, noise immunity, speed analysis.

**Введение**

Как известно, основной задачей современной телеметрии является передача информации от отправителя получателю с ожидаемой надежностью и своевременностью. Одним из методов повышения надежности информации является помехоустойчивое кодирование. Настоящая статья посвящена исследованию параметров кодов LDPC (проверка четности при низкой плотности) и других распространенных помехоустойчивых кодов. Одним из традиционных помехоустойчивых кодов является BCH (Bose-Choudhury-Nocquenguem). Многие исследовательские работы посвящены кодам BCH, их параметрам и методам кодирования/декодирования [1-4]. Коды BCH присутствуют в используемых современных телекоммуникационных технологиях. В противоположность этому, LDPC разработан в 1960 года Р. Галлахером [5]. Коды LDPC используются во многих высокотехнологичных телекоммуникационных технологиях, например. DVB-S2, IEEE 802.16 и др. [6]. Вместе с тем коды BCH все еще используются во многих современных телекоммуникационных системах и обладают надежными помехоустойчивыми свойствами [7].

**Задача**

Кодирование в космическом канале – это способ передачи данных по зашумленному радиоканалу, позволяющий безошибочно восстанавливать их на приемной стороне. При передаче цифровых данных по каналу с шумами имеется вероятность того, что принятые данные могут содержать ошибки. Наиболее эффективным способом исправления ошибок является применение методов помехоустойчивого кодирования. На сегодняшний день в теории кодирования известно множество методов их помехоустойчивого кодирования, различающихся корректирующей способностью, сложностью реализации и рядом других параметров [8]. В статье приводится анализ скорости кодирования получивших наиболее широкое применение методов коррекции ошибок LDPC и BCH, позволяющих работать вблизи пропускной способности канала. Важным критерием использования того или иного метода кодирования, является скорость кодирования, что позволяет использовать помехоустойчивое кодирование без расширения полосы частот или увеличения значности модуляции.

Данными для этого исследования являются параметры кодов LDPC и BCH такие как: - длина кода  $n$ ,  
- расстояние кода  $d$ ,  
- скорость кодирования  $R$ .

Известно, что коды LDPC не являются экспериментальными кодами, а параметры коррекции ошибок не могут быть просто рассчитаны, и для исследования этих параметров требуется множество статистических экспериментов [9].

Выходными данными являются зависимости кодовой скорости  $R$  от длины кода  $n$  и кодового расстояния  $d$ , где  $d$  – константа:

$$R = f(n, d)|_{d=const} \quad (1)$$

Целью такой сортировки LDPC и BCH является идентификация кода, который имеет лучшую кодовую скорость  $R$ , когда другие параметры помехоустойчивого кода равны:  $n_{LDPC} = n_{BCH}$ ,  $d_{LDPC} = d_{BCH} = const$ .

**LDPC и BCH.** Коды LDPC представляют собой унифицированные линейно-делимые помехоустойчивые коды. Формирование регулярных кодов LDPC с длиной кода  $n$  выполняется на основе проверочной матрицы  $H$ , которая имеет неизменные числа  $W_r$  в каждой строке и постоянные числа  $W_c$  в каждом столбце матрицы  $H$  [7]. Скорость кода обычного LDPC-кода может быть рассчитана на основе таких параметров кода LDPC, как длина кода и расстояние до кода (2):

$$R = (1,5354 - 0,085 \ln n) e^{\frac{d(0,0004n - 8,2657)}{2n}} \quad (2)$$

$$R = 1 - \frac{m(d-1)}{2n} \quad (3)$$

где  $m$  – положительное число. Важно отметить, что при значениях  $m > 10$  длина кода BCH становится больше, чем 1023 бита, и в этом случае слож-

ность кодирования / декодирования ВСН является очень высокой, и это может быть основной проблемой для использования кода ВСН с такой большой длиной слова. В противоположность этому, коды LDPC имеют относительно простые способы кодирования/декодирования, которые позволяют использовать длину кода с тысячами или десятками тысяч бит на кодовое слово. Согласно одной из теорем Шеннона: «Для канала с помехами всегда можно найти такую систему кодирования, при которой сообщения будут переданы со сколь угодно большой степенью верности, если только производительность источника не превышает пропускной способности канала» [11], таким образом, если длина кода стремится к бесконечности, то помехоустойчивый код способен исправлять ошибки с неопределенно малой вероятностью информации (разумеется, скорость передачи информации должна быть меньше пропускной способности канала). Характеристики  $R = f(n, d)|_{d=const}$  для кодов LDPC и ВСН с постоянным параметром  $d = 50$  и различными длинами кода показаны на рисунке 1. Логарифмическое приближение выполняется как для LDPC, так и для ВСН на рисунке 1. Рассмотрим линии для кодов LDPC и ВСН на рис. 1 при  $d = 50$ . Если мы блокируем значение длины кода  $n$ , например,  $N = 400$ , тогда мы можем увидеть, что скорость кода  $R$  кода LDPC выше, чем скорость кода ВСН-кода:

$$R_{LDPC} > R_{BCH}|_{d=const, n=const} \quad (4)$$

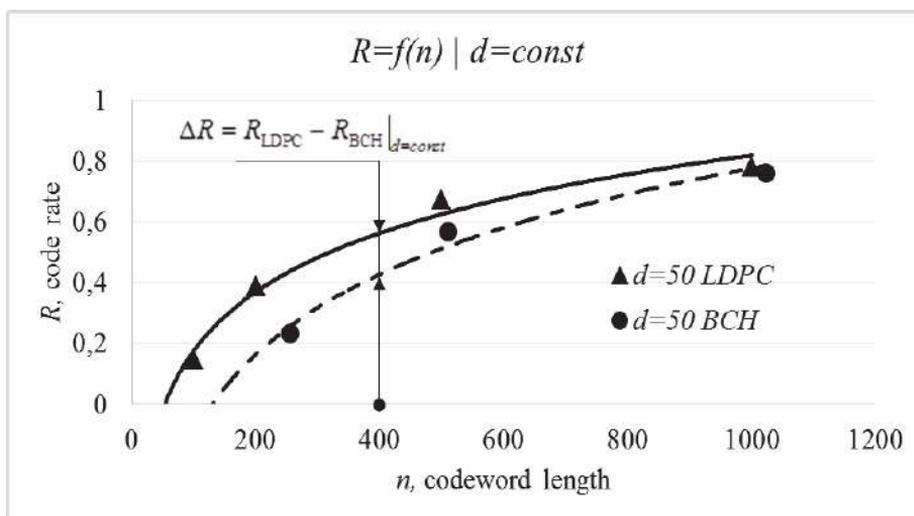


Рисунок 1 – Характеристики кодов LDPC и ВСН с фиксированным значением кодового расстояния  $d=50$  в зависимости от длины кодового слова  $n$

Если анализировать характеристики  $R = f(n, d)|_{d=const}$  для других значений  $d = const$  кодов LDPC и ВСН, то можно сказать, что тенденция, когда кодовая скорость LDPC выше, чем кодовая скорость ВСН  $R_{LDPC} > R_{BCH}$ , сохраняется для других значений кодового расстояния  $d$ , за исключением

только очень высоких значений кодового коэффициента  $R > 0,85$ . Это означает коды LDPC являются более предпочтительными, чем коды BCH, по критерию максимальной кодовой скорости  $R$  и равным другим параметрам: длина кода  $n$  и расстояние кода  $d$ . Вместе с этим, еще одним преимуществом кодов LDPC является меньшая сложность кодирования / декодирования.

### Вывод

Коды LDPC и BCH сравниваются в этой статье с критериями большей кодовой скорости  $R$ , когда другие параметры равны:  $n_{LDPC} = n_{BCH}$ ,  $d_{LDPC} = d_{BCH} = const$ . Исследование показало, что код LDPC является более предпочтительным, чем код BCH, поскольку скорость кода LDPC больше, чем скорость кода BCH, что означает, что код LDPC будет исправлять больше ошибок в кодовом слове. Вместе с этим дополнительным преимуществом кодов LDPC является возможность увеличения длины кодового слова до десятков тысяч бит и более простые операции кодирования и декодирования.

### Литература

1. Щагин А.В., Пью Хылам Хтут Особенности передачи информации с различной надежностью в одном канале // Инновационная наука. 2016. № 3-3(15), с. 126-129.
2. Костров Б.В., Гринченко Н.Н., Геращенко Е.С. Моделирование канала передачи аэрокосмических изображений с использованием каскадного кода // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2, с. 124-129.
3. Баринов В.В., Кузнецов В.С., Смирнов А.В., Перцев Л.В. Компьютерная модель и сравнение пропускной способности каналов для различных помехоустойчивых кодов // Т-Comm. Телекоммуникации и Транспорт. 2013. № 4. с. 29-31.
4. Поперечный П.С. Разработка параллельного кодера БЧХ с регулируемой корректирующей способностью // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. № 7(168). с. 19-31.
5. Gallager R. Low-Density Parity-Check Codes // MIT Press. 1963.
6. Ohtsuki T. LDPC codes in communications and broadcasting // IEIC Trans. Commun. vol. 90-B. no. 3, pp. 440-453. March 2007.
7. Урывский Л.А., Прокопенко Е.А., Пешкин А.М. Помехоустойчивые коды с максимальным приближением к границе Шеннона // Telecommunication Sciences. № 1. с. 41-46. 2011.
8. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник // М.: Горячая линия. Телеком. 2004. 126 с.
9. Деев В.В., Сирота С.В. Цифровая телеметрическая система с временным множественным доступом // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. № 6. с. 44-49.
10. Габидулин Э.М. Пилипчук Н.И. Лекции по теории // М.: МФТИ. 2007. 2014 с.

УДК 621.315.235

**Техническая эффективность параллельных многомодовых оптических кабельных трактов категории OM5 для ЦОД**

**А.Б. Семенов**, д.т.н., профессор,

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, (НИУ МГСУ), г. Москва,

**М.С. Былина**, к.т.н., доцент,

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург

*Показана целесообразность перехода на схему спектрального мультиплексирования при построении телекоммуникационной инфраструктуры современных центров обработки данных. Обоснована расчетная модель для определения предельной длины тракта с учетом зависимостей коэффициента затухания и широкополосности от длины волны. Выполнена оценка технического выигрыша при использовании новых многомодовых оптических волокон категории OM5.*

Оптическое волокно, центр обработки данных (ЦОД), длина тракта передачи, многомодовое оптическое волокно, категория OM5.

**Technical efficiency of parallel multimode optical cable channels category OM5 for data centers**

**A.B. Semenov**, Ph.D., Professor,

Moscow State National Research University of Civil Engineering, Moscow,

**M.S. Bylina**, Ph. D., associate Professor,

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg

*The expediency of transition to the principle of wavelength multiplexing scheme in the process of building the telecommunications infrastructure of modern data centers. Grounded computational model to determine the maximum length of the optical channel, which takes into account the dependence of attenuation- and bandwidth factors on the wavelength. Evaluated technical benefit to using a new generation wideband multimode optical fiber of category OM5.*

Optical fiber, data center, the length of optical channel, multimode optical fiber, category OM5.

Современные информационно-телекоммуникационные системы в большинстве случаев реализуются по централизованной схеме на основе центра обработки данных (ЦОД) [1-3, 10]. Для обеспечения приемлемого времени

отклика на поступающие запросы в ЦОД требуются быстродействующие проводные каналы связи.

Тракты передачи информации аппаратного зала ЦОД реализуются обычно на многомодовой (ММ) волоконной оптике. Поскольку широкополосность ММ оптического волокна (ОВ) ограничена, для реализации высокоскоростных трактов (40-100 Гбит/с) отдельно или в комплексе применяются [1, 7, 10]:

1) Схема пространственной параллельной передачи. Сигнал со скоростью  $V$  разделяется на  $n$  потоков (субканалов), каждый из которых имеет скорость  $V/n$ . Полученные потоки одновременно передаются по отдельным оптическим волокнам (ОВ). Многоволоконный кабель, ОВ которого используются для реализации схемы параллельной передачи, называют транковым кабелем.

2) Разреженное спектральное мультиплексирование в области коротких длин волн SWDM (Shortwave Wavelength Division Multiplexing). Сигнал со скоростью  $V$  разделяется на 4 потока (субканала), каждый из которых имеет скорость  $V/4$  и преобразуется в оптический сигнал со своей длиной волны (850, 880, 910 или 940 нм). Полученные потоки объединяются в групповой сигнал с помощью оптического мультиплексора и одновременно передаются по одному ОВ.

В начале 2017 года была стандартизирована новая категория OM5 ММ ОВ, предназначенных для создания высокоскоростных трактов с использованием схемы SWDM. В известных источниках отсутствует технико-экономический анализ такого решения, что не позволяет в полной мере оценить его эффективность. Далее рассмотрен вариант устранения данного пробела.

Небольшой срок, прошедший с момента официальной стандартизации технологии SWDM и ОВ категории OM5, не позволяет выполнить полноценный технико-экономический анализ. Поэтому в дальнейшем ограничимся оценкой только технической эффективности рассматриваемого решения, приняв в качестве ее численной меры величину

$$M = VL_0\xi, \quad (1)$$

где  $V$  – информационная скорость в тракте передачи в Гбит/с (суммарная по всем организуемым потокам);  $L_0$  – максимальная протяженность тракта, м;  $\xi = k/N$  – коэффициент использования транкового кабеля ( $k$  – число ОВ, используемых для параллельной передачи,  $N$  – общее число ОВ в кабеле).

Из (1) видно, что для расчета  $M$  необходимо оценить максимальную протяженность тракта  $L_0$  (дальность связи).

#### **Расчетная модель, используемые приближения и упрощения**

Будем считать, что передача производится по простому кабельному тракту, который согласно [8] состоит из стационарной линии и двух конечных аппаратных шнуров.

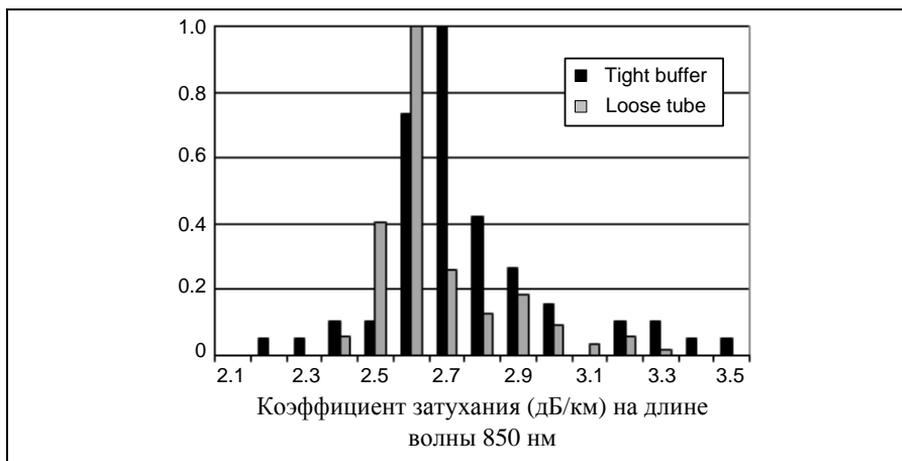


Рисунок 1 – Гистограмма коэффициента затухания ММ волоконно-оптических кабелей СКС

Обеспечение заданного качества информационного обмена в случае использования параллельной передачи требует выполнения норм по затуханию, дисперсионным искажениям и оптическому skew, под которым понимают разность между максимальным и минимальным временами задержки сигналов, при использовании параллельной схемы передаваемых по различным ОВ. Каждый из перечисленных факторов может ограничивать максимальную протяженность тракта СКС.

Характеристики линейных и шнуровых кабелей СКС в части перечисленных параметров эквивалентны. Это позволяет оперировать общей протяженностью тракта без учета ее распределения по отдельным составляющим.

В нормативных документах IEEE и ISO/IEC, регламентирующих максимальную протяженность  $L_0$  трактов СКС, предполагается, что типичное значение коэффициента затухания ММ ОВ составляет  $\alpha = 3.0$  дБ/км на длине волны  $\lambda = 850$  нм, а среднее затухание ММ разъемного соединителя (РС)  $A_c = 0.5$  дБ. Современные ММ ОВ и РС имеют меньшие потери. Из рис. 1 видно, что согласно накопленной статистике коэффициент затухания ММ ОВ составляет примерно 2.5 дБ/км. Ведущие производители РС в спецификациях на свою продукцию указывают среднее затухание в пределах 0.2 - 0.3 дБ. РС со сниженными потерями маркируются «Elite», «low loss» и т.п.

Улучшенные параметры серийно выпускаемых ОВ и РС позволяют увеличить протяженность тракта по сравнению с протяженностью, установленной стандартами (спецификационной). При дальнейшем анализе они не принимаются во внимание и рассматриваются как запас расчета.

Дисперсионные искажения в ОВ принято оценивать коэффициентом широкополосности  $\Delta F$  [4, 6, 9, 11], который зависит от длины волны  $\lambda$  и связан с дисперсией  $D$  известным соотношением  $D(\lambda) = k / \Delta F(\lambda)$ , где  $k$  – коэффициент, зависящий от формы сигнала и равный, например, 0.34 для прямоугольного импульса и 0.14 для импульса гауссовой формы.

Многомодовые параллельные кабельные тракты имеют протяженность не выше нескольких сотен метров. Это позволяет считать, что ширина полосы пропускания ОВ  $f_0$  обратно пропорциональна протяженности тракта  $f_0 = \Delta F / L$  [6].

Известно, что дисперсия в ММ ОВ складывается из двух составляющих – хроматической  $D_\lambda$  (ХД) и межмодовой  $D_{\text{мм}}$  (МД) [4, 6, 9, 11]. ОВ категории OM5 не используют механизм вычитания ХД из МД, который задействуется в некоторых типах ОВ с целью улучшения их частотных свойств [9]. Однако искажения сигналов в этих ОВ, обусловленные ХД, можно считать незначительными, так как: 1) Величина  $D_\lambda$  в спектральном окне 850 нм существенно меньше  $D_{\text{мм}}$  (для лазерных передатчиков отношение  $D_\lambda/D_{\text{мм}}$  не превышает 0.1 [10]); 2) Ширина линии излучения VCSEL-лазеров системы SWDM уменьшена с обычных 0.6 до 0.5 нм. Данная особенность позволяет отказаться от отдельного учета  $D_\lambda$ .

В общем случае в ММ ОВ могут существовать два типа направляемых лучей – меридиональные, траектория которых пересекает оптическую ось ОВ, и косые. В [12] показано, что для оценки дисперсии достаточно рассматривать только меридиональные лучи, поэтому далее влиянием косых лучей пренебрегаем.

Современные сетевые интерфейсы скоростного диапазона 40-100 Гбит/с согласно требованиям IEEE сохраняют свою работоспособность при величине оптического skew не свыше 79 нс/100 м. Фактически на практике в серийных транковых кабелях на основе волоконных лент или их аналогах обеспечивается значение 7.5-10 нс/100 м. Это позволяет отказаться от отдельного учета ограничения по skew.

Таким образом, для оценки максимальной протяженности тракта СКС будем учитывать только ограничения, накладываемые коэффициентом широкополосности и затуханием в ОВ.

### **Спектральная характеристика коэффициента широкополосности ММ ОВ**

ММ ОВ кабелей СКС имеют усеченный степенной профиль показателя преломления (ППП), который описывается выражением [12]:

$$n(r) = \begin{cases} n_{10} \cdot \sqrt{1 - 2\Delta \cdot (r/r_c)^q}, & 0 \leq r \leq r_c \\ n_2, & r_c < r \leq r_{cl} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $n_{10}$ ,  $n_2$  – показатели преломления (ПП) сердцевинки на оптической оси и оболочки ОВ, зависящие от длины волны,  $r_c$ ,  $r_{cl}$  – радиусы сердцевинки и оболочки ОВ,  $q$  – показатель степенного ППП,  $r$  – расстояние от оптической оси ОВ,  $\Delta = (n_{10}^2 - n_2^2) / 2n_{10}^2$  – высота ППП.

Лучи меридиональных мод в таких волокнах распространяются по синусоидальным траекториям и исчерпывающе характеризуются скалярным лучевым инвариантом  $B = n(r) \cdot \cos \theta_z(r)$ , определяющим направление луча в точке, находящейся на расстоянии  $r$  от оси.  $\theta_z(r)$  – угол между касательной к тра-

ектории луча и осью ОВ.

В [12] предлагается характеризовать луч удельным временем прохождения  $\tau$  (временем распространения луча на расстояние 1 км вдоль оптической оси ОВ) и определять дисперсию  $D$  как разность между минимальным  $\tau_{\min}$  и максимальным  $\tau_{\max}$  удельными временами прохождения лучей, соответствующих направляемым модам:

$$D = \tau_{\max} - \tau_{\min}. \quad (3)$$

В [12] показано, что  $\tau$  луча в ОВ с усеченным степенным ППП зависит только от его инварианта и определяется выражением:

$$\tau(B) = \frac{1}{c} \cdot \frac{n_{10g}}{q+2} \left[ (p+q) \cdot \frac{n_{10}}{B} + (2-p) \cdot \frac{B}{n_{10}} \right], \quad (4)$$

где  $n_{10g}$  – групповой ПП сердцевин ОВ на оптической оси,  $p$  – параметр внеосевой дисперсии материала сердцевин ОВ. Параметры  $n_{10g}$  и  $p$  зависят от длины волны  $\lambda$  и определяются как:

$$n_{10g} = n_{10} - \lambda \cdot \frac{dn_{10}}{d\lambda}, \quad p = \frac{n_{10}}{n_{10g}} \cdot \frac{\lambda}{\Delta} \cdot \frac{d\Delta}{d\lambda}. \quad (5)$$

Удельное время прохождения представляет собой функцию инварианта, имеющую минимум при  $B = B_m$  (рис. 2)

$$B_m = n_{10} \cdot \sqrt{(q+p)/(2-p)}. \quad (6)$$

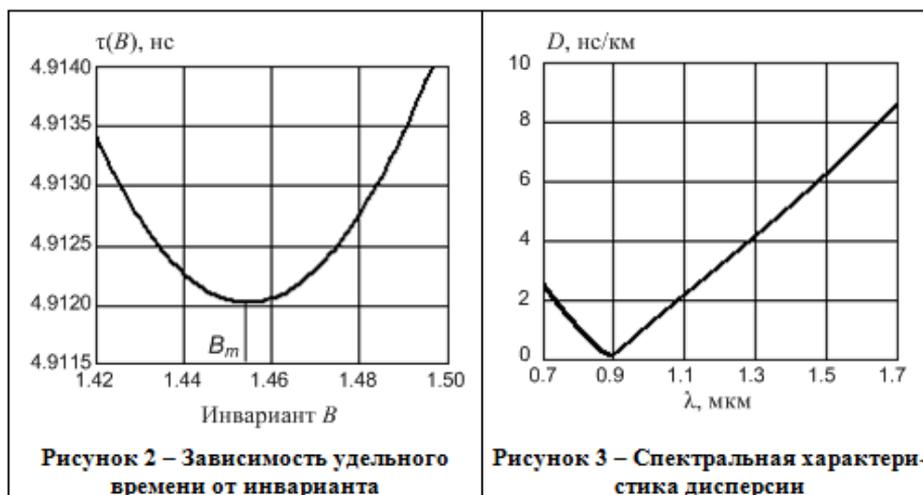
Учитывая, что направляемым модам соответствуют только лучи, для которых  $n_2 < B \leq n_{10}$ , для  $\tau_{\max}$  и  $\tau_{\min}$ , получаем:

$$\tau_{\max} = \max[\tau(n_{10}), \tau(n_2)],$$

$$\tau_{\min} = \begin{cases} \min[\tau(n_{10}), \tau(n_2), \tau(B_m)], & n_2 < B_m < n_{10} \\ \min[\tau(n_{10}), \tau(n_2)], & B_m < n_2 \text{ и } B_m > n_{10} \end{cases}. \quad (7)$$

где  $\max$  и  $\min$  обозначают выбор наибольшего или наименьшего из перечисленных значений.

На рисунках 2 и 3 представлены результаты расчетов по (3)-(7) для ММ ОВ с усеченным степенным ППП, имеющим чисто кварцевую оболочку и сердцевину, легированную оксидом германия  $\text{GeO}_2$  с концентрацией на оптической оси 13.5 молярных процентов. Показатель степенного профиля  $q$  принимался равным 2.



Из рисунка 3 видно, что спектральная характеристика дисперсии достигает явно выраженного минимума на определенной длине  $\lambda_0$  волны. Конкретное значение  $\lambda_0$  и обеспечиваемого на ней  $\Delta F$  меняется в достаточно широких пределах в зависимости от концентрации легирующих добавок в сердцевине волокна. Последнее означает: 1) относительную простоту перехода к категории OM5, требуемые спектральные параметры которых обеспечиваются изменениями концентрации легирующих добавок; 2) потенциальную возможность использования кабельных трактов категории OM3 и OM4 для поддержки функционирования сетевых интерфейсов SWDM.

#### Частотные свойства волокна в рабочей полосе SWDM

ОВ категорий OM3-OM5 изготавливаются по одинаковой технологии, имея только различную концентрацию легирующих добавок в сердцевине. Это позволяет в дальнейшем считать их эквивалентными в части  $\alpha$  и  $\Delta F$  на оптимальной длине  $\lambda_0$  волны.

Из рисунка 3 видно, что спектральная характеристика дисперсии в довольно широкой окрестности  $\lambda_0$  демонстрирует высокую линейность. Типовая крутизна составляет порядка 10 нс/мкм при  $\lambda < \lambda_0$  и 8 нс/мкм при  $\lambda > \lambda_0$ .

Для обеспечения обратной совместимости ОВ категории OM5 с «одноволновыми» световодами категории OM4, изделия OM5 должны иметь  $\Delta F = 4700$  МГц·км при  $\lambda = 850$  нм. Совместимость возможна за счет того, что ведущие производители ОВ обеспечивают в своей продукции категории OM4 существенный запас по широкополосности:  $\Delta F = 6$  ГГц·км при  $\lambda = 850$  нм.

Примеры спектральных характеристик ОВ различных категорий приведены на рисунке 4.

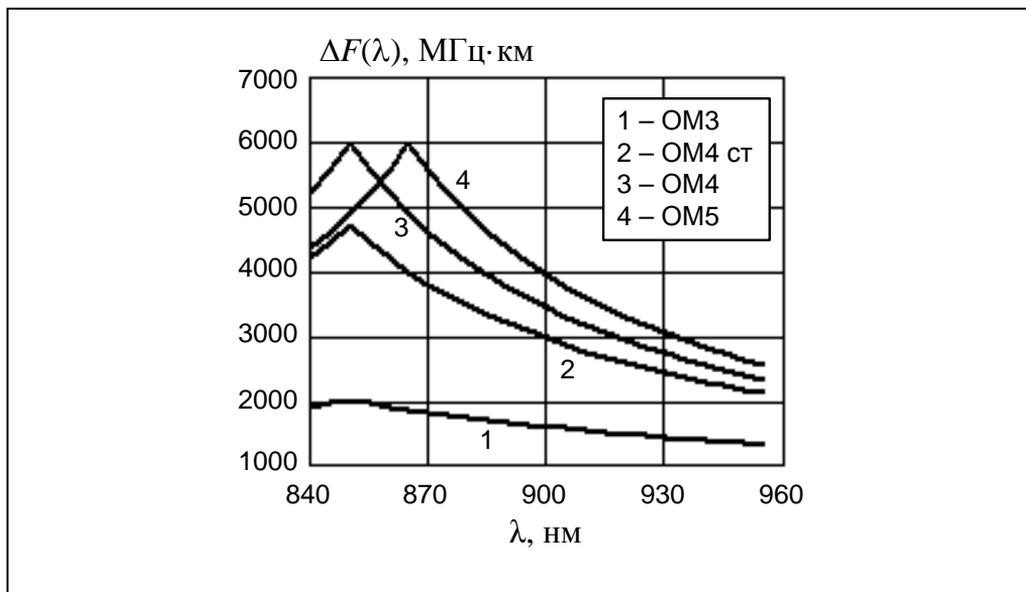


Рисунок 4 – Расчетная спектральная характеристика коэффициента широкополосности градиентных ММ ОВ

### Спектральная характеристика коэффициента затухания

Основной вклад в коэффициент затухания ОВ  $\alpha$  вносят фундаментальные рэлеевские и микроизгибные потери. Кабельные потери согласно рисунку 1 достаточно малы и отдельно не учитываются. Рэлеевские потери на основании [5] с учетом уточнений [11] равны (дБ/км):

$$\alpha_p = 0,9 / \lambda^4. \quad (8)$$

Микроизгибная составляющая рассматривается как константа и на основании данных табл. 1 составляет  $\alpha_{ми} = 0,78$  дБ/км. В дальнейшем принимается  $\alpha = \alpha_p + \alpha_{ми} + X$ , где  $X = 0,5$  дБ/км – эксплуатационный запас. Такое аналитическое описание дает точность оценки  $\alpha(\lambda)$ , достаточную для корректного выполнения инженерных расчетов.

### Предельная дальность связи

Предельная протяженность тракта СКС  $L_0(\lambda)$  представляет собой решение уравнения энергетического баланса относительно  $L$  [7]:

$$E = A_c + \alpha(\lambda)L + P(L, \lambda) + Z, \quad (9)$$

где  $E$  – энергетический потенциал сетевого интерфейса,  $A_c$  – суммарные потери в РС,  $\alpha$  – коэффициент затухания ОВ,  $L$  – протяженность тракта,  $P$  – дисперсионный штраф (дополнительные потери, определяемые уменьшением амплитуды импульсного сигнала из-за дисперсионных искажений),  $Z$  – дополнительные потери, зависящие от схемы реализации параллельной передачи.

Если технология SWDM не используется, следует считать  $Z = 0$ . При использовании SWDM параметр  $Z$  учитывает наличие в тракте передачи мультиплексора и демультимплексора. В доступной литературе отсутствуют данные о потерях, вносимых мультиплексором и демультимплексором SWDM, поэтому в данной работе эти потери приняты равными средним потерям, вносимым мультиплексором и демультимплексором CWDM, рассматриваемым как ближайший аналог, и для дальнейших расчетов принято  $Z = 2.5$  дБ.

Таблица 1 – Некоторые параметры ММ ОВ категории OM5

Длина волны, нм	840	850	900	925	953	1300
$\Delta F$ в режиме лазерного возбуждения, МГц·км:						
– спецификационный	3840	4700	2900	2700	2550	–
– расчетный (при $\lambda_0=865$ нм)	4160	4740	3900	3150	2640	–
$\Delta F$ в режиме возбуждения с переполнением, МГц·км	–	3500	–	–	1850	500
$\alpha$ по ANSI/TIA-492AAAE и IEC 60793-2-10, дБ/км	2.5	2.5	–	–	1.8	0.8
$\alpha$ расчетный, дБ/км	2.54	2.5	2.1	2.0	1.86	–
ХД, пс/(нм·км)	103	–	–	–	61.7	–
Крутизна спектральной характеристики ХД, пс/(нм <sup>2</sup> ·км)	–	–	–	–	–	$9.35 \times 10^{-2} (*)$

\* – на длине волны 1328 нм

Дисперсионный штраф в дБ составляет [7]:

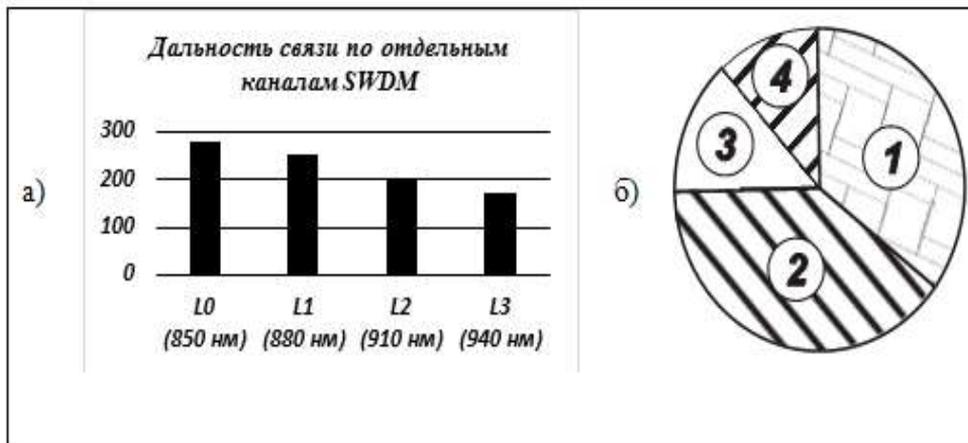
$$P = \begin{cases} 2.24 (f_m / f_0) - 0.6 & \text{при } f_0 < 0.27 f_m \\ 0 & \text{при } f_0 > 0.27 f_m \end{cases}, \quad (10)$$

где  $f_m$  – тактовая частота линейного сигнала. Для сетевых интерфейсов с канальной скоростью 25 Гбит/с с учетом использования в линии блочного бинарного кода 64B66B имеем  $f_m = 25.75$  ГГц, у 10-гигабитной техники 10G Base-SR  $f_m = 10.31$  ГГц.

Из (9) с учетом (10) получаем ( $E' = E + 0.6 - A_c - Z$ ):

$$L_0(\lambda) = \frac{E'}{2.24 f_0 / \Delta F(\lambda) + \alpha(\lambda)}. \quad (11)$$

Зависимость предельной дальности связи от номера спектрального канала SWDM, рассчитанная по (11), приведена на рис. 5а. Распределение отдельных составляющих потерь для канала L3, который определяет предельную дальность связи, представлено на рис. 5б.



**Рисунок 5 – Некоторые характеристики отдельных спектральных каналов системы SWDM:** а) предельная расчетная дальность связи по каналам L0-L3, м; б) распределение отдельных составляющих потерь для канала L3 (1 – мультиплексор-демультиплексор; 2 – дисперсионный штраф; 3 – разъемы; 4 – ОВ в кабелях и шнурах)

В окрестности  $L = L_0$  на основании (11) имеем

$$\left| \frac{\partial L / \partial \Delta F}{\partial L / \partial \alpha} \right| = \frac{2.24 f_m}{[\Delta F(\lambda)]^2}. \quad (12)$$

Из (12) следует, что для канальной скорости 25 Гбит/с неравенство  $|(\partial L / \partial \Delta F) / (\partial L / \partial \alpha)| > 1$  будет справедливо при  $\Delta F < 7.4$  ГГц·км.

Последнее ограничение для спектрального канала L3 при современном уровне техники имеет всеобщее действие и означает необходимость совершенствования в первую очередь частотных свойств ОВ в случае выдвижения со стороны практики требований в части роста предельной дальности связи.

#### **Эффективность вариантов реализации кабельных трактов**

Решение уравнения баланса (9) дает возможность определить техническую эффективность  $M$  в соответствии с (1), что отражено в таблице 2. Наряду с оборудованием SWDM в таблице 2 для сравнения представлены величины  $M$  «одноканальных» сетевых интерфейсов, в том числе предыдущего поколения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что:

- 1) наращивание скорости передачи увеличивает техническую эффективность  $M$ , несмотря на одновременное уменьшение  $L_0$ ;
- 2) технология разреженного спектрального уплотнения имеет преимущество как над обычными дуплексными, так и над параллельными схемами передачи. Достигнутый выигрыш обеспечен в первую очередь более полным использованием возможностей ОВ как среды передачи.

Таблица 2 – Расчетная эффективность ОВ разных категорий для сетевых интерфейсов с различным уровнем быстродействия

Категория ОВ	Скорость передачи, Гбит/с		$\xi$	Максимальная протяженность тракта $L_0$ , м			$M$ , (Гбит/с)×км
	Канальная	Общая		Спецификац.	Расчетная	Запас, %	
ОМ3	10	10	1 (ДП)	300	418	46	3.0/4.2
	25	25	1 (ДП)	-	192	-	-/4.8
ОМ4	10	10	1 (ДП)	500	749	45	5.0/7.5
	25	25	1 (ДП)	-	398	-	-/10.0
ОМ3	25	100	0.67 (Base12)	75	79	13	5.0/5.3
	25	100	1 (Base8)	75	79	13	7.5/7.9
ОМ4	25	100	0.67 (Base12)	100	122	22	6.7/8.2
	25	100	1 (Base8)	100	122	22	10.0/12.2
ОМ5	25	100	1 (ДП)	150	173	15	15.0/17.3

Решение уравнения (9) показывает, что в случае спектрального уплотнения по технологии SWDM наиболее существенным фактором, ограничивающим предельную дальность связи, становятся сильные дисперсионные искажения спектрального канала L3, верхнего по шкале длин волн. Уменьшение коэффициента затухания лишь частично демпфирует этот процесс.

Отмеченная выше слабая зависимость  $L_0(\lambda)$  от  $\alpha$  не позволяет существенно нарастить  $M$  за счет применения элементной базы с улучшенными параметрами в части вносимого затухания.

Детерминированный характер зависимости  $\Delta F(\lambda)$  означает возможность использования СКС, ранее реализованных на основе транковых кабелей с волокнами категории ОМ4, для поддержки техники SWDM. Данная возможность несколько увеличивает техническую эффективность решения в целом, доводя расчетную величину параметра  $M$  до 12.2 (Гбит/с)×км.

Передача данных с общей скоростью 100 Гбит/с по параллельной схеме с организацией 4 дуплексных каналов требует 8 волокон транкового кабеля. Поэтому в случае применения схемы Base12 типовой 12-волоконный транковый кабель окажется используемым не полностью (4 волокна не задействуются), т.е.  $\xi = 0.67$ . Целенаправленный отказ от Base12 в пользу быстро набирающей популярности схемы Base8, у которой  $\xi = 1$ , частично исправляет ситуацию, но не позволяет технике пространственного уплотнения сравняться с комбинацией ОМ5 + SWDM в части технической эффективности.

#### Заключение

1. Техническую эффективность ММ линий связи аппаратного зала ЦОД усиливает как наращивание общей скорости передачи, так и переход на более качественную элементную базу.
2. Обращение к технологии разреженного спектрального уплотнения SWDM позволяет более чем на 40% увеличить техническую эффектив-

ность ММ трактов передачи, экономически выгодных в аппаратном зале ЦОД.

3. Основным средством улучшения эффективности ММ оптических трактов СКС для ЦОД является совершенствование частотных свойств ОВ транковых и шнуровых кабелей.
4. В случае использования технологии SWDM параметры оптического тракта определяются субканалом с максимальной рабочей длиной волны.
5. Волокна категории OM3 по технической эффективности сильно уступают волокнам OM4 и, особенно, OM5, поэтому они не рекомендуются для применения в новых проектах
6. Системы со спектральным уплотнением намного более критичны к соблюдению ограничения в части превышения максимальной спецификационной протяженности оптического тракта.

#### *Литература*

1. Аббасова Т.С. Оптимизация и стандартизация оптической среды взаимодействия вычислительных комплексов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2017. № 1 (112). С. 86-99.
2. Аббасова Т.С., Самаров К.Л. Системный анализ параметров эффективности телекоммуникационного оборудования // Информационно-технологический Вестник. № 2 (08). 2016. С. 49-60.
3. Аббасова Т.С. Современные информационные технологии для анализа помехозащищенности волоконно-оптических коммуникаций // Информационно-технологический Вестник. № 4 (10). 2016. С. 3-17.
4. Бутусов М.М., Верник С.М., Галкин С.Л. и др. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. для вузов / под ред. В.М. Гомзина // М.: Радио и связь. 1992. 416 с.
5. Гроднев И.И., Мурадян А.Г., Шарафутдинов Р.М. Волоконно-оптические системы передачи и кабели. Справочник // М.: Радио и связь. 1993. 264 с.
6. Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи // М.: Горячая линия. Телеком. 2009. 272 с.
7. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС // М.: ДМК-Пресс. 2005. 640 с.
8. Семенов А.Б. Классические структурированные кабельные системы // М.: Горячая линия. Телеком. 2016. 462 с.
9. Семенов А.Б. Многомодовое волокно с улучшенными частотными свойствами // Журнал сетевых решений / LAN. № 2. 2013. С. 48-54.
10. Семенов А.Б. Структурированные кабельные системы для центров обработки данных // М.: Компания Стинс Коман. ДМК Пресс, 2014. 232 с.
11. Складаров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. 2-е издание // СПб: Лань. 2010. 267 с.
12. Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов // М.: Радио и связь. 1987. 656 с.

УДК 62-83:681.5

**Исследование системных связей в системе дистанционного управления мобильными измерительными пунктами**

**А.И. Татаринов**, аспирант кафедры Информационных технологий и управляющих систем,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Для исследования связей между элементами системы дистанционного управления следует применять системный анализ. Это позволяет оценить работу любой системы, как единого целого, так и отдельных ее элементов, понять структуру системы, выявить и провести анализ системных связей между элементами.*

*С целью обеспечения дистанционного управления (ДУ) мобильным измерительным пунктом, а также получения от него измерительной информации и информации состояния требуется проанализировать все аспекты информационного взаимодействия с МИП.*

*В результате проведенного исследования выяснилось, что в информационном обмене со стороны МИП должны участвовать следующие составные части: сервер мобильного измерительного пункта, система мобильная антенная, малогабаритная приемная радиотелеметрическая станция.*

*Также проведенное исследование показало, что информационное взаимодействие с МИП должно организовываться по следующим направлениям:*

*– прием сервером МИП исходных данных (ИД) для проведения сеансов измерений;*

*– передача сервером МИП информации о текущем состоянии дистанционному оператору;*

*– дистанционное управление МИП через отправку команд с сервера МИП системе мобильной антенной, малогабаритной приемной радиотелеметрической станции и получение ответных сообщений от них;*

*– передача сервером МИП зарегистрированной измерительной информации дистанционному оператору после проведения сеанса измерений;*

Измерительная информация, системный анализ, мобильный измерительный пункт, дистанционное управление, система мобильная антенная, малогабаритная приемная радиотелеметрическая станция, сервер.

## Research of system communications in the remote control system of mobile measuring points

**A.I. Tatarinov**, post-graduate student of the Department of Information Technologies and Control Systems,  
State Educational Institution of Higher Education Moscow Region  
«University of technology», Korolev, Moscow region

*System analysis is used to study the relationships between the elements of the remote control system. This allows us to evaluate the operation of any system, as a whole, as well as its individual elements, to understand the structure of the system, to identify and conduct an analysis of systemic relationships between the elements.*

*In order to provide remote control (RC) by a mobile measuring point, as well as receiving from it measurement information and state information, it is required to analyze all aspects of information interaction with IIP.*

*As a result of the study, it was found out that the following components should participate in the information exchange from the MMP: the mobile measuring point server, the mobile antenna system, the small reception radio-telemetry station.*

*Also the conducted research has shown that the information interaction with MMP should be organized in the following directions:*

*– reception of initial data (ID) by the MMP server for conducting measurement sessions;*

*– transfer by the MMP server of information about the current state of the remote operator;*

*– remote control of the MMP by sending commands from the MMP server to the mobile antenna system, a small receiving radio telemetry station and receiving response messages from them;*

*– transfer by the MMP server of the registered measurement information to the remote operator after the measurement session.*

Measuring information, system analysis, mobile measuring point, remote control, mobile antenna system, small reception radio-telemetry station, server.

В настоящее время очень актуальна проблема выбора измерительных пунктов, анализ финансовых затрат как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации. Это зависит от следующих факторов. Во-первых, готовое телеметрическое изделие должно отвечать всем требованиям, которые ставят различные организации по стандартизации в области передачи и обработки информации по каналам связи. Во-вторых, готовое изделие должно работать как с новыми, так и со старыми системами обработки телеметрической информации, тем самым расширяя сферу его применения. И в-третьих, изде-

лие должно отвечать критерию «цена-качество».

Развитие современных МИП ориентировано на решение этих факторов, при этом МИП обладают следующими преимуществами перед стационарными:

- значительное снижение числа обслуживающего персонала;
- транспортабельность – возможность экономичной транспортировки в нужную рабочую точку всеми видами транспорта с соблюдением установленных правил перевозок, в том числе международных;
- возможность реализации методов дистанционного управления и мониторинга;
- возможность изменения конфигурации и модернизации под конкретные задачи.

Но, несмотря на эти преимущества, использование стационарных ИП не теряет своей актуальности. Введение в эксплуатацию МИП прежде всего обусловлено тем, что с распадом СССР сократилась территория нашего государства, что усложнило процессы строительства новых ИП по трассам полётов КА. Ряд объектов измерительных комплексов, в том числе космодрома «Байконур» перешли под юрисдикцию сопредельных государств. Ряд объектов были ликвидированы. Отсюда напрямую определяется необходимость использования МИП при запусках, требующих размещение ИП за пределами страны. Также стоит отметить, что использование МИП позволяет осваивать новые трассы запуска КА. Это позволяет осваивать околоземное пространство более эффективно[4].

При создании и модернизации новых комплексов для измерения телеметрической информации большое значение имеет снижение экономических затрат, которое происходит за счет отказа от стационарных измерительных комплексов в пользу вахтового метода работы на мобильных измерительных пунктах. При этом перспективы создания и внедрения системы дистанционного управления хотя бы частью узловых агрегатов мобильного измерительного пункта дадут удобство и заметную выгоду в использовании измерительной аппаратуры ракетно-космической техники.

В настоящее время существуют разработки МИП различных вариантов построения. Но все ориентированы на одну цель – своевременно принимать, обрабатывать телеметрическую информацию и передавать её потребителям, в число которых входит и центральный пункт управления полётами. Программа дистанционного управления позволит реализовать следующие функции:

- обеспечение передачи исходных данных на мобильный измерительный пункт с большой дистанции;
- обеспечение настройки и работы систем, входящих в состав мобильного измерительного пункта на основе исходных данных;
- реализация удаленным оператором автономных проверок мобильного измерительного пункта;

- обеспечение получения дистанционным оператором телеметрической информации;

- получение по запросу необходимой информации о состоянии, режиме и результатах работы до десяти удаленным клиентам.

Для эффективной работы системы дистанционного управления мобильными измерительными пунктами (МИП) были разработаны следующие режимы работы системы дистанционного управления [5-7]:

1. «Ожидание» – начальное состояние, в котором объект диагностируется. В этом режиме есть команды для установки и запроса параметров и команды для переключения на другие режимы работы.

2. «Настройка часов» – режим синхронизации часов в соответствии с сигналом системы единого времени (СЕВ) или GPS/ГЛОНАСС. По завершении процедуры конфигурации часов объект управления автоматически возвращается в режим ожидания, в котором производится запрос параметров времени и проверка правильности настройки[6].

3. «Автоконтроль» – режим для проверки МИП с целью оценки всех систем на готовность к работе: автономные проверки и оценка помеховой обстановки. В этом режиме осуществляется автоматическое управление системой мобильной антенной (СМА) и малогабаритной приемной радиотелеметрической станцией (МПРС);

4. «СМА» – это режим управления антенной. В этом режиме команды перенаправляются с сервера на контроллер СМА, а ответы передаются в обратном направлении. Объект управления переходит в режим «Ожидания» непосредственно по команде на возврат в исходное состояние. По двойному вызову команды перехода в режим «Ожидание» реализуется выход из внутренних режимов СМА. Первая команда устанавливает СМА в режим «Ожидание», вторая команда реализует уже переход сервера из режима «СМА» в режим «Ожидание».

5. «МПРС» – это режим управления приемником, в котором команда перенаправляется с сервера на контроллер МПРС, и ответ направляется в противоположном направлении. Объект управления переходит в режим «Ожидания» непосредственно по команде на возврат в исходное состояние. По двойному вызову команды перехода в режим «Ожидание» реализуется выход из внутренних режимов МПРС. Первая команда устанавливает МПРС в режим «Ожидание», вторая команда реализует уже переход сервера из режима «МПРС» в режим «Ожидание».

Все режимы поддерживают запрос текущего состояния и безусловного возвращения в режим «Ожидание», который является исходным состоянием объекта управления (рис. 1).

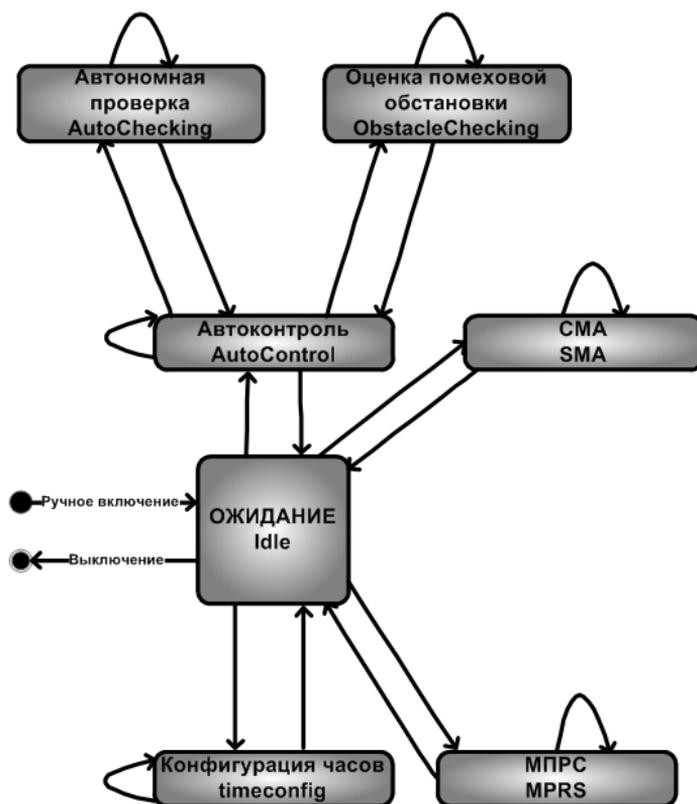


Рисунок 1 – Схема режимов работы сервера МИП

Для дальнейшего анализа разработана диаграмма смены режимов системы дистанционного управления (рис. 2), которая отображает способы подключения клиента к серверу МИП, действия, выполняемые в режиме «Ожидания», и случаи, в которых система генерирует ошибку. На этой схеме показаны условия для перехода из одного режима в другой и условия отключения (Disconnect). При попытке подключения клиента (Connection) сервер сравнивает IP-адрес со списком запрещенных IP-адресов. Если они совпадают, сервер выдает ошибку. То же самое происходит, когда клиент отключается. Когда клиент подключен, сервер переходит в режим «Ожидание» и циклически отправляет команду (Ping) для проверки наличия соединения. Клиент должен получить ответное сообщение (Pong) для подтверждения наличия соединения. Затем происходит обмен данными (командами, запросами, ответами) между сервером и клиентом. Когда обмен завершен, клиент отключается от сервера (Disconnect).

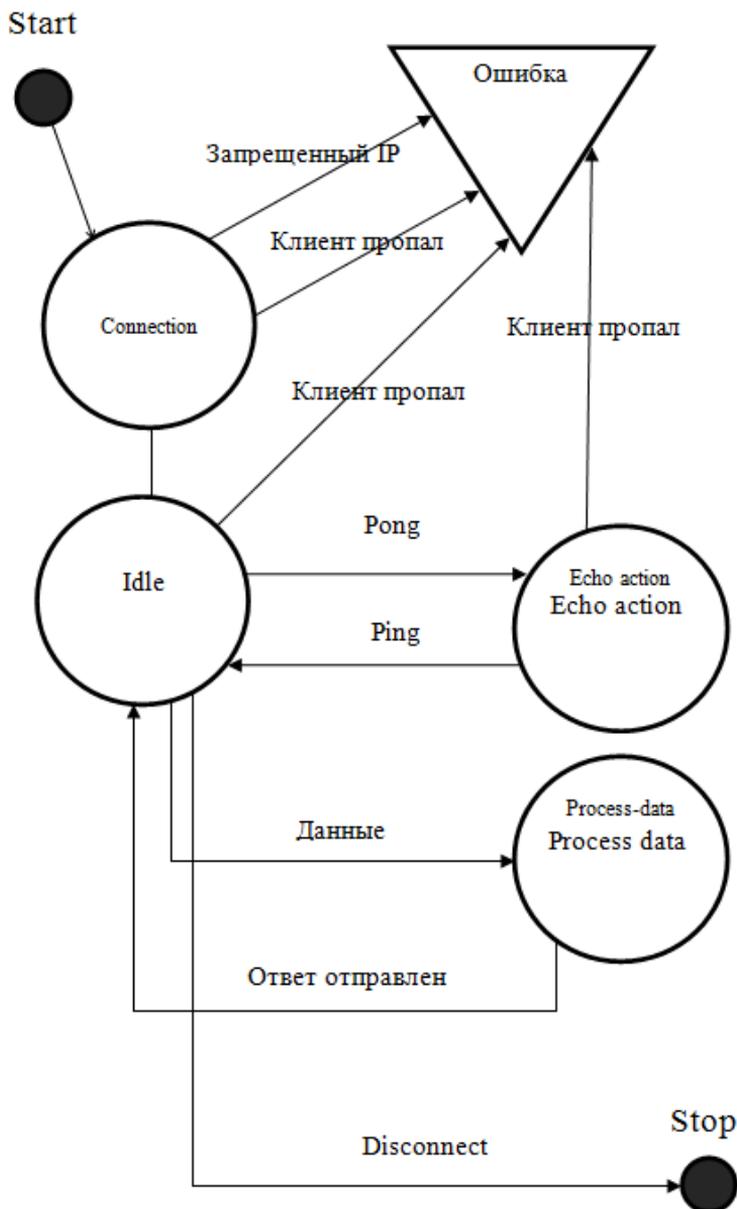


Рисунок 2 – Диаграмма смены режимов сервера ДУ МИП

В процессе исследования логической структуры системы дистанционного управления построена схема, показанная на рисунке 3. Главным элементом при информационном взаимодействии является сервер. На сервер приходят исходные данные для работы, а также команды управления для элементов системы, отправленные клиентами системы дистанционного управления и удаленным оператором. При получении команды сервер отправляет ответ

удаленному оператору, а затем распределяет команды, соблюдая временные интервалы, на элементы системы дистанционного управления мобильными измерительными пунктами. Apache и Cgi используются для взаимодействия оператора и клиентов с сервером с использованием графического интерфейса.

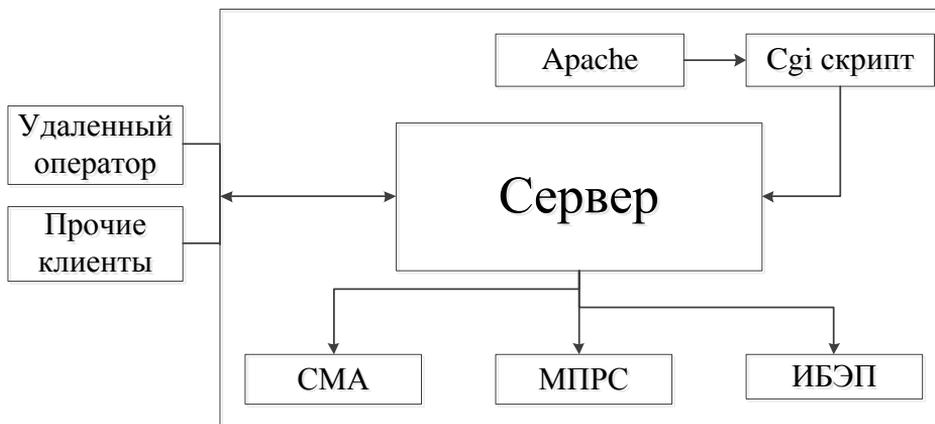


Рисунок 3 – Логическая структура ДУ МИП

Подводя итог, стоит отметить, что у МИП есть большой потенциал, но для размещения в труднодоступных местах требуется доработка, а именно, дистанционное управление.

Дистанционное управление напрямую связано с автоматизацией управления. Автоматизированная система управления (АСУ) представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления технологическим процессом, производством и различными процессами внутри компании в рамках технологического процесса. АСУ используются в различных отраслях промышленности, энергетике, транспорте. В отличие от термина «автоматический» термин «автоматизированный» подразумевает сохранение некоторых функций управления за оператором, либо наиболее общего характера, либо не поддающихся автоматизации. Важнейшей задачей автоматизированной системы управления является повышение эффективности управления объектом на основе повышения производительности труда и совершенствования методов планирования процесса управления [1-3].

#### Литература

1. Артюшенко В.М., Кучеров Б.А. Организация информационного обмена между элементами наземного комплекса управления группировкой космических аппаратов // Прикладная информатика. 2014. № 1 (49). С. 33-43.
2. Артюшенко В.М. Системный анализ в области управления и обработки информации: монография / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Ю. В. Стрелюк, Н. А. Васильев, И. М. Белюченко, К. Л. Самаров, В. Н. Зиновьев, С. П. Посеренин, Г. Г. Вокин, А. П. Мороз, В. С. Шайдуров, С. С. Шаврин /

- под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // Королев МО: МГОТУ. 2015. 168 с.
3. Артюшенко В.М. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации // В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, И. М. Белюченко / под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // Королев. ГБОУ ВПО МО ФТА. 2014. 318 с.
  4. Назаров А.В. Современная телеметрия в теории и на практике / А.В. Назаров, Г.И. Козырев, И.В. Щитов, В.П. Обрученков, А.В. Древин, В.Б. Краскин, С.Г. Кудряков, А.И. Петров, С.М. Соколов, В.Л. Якимов, А.И. Лоскутов // Санкт-Петербург: Наука и техника. 2007. 627 с.
  5. Татаринев А.И. Анализ структуры мобильных измерительных пунктов ракетно-космической техники / А.И. Татаринев // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2016): сб. статей VI международной заочной научно-технической конференции. Ч.2 / Поволжский гос. ун-т сервиса // Тольятти: Изд-во: ПВГУС. 2016. С.246 – 251. (346 с.) – ISBN 978-5-9581-0361-4; ISBN 978-5-9581-0353-8 (РИНЦ).
  6. Татаринев А.И. Построение и исследование структурных схем диагностики и дистанционного управления мобильных измерительных точек ракетно-космической техники / А.И. Татаринев // Развитие современной цивилизации: ответы на вызовы времени: сборник трудов по материалам международной научно-практической конференции 25 ноября 2015 года, г.о. Королёв, «МГОТУ» / Под общ. научн. ред. Смирнова В. А. // М.: «Научный консультант». 2016 г. С.359-365. (568 с.) ISBN: 978-5-9907976-8-0 (РИНЦ).
  7. Татаринев А.И. Применение мобильных измерительных пунктов для решения информационно-телеметрического обеспечения при запуске ракетно-космической техники / А.И. Татаринев // Эволюционные процессы информационных технологий / сборник трудов по материалам межвузовской научно-технической конференции 25 апреля 2016 года, г.о. Королёв, «МГОТУ» / Под общей научн. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко // М.: Издательство «Научный консультант». 2016. С.50-56. ISBN 978-5-9908220-5-4 (РИНЦ).

УДК 65.012.45

## **Оценка эффективности информационных систем предприятия**

**И.В. Девин**, аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье произведен анализ методов оценки информационных систем предприятия. В них входят комплексные, вероятностные методы и методы, с помощью которых измеряют некоторые адаптивные эффекты. Описаны их плюсы и минусы.*

Информационные системы, метод оценки, показатели эффективности, комплексный метод, индикаторы, ключевые показатели.

### **Evaluation of efficiency of enterprise information systems**

**I.V. Devin**, post-graduate student of the Department of Information Technologies and Control Systems,

State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*In the article the analysis of methods of an estimation of information systems of the enterprise is made. They include complex, probabilistic methods and methods by which some adaptive effects are measured. Their pluses and minuses are described.*

Information systems, assessment methods, performance indicators, integrated method, indicators, key indicators.

### **Введение**

Продуктивность производственно-хозяйственной деятельности в современной экономике напрямую зависит от анализа эффективности информационных систем (ИС). Задача данной статьи предусматривает полное раскрытие методов и определение критериев оценки эффективности от информационных систем предприятия.

Можно выделить два типа эффективности: адаптивный и социальный. Первый тип осуществляется способностью приспособления системы к внутренним и внешним изменениям окружающей среды. Здесь можно выделить несколько видов эффективности: функциональная (контроль, стимулирование, обучение, повышения квалификации работников), организационная (маркетинговая деятельность), управленческая, инновационная (внедрение

новых технологий и адаптация к ним) и мотивационная.

Социальная эффективность предусматривает удовлетворение потребностей потенциальных клиентов при помощи информационных систем. По моему мнению, она подходит для общества в целом, для работников и контрагентов организации.

Из методов оценки данных типов эффективности можно выделить несколько групп: комплексные (максимальная результативность), вероятностные методы (вычисление вероятности наступления эффектов) и методы, определяющие адаптивные эффекты (применяются для определенного вида информационных систем).

Комплексные методы производят оценку максимального количества производительности информационной системы. Они используют показатели, затрагивающие множество организационных процессов. Сюда можно внести: систему сбалансированных показателей (Balanced Scorecard, BSC), показатели ИТ (IT Scorecard), информационную экономику (Information Economics), модель совокупных экономических эффектов (Total Economic Impact), быстрое экономическое обоснование (Rapid Economic Justification), источник экономической стоимости (Economic Value Sourced), координаты трехмерного пространства ИС и пирамиду производительности Дэвида Линча (David Lynch) и Эндрю Кросса (Andrew Cross).

Вероятностные методы рассчитывают вероятность наступления различных эффектов ИС: методы прикладной информационной экономики (Applied information economics) и справедливой цены опциона (Real Option Valuation).

К методам, которые производят оценку некоторых адаптивных эффектов, можно отнести методики, применяемые для определенного вида ИС: методика потребительского индекса (Customer Index), гедоническая модель заработной платы сотрудников, модели «стейкхолдер»; методика «Гартнер-измерение» (Gartner-Measurment).

Наиболее популярная методика в нынешней экономике – система сбалансированной оценочной ведомости (Balanced Scorecard, BSC). Ее разработал Дэвид Нортон (David Norton) и Роберт Каплан (Robert Kaplan). Для более удобного применения данного способа была разработана система показателей ИТ (IT Scorecard). С помощью данных методик возможно осуществлять управление ИС в предприятиях.

В стандартной системе сбалансированной оценочной ведомости расчет эффективности производится, как правило, в нескольких областях:

финансовые затраты (отдача на изначально вложенный капитал);

мнение конечных потребителей;

внутренние показатели бизнес-процессов;

обучение и карьерный рост рабочего персонала (способность фирмы к осуществлению новых идей, ее гибкость).

Критерии оценочной ведомости зависимы от стратегии. Соответственно, для каждого предприятия они будут разными. При осуществлении

оценки цели организации разделяют по критическим факторам успеха, которые непосредственно влияют на результат бизнес-процессов.

Чтобы измерить критические факторы успеха разрабатываются ключевые показатели рентабельности (Key Performance Indicators). Задаются плановые критерии целей, факторов успеха и главных показателей продуктивности. Все эти характеристики плотно изучаются в процессе осуществления проекта. Данный метод также применяется для внесения новых изменений ИС.

Чтобы оценить инновационную эффективность нужно прибегнуть к некоторым характеристикам: доля новой продукции предприятия, степень новизны, количество продаж и время, потраченное на изобретение каждой новой продукции, число новых товаров и услуг.

Мотивационные эффекты измеряются факторами успеха «мотивация служащих» (число инициативных предложений и реализованных инициатив на одного сотрудника) и «корпоративность» (степень достижения целей бизнес-проекта, количество служащих, принимающих участие в реализации ИТ-проекта).

В методике BSC для измерения социальной эффективности применяется целый ряд параметров. К ним относятся: «удовлетворение спроса» (оценка товара или услуги потребителем) и «критерии продукции или услуги» (повышение спроса на продукцию, соотношение цена/качество для отдельного товара).

Таким образом, методика BSC делает акцент на оценке коммерческих, инновационных, организационных, социальных эффектах и на эффектах в области рисков. Однако проблема оценки функциональных эффектов до сих пор не решена.

В методике «система показателей ИТ» (IT Scorecard) акцент поставлен на оценку коммерческие и управленческие эффекты, а также на эффекты для контрагентов организации.

Г. Макфарлэйн (G. Macfarlane) выделил шесть индикаторов эффективности применения информационных технологий:

1. Главная роль ИТ-службы. Измеряет способность руководителя и его подчиненных разрабатывать стратегию, планирование и вести политику, а также правильно распределять все ресурсы.

2. Контроль над проектами и финансами. Показывает умение создавать новые и совершенствовать уже имеющиеся бизнес-приложения.

3. Управление операциями. Оценивает производительность рабочих процессов и процедур, в соответствии с потребностями бизнеса.

4. Удовлетворение желаний потребителей. Диагностирует время отъезда информационной службы на приходящие запросы, рабочий профессионализм работников фирмы, эффективность их взаимодействия.

5. Руководство над персоналом. Отражает условия и результат труда, карьерный рост и степень мотивации персонала информационной службы.

6. Управление активами. Определяет оценку доступа и качества кон-

троля над активами для персонала, оборудования, применяемого на предприятии, его надежности, безопасности и эффективности траты бюджетных средств на него.

Таким образом, использование сбалансированной системы показателей и системы показателей ИТ можно осуществить только в организациях, которые произвели их ввод в постоянную эксплуатацию и используют как для оценки эффективности, так и в процессе руководства фирмой.

Метод информационной экономики (Information Economics, IE) сравнивает и расставляет приоритеты для развития бизнеса фирмы со всеми возможностями ИС.

А. Смирнов (Alexander Smirnov) предлагает создать список критериев оценки результативности проекта, на основе которого анализируются потенциальные выгоды для предприятия. Сотрудники организации вырабатывают десять основных факторов, отражающих потенциальную эффективность бизнес-проекта. Затем проводится сравнение «плюсов» (относительная значимость отдельного фактора) и «минусов» (риск для каждого фактора). В итоге формируется рейтинг проекта. Если использовать подобный метод на нескольких проектах, то выбор самого эффективного происходит с помощью сравнения и вычисления проекта с наибольшим рейтингом.

Метод совокупного экономического эффекта (Total economic impact, TEI) изобретен компанией GitaGroup. Здесь приоритет поставлен на оценку мотивационной, функциональной эффективности и эффективности в сфере рисков. Данной модели свойственны некоторые параметры:

1. Выявление критериев положительных изменений и сравнение конечных результатов с изначальными целями предприятия.
2. Введение новых компонентов, функций, т.п. Приспособленность к измененным условиям.
3. Вероятность потери финансов при вложении в ИС в связи с различными рисками.

Методика быстрого экономического обоснования (Rapid Economic Justification) произведена компанией Microsoft. Она включает в себя пять этапов:

1. Привязка целей к бизнес-целям организации;
2. Выбор решения по списку «требуемых возможностей»;
3. Применение методики «Общая стоимость владения» для оценки доходов и расходов;
4. Вычисление оценки рисков проекта по признакам соотношения определенного решения к начальному проекту;
5. Вычисление финансовых затрат на проект внедрения с расчетом «Чистого дохода», «Внутренней нормы прибыли», «Экономической стоимости», «Отдачи от вложений» и т.п.

Таким образом, в методику входит ряд отдельных методов. Оценка эффективности осуществляется при сравнении результатов работы ИС в целом.

Экономическая стоимость (Economic Value Sourced) – методика разработана компанией Meta Group. Она предполагает оценку роста доходов, увеличения производительности, уменьшение риска. Она основана на методе управления рисками.

По сравнению со сбалансированной системой показателей, данная методика охватывает более узкий круг оценки эффективности.

Большая часть из вышеописанных методов вместе с оценкой эффективности помогают управлять информационным обеспечением фирмы, а также контролировать достижение начальных целей.

В основу вычисления вероятностных методов заложена оценка вероятности достижения каждого конечного результата функционирования ИС.

Методика прикладной информационной экономики (Applied information economics) создана Дугласом Хаббардом (Douglas Hubbard) в конце XX века. Отличием метода служит вычисление вероятности реализации для каждой поставленной задачи и вероятности усовершенствования характеристик бизнес-процессов организации. Производится отбор профессионалов, чтобы уравновесить низкие и высокие оценки. Выявляются факторы принятия решений и финансовый расход на дополнительную информацию о каждом из них. Метод Монте-Карло (Monte-Carlo) позволяет определить уровень воздействия различных факторов на критерии эффективности проекта. В завершении разрабатываются варианты для снижения возможных рисков и повышения прибыли от проекта.

Ученые неопределенно оценивают данный метод. У него есть достоинство: вероятностная оценка способствует принятию наиболее оправданных решений. Однако, этот метод требует немалых затрат, труда и предусматривает высокую квалификацию персонала.

Метод справедливой цены опциона (Real Option Valuation) действует на основе анализа большого спектра критериев, результатов интеграции ИС и возможных сценариев, а также на формировании «динамического плана выпуска». Цель выбора: получение наивысшего уровня гибкости для информационных технологий. В проекте рассматривают пять параметров:

1. доход от проекта;
2. расходы на проект;
3. трудоемкость проекта;
4. бюджетный расход на поддержку выявленного решения;
5. «время жизни» внедряемой ИТ-системы.

При осуществлении проекта производится оценка его воздействия на данные параметры. При этом оценка увеличивается прямо пропорционально степени его гибкости и координированности. Этот способ требует больших расходов труда и времени, что является его недостатком.

Методика потребительского индекса (Customer Index) была создана компанией Andersen Consulting. Данный способ делает акцент на оценку коммерческих эффектов, которые рассчитываются с помощью изменения числа потребителей.

Показателем оценки служит изменение количества и состава клиентов. Они напрямую зависят от функционирования информационной системы. В ней определяются экономические критерии: контролирование доходов, расходов и прибылей по каждому заказчику.

Замысловатость метода состоит в том, что нелегко напрямую связать вложение в информационные системы и увеличение роста числа клиентов. Эта методика неприменима для организаций с малым количеством клиентов.

С помощью методики «Гартнер-измерение» (Gartner-Measurment) можно оценить только качество внедрения системы SAPR/3/. Показателями эффективности внедрения служат: время, потраченное на корректировку модулей; воплощенные функциональные возможности; количество потребителей на средний сервер; наивысшее и среднее количество транзакций в единицу времени; финансовые расходы одной транзакции; наибольшее и среднее время отзыва системы; применяемые способы обучения; управленческая структура; бюджетные затраты на инфраструктуру внедрения информационной системы на каждого потребителя. С помощью этих данных производится оценка каждого варианта внедрения и разрабатываются рекомендации по увеличению качества работы ИС.

#### **Заключение**

Таким образом, в настоящее время выявлено огромное число методов, при помощи которых можно измерить множество эффектов ИС от предприятий. Среди всех описанных выше эффектов более успешно выработан анализ функциональных, мотивационных воздействий, эффектов в сфере рисков, социальных эффектов для контрагентов и сотрудников предприятия. Однако проведение оценки организационно-управленческих эффектов требует немалой доработки методов.

#### *Литература*

1. Галкин Г. Методы определения экономического эффекта от ИТ-проекта. Часть 2 // Качественные и вероятностные методы. Intelligent enterprise. № 24 (133). 2005. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iemag.ru/master-class/detail.php?ID=15721>.
2. Калиберда Е.А. Анализ эффективности информационных систем: учеб. Пособие // Омск: Омский государственный институт сервиса. 2006. 109 с.
3. Коптелов А. BSC для ИТ // Директор ИС. 02. 2008. [Электронный ресурс]. URL: <http://businessprocess.narod.ru/index44.htm>.
4. Костров А.В., Матвеев Д.А. Информационный менеджмент. Оценка эффективности информационных систем: учеб. пособие // Владимир: ВлГУ. 2004. 116 с.
5. Кудряшова М.Г. Классификация эффектов от использования информационных систем // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2013. № 12 (60). С. 34.
6. Макфарлэйн Г. ИТ-служба в зеркале сбалансированных показателей. [Электронный ресурс]. URL: <http://balanced-scorecard.ru/taxonomy/term/11>.

7. Селандер Йоран Стейкхолдер-менеджмент: управление заинтересованными группами. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hrliga.com/index.php?module=profession&op=view&id=1105>.
8. Смирнов А. Стратегия и экономика ИТ. Методы контроля расходов на ИТ и получение гарантированного уровня сервиса. [Электронный ресурс]. URL: <http://betatester.bir.ru/article13.html>.
9. Федосеев А. Коэффициент автоматизации. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cfin.ru/itm/kis/intalev-7.shtml>.
10. Хаббард Дуглас Как измерить все, что угодно: оценка стоимости нематериального в бизнесе // Москва: Олимп-Бизнес. 2009. 297 с.

УДК 004

## Тенденции развития современных языков программирования высокого уровня

**Г.Н. Исаева**, к.т.н., доцент кафедры Информационных технологий  
и управляющих систем,

**Н.Н. Теодорович**, к.т.н., доцент кафедры Информационных технологий  
и управляющих систем,

**Ю.Ю. Сидоров**, аспирант кафедры Информационных технологий  
и управляющих систем,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье рассмотрены основные направления развития современных языков программирования высокого уровня (ЯП ВУ) и их эволюционное развитие. Приведена статистика по ЯП ВУ, являющимися ключевыми в рамках различных парадигм программирования, опирающаяся на данные современных электронных ресурсов. Показана тенденция к стиранию граней между строгой классификацией ЯП ВУ по принадлежности к различным вычислительным моделям, лежащим в основе разработки языка. Показано, что основная причина популярности скриптовых языков и языков реактивного программирования связана с масштабностью решаемых экономических задач, массовым охватом всех сфер экономики сетевыми структурами, а также желанием разработчиков иметь простой, понятный и универсальный инструмент разработки программного обеспечения (ПО).*

Парадигма программирования, тренд, вычислительная модель.

## Tendencies of development of languages of programming of the high level

**G.N. Isaeva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control System,

**N.N. Teodorovich**, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control System Candidate of Technical Sciences, Assistant professor,

**Y.Y. Sidorov**, Graduate Student of the Department of Information Technologies and Control System,

State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*The main directions of the development of modern high-level programming languages (HL PL) and their evolutionary development are considered in the article. The statistics are presented for the HL PL, which are key in the framework of*

*various programming paradigms, based on the data of modern electronic resources. A tendency is shown to obliterate the boundaries between the strict classification of the HL PL, as belonging to different computational models underlying the development of the language. It is shown that the main reason for the popularity of scripting languages and languages of reactive programming is related to the scale of solved economic problems, the mass coverage of all spheres of the economy by network structures, and also the desire of developers to have a simple, understandable and universal software development tool.*

Programming paradigm, trend, computational model.

Языки программирования высокого уровня в эпоху решения любых повседневных задач с помощью средств вычислительной техники (ВТ) имеют важное значение, они являются инструментом многоцелевого назначения с большими функциональными возможностями. На постоянные эволюционные изменения в семействе ЯП ВУ, с одной стороны, оказывает прогресс аппаратного и системного программного обеспечения, с другой стороны, быстро меняющиеся потребности объективного мира. Язык программирования является своего рода интерфейсом между пользователями – прикладными программистами – и средами разработки, находящимися под жестким влиянием вычислительной системы.

С момента зарождения ЯП ВУ выделяют четыре больших направления в классификации традиционных языков программирования по критерию вычислительных моделей, лежащих в основе языка. Это парадигмы: императивного, объектно-ориентированного (ООП), функционального и логического программирования [1, С.111-204].

Языки программирования высокого уровня, относящиеся к указанным направлениям, с течением времени менялись не только в рамках модели, но изменения их носили сближающий характер относительно выделенных парадигм и функциональных возможностей языка в рамках парадигмы. Такая тенденция определилась, прежде всего, желанием разработчиков сделать «некий» универсальный язык своего времени, лучший предшественника в данном классе и ориентированный на широкий пласт современных многоцелевых задач. Язык программирования XXI века должен быть с «изящным» синтаксисом, содержать элементы функционального программирования, быть ориентированным на объектный подход и легко позволять встраиваться программному коду (созданному на нём) на клиентские станции или серверы – поддерживать распределённую обработку данных. Следуя данным тенденциям, было разработано несколько ярких ЯП ВУ: Scala, Elm, Swift, Rust, Dart. Если к традиционным языкам программирования высокого уровня, таким как структурные: Си, Паскаль, Бейсик, как язык гипертекстовой разметки HTML и язык сценариев JavaScript, как объектно-ориентированным Visual Basic, Object Pascal, C++ пользователи и разработчики приложений уже привыкли, то новые языки программирования, которым нет и десятка лет, не всем известны и пока

не очень тиражируются, в частности, в высшей школе.

Поэтому, данная статья, опираясь на информационные ресурсы электронных источников и историческую хронологию новых ЯП ВУ, показывает, как изменились требования к инструменту написания кода, какое влияние оказывает на эволюцию языков прикладного программирования характер стремительно меняющейся экономической картины мира. Остановимся на вышеупомянутых ЯП ВУ: Elm, Swift, Scala, Dart, чьё будущее, в плане максимальной востребованности, как инструмента прикладного программирования, ещё впереди.

Например, функциональный язык программирования Elm, представленный американским программистом Эваном Чаплицким в 2012 году в ходе работы над своим дипломным проектом в Гарварде, обладает ключевой особенностью. Системы программирования, поддерживающие этот язык, содержат отладчик реального времени, с помощью которого легко можно изменить программный код в реальном режиме времени и проследить реакцию на внесённые изменения по выбранным параметрам. Подобные действия по изменению параметров записываются, могут быть просмотрены и проанализированы, а также тщательно и многократно оттестированы и проверены.

Этот современный язык программирования относится к парадигме функционального программирования, с поддержкой принципов функционального реактивного программирования (ФРП). Парадигма ФРП ориентирована на параллельную обработку данных, обеспечивает чёткую работу с динамическими потоками данных и позволяет создавать высоко-интерактивные приложения. Концепция, положенная в основу ФРП, была предложена и сформирована в конце прошлого века для упрощения технологии создания пользовательских интерфейсов, анимации, динамических систем. Поэтому программы, написанные на этом языке программирования, легко конвертируются в JavaScript – код, что немало важно для современных условий работы с браузерами всех категорий пользователей. Кроме того, ЯП ВУ Elm удобен и прост в использовании: небольшой по объёму программный код обеспечивает разработчику приложения возможность работать с мышью для воспроизведения любой (даже сложной) фигуры в приложениях или в браузере. Тем не менее, язык изначально – функциональный, о чём говорят его родственные связи с семейством языка Haskell. На рисунке 1 показаны взаимовлияния традиционных языков программирования и новых, ровесников двадцать первого столетия.

Elm, не смотря на ярко выраженную принадлежность к функциональной парадигме, может быть использован для создания различного уровня сложности веб-приложений, практически всегда имеется возможность встроить написанный на этом языке программный код в блок тегов на странице сайта, так как Elm-программа без труда компилируется в коды HTML, CSS JavaScript.



Рисунок 1 – Связи ЯП ВУ

Проведенный анализ популярных языков программирования данной парадигмы, показал, что функциональное программирование и его основные идеи получили в настоящее время новый виток развития. Так, необходимо выделить новый язык с интересными связями, и, являющийся представителем этой вычислительной модели – язык Swift от компании Apple. Данный язык служит отличным полигоном для создания интерактивных приложений для мобильных устройств и в этом отчасти совпадает с предназначением ЯП ВУ Elm [2, С. 166,3, С. 139].

Таблица 1 – Вакансии мест для программистов

N n/n	ЯП ВУ	Временной период	
		2015	2016
1.	PHP	5586	9707
2.	Java	6219	8581
3.	C++	3252	4135
4.	C#	2853	4093
5.	JavaScript	2307	3657
6.	Python	3791	2581
7.	SQL	1449	1955
8.	Oracle	1303	1742
9.	C	917	1338
10.	Ruby	993	1003
11.	Scala	456	362
12.	Perl	165	223
13.	Go	72	188
14.	Objective-C	89	81
15.	Swift	39	78

Если рассмотреть генеалогические связи этого языка (рис. 1), то становится понятно, почему Swift такой яркий и его синтаксис вполне лёгкий для освоения современными прикладными программистами. Во-первых, на его

появление оказали влияние Си-подобные языки программирования, которые на протяжении десятков лет широко востребованы и освоены разработчиками ПО: это Java, Ruby, C++, Objectiv-C. В таблице 1 указана востребованность у работодателей в нашей стране специалистов со знанием перечисленных языков программирования. И тенденция такова, что основные языки – проверенные временем PHP, Java, C++ – занимают первые строчки таблицы, но современные языки, ровесники века, не уступают им в процентах роста и набирают популярность. Так, если брать цифры 2015 года за 100%-ю отметку, то прирост Swift составил 100%, а стоящий второй по числу заявок Java, прибавил 38% за год [8].

Во-вторых, масштабность решаемых экономических задач, массовый охват всех сфер экономики сетевыми структурами диктует строгие требования к создаваемым приложениям: быстрота, интерактивность, динамичность, инкапсуляция, масштабируемость. Все эти качества присущи тем языкам, о которых упоминалось выше. Анализ динамики вакансий специалистов-программистов за 2012-2016гг в нашей стране (где 2012 год взят за базовую отметку в 100%)[9] (Таблица 2) и построенная по этим данным диаграмма (Рис. 2) показывает наибольшую востребованность программистов, владеющих языками JavaScript, Java, PHP. Значит и современные языки - потомки этих апробированных временем языков, должны получить со временем признание у массового пользователя – разработчика различного рода приложений. В высшей школе, например, в образовательном стандарте для информационно-технологических направлений обучения за последние пять лет появился даже курс, связанный с веб-технологиями, основу которого составляют знания по применению ЯП ВУ JavaScript, PHP.

Таблица 2 – Вакансии программистов в России

Временной интервал	Языки программирования ВУ				
	PHP	Java	C++	C#	JavaScript
2012	100	100	100	100	100
2013	149	135	120	124	178
2014	136	169	127	133	194
2015	149	189	115	144	290
2016	260	257	151	208	462

ЯП ВУ Swift как раз и сочетает в себе понятность Си-подобных языков, опирается на мощную динамическую объектную модель Objective-C, не уступает по быстродействию C++ и Java, обладает доступностью по отноше-

нию к интерфейсам прикладного программирования для различных операционных систем [4, С.237-240,6].

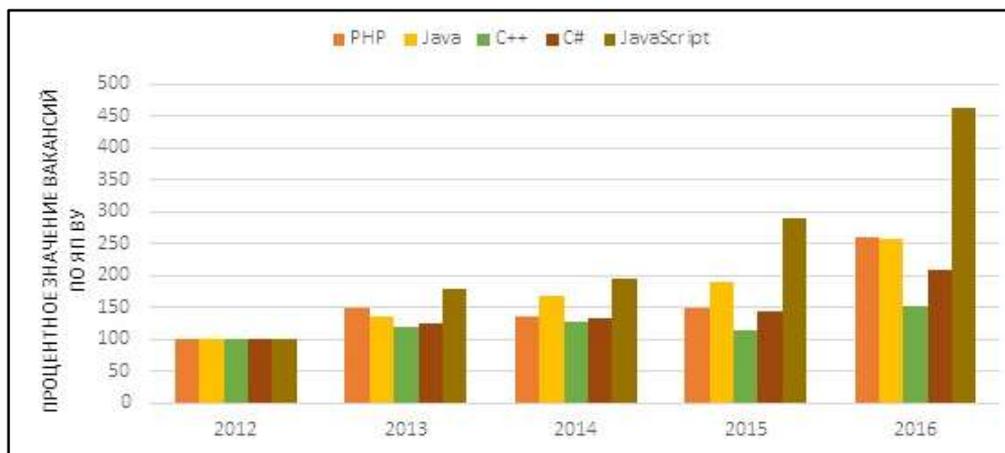


Рисунок 2 – Динамика вакансий программистов

С помощью этого нового языка программирования пользователи быстрее проверяют свои концепты и в целом быстрее создают свои приложения, так как в реализацию данного языка входит отладчик реального времени, который позволяет экспериментировать с кодом, наблюдать результаты изменений и вычислений мгновенно, без компиляции и запуска приложения. Кроме того, тенденция настоящего времени – это многопарадигмальность (мультипарадигмальность) языков программирования высокого уровня, и Swift – не исключение. Этот язык обладает направленностью и характерными особенностями объектно-ориентированного, функционального, императивного программирования.

Другой представитель мультипарадигменной направленности – язык программирования начала века – Scala, хотя по прошествии более десятка лет с момента выхода его в свет, он занимает в рейтинге популярности не самое видное место (таблица 1), но с точки зрения вклада в другие языки, такие как Swift, заслуживает внимания. Scala разрабатывался для простого и быстрого программирования приложений, поэтому в нём органично сочетаются возможности объектно-ориентированного и функционального программирования. На формирование этого языка оказали влияние такие элегантные ЯП ВУ, как Lisp, Haskell, Java, C#, он считается языком хорошей поддержки для компонентного программного обеспечения [7].

Влияние Java на этот язык велико, на Scala можно писать программы лишь немного корректируя синтаксис Java, это тоже является плюсом, так как Java появился на десять лет раньше и следует проверенным и надёжным принципами «чистого» объектно-ориентированного программирования. Например, можно использовать Scala-коллекции из библиотек и неявные преоб-

разования из данной коллекции в Java – коллекции, причём как в одну сторону, так и в другую сторону. Даже инструмент написания встроенных аннотаций совпадает у этих двух языков [6].

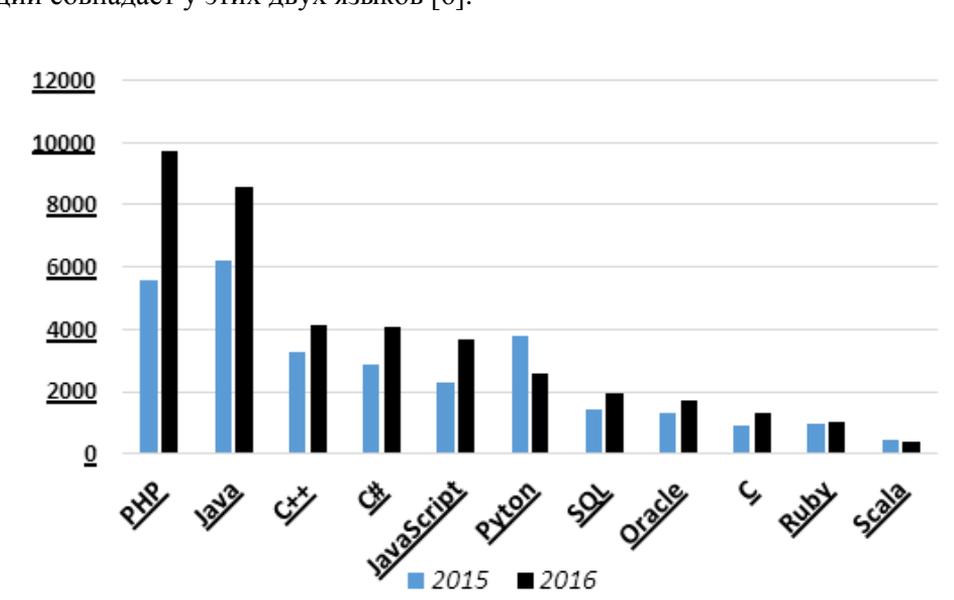


Рисунок 3 – Динамика числа заявок на программистов по ЯП ВУ

Конечно, такие языки, как Scala, молоды и не набрали той популярности, что присуща традиционным ЯП ВУ (что можно проследить на диаграмме, рис. 3), но время не стоит на месте и можно смело утверждать, что будущее этих языков не за горами.

Характерная черта современного прикладного программирования – веб-направленность. Об этом свидетельствует позиция языка PHP на диаграмме востребованности программистов за 2015-2016 годы (Рис. 3). Используя статистические данные, упомянутые выше (таблица 1), можно сказать, на примере PHP, языки объектно-ориентированной парадигмы и скриптовые языки для написания веб-предложений будут востребованы ближайшие годы (рис 4-5).

Проведенные расчёты в определении прогнозных тенденций, подтверждает и разработка совершенно нового языка веб-программирования Dart, как альтернативы уже широко известному языку программирования JavaScript.

ЯП ВУ Dart – совершенно новый язык, уже относящийся к языкам, появившимся во втором десятилетии двадцать первого века. Так или иначе, но при его создании разработчики попытались избавиться от недостатков, присущих его историческим «родственникам» (рис. 1) [5]. Этот язык относится к парадигме объектно-ориентированного программирования, но это не мешает ему быть хорошим инструментом при написании веб-приложений.

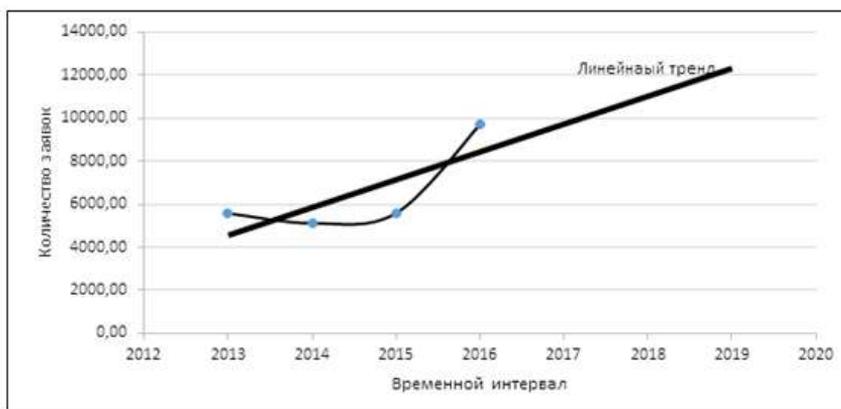


Рисунок 4 – Прогноз востребованности PHP-программистов

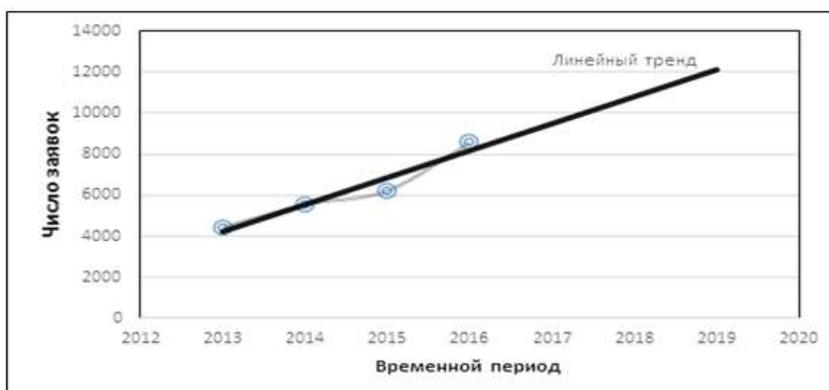


Рисунок 5 – Прогноз востребованности Java-программистов

Он позиционируется, как мультипарадигмальный язык программирования, и это уже новое направление в развитии современных ЯП ВУ. Кроме того, Си-подобный синтаксис упрощает его освоение.

Если оценивать эффективность кода, то одним из основных критериев качества разрабатываемых программ, считается быстрдействие, что не всегда присуще клиентским программам, написанным на JavaScript. За то небольшое время с момента представления языка (2011 год), программы, созданные на Dart – высокопроизводительны и успешно работают на вычислительных устройствах широкого класса: от смартфонов до серверов. Это является подтверждением качества предлагаемого языка, который в настоящее время проходит апробацию у разработчиков.

По безопасности – также важнейшему критерию современного программирования, ЯП ВУ Dart надёжнее Go и JavaScript. Безопасность веб-приложений, написанных на Dart, уже проверена и одобрена разработчиками. Имеются удобства у пользователей этого языка и в плане поддержки, отладки

и модификации кода. Кроме того, 4 июля 2014 вышел первый стандарт языка Dart [5]. Эти аргументы говорят в пользу этого нового ЯП ВУ, что в ближайшее время он должен получить признание и у «массового программиста».

Таким образом, мир прикладного программного обеспечения не стоит на месте и появление новых ЯП ВУ тому подтверждение. В настоящем веке наиболее популярными становятся скриптовые языки и языки реактивного программирования, как правило, относящиеся к мультипарадигмальной концепции и опирающиеся на Си-подобный синтаксис. Данные тенденции обусловлены новыми разноплановыми экономическими задачами, сетевыми всемирными структурами, желанием программистов иметь простой, понятный и универсальный инструмент разработки современных приложений.

#### *Литература*

1. Голицына О.Л., Попов И.И. Программирование на языках высокого уровня // М.: ФОРУМ. 2011. 496 с.
2. Исаева Г.Н, Пахомов Д.А., Возможности современных языков программирования высокого уровня. В сборнике: СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ Сборник трудов по материалам межвузовской научно-технической конференции. МГОТУ под науч. ред. В.М. Артюшенко. 2015. С. 163-167.
3. Исаева Г.Н, Клешнев И.Б., Функциональное программирование: эффективный инструмент решения современных задач. Современные информационные технологии / сборник трудов по материалам II-й международной научно-технической конференции 14 сентября 2016г. г. Королёв, «МГОТУ» Под общей науч. ред. док. техн. наук проф В.М. Артюшенко // М: Издательство «Научный консультант». 2016. С. 136-142.
4. Фридман А.Л. Построение Интернет-приложений на языке Java // М.: Горячая линия–Телеком. 2012. 336 с.
5. Сайт о языке программирования Dart – руководства, инструкции, новости, статьи и многое другое: [Электронный ресурс]. // dartdot.ru. URL: <http://dartdot.ru/> (дата обращения 15.10.2017).
6. Язык программирования Swift. Русская версия: [Электронный ресурс]. // Хабрахабр. URL: <https://habrahabr.ru/post/225841/>(дата обращения 15.10.2017).
7. Scala. Язык программирования [Электронный ресурс]. URL: // <http://progopedia.ru/language/scala/> (дата обращения 24.01.2017).
8. Very Long Term History [Электронный ресурс]. URL: // <http://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения 24.01.2017).
9. Самые востребованные языки программирования 2016 [Электронный ресурс]. URL: // <https://habrahabr.ru/company/hh/blog/318450/>(<http://dartdot.ru/> (дата обращения 24.01.2017)).

УДК 629.7

## **Визуализация поведения объектов исследования в виде динамических интерактивных трехмерных моделей**

**А.А. Комраков**, аспирант кафедры ИТУС,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В данной статье рассматривается процесс визуализации данных полученных в ходе научного эксперимента или процесса испытаний сложных технических систем с использованием современных методов создания изображений и видео на основе объёмных моделей объектов в трёхмерном пространстве. Рассмотрены основные этапы процесса разработки интегрированных систем получения и визуализации данных, а также проведён анализ таких систем с помощью инструментов теории массового обслуживания. Приведён пример практической реализации предложенных подходов.*

Визуализация, испытания, интерактивные модели.

## **Visualization of the behavior of research objects in the form of dynamic interactive three-dimensional models**

**A.A. Komrakov**, graduate of the Department of ITUS,  
State Educational Institution of Higher Education Moscow Region  
«University of technology», Korolev, Moscow region

*This article describes the process of visualization of data obtained in the course of a scientific experiment or test process of complex technical systems using modern methods of creating images and video based on volumetric models of objects in three-dimensional space. The main stages of the process of developing integrated systems for data acquisition and visualization are considered, as well as analysis of such systems using the tools of queuing theory. An example of the practical implementation of the proposed approaches is given.*

Visualization, testing, interactive models.

### **Введение**

Завершающей стадией любого научного эксперимента или процесса испытаний сложных технических систем является анализ данных, полученных во время его выполнения. Процесс этот строго не формализуем и не может быть выполнен полностью в автоматическом режиме. Визуализация полученных результатов измерений позволяет упростить анализ данных и обеспечить

ученых и разработчиков более наглядной информацией для принятия решений по дальнейшему направлению работы.

Визуализация – это преобразование цифровых данных в изображение, доступное для восприятия человеком или специальным устройством.

Одним из способов представления данных для анализа является компьютерная визуализация, представляющая данные в виде оптического изображения. Под термином компьютерная визуализация подразумевается процесс визуализации данных с помощью специализированного программного обеспечения.

Способ визуализации зависит не только от характера данных, но и от предполагаемой области их использования. В зависимости от задач и технических условий визуализация может быть отложенная или в реальном масштабе времени.

В первые научной литературе термин «визуализация информации» был использован в работе [5], чтобы описать представление абстрактной информации средствами визуального интерфейса. Но исследования посвященные визуализации информации были и раньше, например, в работе [7] в которой авторы рассматривают так называемые «элементарные перцептивные задачи» – основные визуальные действия, которые мы совершаем, когда смотрим на график. Авторы ранних работ о системах визуализации подчеркивают важность интерактивности и анимации [6]. Подробно история развития методов визуализации от ранних карт и графиков до современной интерактивной динамической визуализации рассмотрена в книге [8].

Процессы получения и передачи данных при проведении научных экспериментов или испытаний, и способы визуализация данных отдельно друг от друга рассмотрены в литературе достаточно хорошо. Однако часто на практике, особенно в системах реального времени, получение и визуализация данных это единый процесс, элементы которого надо рассматривать и проектировать как единую систему, которую можно анализировать в том числе и как систему массового обслуживания. Существуют проблемы визуализации данных телеметрических системах, связанные с выбором структуры системы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в телеметрическую систему и выходящие из неё, длительности ожидания и длины очередей.

Так же существуют проблемы оценки сходимости результатов компьютерной визуализации и реального поведения объектов.

#### **Анализ различных подходов и средств реализации визуализации**

Визуализация может применяться как инструмент для анализа самых разных данных: от графического представления результатов расчётов или измерений, до визуализации абстрактных данных. Следовательно, существует множество методов визуализации, и способов их классификации.

Классификация может быть основана на типе представления данных. Тогда можно выделить три группы методов, получивших наибольшее распространение на текущий момент времени: двумерная визуализация, трёхмерная

визуализация, стереовизуализация данных [3].

Так же визуализация может использоваться не только как простое отображение параметров исследуемого объекта в различном виде. Мы можем отображать на экране компьютера модель объекта на основе данных полученных от реального объекта, для изучения некоторых свойств оригинала.

Данные могут не только отображаются непосредственно в виде текста, точек на графике или других способов визуализации, но и использоваться для динамического управления отображением заранее созданной интерактивной моделью, повторяющей вид исследуемого объекта с точностью, достаточной для поставленных задач.

Для индикации состояния объекта в могут использоваться:

- отображение контролируемых параметров в виде цифр;
- отображение 3D модели объекта и зоны действия его устройств для визуализации положения в пространстве;
- отображение деформаций объекта на 3D модели;
- отображение дискретных параметров в виде индикаторов;
- отображение данных в виде различных графиков.

Помимо параметров, полученных от исследуемых объектов, в визуализации могут участвовать другие значения, рассчитанные на их базе.

Для описания пространственной формы трёхмерных объектов обычно используются следующие модели объектов [4]:

- трёхмерная каркасная модель (3D mesh) – это геометрический способ описания объекта в виде множества вершин и рёбер, образующих многоугольники в пространстве; часто в качестве такого многоугольника используется треугольник;

- модель «поверхность-ребро-вершина» – это обобщение проволочной каркасной модели; модель в данном случае – это структура данных, в которой хранятся все вершины, поверхности, рёбра объекта, а также сведения об их топологических взаимосвязях;

- проволочная каркасная модель – в случае использования данной модели предполагается, что поверхность объекта состоит из плоских кусков, а все рёбра являются прямолинейными отрезками;

- модель на основе обобщённых цилиндров – модель объекта в этом случае содержит описание обобщённых цилиндров, их пространственных отношений, а также глобальные свойства объекта;

- воксельная модель – это представление трёхмерного объекта в виде трёхмерного массива; элементы массива называются вокселями (аналог пиксела для трёхмерного пространства). Воксельные модели применяются в геологии, сейсмологии и других областях.

#### **Основные этапы разработки систем визуализации**

Процесс разработки систем визуализации должен содержать примерно следующие основные этапы:

- определить задачи визуализации и целевую аудиторию;
- определить способы получения данных для визуализации;

- выбрать тип визуализации и инструменты разработки;
- создание набросков и проверка на реальных данных;
- программная реализация;
- проверка корректности визуализации.

Целью визуализации результатов испытаний различных технических систем может быть удовлетворение потребности в информации конструкторов и руководителей для принятия конструкторских и управленческих решений.

Визуализация процессов в реальном времени может быть предназначена для обеспечения оператора информацией необходимой для оперативного принятия решений и выполнения соответствующих действий их заранее определённого набора.

Отложенная визуализация предназначена для детального аналитического анализа в процессе опытно-конструкторских работ. Главным приоритетом здесь является не оперативность, а полнота и точность информации, возможность её представления в различных видах, возможность использования различных методов анализа и обработки.

Для отложенной визуализации данных целесообразно широкое использование стандартного программного обеспечения, предназначенного для обработки и анализа массивов данных, такого как Microsoft Excel, Mathlab, StatSoft Statistica и т.п.

При визуализации телеметрической информации источником данных как правило служит контрольно-проверочная аппаратура (КПА).

Для многих способов визуализации в реальном времени, например, с помощью графиков, диаграмм и т.п., недостаточно получать текущие или последние известные значения контролируемых параметров. Должен быть доступ ко всем уже полученным значениям. Так же как правило значения параметров меняются значительно быстрее чем обновляется изображение на экране монитора, поэтому для корректного отображения может требоваться интерполяция на основе нескольких значений параметра.

Целесообразно использовать клиент-серверный подход, в котором система визуализации является клиентом, а служба сервер хранит все полученные данные и может выдавать их по запросу. В данном случае под сервером предполагается не отдельный компьютер, а программный модуль, который может быть не только отдельной программой, но и частью программы визуализации.

Типичным примером где требуется интеграция системы получения и визуализации данных является процесс получения телеметрических данных в реальном времени и их использование для динамической интерактивной визуализации. Этот процесс можно рассматривать как непрерывно-стохастический и исследовать как систему массового обслуживания.

При проектировании данной подсистемы необходим рациональный выбор структуры системы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в систему и

выходящие из неё, длительности ожидания и длины очередей.

На рисунке 1 представлен простой вариант процесса визуализации телеметрических данных в виде многофазной системы массового обслуживания. При практической реализации система может быть более сложной, например устройств визуализации может быть несколько, система может быть дополнена устройствами фильтрации данных и т.п.

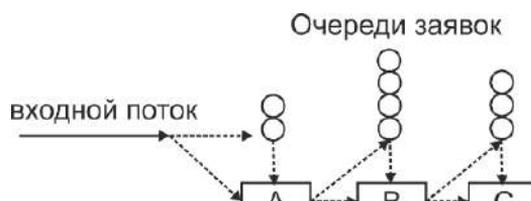


Рисунок 1 – Многофазная система массового обслуживания

Во многофазной системе обслуживающие устройства выполняют различные операции и осуществляют последовательный процесс обслуживания. Требование считается полностью обслуженным данной системой, если оно было полностью обслужено на каждой из ее фаз (этапов). Для анализа таких систем необходимо знать не только длину очереди, время ожидания обслуживания, нагрузку каждого последовательного звена системы, но и характеристики выходящего потока на каждом этапе обслуживания.

Прямоугольником А представлен процесс первичной обработки телеметрических данных, прямоугольником В процедура декоммутации, С – отображение на экране компьютера. Перед каждой фазой формируется самостоятельная очередь.

В общем случае СМО классифицируется по следующим признакам:

- закону распределения входного потока
- числу обслуживающих приборов
- закону распределения времени обслуживания в обслуживающих приборах
- числу мест в очереди
- дисциплине обслуживания.

В рассматриваемой системе в каждой заявке содержатся группы параметров, поэтому все потоки заявок являются групповыми и неоднородными.

В идеальном случае интервалы времени на входе системы заранее определены и одинаковы, поэтому входной поток можно считать детерминированным и регулярным. Длительность обслуживания заявок в каждом приборе случайна, но для качественной визуализации в реальном времени ко времени прихода следующей заявки предыдущая должна быть уже обслужена.

Дисциплины буферизации и обслуживания в рассматриваемой системе беспriorитетные с обслуживанием в порядке поступления без вытеснения

заявок.

Но в реальной системе поток заявок не может быть идеальным, в нем могут возникать сбои, ошибки, задержки в обслуживании и т.п. Для качественной же визуализации потока заявок должен быть максимально близким к идеальному.

Для решения этой задачи можно использовать метод предварительного накапливания данных в очереди, и начинать визуализацию только тогда, когда количество данных в ней будет больше, чем время наиболее вероятной случайной задержки в поступающих данных. К сожалению в результате возрастает задержка между поступлением входных данных и их отображением на экране компьютера, поэтому размер очереди в единицах времени должен выбираться с учётом времени за которое оператор должен принять решение.

Исходя из этого можно сформулировать основные требования к системе визуализации телеметрических данных в реальном времени:

- технические и программные средства получения и обработки данных должны обеспечивать обработку заявок за время меньшее чем интервал между заявками;
- элементы индикации состояния объекта должны быть максимально наглядны и не избыточны, для сокращения времени необходимого оператору на принятие решения.

Для обеспечения этих требований требуется разработка узкоспециализированного программного обеспечения.

Процесс подготовки данных включает следующие основные этапы:

- декоммутация данных;
- выбор параметров, которые будут использоваться;
- фильтрация;
- интерполяция;

Для декоммутации параметров из потока данных программа должна точно знать структуру потока, формат пакетов, размерность и типы данных, формулы преобразования параметров, правила интерпретации функционально зависимых параметров и т.п.

Данные, в том числе и те, что используются для визуализации, всегда могут быть представлены как совокупности, т. е. множество кортежей или многокомпонентных объектов данных. Каждая совокупность представляет собой подмножество векторного произведения независимых переменных  $D_i$  и зависимых переменных  $B_i$  [9]:

$$R \subseteq D_1 \times \dots \times D_N \times B_1 \times \dots \times B_M \quad (1)$$

Процесс декоммутации можно представить как отображение

$$D: \langle B_1 \dots B_n \rangle \times S \rightarrow \langle P_1 \dots P_k \rangle, \quad (2)$$

где  $\langle B_1 \dots B_n \rangle$  двоичная последовательность данных;  $S$  – набор инфор-

мации, достаточный для распаковки на наборы измерений отдельных параметров  $(P_1 \dots P_k)$ .

Возможные подходы решения этой задачи описаны в [1]. Целесообразно использовать подход, основанный на онтологии. В данном случае под онтологией понимается некая структура, концептуальная схема, описывающая (формализующая) значения элементов некоторой предметной области. Онтология состоит из набора терминов и правил, описывающих связи, правила и ограничения, принятые в этой области.

Технически это может быть реализовано как текстовый файл использующий какой-либо язык разметки, содержащий подробности структуры данных и правила их интерпретации. При использовании такого метода с одной стороны возрастает сложность программы, работающей с данными, с другой стороны мы можем унифицировать ПО.

Для визуализации положения объекта в пространстве нужны главным образом параметры описывающие координаты и ориентацию объекта в пространстве относительно инерциальной системы координат. Источниками данных служат инерциальные системы, использующие для сбора информации о движении гироскопы, расположенные на объекте.

Этап фильтрации предназначен для выявления и исключения сбойных данных в полученном потоке.

Телеметрические данные имеют привязку ко времени, и частота обновления данных никогда не будет полностью синхронизирована с частотой обновления изображения, равной как правило 60 Гц. (рис. 2). К тому же в данных возможны пропуски, связанные со сбоями передачи.

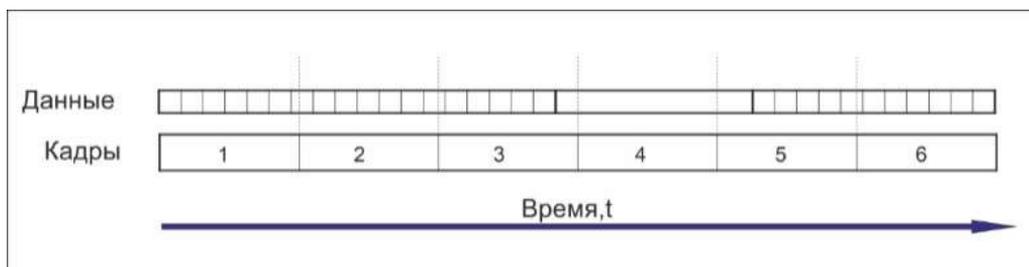
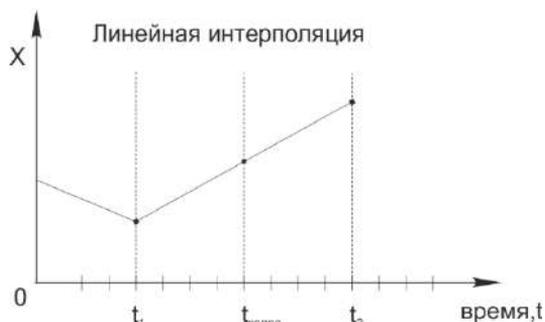


Рисунок 2 – Данные и кадры

Для нахождения промежуточных значений величин по имеющемуся дискретному набору известных значений при выводе каждого кадра изображения, значения параметров требуется интерполировать, например, с использованием линейной интерполяции (рис. 3) по формуле (3). На данном графике  $t_1$  и  $t_2$  время, на которое есть набор измеренных параметров, а  $X$  значение параметра.

$$X_{t_{\text{кадра}}} = X_{t_1} + \frac{X_{t_2} - X_{t_1}}{t_2 - t_1} * (t_{\text{кадра}} - t_1) \quad (3)$$



**Рисунок 3 – Нахождение промежуточных значений**

При частоте обновления данных значительно превосходящей частоту обновления изображения, может понадобиться применение фильтрации с использованием алгоритмов прореживания данных. Алгоритмы выбираются или разрабатываются исходя из характера информации.

Если исходные данные получает по каналам связи один компьютер, а визуализация происходит на одном или нескольких других для передачи данных можно использовать ЛВС.

В таком случае компьютер формирующий данные является сервером, а компьютеры с системой визуализации клиентами.

Основой современных сетей является протокол TCP/IP, и для передачи произвольных данных между клиентом и сервером нам предоставляется выбор из двух транспортных протоколов, UDP и TCP.

Основным различием между ними является гарантированность доставки. UDP применяется при необходимости доставки данных потребителям в реальном времени, и TCP при необходимости гарантированной полноты доставки данных. Согласно оценкам проведенным Международным союзом электросвязи (International Telecommunication Union [10]) пропускная способность TCP может снижаться от десятков до сотен раз за счёт избыточности и повторных передач. Однако в работе [11] приведён способ передачи в режиме гарантированной доставки, когда повторяется передача только искаженных блоков данных, а выдача данных проводится непрерывно, вне зависимости от результатов передачи предыдущих фрагментов данных. При успешной реализации он может сочетать преимущества протоколов с гарантированной доставкой со скоростью UDP.

Сети и компьютеры не идеальны, могут иметь место сбои передачи данных, сбои в работе компьютеров, ошибки операторов и т.п., поэтому механизм передачи данных для визуализации не должен полностью останавливаться или требовать вмешательства оператора в случае сбоев. Был опробован и успешно себя показал подход, при котором каждый клиент сообщает серверу с заданным интервалом о своём существовании, и сервер отправляет данные всем клиентам, которые в течении заданного времени сообщали о себе.

При необходимости показать, как движется объект относительно зем-

ли, возможно использование данных из геоинформационных систем. При визуализации движения объекта относительно земной поверхности с отображением рельефа на основе геоинформационных данных требуется преобразование координат для привязки к географическим координатам.

Важным этапом является проверка сходимости результатов визуализации с реальным поведением объекта испытаний. Предполагается что при визуализации мы не используем математические модели объектов исследования и технологии имитационного моделирования, а только различные геометрические и цветовые преобразования. В отличие от количественных значений формализовать оценку корректности графического изображения крайне сложно. Здесь может использоваться субъективная оценка корректности оператором и специалистами, а также сравнение с эталонными образцами, созданными с помощью других программных средств. Например, мы можем наложить графики движения объекта в одной из проекций созданные различными программными средствами и оценить их сходимость. Оценить корректность работы индикаторов можно сравнив время их срабатывания с временными привязками в исходных данных.

#### **Пример реализации**

На рисунке 4 изображён внешний вид приложения, разработанного с использованием описанных подходов. Для разработки использовался язык программирования C++, инструментарий разработки ПО Qt(кьют) и OpenGL, программный интерфейс для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику. Для описания геометрии моделей использован формат OBJ разработанный Wavefront Technologies. Выбор используемых технологий был обусловлен открытостью, кроссплатформенностью и наличием качественной документации.

В данном приложении из потока данных полученных с помощью контрольно-проверочной аппаратуры извлекаются данные о положении объекта в пространстве, главным образом параметры описывающие координаты и ориентацию объекта в пространстве относительно инерциальной системы координат. Источниками данных служат инерциальные системы, использующие для сбора информации о движении гироскопы, расположенные на объекте.

Статические элементы, такие как геоинформационные данные, координаты и модели вспомогательных объектов, визуальные модели исследуемых объектов загружаются и конфигурируются оператором до начала эксперимента.

Источники данных для каждого динамически визуализируемого объекта так же выбираются оператором. Ими могут быть файлы с заранее подготовленными данными или интегрированная служба декоммутации и фильтрации. При децентрализации источника данных и программы визуализации выбран протокол передачи UDP, как обеспечивающий большую пропускную способность.

Если загружен полный набор данных для визуализации, возможно изменение масштаба времени хода эксперимента. Использование плавающей

камеры с различными алгоритмами ориентирования на объекты исследования позволяет выбрать наиболее удобный и информативный ракурс.

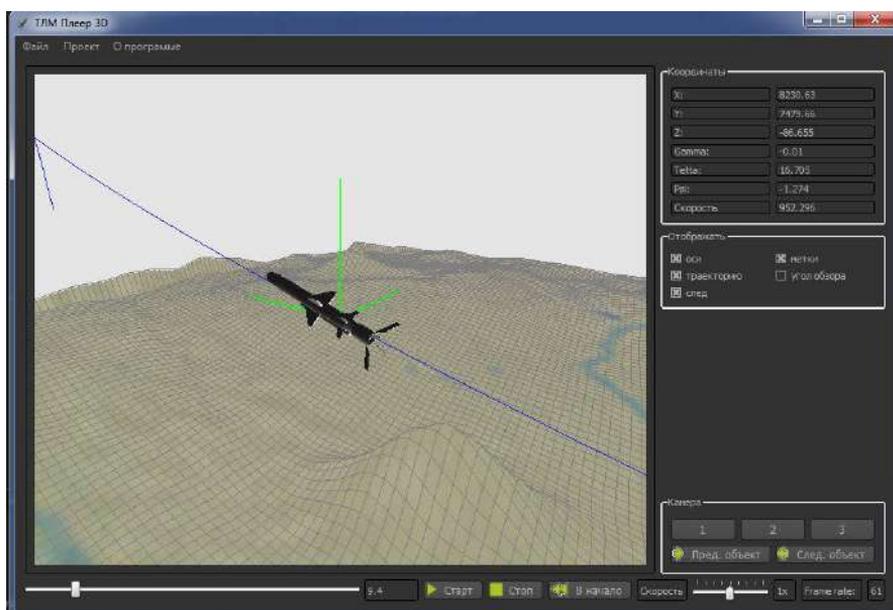


Рисунок 4 – Приложение для визуализации телеметрических данных

Для создания трехмерного изображения используется стандартный графический конвейер, упрощённая схема которого изображена на рисунке 4. Конвейер реализован средствами OpenGL с использованием языка программирования шейдеров GLSL.



Рисунок 5 – Стандартный графический конвейер

Автором разработана схема взаимодействия элементов системы визуализации данных, которая приведена на рисунке 6. От существующих решений она отличается интеграцией процесса получения, декоммутации, фильтрации и визуализации данных в единую систему.

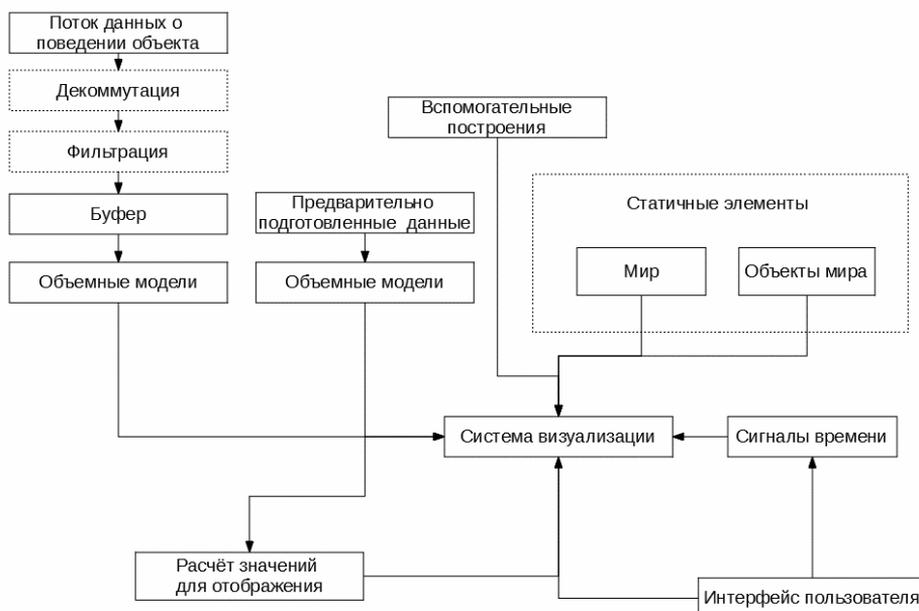


Рисунок 6 – Схема взаимодействия элементов системы визуализации данных

### Заключение

Постоянно возрастающий объём данных получаемых в процессе опытно-конструкторских работ при разработке новой, более совершенной продукции заставляет кардинально пересмотреть как применяемые подходы к аппаратной реализации контрольно-проверочной аппаратуры, так и методы работы с полученной информацией.

При разработке сложных технических систем часто необходимы средства компьютерной визуализации, представляющие данные в виде оптического изображения. Внедрение современных технологий в процесс проведения испытаний значительно расширяет возможности контроля состояния изделий.

Автором предложена и описана методика разработки систем динамической интерактивной визуализации, рассмотрены основные этапы и критерии выбора возможных технических решений. Подняты вопросы оценки схожести результатов визуализации с реальным поведением объектов. Разработана схема взаимодействия элементов системы визуализации данных и проведена её практическая реализация в виде специального программного обеспечения. Весь процесс от получения данных до их визуализации рассмотрен проанализирован с точки зрения теории массового обслуживания.

### Литература

1. Комраков А.А. унификация программного обеспечения для декомпозиции телеметрических данных // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 5-3. С. 71-74.

2. Комраков А.А., Ступнев В.Ю. Информационное сопровождение испытаний // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 53-61.
3. Корнева Н.Н., Назаров В.Н. Визуализация данных в задачах наземного сегмента научных космических проектов // ИКИ РАН. 2013.
4. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. Пер. с англ. // М.: Бином. Лаборатория знаний. 2006. 752 с.
5. Robertson G.G., Card S. K., Mackinlay J.D. The cognitive coprocessor for interactive user interfaces // Proc. of UIST89, ACM Symp. on User Interface Software and Technology. 1989. P. 10-18.
6. Robertson G.G., Card S.K., Mackinlay J.D. Information visualization using 3D interactive animation // Communications of the ACM. 1993. 36 (4). P. 56-71.
7. William S. Cleveland; Robert McGill Graphical Perception: Theory, Experimentation, and Application to the Development of Graphical Methods // Journal of the American Statistical Association. Vol. 79, No. 387 (Sep., 1984). 531-554.
8. Chun-houh Chen. Wolfgang Härdle. Antony Unwin. Editors. Handbook of Data Visualization. Springer-Verlag TELOS Santa Clara. CA. USA. 2008.
9. Романова И.К. Современные методы визуализации многомерных данных: анализ, классификация, реализация, приложения в технических системах // Наука и образование: научное издание. 2016. № 3. С. 133-167.
10. Quality of service and network performance. Network performance objectives for-based services 2011, Telecommunication standardization sector of International Telecommunication Union, viewed 27 March 2013, <http://www.itu.int/ru/ITU-T/publications/Pages/default.aspx>.
11. Бистерфельд О.А. Информационное обеспечение испытаний ракетно-космической техники // Научно-технические технологии в космических исследованиях земли. 2013. т.5. № 2. С. 38-43.
12. Васильев А.В., Геппенер В.В., Дерипаска А.О., Жукова Н.А., Тристанов А.Б. Организация процесса обработки телеметрической информации с использованием технологии семантических веб-служб // Компьютерные и информационные технологии в науке и образовании. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010.

УДК 004

### **Особенности расчета центростремительной турбины в программном комплексе Numeca**

**Р.М. Коптилин**, ведущий программист отдела ПО,  
**А.В. Гайнутдинов**, заведующий учебно-научной лабораторией программных  
комплексов численного моделирования,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В написанной статье рассматриваются процессы, протекающие в центростремительной турбине. Была проанализирована геометрия, выделены основные элементы, построена сетка. В ходе расчетной работы была составлена математическая модель для решения поставленной задачи, учтены входящие параметры и особенность геометрии. Расчеты проведены с помощью программного комплекса Numeca. В ходе работы было установлено влияние изменения температуры, на некоторые процессы, протекающие в предоставленной турбине.*

Центростремительная турбина, рабочее тело, КПД, модель.

### **Features of the calculation of the centripetal turbine in the software Numeca**

**R.M. Koptilin**, is a leading programmer of the Department software,  
**A.V. Gaynutdinov**, head of educational-scientific laboratory of software systems of  
the numerical simulation,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*In the article written, processes occurring in a centripetal turbine are considered. The geometry was analyzed, the main elements were selected, the grid was built. In the course of the calculation work, a mathematical model was developed to solve the problem posed, the incoming parameters and the geometry feature were taken into account. The calculations were carried out using the Numeca software. In the course of the work, it was established the effect of temperature changes on some processes occurring in the provided turbine.*

Centripetal turbine, the working fluid, the efficiency of the model.

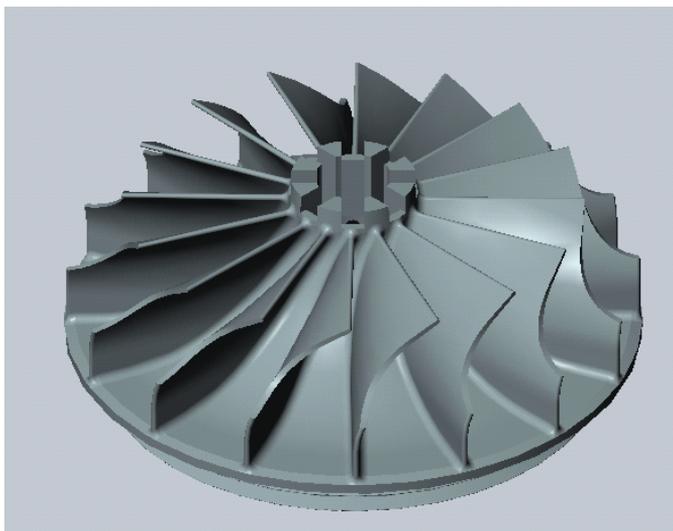
В настоящее время одной из актуальных задач аэрокосмического и энергетического машиностроения является повышение эффективности узлов и агрегатов, служащих для преобразования энергии (турбины, насосы, ком-

прессоры). Общий уровень эффективности двигателя в значительной степени определяется эффективностью его узлов, в частности, турбины.

Объектом исследования в данной статье являются характеристики течения рабочего тела и влияние варьирования температурой на входе на расход и КПД турбины.

Данная задача решалась с помощью методов вычислительной газодинамики с использованием программного комплекса Numeca(Fine\Turbo). FINE/Turbo – первый в мире узкоспециализированный расчетный 3D-CFD программный комплекс (ПК) высокого уровня, ориентированный на решение специализированных задач турбомашиностроения (подходит для любых типов лопаточных машин), предназначен для CFD моделирования турбомашин, расчетный CAE программный комплекс высокого уровня, ориентированный на решение специализированных CFD задач турбомашиностроения и лопаточных машин [1]. FINE/Turbo является самым быстрым CFD пакет для вращающихся машин с несжимаемых и сжимаемых жидкостей от дозвуковых до гиперзвуковых режимов течения [2]. В основе решения лежит метод конечных объемов, использовалась математическая модель Навье-Стокса, модель турбулентности spalart-allmaras (extended wall function).

Для проведения моделирования была создана численная модель центростремительной, низкоперепадной турбины. Данная турбина входит в состав турбокомпрессора, который служит приводом генератора переменного тока. Исходная геометрическая модель расчетной области была предоставлена конструкторским бюро химического машиностроения им. А.М. Исаева – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (рисунк 1).



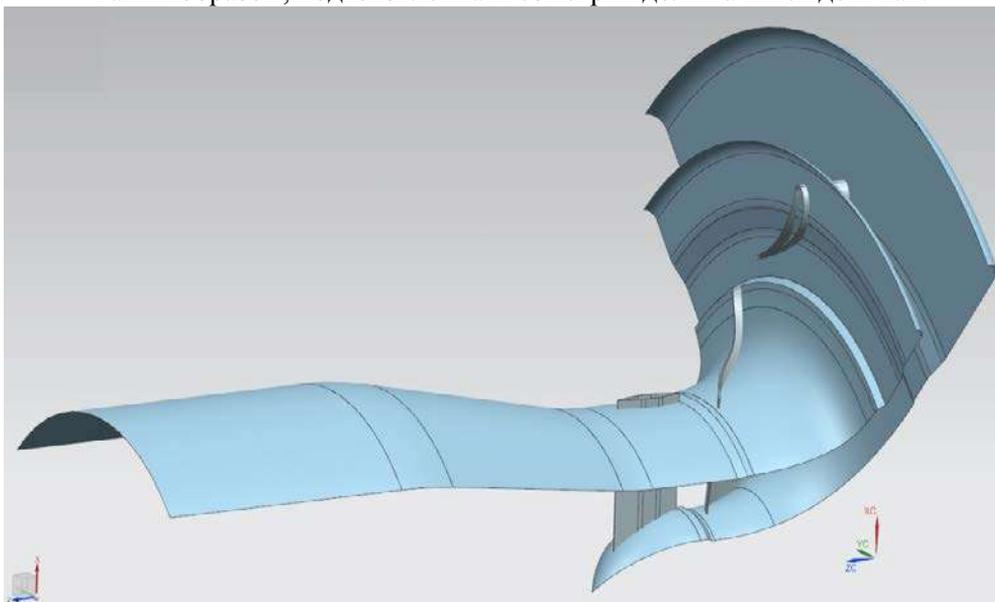
**Рисунок 1 – Центростремительная турбина**

Турбина центростремительная, низкоперепадная, данная турбина входит в состав турбокомпрессора, который служит приводом генератора пере-

менного тока. Геометрия дополнительно была подготовлена в САД системе:

- отделена поверхность галтелей от тела лопаток;
- продлены все лопатки за обводы (отрезаны перья от колеса и продлены) и оставлены только газодинамические поверхности: спинки, корытца и кромки без торцов;
- экспортированы отдельно поверхности обводов.

Таким образом, подготовленная геометрия должна выглядеть так:



**Рисунок 2 – Подготовленная геометрия**

Для каждого венца импортированной геометрии была создана отдельная блочно-структурированная сетка, созданная с помощью средств программного комплекса Fine\Turbo, расчетная сетка при решении задачи оптимизации строилась с использованием встроенного сеточного генератора Autogrid5 (AG5). Первый венец при построении сетки имел следующие параметры: тип венца Return Channel, количество лопаток – 33, статор, венец состоит 774915 конечных объемов.

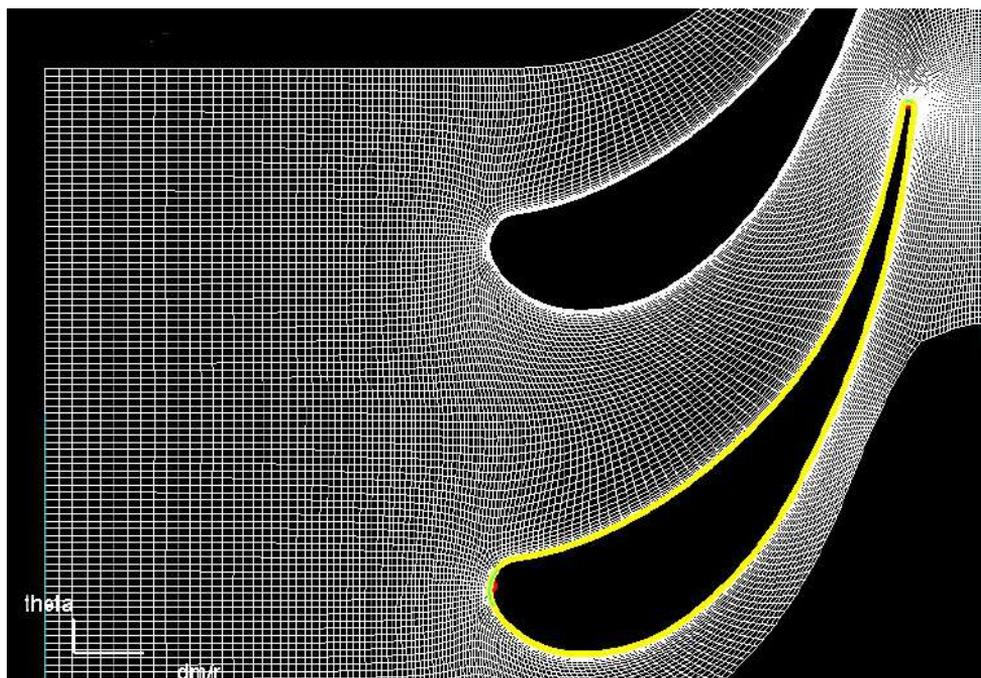


Рисунок 3 – Сгенерированная сетка 1-ого венца

Второй венец имел следующие параметры: тип венца Centrifugal Impeller, количество лопаток – 17, число оборотов 60000 и содержал 1120696 конечных объемов.

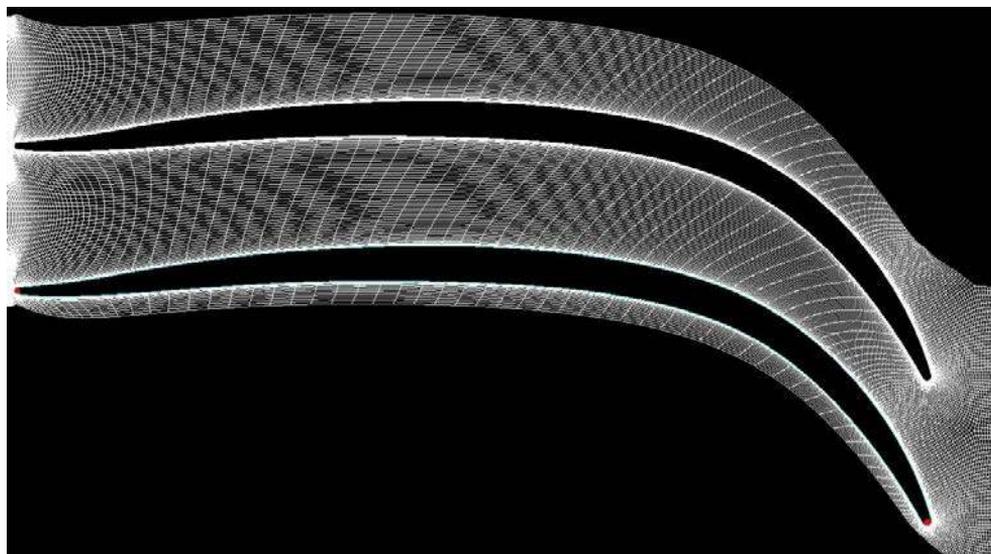
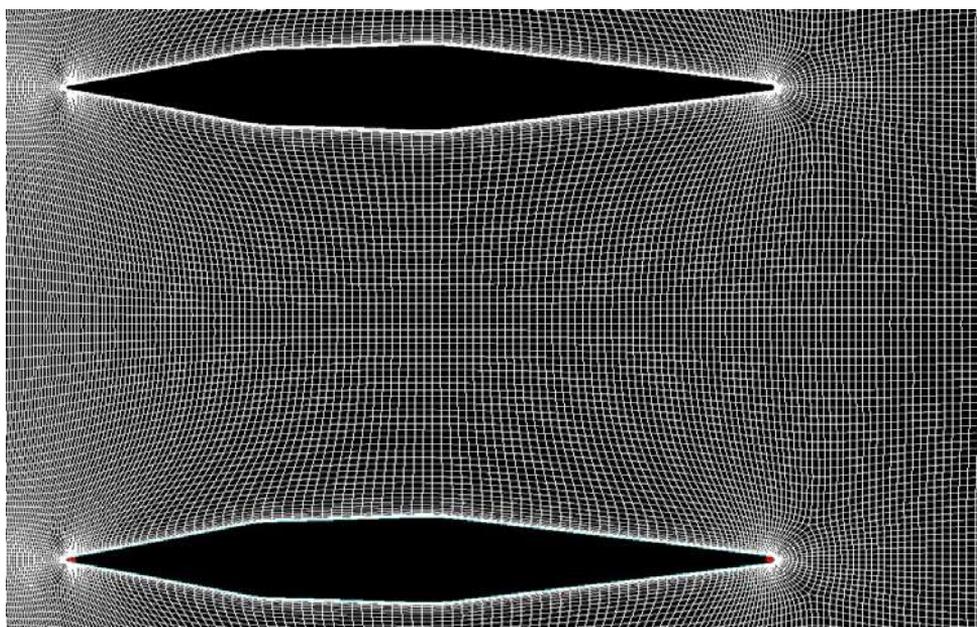
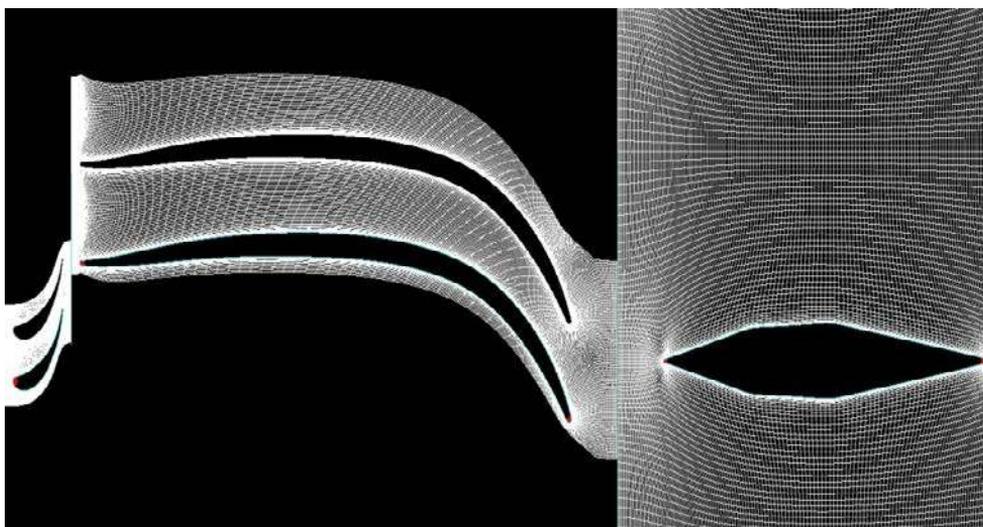


Рисунок 4 – Сгенерированная сетка 2-ого венца

Третий венец (крестовина) при построении сетки имел следующие параметры: тип венца Axial compressor и содержал 1403352 конечных объемов.



**Рисунок 5 – Сгенерированная сетка 3-го венца**



**Рисунок 6 – Полная расчетная сетка**

После операций по генерации сетки можно увидеть модель расчетной области:

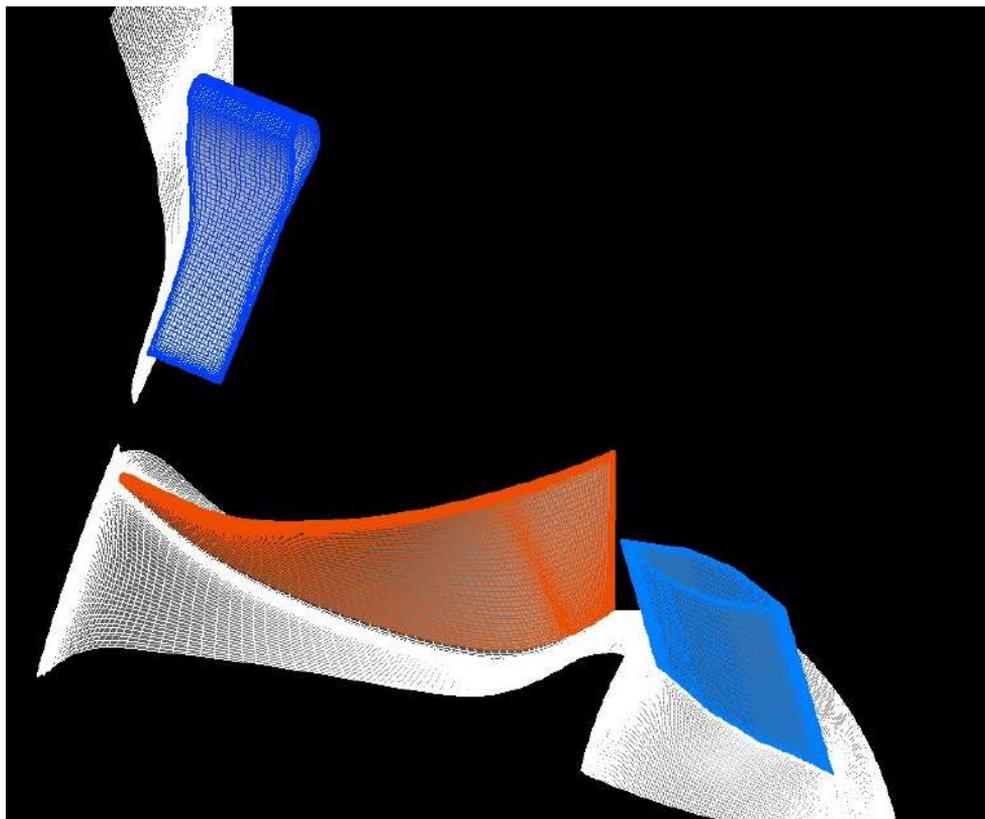


Рисунок 7 – 3-D модель расчетной области

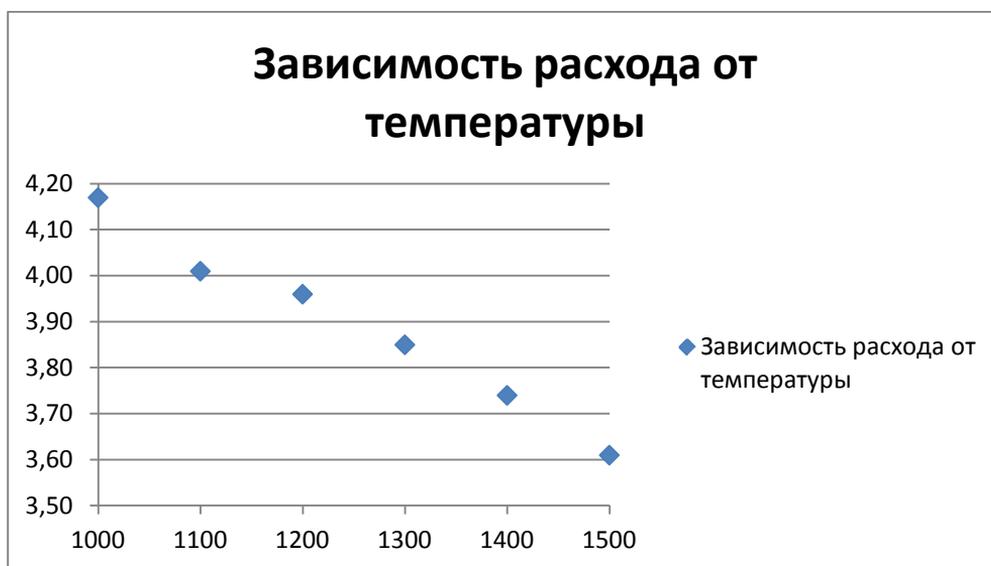
Рабочее тело: гелиево – ксеноновая смесь (72%+18%).

В качестве граничных условий на входе турбины задавалось значение полного давления (3279000 Па); температура, согласно условиям поставленной задачи, варьировалась от 1500К до 1000К с шагом в 100К. В качестве граничного условия на выходе задавалось статическое давление (1370000 Па).

В стационарной постановке задачи расчет велся на протяжении 1000 итераций. Было проведено 6 расчетов при разных температурных режимах, результаты показаны в таблице и на графике.

**Таблица 1 – Результаты моделирования**

№ п/п	Граничные условия			Результаты		
	T1, К	P1, МПа	P2, МПа	Q, кг/с	$\pi$	$\eta$
1	1500	3,2	1,3	3,61	4,24	0,83
2	1400	3,2	1,3	3,74	4,22	0,83
3	1300	3,2	1,3	3,85	4,22	0,84
4	1200	3,2	1,3	3,96	4,22	0,85
5	1100	3,2	1,3	4,01	4,22	0,84
6	1000	3,2	1,3	4,17	4,26	0,83



**Рисунок 8 – График зависимости расхода от температуры**

В ходе проведенных расчетов было показано, что, варьируя только температурой на входе, возможно, добиться увеличения КПД центробежной турбины и увидеть зависимость расхода от температуры. Большее значение КПД может быть достигнуто путем оптимизации геометрии.

*Литература*

1. Fine/Turbo [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://http://www.numesa-ru.com/> (дата обращения: 01.11.2017).
2. Коптилин Р.М., Гайнутдинов А.В. Обзор рынка CAE решений для гидро-, газодинамики турбомашин // Информационно-технологический Вестник. № 3(13). 2017. С. 94-105.

УДК 004.89, 004.94

**Программный комплекс «Синтезатор сетецентрических организационных структур управления»**

**А.В. Маслобоев**, доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт информатики и математического моделирования технологических  
процессов Кольского научного центра Российской академии наук  
(ИИММ КНЦ РАН), г. Апатиты

*Для решения прикладных задач информационной поддержки управления региональной безопасностью на основе комбинированного имитационно-экспертного моделирования разработан программный комплекс «Синтезатор сетецентрических организационных структур управления», обеспечивающий автоматизированный синтез и анализ мультиагентных моделей сетевых виртуальных структур управления безопасностью региона в условиях кризисных ситуаций в социально-экономической сфере. Модельный и программный инструментарий комплекса позволяет сформировать, исследовать и расширить спектр альтернативных сценариев моделирования региональных кризисных ситуаций, что повышает информационную обеспеченность и качество принимаемых решений в сфере управления безопасностью региона.*

Программный комплекс, региональная безопасность, информационная поддержка, сетецентрическое управление, организационная структура.

**Software system «Network-centric managerial structures synthesizer»**

**A.V. Masloboev**, Dr. Sci. Tech., Senior research fellow,  
Federal state budgetary establishment of a science  
Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes  
of the Kola Science Center of Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS),  
Apatity

*For practical applications and problem-solving of regional security management information support on the basis of combined simulation-expert modeling a special-purpose software system «Network-centric managerial structures synthesizer» has been developed. Software system provides agent-based model automated synthesis and analysis of the networked virtual managerial structures for security support under crisis situations in socio-economic sphere of regional development. System simulation and software toolkit allows alternative modeling scenario spectrum formation, analysis and extension of regional crisis situations. That provides managerial decision-making information probability and validity in the field of regional security support.*

Software system, regional security, information support, network-centric control, organizational structure.

### **Введение**

В настоящее время проблема повышения эффективности управления безопасностью социально-экономических систем не теряет своей значимости и актуальности. Несмотря на достаточно глубокую теоретическую проработку этой проблемы [1, 2], на практике она еще далека от эффективного решения. В современных условиях проблемы безопасности наиболее остро проявляются на региональном уровне, что может привести к дестабилизации систем более высокого уровня – национального и мирового. Угрозы и опасности в социально-экономической сфере имеют различную природу, скрытый характер, неоднородность и разную временную динамику. Все это обуславливает то, что для ситуаций, происходящих в этой сфере, не может быть все заранее учтено и расписано. Необходимо обеспечить оперативное и согласованное взаимодействие субъектов региональной безопасности. Данная задача усложняется тем фактом, что субъекты, как правило, организационно разнородны и децентрализованы. Работа направлена на создание средств поддержки принятия решений в условиях кризисных ситуаций для управления региональной безопасностью.

### **Общая характеристика программного комплекса**

Для нейтрализации последствий кризисных ситуаций в социально-экономической сфере необходимо принимать быстрые и эффективные управленческие решения в очень ограниченное время. Это обстоятельство обуславливает необходимость перехода на модель сетцентрического управления безопасностью региона. Такого в управлении безопасностью социально-экономических систем ранее реализовано не было. Делались попытки управлять региональной безопасностью централизованно, но это не обеспечило нужного эффекта, поскольку аспектов региональной безопасности много и они очень разноплановые. Их необходимо было связать в единое целое. Поэтому предлагается сетцентрический подход в сочетании с мультиагентными технологиями к решению этой сложной задачи. Такой подход наиболее адекватно отражает реальную природу управления социально-экономическими системами и учитывает децентрализованный характер процессов обеспечения региональной безопасности, как по функциональной структуре, так и по составу участников. В рамках предложенного решения предполагается, что функции управления делегируются виртуальным представителям субъектов безопасности – автономным программным агентам, согласованно взаимодействующим в единой информационной среде.

Сетцентрическое управление региональной безопасностью заключается в реализации сетевой структуры организационного управления с выделенными управляющими центрами, взаимодействие между которыми осуществляется на базе их интеграции в единое региональное информационное пространство.

Для регионов (субъектов Федерации) это предполагает, во-первых, отказ от закрытых иерархических структур управления безопасностью с жесткими организационными связями и централизованным управлением и переход к открытым сетевым виртуальным организационным структурам с гибкими связями и децентрализованным управлением. Во-вторых, реализацию процессного подхода к управлению безопасностью. И, в-третьих, создание и использование единой информационной среды для принятия согласованных управленческих решений в условиях децентрализованного управления безопасностью. Такая виртуальная среда в большинстве регионов России практически отсутствует.

Для реализации сетецентрического управления безопасностью региона и повышения оперативности децентрализованного принятия решений в рамках распределенной информационной среды должны формироваться виртуальные проблемно-ориентированные организационные структуры управления для каждой области региональной безопасности. Для этих целей разработаны метод [3] и соответствующая информационная технология [4] формирования мультиагентных моделей виртуальных сетецентрических организационных структур управления региональной безопасностью. Эти разработки реализованы для практического применения в рамках программного тренажерно-моделирующего комплекса «Синтезатор сетецентрических организационных структур управления».

Разработанный программный комплекс является прикладным инструментом синтеза и анализа моделей виртуальных сетецентрических организационных структур управления, предназначенных для информационной поддержки и координации децентрализованного принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности. Комплекс позволяет как в автоматическом, так и в интерактивном режиме проводить совмещенный синтез и анализ эффективности конфигурации моделей сетецентрических организационных структур управления «под задачу», а также обеспечивает динамическое формирование состава этих моделей и адаптивную настройку их параметров в условиях изменяющейся внешней среды. Это способствует автоматизации процесса построения виртуальных структур управления, корректному выбору и композиции их элементов при заданных условиях и ограничениях на множестве решаемых задач информационной поддержки.

В качестве инструментария для технологической реализации комплекса использована технология мультиагентных систем, на базе которой предложен подход к виртуализации процессов принятия решений в сфере обеспечения региональной безопасности. Применение мультиагентного подхода для построения программного комплекса как системы поддержки принятия решений обусловлено тремя решающими факторами: высокой динамичностью среды функционирования субъектов управления безопасностью, необходимостью координации децентрализованного принятия решений и учета человеческого фактора в процессе управления. Технология мультиагентных систем является средством реализации сетецентрического управления.

**Структура и особенности реализации комплекса программ**

Структура программного комплекса «Синтезатор сетецентрических организационных структур управления» (ПК ССОСУ) включает следующие основные функциональные блоки: блок синтеза, блок конструктора и конфигуратора, блок анализа и оценки, блок настройки и реконфигурации, блок оптимизации и развития.

Укрупненная структура и состав программного комплекса представлены на рисунке 1.

В состав комплекса входят также визуальные инструменты проектирования концептуальных, системно-динамических и агентных имитационных моделей для анализа и прогнозирования альтернативных различных сценариев развития региональных кризисных ситуаций с целью оценки эффективности управленческих решений по обеспечению безопасности региона. Эти инструменты позволяют организовать синтез моделей сетецентрических организационных структур управления на основе использования библиотеки типовых моделей и модельных шаблонов, а также обеспечивают анализ корректности синтезируемых моделей, объединение нескольких моделей в единый полимодельный комплекс, согласование шага моделирования для различных подмоделей (нормирование моделей по времени), интерпретацию результатов моделирования и их представление в текстовой, табличной и графической форме, экспорт сформированной аналитической информации и отчетов в мониторинговые информационные системы региональных ситуационных центров.

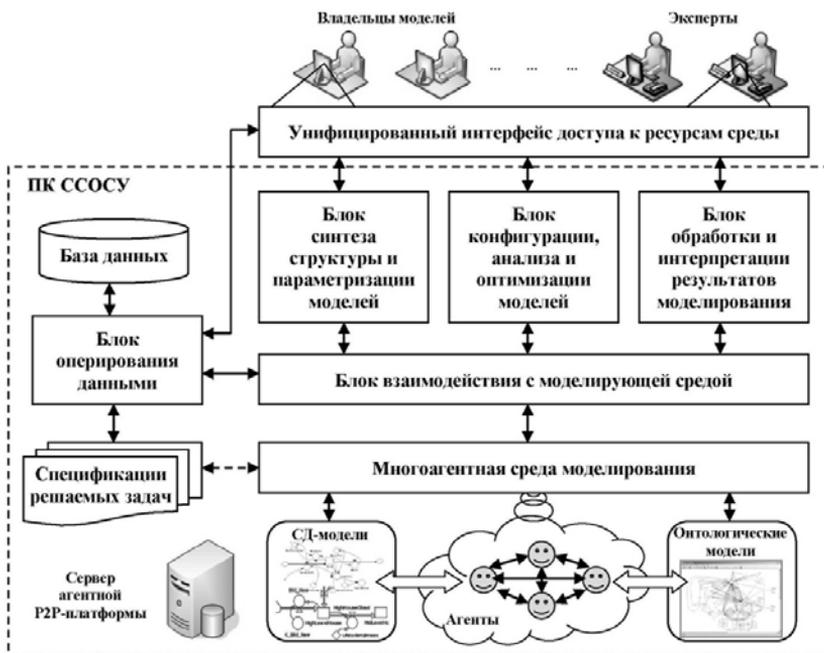


Рисунок 1 – Укрупненная структура программного комплекса

*Блок синтеза* реализует процедуры формализации (переноса на формальный язык концептуальной модели предметной области, реализованной в виде прикладной онтологии) структурированных и неструктурированных описаний кризисных ситуаций, компетенций и задач субъектов управления безопасностью, а также процедуры формирования коалиций агентов и связанных с ними сетей информационных ресурсов и веб-сервисов на основе этих формализованных описаний с учетом постановки задачи и накладываемых ограничений.

Пользователь (эксперт, системный аналитик или ЛПР) вводит информацию о кризисных ситуациях, возникающих в социально-экономической сфере, для управления которыми создаются территориальные координационные комиссии – виртуальные сетевые организационные структуры управления безопасностью. На основе обработки и анализа этой информации формируются модели и спецификации организационных структур, предназначенных для решения определенного класса задач управления безопасностью в условиях этих кризисных ситуаций. Ввод данных в систему производится в диалоговом режиме при взаимодействии пользователя со своим виртуальным представителем – автономным программным агентом, которому делегированы функции и полномочия по решению задач информационной поддержки управления безопасностью в виртуальной среде. Пользователь инициирует процедуру синтеза виртуальных структур управления через своего агента или агентов в зависимости от своей роли в системе. Для пользователя могут генерироваться несколько программных агентов.

В результате выполнения процедуры синтеза на основе сформированных моделей кризисных ситуаций и решаемых задач, представленных в терминах концептуальной модели предметной области, система синтезирует множество допустимых альтернативных вариантов виртуальных сетевых организационных структур управления для решения задач в условиях этих кризисных ситуаций, то есть «каркасы» структур, отражающие абстрактный контекст ситуации. При этом должно обеспечиваться «покрытие» всех взаимосвязанных задач, решаемых в условиях данных кризисных ситуаций.

Компетентность субъекта безопасности решать конкретные задачи проверяется по формулам гибкой модели установления соответствия профиля деятельности субъекта и множества решаемых задач. Технически это реализуется путем совместного анализа семантических описаний компетенций субъектов безопасности и задач управления безопасностью, семантика которых определена на концептуальной модели предметной области, то есть на основе оценки степени семантического сходства параметров этих описаний, которые являются концептами в онтологии региональной безопасности.

Система генерирует и распределяет между агентами задачи управления, решение которых необходимо в условиях заданной кризисной ситуации. Для решения этих задач создается множество управляющих элементов (координирующих агентов) и формируются коалиции агентов исполнителей.

Система поддерживает три варианта синтеза виртуальных структур:

обратный, прямой и двунаправленный синтез, различающихся поставленной целью, исходными данными и условиями останова итеративного алгоритма синтеза, предложенного в [4].

По завершению процедуры синтеза система выдает пользователю промежуточный отчет, представляющий собой табличное и графическое описание спецификаций множества синтезированных альтернативных вариантов виртуальных структур управления. Табличное представление содержит детальную информацию о параметрах элементов синтезированных структур. Графическое представление отражает обобщенную структуру взаимосвязей в виде направленного ациклического взвешенного графа и структуру соподчинения элементов в виде дерева иерархии. Эта информация заносится в базу данных системы и используется в других блоках комплекса для последующей обработки, анализа и оценивания.

*Блок конструктора и конфигуратора* моделей сетцентрических структур управления обеспечивает возможность уточнения и доопределения параметров решаемых задач управления и сформированного «под них» множества альтернативных вариантов структур в автоматизированном режиме, либо в режиме диалога с пользователем. Блок предоставляет также возможность доопределения параметров локального контекста агентов, что является основой реконфигурации структур в случае изменения параметров исследуемой ситуации. Данный блок предназначен для упрощения процесса реорганизации виртуальных структур. Результаты работы блока используются в процедурах анализа и оценки эффективности (качества конфигурации) синтезированных организационных структур.

*Блок анализа и оценки* предназначен для оценивания качества конфигурации моделей виртуальных структур управления безопасностью. Оценивание направлено на сокращение количества возможных альтернативных вариантов структур, подлежащих окончательному ручному рассмотрению. Для оценки качества конфигурации элементов структур используются критерии [4]:

- 1) связность (целостность) структуры;
- 2) деловая репутация субъектов безопасности, входящих в структуру;
- 3) совместимость и согласованность взаимодействия элементов структуры;
- 4) показатели качества функционирования элементов структуры;
- 5) оперативность решения задач, стоящих перед структурой, в условиях заданной цели и имеющегося в наличии набора ресурсов (материальных, финансовых и др.).

По результатам работы данного блока формируется отчет, который предоставляется пользователю в аналитической и графической формах. Отчет включает информацию о том, какие структуры были построены и как, а какие рекомендуются для дальнейшей проработки с учетом полученных оценок по выбранным критериям эффективности.

*Блок настройки и реконфигурации* используется для итоговой «ручной» настройки параметров элементов отобранных эффективных моделей

структур «под задачу». В блоке доопределяются неизвестные характеристики структур экспертным путем и, в случае изменения ситуации, проводится динамическое реконфигурирование элементного состава структур. В результате формируется множество оптимальных спецификаций структур, параметризованные модели которых отражают оперативный (прикладной) контекст кризисной ситуации и совместно используются компонентами информационной инфраструктуры безопасности региона для решения задач управления и принятия решений в условиях этой ситуации.

*Блок оптимизации и развития* позволяет проводить исследование агентных моделей структур обеспечения безопасности при различных сценариях развития региональных кризисных ситуаций, для управления которыми эти структуры создаются. Для этого в рамках системы используются средства мониторинга и активного прогноза динамики показателей безопасности региона, оптимизируемых различными элементами структур на разных уровнях управления, и процедуры их согласования. Процедура прогнозирования в блоке реализуется на основе имитационно-экспертного моделирования.

В случае изменения целей субъектов управления безопасностью, внешних условий или стратегии регионального развития зачастую меняется набор антикризисных мер и задач, эффективное решение которых должно обеспечиваться на всех уровнях принятия решений виртуальными структурами управления безопасностью региона в условиях возникновения кризисных ситуаций. Это, в свою очередь, влечет за собой необходимость полной или частичной перестройки действующих в регионе организационных структур управления безопасностью с целью их адаптации к динамически меняющимся условиям обстановки. Данный функциональный блок системы позволяет находить наиболее благоприятные и адекватные ситуации альтернативы подобных перестроек. Входной информацией для работы блока является множество существующих или вновь сформированных организационных структур управления безопасностью в регионе, подходящих для нейтрализации возможных кризисных ситуаций, и данные об изменениях во множестве задач управления, стоящих перед этими структурами. Результатом работы блока является аналитическая информация о возможных альтернативах изменения ситуации в регионе и соответствующие рекомендации по модификации состава структур и их параметров, что используется для информационной поддержки принятия управленческих решений и адаптации к новым факторам и условиям, влияющим на состояние и функционирование региональных элементов и подсистем.

*Многоагентная среда моделирования* ПК ССОСУ представляет собой совокупность функциональных модулей и программных средств, обеспечивающих, наряду с поддержанием среды исполнения и корректного функционирования агентов, синтез онтологических и имитационных моделей из шаблонов для создания полимодельных комплексов и их последующее использование в процессе реализации аналитических, прогностических и когнитивных (познавательных) функций агентов при решении пользовательских задач. Реа-

лизация технологии дистанционного формирования моделей на базе типовых модельных шаблонов и управления процессом моделирования [5] обеспечено как на уровне платформы среды, так и на уровне типового агента системы. Многоагентная среда построена на базе сервис-ориентированной архитектуры [6].

Специализированными компонентами многоагентной среды моделирования являются средства:

- формирования отдельных подмоделей с помощью разных методов моделирования и их интеграции в общий полимодельный комплекс;
- обеспечения согласования и выбора общесистемного шага моделирования для различных подмоделей;
- формирования и исполнения подмоделей внутри имитационного аппарата агентов;
- автоматизированной обработки результатов моделирования;
- интеграции (консолидации) результатов моделирования в разрезе конкретной решаемой задачи.

Архитектура многоагентной среды моделирования также включает функциональные модули, реализующие внутреннюю логику функционирования агентов, протоколы межагентных коммуникаций, а также процедуры формирования коалиций агентов и модели управления их совместной деятельностью, методы оценки доверительных отношений между агентами, средства обеспечения информационной безопасности агентов и данных, алгоритмы миграции агентов, средства интеграции веб-сервисов и сервисов агентов.

Архитектура многоагентной среды моделирования задач управления региональной безопасностью показана на рисунке 2.

Среда включает множество автономных программных агентов субъектов управления безопасностью (СУБ), внешние модули и источники данных, вспомогательные приложения и агенты промежуточного слоя, а также компоненты внешних систем. Связи между агентами и внешними компонентами обозначены на рис. 2 соответствующими стрелками. Агентная платформа среды содержит статичные агенты СУБ и мобильные агенты коалиций, а также вспомогательные агенты для взаимодействия с внешними компонентами и агента-брокера, реализующего алгоритмы семантического анализа сервисных описаний агентов и веб-сервисов в информационном пространстве региона.

Базовые функциональные компоненты системы разработаны с помощью языка Java на базе платформы JADE (Java Agent Development Environment), поддерживающей стандартную спецификацию FIPA для реализации агентов, в соответствии с методологией проектирования многоагентных систем GAIA. В качестве вспомогательного программного обеспечения для разработки агентов и их настройки на предметную область использованы инструментальные средства AgentBuilder Toolkit и Cougaar (Cognitive Agent Architecture).

Таким образом, программный комплекс обеспечивает работу со всей необходимой информацией для формирования, оценки и реконфигурирования

мультиагентных моделей виртуальных сетевых структур управления региональной безопасностью с учетом спецификации кризисных ситуаций и их оперативного (прикладного) контекста. Комплекс поддерживает анализ и синтез различных типов организационных структур управления как иерархических [7, 8], так и сетевых [9, 10].

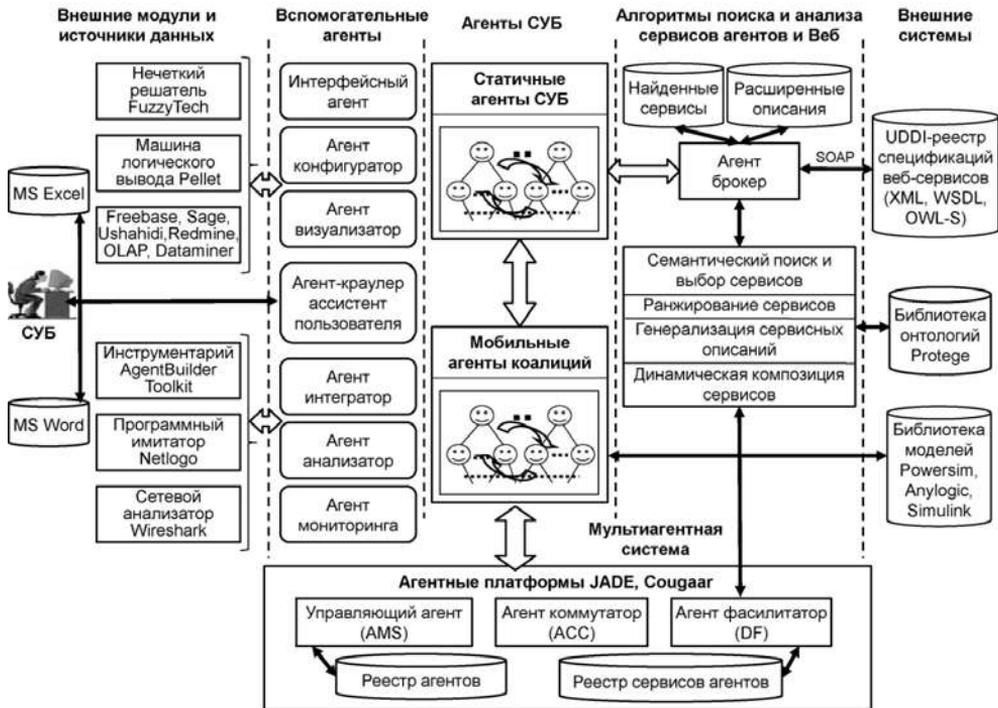


Рисунок 2 – Архитектура многоагентной среды моделирования задач управления и принятия решений в сфере региональной безопасности

Область корректного применения комплекса, как инструмента информационной поддержки управления региональной безопасностью, определяется возможностью синтеза и анализа таких классов организационных структур управления как простые, адхократические бюрократические, дивизионные структуры и другие, призванные работать как в стабильных, так и в динамических открытых виртуальных средах с высоким уровнем неопределенности.

Программный комплекс прошел апробацию при решении ряда практических задач в сфере информационного обеспечения экономической безопасности Мурманской области в составе информационно-аналитической системы «Прогноз» [11], официально используемой Министерством экономического развития Мурманской области и ситуационным центром региона на основе нормативно-правовых регламентов, принятых на государственном уровне.

### Заключение

Разработанный программный комплекс является инструментом анали-

за и синтеза моделей сетевых организационных структур управления в приложении к задачам обеспечения региональной безопасности и информационной поддержки принятия решений в этой сфере. Комплекс имеет мультиагентную реализацию и позволяет в автоматизированном режиме проводить совмещенное формирование и оценку эффективности моделей сетевых организационных структур управления безопасностью региона в условиях кризисных ситуаций за счет использования автономных программных агентов и средств имитационного моделирования. Комплекс обеспечивает возможность динамического реконфигурирования моделей организационных структур управления безопасностью «под задачу», а также оперативную настройку среды моделирования на особенности той или иной задачи управления.

Средства комплекса обеспечили трехкратное сокращение времени на формирование аналитической информации для принятия управленческих решений. Такая эмпирическая оценка эффективности получена на основе применения методов GOMS и BSC.

Приложения программного комплекса выполнены в едином контексте формирования, конфигурирования и координации сетевых виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью на задачах из областей экономической, экологической, кадровой и инновационной безопасности Мурманской области.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-07-04290-а).

#### *Литература*

1. Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В. Сценарный анализ в управлении геополитическим информационным противоборством // М.: Наука. 2015. 542 с.
2. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике // Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2016. 222 с.
3. Маслобоев А.В. Метод автоматизированного синтеза виртуальных организационных структур для задач управления региональной безопасностью // Программные продукты и системы. 2013. № 4(104). С. 141-149.
4. Маслобоев А.В. Технология формирования мультиагентных моделей организационных структур сетецентрического управления региональной безопасностью // Информационные системы и технологии. 2017. № 5(103). С. 39-48.
5. Маслобоев А.В., Олейник А.Г., Шишаев М.Г. Информационная технология дистанционного формирования и управления моделями системной динамики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 4. С. 748-755.
6. Жебрун Н.Н. Использование сервис-ориентированных архитектур при построении информационных систем // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2005. № 10. С.249-254.

7. Минцберг Г. Структура в кулаке. Создание эффективной организации // СПб.: Питер. 2003. 512 с.
8. Цыгичко В.Н., Попович А.Ю. Синтез иерархических систем управления. Теория и практика // М.: Красанд. 2011. 256 с.
9. Игнатъев М.Б. Просто Кибернетика // СПб: «Страта». 2016. 248 с.
10. Иванов Д., Соколов Б., Архипов А., Кэшель Й. Модель динамического структурно-функционального синтеза гибких цепей поставок на основе ключевых компетенций // Логистика и управление цепями поставок. 2008. № 2(25). С. 39-52.
11. Селянин А.О., Андрианов Д.Л. Информационно-аналитическая система мониторинга, анализа и прогнозирования социально-экономического развития и финансового состояния субъектов РФ // Методология регионального прогнозирования: Сб. докл. Конф // М.: СОПС. 2003. С. 128-147.

УДК 004.43

**Визуальный декларативно-алгоритмический язык «IntelGraf»  
в ракетно-космической технике**

**Н.П. Сениугин**, ведущий инженер-программист,  
Акционерное общество «Научно-производственное объединение измеритель-  
ной техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королев, Московская область

*Рассматривается применение визуального декларативно-  
алгоритмического языка «IntelGraf» в ракетно-космической технике (в ка-  
честве метода «Программирование без программистов»).*

Язык IntelGraf, программирование без программистов, система на кристалле.

**Visual declarative-algorithmic language «IntelGraf» in rocket space  
technology**

**N.P. Sinyugin**, leading software engineer,  
Joint stock company «Scientific-production Association of measuring equipment»  
(JSC «NPO IT»), Korolev, Moscow region

*The application of the visual declarative-algorithmic language  
«IntelGraf» in rocket and space technology (as a method «Programming without  
programmers») is considered.*

Language IntelGraf, programming without programmers, system on a chip.

**Введение**

В АО «НПО ИТ» создана инновационная визуальная технология про-  
граммирования, центральным элементом которой является язык «IntelGraf».

«IntelGraf» – визуальный декларативно-алгоритмический язык про-  
граммирования и моделирования. Был разработан (автор Сениугин Н.П.) при  
создании сложных информационных систем. Разработка языка велась с 2012  
года.

Язык построен на основе двух концепций: Интеллект-карт (Mind Map)  
[2], автор Тони Бьюзен, и Графит Флокс (язык Дракон), автор В.Д. Паро-  
нджанов [1].

Основной целью разработки было создание единого языка, который  
своей доступностью и мощностью способен заменить обычные языки про-  
граммирования.

Работы по созданию «IntelGraf» были в основном закончены в 2015,  
когда была разработана автоматизированная система проектирования про-  
граммных средств «IntelGraf».

«IntelGraf» можно определить как общедоступный визуальный язык, предназначенный:

- для систематизации, структуризации, наглядного представления и формализации декларативных и процедурных (императивных) знаний;
- для описания структуры человеческой деятельности и бизнес-процессов;
- для проектирования, программирования, моделирования и обучения.

Правила языка «IntelGraf» по созданию IntelGraf-схем оптимизированы для восприятия и понимания человеком. Язык предлагается в качестве инструмента усиления человеческого интеллекта.

### Структурная схема intelgraf-технологии

На рисунке 1 показана структура INTELGRAF-технологии. Данные и алгоритмы изображаются графически, в виде схем языка IntelGraf (IntelGraf-схем). Сложные иерархические структуры данных также изображаются с помощью IntelGraf-схем. Исходный код любой IntelGraf-программы содержит как декларативную, так и алгоритмическую составляющую. Затем с помощью встроенного кодо-генератора схема переводится в исполняемый код.

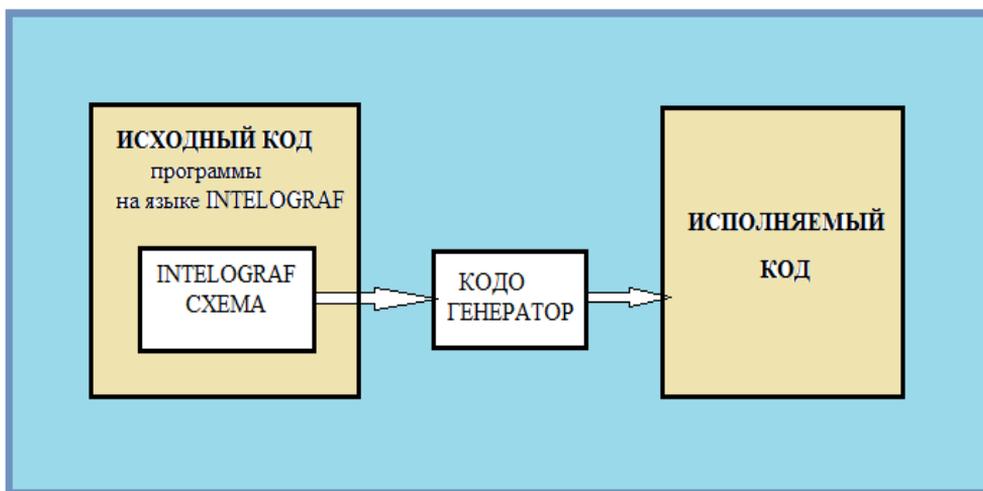


Рисунок 1 – Структурная схема INTELGRAF-технологии

### Кто должен формализовать знания

Язык INTELLOGRAF опирается на принцип: «Кто обладает знаниями, тот и должен их формализовать». Этот принцип вступает в противоречие с обычной практикой, согласно которой формализацию знаний для исполнения на компьютере выполняют специалисты по программированию.

Чтобы пояснить суть дела, зададим вопрос. Кто обладает прикладными знаниями при создании телеметрических систем или систем управления ракеты-носителя: инженеры или программисты? Конечно, инженеры.

Именно инженеры (а отнюдь не программисты) досконально знают «физику процесса». По этой причине, никто лучше инженера не знает и не может знать алгоритмы и структуры данных прикладных задач, решаемых системой.

А раз так, именно инженеры (а отнюдь не программисты) должны формализовать свои собственные профессиональные знания и превратить их в прикладные программы.

На этом пути возникает серьезное препятствие. Дело в том, что традиционные средства математической формализации знаний (в виде математического и программного обеспечения ЭВМ) оказываются чрезвычайно трудными – непосильными для инженера. К счастью, эту преграду удалось преодолеть при создании языка InteloGraf с помощью когнитивно-эргономических методов.

### **Эргономизация языка INTELOGRAF**

*Эргономичная программа* – программа, позволяющая минимизировать интеллектуальные усилия, необходимые для её понимания человеком и облегчить выявление ошибок при зрительном восприятии текста программы. Преимущество эргономичных программ в том, что они намного понятнее, яснее, нагляднее и доходчивее, чем обычные. Если программа непонятна, в ней трудно или даже невозможно заметить затаившуюся ошибку. И наоборот, чем понятнее программа, тем легче найти в ней ошибку.

*Эргономизация* языка программирования подразумевает облегчение восприятия и понимания человеком средств проектирования, программирования и сопровождения программ. Она опирается на постулат (*принцип InteloGrafa*):

«Язык – важнейший интеллектуальный инструмент разработчиков и программистов. Чем удобнее язык, чем лучше он адаптирован к решаемой задаче, тем лучше работает человеческий мозг, выше производительность труда».

При разработке языка InteloGraf исходили из следующих соображений. Процесс достижения интеллектуального взаимопонимания между соисполнителями сложных проектов – один из наиболее сложных видов умственного труда. Производительность этого труда недопустимо мала и разительно отстает от растущих потребностей, связанных с ростом объемов и сложности бортового и наземного программного обеспечения. Чтобы переломить неблагоприятную тенденцию, необходимо поднять уровень взаимопонимания и эффективность взаимодействия между специалистами. Язык InteloGraf и IntelGraf-технология специально ориентированы на решение данной проблемы за счет предоставления персоналу новых языковых и инструментальных средств.

Эргономичный язык InteloGraf позволит устранить возникшие перед

инженерами трудности понимания без потери математической строгости. Благодаря этому упомянутый выше *принцип InteloGrafa* можно использовать при разработке телеметрических систем, и даже систем, управления ракет-носителей и разгонных блоков космических аппаратов.

### **Программирование без программистов**

Язык INTELOGRAF позволил реализовать метод «Программирование без программистов» при разработке исходного кода программ. Данный метод можно считать одной из основных идей INTELGRAF-технологии.

Автор термина «Программирование без программистов» – американский ученый Джеймс Мартин. В 1982 году Д. Мартин опубликовал книгу под названием «Разработка прикладных программ без программистов» (Applications development without programmers) [3].

Книга Д. Мартина дала начало новому направлению исследований, которое обычно для краткости называют «Программирование без программистов» (хотя фактически речь идет только о программировании без *прикладных программистов*).

В работе Мартина говорится о непроцедурных языках. При разработке INTELOGRAFa была использована идея Мартина «Программирование без программистов». Вместе с тем, было отказано от сделанного им выбора в пользу только непроцедурных языков. И был сделан диаметрально противоположный выбор - INTELOGRAF – не только декларативный, но и процедурный (императивный) язык программирования.

### **Иконы языка INTELOGRAF**

Основой графического синтаксиса языка InteloGraf является графический алфавит. Алфавит состоит из геометрических фигур, именуемых *иконами*. Всего имеется 30 икон. На рисунке 2 показаны основные из них. Для каждой иконы задана ориентация, однозначно показано направление соединительных линий, входов и выходов.

### **СЕМЕЙСТВО INTELOGRAF-ЯЗЫКОВ**

INTELOGRAF – не один язык, а целое семейство, все языки которого имеют одинаковый визуальный синтаксис (что зрительно делает языки семейства почти близнецами) и отличаются текстовым синтаксисом.

Кроме собственно языка INTELOGRAF, семейство включает гибридные визуальные языки программирования: INTELOGRAF-БЕЙСИК, INTELOGRAF-PROLOG, INTELOGRAF-C++, INTELOGRAF-C#, INTELOGRAF-ASM++, INTELOGRAF-VHDL, и т.д. Чтобы получить гибридный язык, например, INTELOGRAF-C++, необходимо взять визуальный синтаксис INTELOGRAFa и присоединить к нему по определенным правилам текстовый синтаксис языка C++.

Строгое разграничение визуального и текстового синтаксиса позволяет в максимальной степени расширить сферу применения языка, обеспечивая его гибкость и универсальность. При этом *единообразие* правил визуального синтаксиса семейства INTELOGRAF-языков обеспечивает их концептуальное единство, а *разнообразие* текстовых правил (т. е. возможность вы-

бора любого текстового синтаксиса) определяет гибкость языка и легкую настройку на различные проблемные и предметные области.

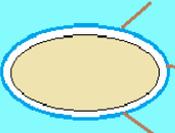
ИКОНА	НАЗВАНИЕ ИКОНЫ	ИКОНА	НАЗВАНИЕ ИКОНЫ
	Заголовок		Развилка ДА
	Указатель/Метка		Вопрос ДА
	Переход		Вопрос НЕТ
	Действие		Развилка НЕТ
	Вставка		Цикл
	Комментарий		Выход
	Пауза		Выбор
			Значение

Рисунок 2 – Иконы языка INTELOGRAF

**ПРИМЕР, ДЕМОНИСТРИРУЮЩИЙ ЯЗЫК INTELOGRAF-C++**

Возьмём простой пример: блок-схему алгоритма из современного учебника «Информатика». Алгоритм носит название «Определение завтрашней даты». Он изображен на рисунке 3.

Изображенный на рисунке алгоритм, в виде традиционной блок-схемы, не удовлетворяет когнитивно-эргономическому требованию высокой понимаемости. Он скорее изображен по принципу: «Сколько ни смотри, всё равно вряд ли поймешь!» Критике традиционных блок-схем посвящены многие работы В.Д. Паронджанова (смотри например книгу [1]). В ней делается категорический вывод, что блок-схемы должны быть заменены когнитивно-эргономическими схемами.

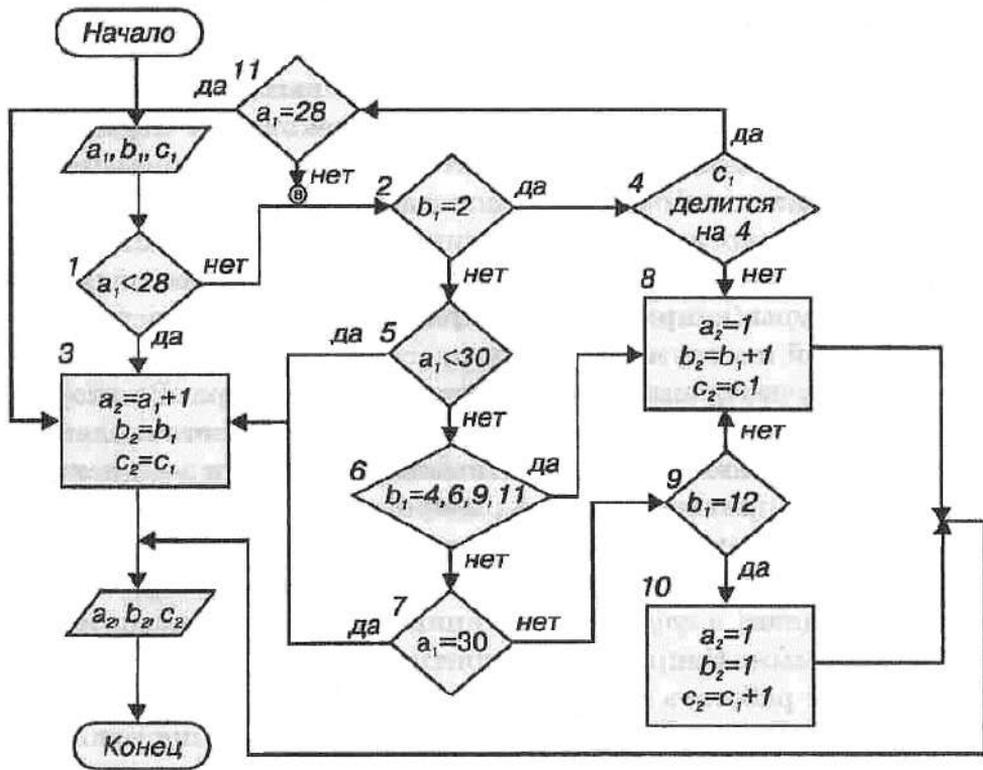


Рисунок 3 – Алгоритм «Определение завтрашней даты»

Попробуем перевести вышеуказанную блок-схему алгоритма в InteloGraf-схему программы «Определение завтрашней даты» в стиле C++.

Необходимо особо подчеркнуть, что INTELOGRAF-схема читается и исполняется слева-направо, сверху-вниз, как при обычном письме.

На одной общей InteloGraf -схеме созданы четыре подсхемы:

- класс "CData"
- конструктор "CData()", класса "CData"
- функция-член "void zavt\_data()", класса "CData"
- функция "int main(...)", с которой и начинается выполнение программы.

В заголовке схемы с помощью указателя "Lib" показаны подключаемые к проекту файлы.

Вид каждой из подсхем определяется с помощью указателя "Is". Это может быть класс, структура, функция и т.д. Принадлежность же, например, функции конкретному классу, определяется указателем "Of". Аргументы функции определяются с помощью указателя "In", а возвращаемое функцией значение указателем "Out". Данный способ описания является удобным и наглядным, а также единым для всех других подязыков «INTELOGRAF».

Из рисунка 4 видно, что на языке INTELOGRAF можно с легкостью изображать как процедурные знания, так и сложные иерархические структуры данных. Это делает данный язык пригодным также и для объектно-ориентированного программирования.

Эта схема, набранная в САПР «IntelGraf», может быть автоматически переведена в исходник на языке C++, с помощью встроенного кода-генератора. А после компиляции этого исходника, может быть получен исполняемый файл.

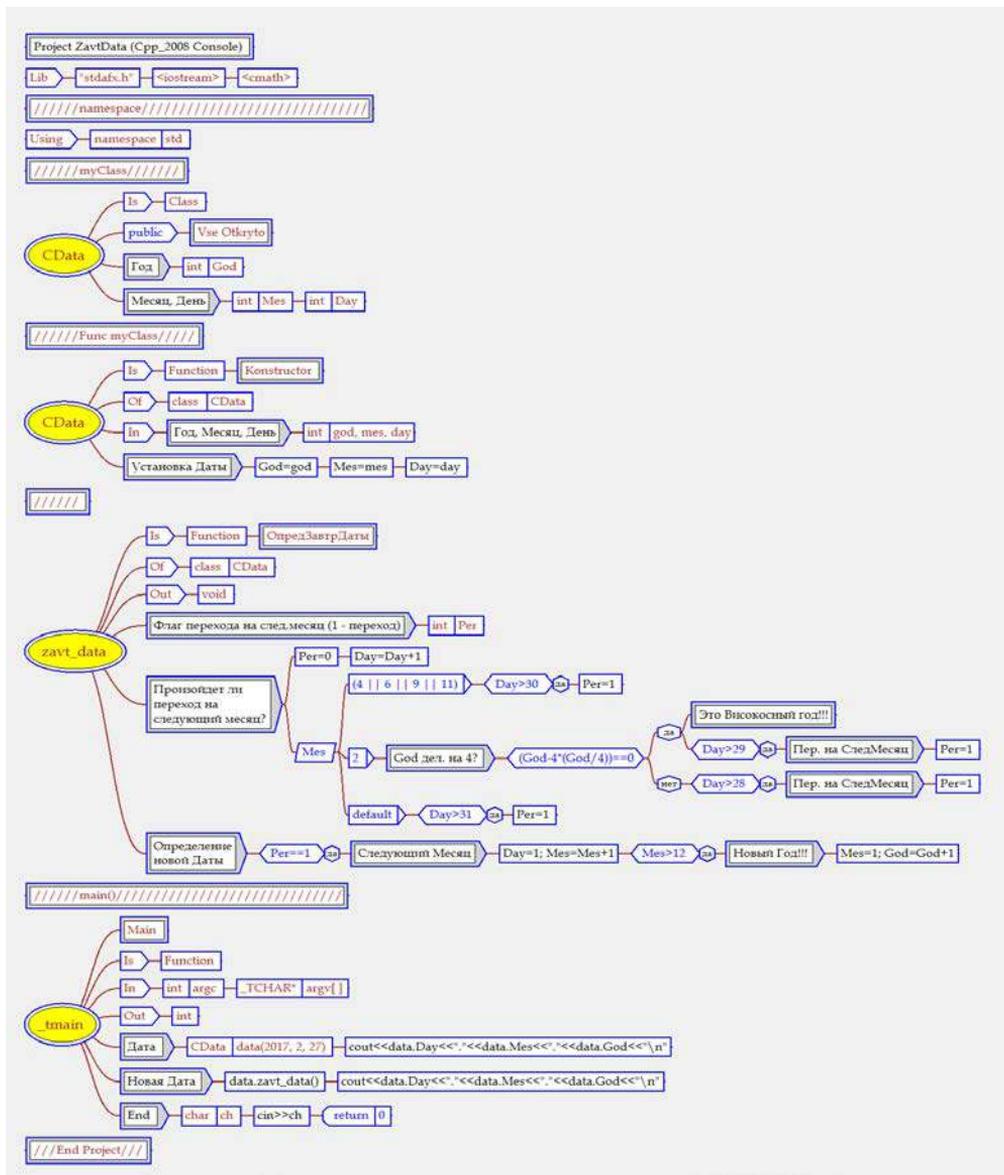


Рисунок 4 – INTELOGRAF-C++ «Определение завтрашней даты»

## ЯЗЫК INTELOGRAF И СОВРЕМЕННАЯ ТЕЛЕМЕТРИЯ

В АО «НПО ИТ» удалось создать перспективную телеметрическую систему по технологии «Система на одном кристалле». Устройство выполнено на базе современной ПЛИС, содержащей большое количество логических элементов. Это позволило сделать достаточно сложную техническую систему с малыми массогабаритными характеристиками, высокими надежностью и помехоустойчивостью.

Данная система осуществляет сбор и обработку, в реальном времени следующих видов сигналов: виброакустических, ударных и медленно меняющихся, и формирует из них следующие пакеты в «Пиритовском» формате:

1. Пакеты с непосредственными отсчетами быстроменяющихся процессов (БМП);

2. Пакеты с «простыми» характеристиками (пиковые значения, среднее значение, среднеквадратичное отклонение) БМП на интервале [0 ... 0.1 с];

3. Пакеты от вычислителя спектральной плотности мощности БМП полосовыми фильтрами 4-го порядка в 1/3 октавных полосах частот на интервале [0 ... 1 сек];

4. Пакеты от вычислителя ударных спектров на интервале [0 ... 1 сек];

5. Пакеты от сборщика медленно меняющихся процессов

и передает все эти пакеты на радиопередающее устройство по выбору на скоростях: от 4096 кб/с и ниже, до 8 кб/с.

Обработка на борту в реальном времени сигналов БМП, позволяет на несколько порядков сократить объём передаваемой телеметрической информации (ТМИ), практически без потерь информативности. Этот фактор имеет огромное значение при передаче ТМИ с борта при большом удалении от Земли.

Данная сложная телеметрическая система была создана, в основном, благодаря применению при разработке, языка INTELOGRAF и технологии «INTELOGRAF», описанных выше.

Проект создавался в виде INTELOGRAF-схем, набранных на специально разработанном графическом редакторе (САПР).

Далее схемы, с помощью, встроенного в САПР кода-генератора, переводились в VHDL-файлы. А затем уже с помощью несложных стандартных процедур создавалась и «прошивка» ПЛИС.

Применение языка INTELOGRAF, позволило создать VHDL-проект чрезвычайно сложной системы практически с нуля за очень короткое время (3-4 месяца), одним человеком. Следует добавить, что применение когнитивно-эргономической технологии при создании кода, позволило избежать грубых ошибок в проекте и создать устойчиво работающую систему практически без отладки.

### **Выводы**

- Создан новый визуальный декларативно-алгоритмический язык высокой понимаемости INTELOGRAF.
- Основной принцип языка: «Посмотрел и сразу всё понял!»

- Предлагаемый язык достаточно прост в изучении и использовании.
- INTELOGRAF построен на базе когнитивно-эргономических принципов.
- Использование языка «Intelograf» позволяет значительно увеличить интеллектуальную мощность работы человека. Резко уменьшить вероятность ошибок, просчетов, недоработок и затраченного времени.
- Язык INTELOGRAF предназначен для создания многочисленных приложений в различных областях: от образования и медицины до ракетно-космической техники.

*Литература*

1. Бьюзен Т. и Б. Супермышление // М. 2-е издание ООО «Попурри». 2003. 304с.
2. Паронджанов В.Д. Учись писать, читать и понимать алгоритмы. Алгоритмы для правильного мышления. Основы алгоритмизации // М.: ДМК Пресс. 2014. 520 с.
3. James Martin. Application Development without Programmers, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1982. 368 p.

УДК 004.02

**Методическое обеспечение подготовки и презентации  
результатов исследований**

**Ю.В. Стрэнэлюк**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
ИТУС,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье проводится структура и последовательность представления  
и презентации результатов магистерской работы.*

Презентация, исследование, магистерская диссертация.

**Methodological support for preparation and presentation of research  
results in the master thesis**

**Yu.V. Strenalyuk**, doctor of science, professor, Professor of the Department ITUS,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*In the article, the structure and sequence of presentation and presentation  
of the results of master's work is carried out.*

Presentation, research, master's thesis.

Для успешного завершения магистерского курса и защиты магистерской диссертации наряду с завершённой кондиционной работой с положительным отзывом и рецензией на нее магистранту необходимо разработать качественные презентационные материалы, позволяющие ему кратко и грамотно представить полученные им результаты. Оговорюсь, что максимальное время, которым будет располагать магистрант для представления своей работы, не будет превышать 10 минут, оптимально же ограничить свое выступление 7-8 минутами. Для презентации пишется доклад на 3,5-4 страницах, который читается наизусть, и презентация, описание которой представлено ниже.

Первый слайд презентации (слайд № 1) – титульный. В нем должны быть отражены: название Университета, факультета и кафедры, название темы диссертации, фамилия автора, его группы, научного руководителя (с ученой степенью и званием), место и год выполнения работы (рис. 1).

На слайдах 2...4 представляются цель работы и выбранные автором основные задачи исследований, объект и предмет исследования), актуальность, новизна и практическая значимость работы (рис. 2-4).

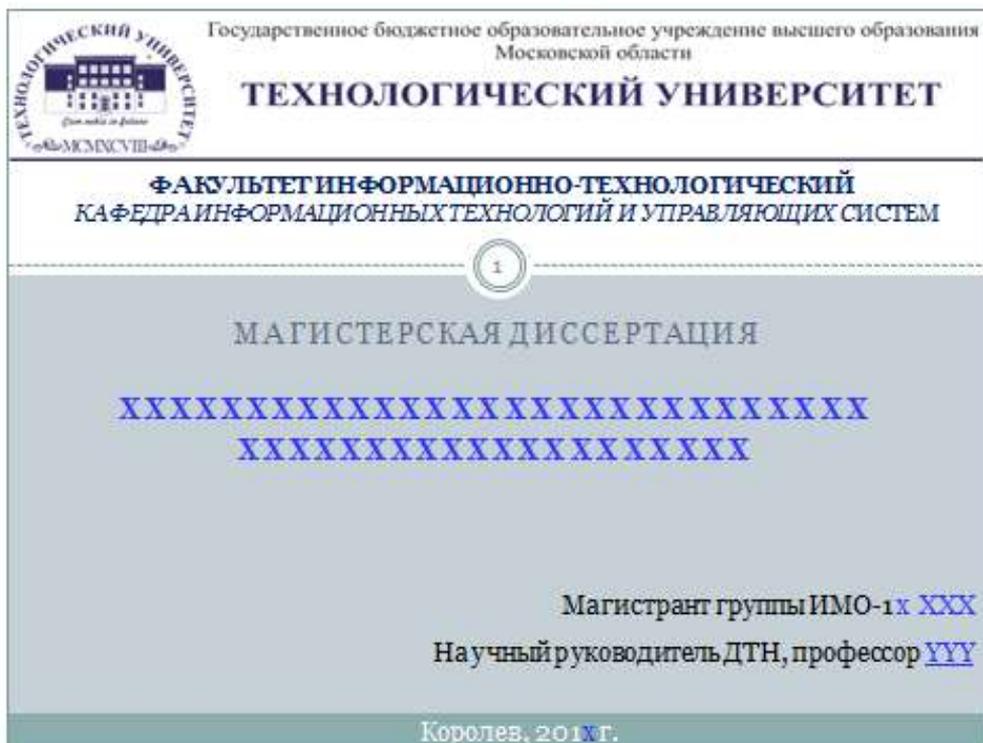


Рисунок 1 – Титульная страница слайдов

Остальные слайды должны отражать результаты исследований по соответствующим разделам по решению поставленных задач.

Слайды 5 и/или 6 должны содержать, соответственно, вербальную (смысловую) и обобщенную формализованную постановку задачи на проведение диссертационных исследований (рис. 5, 6).

На слайде 7 целесообразно поместить методическую схему их проведения, в которой по существу декомпозируется сформулированная задача – в обобщённом виде отражаются основные этапы и содержание диссертационных исследований, составляющие содержание работы (рис. 7).

Описание типовой постановки задачи исследования базируется на методических рекомендациях [1] и представлено в статье [2].

На последующих слайдах приводятся более подробно конкретные методические и прикладные результаты, отраженные в методической схеме, ориентированные на решение сформулированной на слайдах 5-6 постановки и выполняющие поставленные на слайде 2 задачи (не менее 1-2 слайдов на каждую задачу).

Далее следует слайд с технико-экономическими оценками (рис. 8).

Завершается презентация слайдами с выводами и заключением (рис. 9, 10).





**ИЛИ**

## Формализованная (математическая) постановка задачи

6

- При известных (заданных) исходных данных  $ID = \{A, B, C, \dots\}$ , где: A – xxx, МБ/с; B – xxx, Гбайт; C – xxx, Руб и т.д.
- При ограничениях ( равенствах / неравенствах)  $Y$ :  
 1) ...  
 2) ...  
 3) ...

определить связи варьируемых (оптимизируемых) параметров  $X = \{x_i\}, i=1..N$ , где:  $x_1 - \dots; x_2 - \dots; x_3 - \dots; x_N - \dots$ ;

с исходными данными ID, ограничениями Y и критерием оптимизации W:  
 $W = F(ID, X, Y)$ ,

которые доставляют оптимум (минимум/максимум) критерию оптимизации W.

Рисунок 6 – Слайд формализованной постановки задачи исследований



Рисунок 7 – Слайд схемы решения задачи исследований

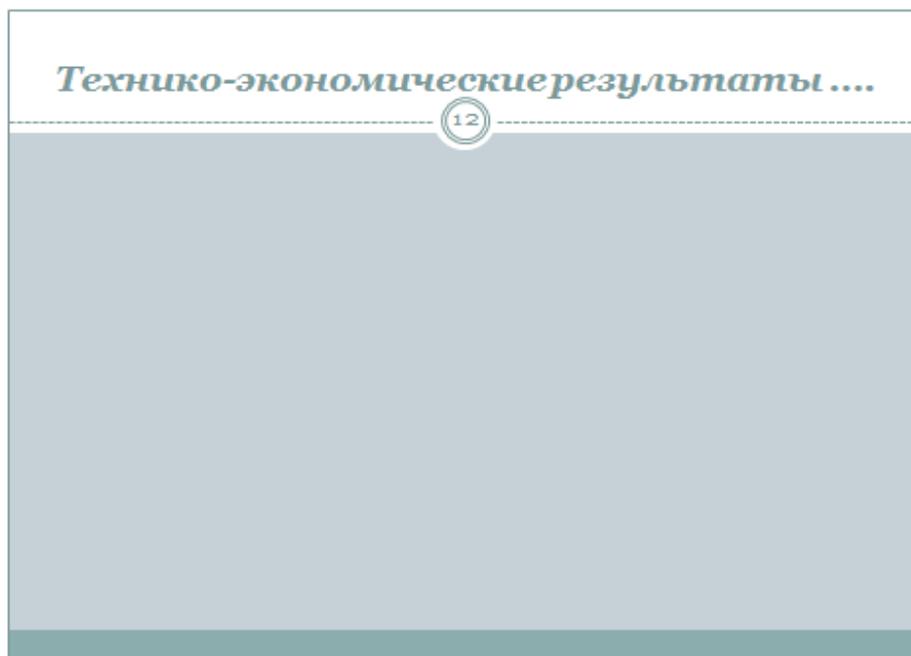


Рисунок 8 – Слайд Техничко-экономических оценок

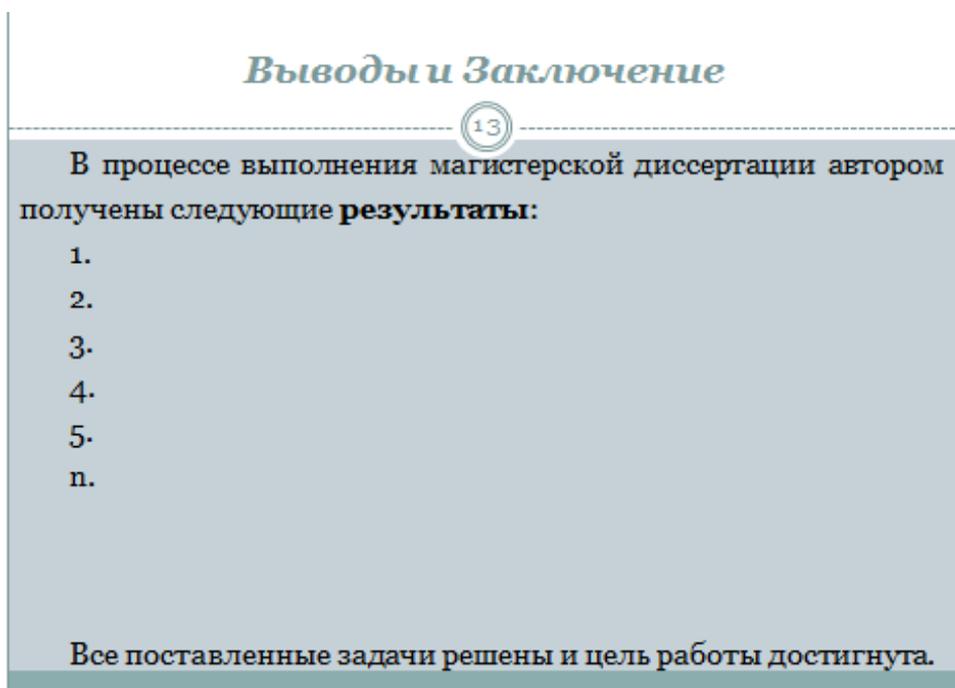


Рисунок 9 – Слайд Выводов и Заключение

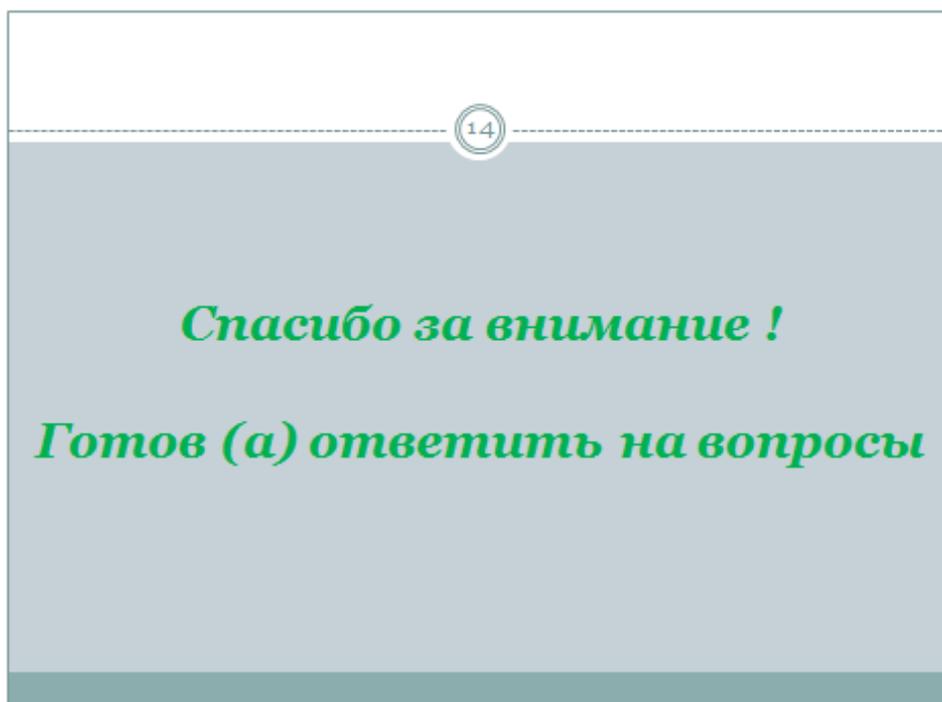


Рисунок 10 – Итоговый слайд презентации

Далее считаю целесообразным изложить сложившиеся и оправдавшие себя следующие рекомендации [1].

1). Независимо от состояния задела по работе не начинайте работу со Введения.

2). Для случая, когда автор недостаточно владеет своей задачей и работу начинает по существу с нуля, наиболее целесообразно оказывается следующая последовательность:

- а. Постановочный раздел.
- б. Методический раздел.
- в. Прикладные исследования.
- г. Заключение.
- д. Введение.

При этом необходимо особое внимание обращать на стыковку **Введения**, **Заключения** и постановочного раздела. Результаты исследований, изложенные в **Заключении** и во **Введении**, должны быть согласованы между собой и соответствовать постановке задачи на проведение диссертационных исследований.

Если же у автора имеется достаточный задел и он «чувствует» задачу, **работу над диссертацией следует (оказывается полезным) начинать с Заключения, с первой черновой его редакции.**

Под эту редакцию **Заключения** разрабатывается постановка задачи (1 раздел), далее методический и прикладной разделы. При этом в ходе работы над методическим и прикладным разделами постоянно уточняются **«постановочный» раздел и Заключение**.

Окончательная редакция «постановочного» раздела, **Заключение** и **Введение** отрабатывается после того, как завершена отработка методического и прикладного разделов. Количество такого рода итерационных приближений определяется степенью готовности **Заключения** – весомостью и новизной тех научных результатов, которые будут отражены в нем по итогам отработки методического и прикладного разделов.

Условно содержание доклада целесообразно разделить на следующие смысловые разделы: вступительный, основной и заключительный.

► Во вступительном разделе целесообразно отразить следующее:

1. **Тему** диссертационной работы.
2. **Цель и задачи** работы.
3. Обоснование необходимости постановки и проведения исследования, их **новизна**.
4. **Объект и предмет** исследования.
5. **Актуальность и научная новизна** полученных результатов.

**Содержание,**

► Основной раздел доклада о научных результатах озвучивает и выделяет главное на слайдах (начиная с слайда **Постановка задачи**).

Объем определяется временем, отведенным на доклад.

**Основное здесь – осветить все главное из заключения .**

**Первый результат** касается разработки постановки задачи на проведение исследований. Он может начинаться, например, следующим образом: *«На основе анализа ..., теоретического обобщения методического обеспечения по данной задаче сформулированы цели и задачи исследований, предложена система показателей, определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на выбранные показатели, выбрана система ограничений и допущений при проведении исследований ...».*

Далее формулируется задача на смысловом уровне. Например: *«Исходя из ... в диссертации ставится задача разработать такое методическое обеспечение (программно-методический комплекс), которое бы позволило определить такие параметры системы (процесса и т.д.), которые бы позволили обеспечить (достичь)..... при.....(заданных ограничениях, допущениях и др.).*

**Вторая группа результатов** относится к разработке комплекса математических моделей, методик и методов, предназначенных для..., с указанием конкретных методических результатов. *(Для решения поставленной задачи разработан комплекс математических моделей, методов и методик, включающий в себя:*

Для каждой модели, метода (методики) должны быть указаны:

- наименование... (с акцентом на назначение);

- методическая идея (основа);
- возможности и области применения.

Вторая группа результатов заканчивается словами, например: «Разработанное программно-методическое обеспечение было доведено до соответствующих рабочих алгоритмов и реализовано на ЭВМ типа.... Его работоспособность подтверждена (реализована) в ходе выполнения плановых НИР в период с ..... по .....год.

**Третья группа результатов содержит**, например:

- характерные «закономерности» влияния основных параметров процесса (ТТХ средств, внешних условий и т.д.) на показатели эффективности технической системы (процесса) и т.д.

- конкретные рекомендации по параметрам (ТТХ) системы, режимам ее функционирования и т.д.

- Возможные области применения полученных оценок и рекомендаций.

Начинается этот результат, например, со слов: «На базе разработанного методического обеспечения в рамках диссертационных исследований ставилась задача ..... (под те результаты, которые есть в работе). Полученные результаты приведены на пл.№. ... и сводятся к следующему: .....

После этого произносят фразы о достоверности и новизне полученных методических и прикладных результатов.

**Четвертая и заключительная позиция** – реализация методических и прикладных результатов.

#### *Литература*

1. Остроухов В.В. Методические рекомендации соискателям и адъюнктам по работе над диссертациями // 4 ЦНИИ МО. 1996.
2. Стреналюк Ю.В. Типовая формализованная постановка задачи исследования в диссертационной работе // Информационно-технологический вестник. 2016. № 9. С.83-91.
3. Артюшенко В. М. Информационные технологии и управляющие системы: монография / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова, Ю.В. Стреналюк, В.И. Привалов, В.И. Воловач, Е.П. Шевченко, В.М. Зимин, Е.С. Харламова, А.Э. Аббасов, Б.А. Кучеров /под науч. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко // М.: Издательство «Научный консультант». 2015. 185 с.
4. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова, Ю.В. Стреналюк, В.И. Привалов, В.И. Воловач, Е.П. Шевченко, В.М. Зимин, Е.С. Харламова, А.Э. Аббасов, Б.А. Кучеров /под науч. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко // М.: Издательство «Научный консультант». 2015.185 с.

УДК 004.56

## **Особенности защиты информации региональной платежной системы**

**А.И. Сухотерин**, к.в.н., доцент кафедры информационной безопасности,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*С каждым годом в общем объёме денежных операций и транзакций для платежей по картам увеличивается.*

*И так как использовались только иностранные платежные системы, то экономика страны находилась под большой угрозой, поэтому создание национального аналога стало приоритетной задачей, которая требует, тщательно разработанной программы развития и интеграции всех составляющих их инженерной инфраструктуры: информационных технологий, телекоммуникаций и защиты информации.*

*Учитывая, что в базах центров авторизации платежных карт содержится информация, полная или частичная потеря, которой неизбежно приведет к значительным финансовым потерям, которые могут быть выше чем средства, потраченные на создание информационных служб, необходимо обеспечить надежную защиту всех компонентов центров авторизации.*

Мобильный банк, Национальная система платежей, угрозы для экономики, карта Мир, дистанционное банковское обслуживание.

## **Protected by the national system of payment cards as an experience operational decisions major tasks**

**A.I. Sukhoterin**, c.m.s., docent of the Department of Information security,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Every year, in the total volume of cash transactions and transactions via cards increases. In addition, only foreign payment systems is used. Country's economy was under great threat; accordingly, the creation of a national analogue was a priority task that requires a dependable program for the development and integration of the entire engineering infrastructure that make up them: information technology, telecommunications and information security. Taking into account that the databases of authorization centers contain information which full or partial loss leads to significant financial losses. It is can be much higher than the costs of information services. Because of that, it is necessary to ensure protection of all components of authorization.*

Mobile banking, the National Payments System, card «Mir», remote banking.

В настоящее время на территории Российской Федерации зарегистрировано около 38 платёжных систем, причем из них 16 национально значимые, 6 – социально значимые и одна – системно значимая. Сейчас мы можем наблюдать, как микро транзакции по картам увеличиваются с каждым годом. Темпы пока сравнительно медленные, но неуклонные.

По данным 2014 года лидером среди платежных систем в России являлась Visa – 56% всех операций, на втором месте MasterCard – 38%, и 6% приходилось на долю остальных платежных систем [2,4]. Но абсолютное использование зарубежных платежных систем на российском рынке порождало большую угрозу стабильности экономического сектора страны.

Такие проблемы были описаны Доктрине Информационной Безопасности от 5 декабря 2016 года, а именно – недостаточный уровень развития конкурентоспособных информационных технологий для оказания услуг в экономической сфере [1] могла стать огромной проблемой, требующей постоянного внимания.

Пример был в мае 2014 года, когда без предупреждения были отключены от платежных систем российские банки. В этот момент риск полного одностороннего прекращения обслуживания всех международных карт на территории России стал предельным и закономерным результатом стала необходимость построения модели обслуживания внутрироссийских транзакций по банковскими картам с высокой степенью безопасности и разумеется бесперебойности и независимости от различных политических течений в мире.

Отправной точкой в начале построения собственной национальной платежной системы можно считать распоряжение Президента Российской Федерации, где были приняты следующие решения:

1. О реализации проекта федерального масштаба по созданию национальной системы платежных карт.
2. О создании оператора национальной системы платежных карт (НСПК) – АО «НСПК».

Сами ключевые задачи НСПК были сформулированы в Федеральном законе от № 112-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О национальной платежной системе» и отдельные акты Российской Федерации». Первой из задач стало создание российского платежного пространства, которое должно было стать независимым от иностранных компаний [5,7]. Далее, во вторую очередь необходимо было разработать национальный платежный инструмент – собственную российскую банковскую карту «Мир» для обеспечения бесперебойности и безопасности платежей граждан России. Но одновременно перед НСПК ставились и общегосударственные задачи, направленные на:

1. Обеспечение защищенности денежных средств населения России.

2. Структурное изменение российского рынка розничных платежных услуг, ведущее к снижению его зависимости от иностранных платежных систем.

3. Развитие и доступности платежной инфраструктуры и увеличение доли безналичных расчетов.

4. Сокращение теневого сектора экономики.

Безусловно, одной из особенностей проекта НСПК является его бесспорная масштабность и уникальность, а также социальная значимость [1,2,3,8, С.410] и минимальные сроки, за которые было все реализовано. Всего за полгода, когда все внутрироссийские операции производили операции по международным платежным системам, транзакции и операции начали проводить так же через операционный процессинговой и клиринговый центр НСПК. Данный проект уже объединяет всю Россию (рис. 1), а в нем 87 участников, из которых 77 банки, а остальные – те самые национально значимые платежные системы Мультикарта, ОРС, Каскад-сервис и др [4].



Рисунок 1 – География НСПК

В настоящее время система обрабатывает более 15 миллионов транзакций в день, а в самые нагруженные сезоны и пики, их количество достигает 19 миллионов (рис. 2) [5]. Одной из главных заслуг НСПК, это огромная нагрузка с вытекающими отсюда огромными рисками в плане надежности и обеспечения бесперебойности системы, с чем НСПК справляется без напряжений.

Сама НСПК сложна и состоит из двух основных частей. Первая – это операционно-процессинговый и клиринговый центр (ОПКЦ) для международных систем, а вторая составляющая – непосредственно платежная система «Мир» со своей собственной картой, которая была презентована в декабре прошлого года [4].

Для ОЦКП выставляли следующие критерии, которым она должна была соответствовать:

1. Отказоустойчивость процессинга НСПК за счет распределенной инфраструктуры.

2. Возможность наращивания вычислительной мощности без остановки процессов.

3. Элементы технической и коммуникационной инфраструктуры не подвержены санкциям.

4. Российские системы безопасности.

5. Собственное программное обеспечение.

И на сегодняшний день, всем этим критериям система благополучно соответствует, включая ПО, которое находится в нашей собственности.

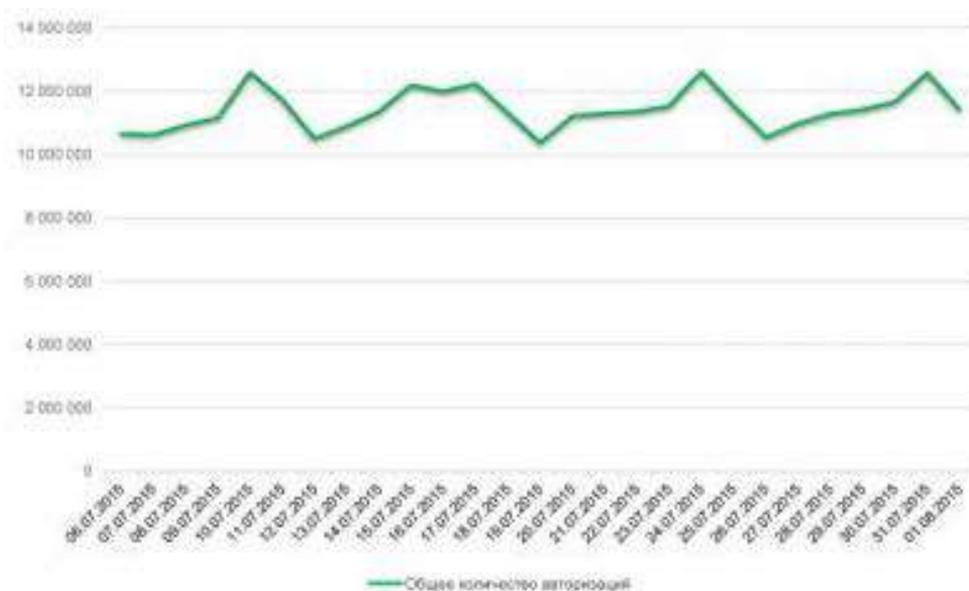


Рисунок 2 – Общее количество авторизаций с 06.07.2015 по 01.08.2015 г.

Наиболее интересной является общая схема НСПК. Технологически система состоит из двух ЦОДов, в которых первоначально отсутствовал интернет, в то время расстояние между ними больше 100 км. Чтобы связать их между ними используется канал в DWDM-системе Центрального банка. Через это DWDM-кольцо ЦОДы соединены с точками Traffic Exchanger M9 и M10. И уже к этим точкам подсоединяются банки-участники.

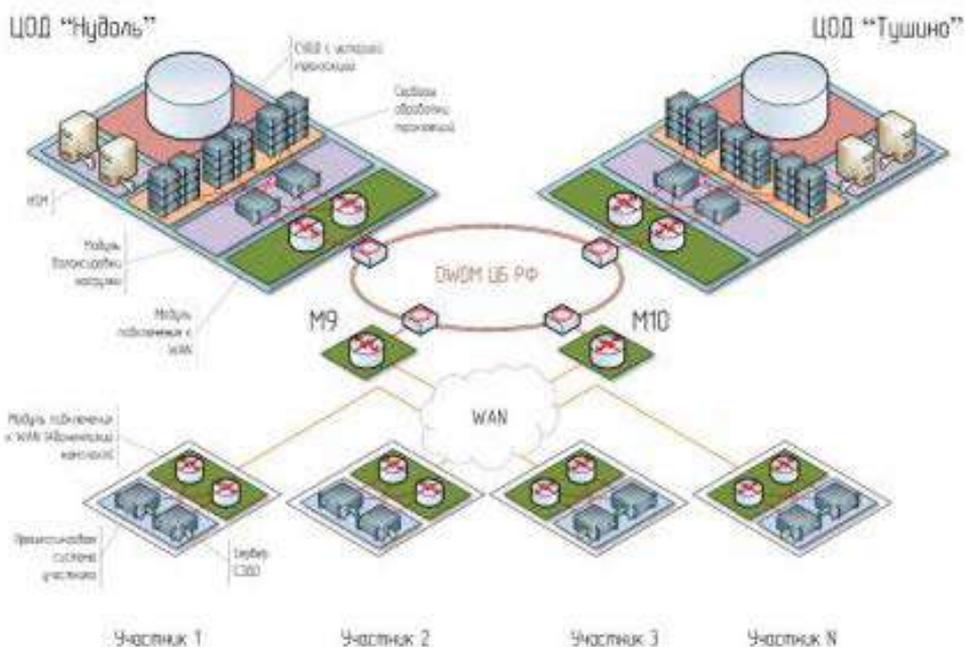


Рисунок 3 – Схема НСПК

При выборе архитектуры и технологических решений для НСПК существовали жесткие требования:

1. Необходимость создать катастрофоустойчивую систему обработки транзакций, не имеющую единой точки отказа.

2. Необходимость использовать только стандартные компоненты и решения для исключения жесткой привязки к поставщику.

3. Необходимость использовать оборудование и технические решения компаний-производителей, находящихся под юрисдикцией государств, не осуществляющих политику санкций в отношении РФ.

Так же для системы НСПК использовались сервера на стандартной архитектуре x86. Данное решение позволяло избежать жесткой привязки к поставщикам, в то время как вычислительной мощности этих серверов с лихвой хватает для выполнения поставленных задач. Даже в день обработки 19 миллионов транзакций наши серверы были нагружены на 5-10% [2,3,7].

Но, как и любая другая система созданная по классической трёхзвенной или двухзвенной рано или поздно приводит к большим проблемам. Существует ахиллесова пята – узел под название СУБД и в данном случае НСПК тоже могла стать одной из них.



Рисунок 4 – Классическая архитектура

Как отмечают опытные специалисты, что любая система (рис. 4) какой бы она не была хорошей и как бы за ней не следили администраторы, рано или поздно ломается. В основном с этой проблемой сталкиваются отдельные банки и их вкладчики, но если подобное случилось бы с НСПК, то это стало бы проблемой для всей финансовой системы России и привело к огромным потерям [5,6].

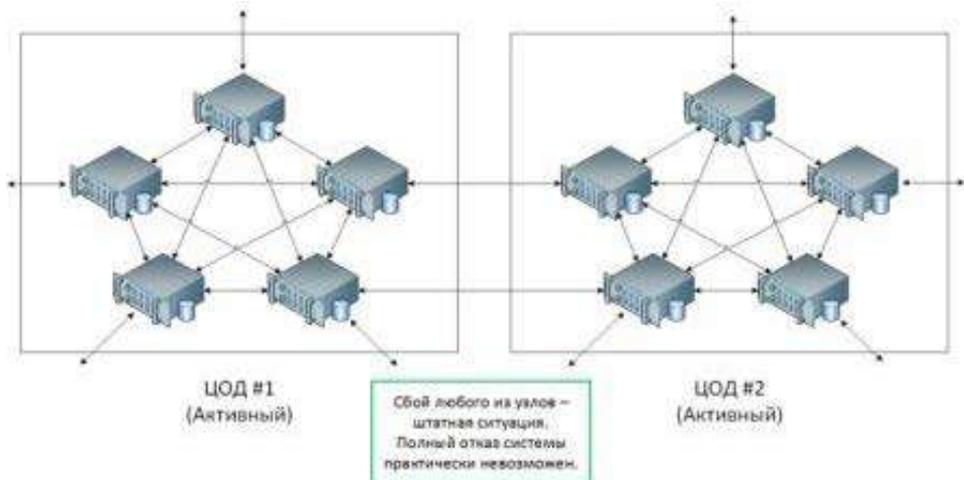


Рисунок 5 – Архитектура НСПК 1.0

Для реализации НСПК использовался другой подход: создали грид-систему (рис. 5), в которой выход из строя одного или двух элементов не при-

водит к обрушению всей системы.

Главной особенностью НСПК стало то, что каждую транзакцию готовы обслужить в один момент четыре узла и если хотя бы один из них выйдет из строя, то любой другой подхватит процесс и завершит транзакцию. Тем самым по меркам других систем, НСПК похожа, на свитч.

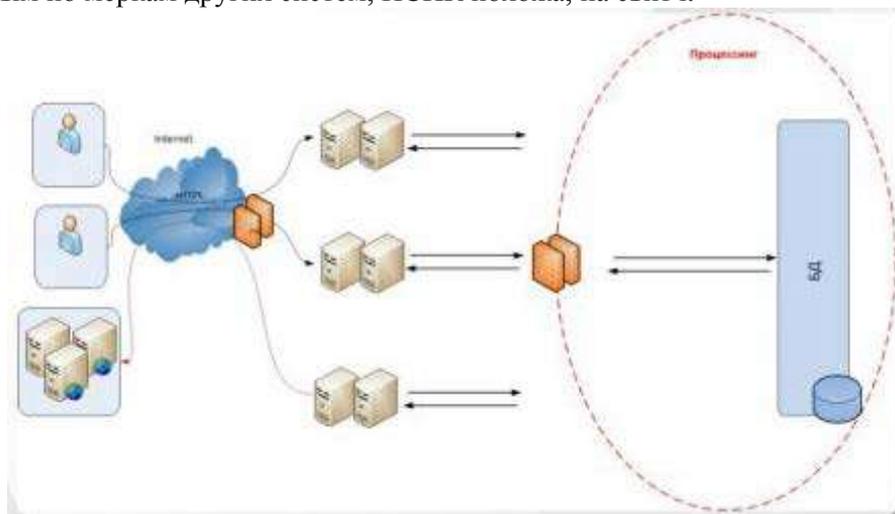


Рисунок 6 – Обычный банк

С соединением ЦОД интернетом возникла задача, как сделать так, чтобы взаимодействия из среды интернет с процессингом были гарантированно безопасными. Обычный банк или компания есть зона DMZ, через которую и происходит такое взаимодействие (рис. 6). Но там всегда есть прямой IP-линк, чего допустить нельзя [6].

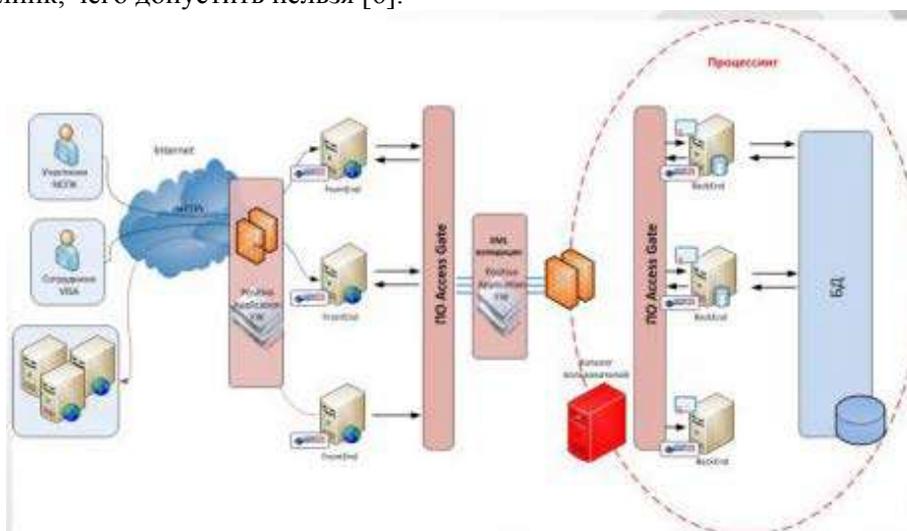


Рисунок 7 – Архитектура шлюза доступа НСПК

Поэтому вместе с Банком России и интегратором была придумана схема по перекладке xml-сообщений с заданным набором понятного для пользователя синтаксиса, а также с использованием Web Application Firewall от российского вендора (рис. 7). Тем самым получилось убрать прямой коннект и прямой линк между ЦОДами, точнее, между двумя этими гальванически развязанными средами. Таким образом, оказалось что, взаимодействие есть, но оно не онлайн, а псевдо-онлайн, отложенный [6].

Таким образом, безопасность национальной платежной системы обеспечивается не только новыми технологиями, но и новыми нестандартными идеями. А рост системы и ее стабильность в ближайшем будущем даст возможность составить ощутимую конкуренцию на международной арене зарубежным конкурентам.

#### *Литература*

1. Указ Президента РФ от 5 декабря 2016г. N 646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации».
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/1036728/#ixzz4SEIpoRVC> (дата обращения: 15.12.2016).
3. Сбербанк полностью перейдет на бесконтактную оплату к 2020 году. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.3dnews.ru/940991> (дата обращения: 15.12.2016).
4. Национальное достояние: что делают с «Миром» россияне. [Электронный ресурс]. URL: [www.banki.ru/mir/](http://www.banki.ru/mir/) (дата обращения: 15.12.2016).
5. Муки рождения российской НСПК. [Электронный ресурс]. URL: <http://myfin.by/stati/view/3703-muki-rozhdeniya-rossijskoj-nsnk-nastuplenie-kriptoalyut-i-smsoplata-parkovki> (дата обращения: 10.12.2016).
6. Национальная система платежных карт (НСПК). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php> Компания:Национальная\_система\_платежных\_карт\_(НСПК) (дата обращения: 05.11.2016).
7. Банки и клиенты снова жалуются на сбои в работе НСПК. [Электронный ресурс]. URL: <http://izvestia.ru/news/586227> (дата обращения: 15.11.2016).
8. «Мир» нашему дому, или рождение российской пластиковой карты. [Электронный ресурс]. URL: <http://mircreditov.info/mir-nashemu-domu-ili-rozhdenie-rossijskoj-plastikovo-karty.html> (дата обращения: 20.11.2016).
9. Сухотерин А.И., Пахомов Д.А., Кравченко М.С. Разработка основ политики безопасности информационного ресурса в международном образовательном процессе. П27 «Перспективы организационные формы и эффективность развития сотрудничества российских и зарубежных ВУЗов» // Королев МО: Изд-во ООО «ТРИП». Технологический университет. 2016. с. 409-414.

УДК 621.385:06

## Онлайн-образование: обзор технологий и прогноз на будущее

**Е.С. Харламова**, старший преподаватель,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Дан обзор информационных технологий, применяемых в онлайн-образовании. Отмечены наиболее перспективные направления, а также необходимые и достаточные условия их внедрения в повседневную жизнь. Рассмотрены технологии с полной и избирательной интерактивностью, интеллектуальные обучающие системы, технологии информационного моделирования, гипертекстовые обучающие системы. Показаны проблемы, с которыми неизбежно сталкиваются преподаватели при подаче теоретического материала. Намечены пути решения по преодолению языкового барьера, который может возникнуть при знакомстве с электронными вариантами обучения развитых стран мира. Для онлайн образования сделан прогноз на будущее. Особое внимание уделено подготовке почвы для развития онлайн образования непосредственно в нашем вузе.*

Информационные технологии, технологии с полной интерактивностью, интеллектуальные обучающие системы, технологии информационного моделирования.

## Online Education: Technology Overview and Outlook for the Future

**E.S. Kharlamova**, Senior teacher,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*An overview of information technologies used in online education is given. The most promising directions were noted, as well as the necessary and sufficient conditions for their introduction into everyday life. Technologies with full and selective interactivity, intelligent training systems, information modeling technologies, hypertext learning systems are considered. The problems that the teachers inevitably encounter when submitting theoretical material are shown. The ways of the decision on overcoming the language barrier which can arise at acquaintance with electronic variants of training of the developed countries of the world are outlined. A forecast for the future is made for online education. Particular attention is paid to preparing the ground for the development of online education directly in our university.*

Information technology, technology, with full interactivity, intelligent tutoring sys-

tems, technologies of information modeling.

Проблема получения качественного образования волнует сегодня всех. Не будем говорить о причинах, они известны. Онлайн-образование теоретически может предоставить равные возможности различным социальным слоям населения в любых районах страны за счет более активного использования научного и образовательного потенциала ведущих университетов мира.

Что конкретно могут предложить информационные технологии [1] для онлайн-обучения, схематично представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Виды информационных технологий

Интернет-технологии позволят различным слоям населения ознакомиться с лекциями ведущих университетов мира, в том числе МГУ и Московского физико-технического института, а также с видеокурсами лекций американских университетов (Йельского, Гарвардского, университета Беркли и т.п.). Всё это можно увидеть в интернете в открытом доступе. Правда, не всегда на русском языке, что не должно быть помехой для выпускника средней школы, ведь иностранные языки там преподаются. Помимо школьной программы, подтянуть язык до хорошего уровня можно, записавшись на курсы ускоренного обучения, в том числе и за границей дистанционно, чтоб уж наверняка иметь дело непосредственно с носителями языка.

Кстати, последнее время в интернете стали появляться лекции гар-

вардского, массачусетского и прочих заграничных университетов на русском языке! Там также можно найти видеоматериалы семинаров, посвященных различным областям науки. Среди них есть бесплатные, и проводятся они в том числе и на русском.

К сожалению, к офлайн лекциям студенты сегодня предъявляют много претензий. Мало того, они стремятся посещать их как можно реже или не посещать вовсе. Думаю, никому не покажется странным, что студенты по большей части правы. Вот основные недостатки лекций, за которые критикуют вузы:

1. лекции скучные и неинтересные;
2. лекции устарели лет на десять на тот период, когда их приходится слушать студентам.

В идеале лекции должны быть яркими, познавательными, вдохновляющими, а материал, излагаемый в них – соответствовать современному уровню развития общества. Но. Это не всегда осуществимо по вполне понятным причинам. Зато у нас есть Интернет, и с каждым годом в нём появляется всё больше возможностей приобщиться к получению образования не только на уровне мировых стандартов, но и выше означенного уровня. С одной стороны, хорошую лекцию и хорошего педагога гаджет не заменит, с другой стороны, где же их взять, хорошие лекции с хорошими педагогами? Зато в Интернете можно увидеть и то, и другое.

Однако нет предела совершенству. С методикой преподавания теоретического материала можно и нужно работать дальше. Студенты ждут от разработчиков новых подходов к изложению лекций, нетрадиционных методов и интерфейсных решений. Способы ведения лекции тоже можно поменять. Например, самого лектора вынести за кадр, ещё лучше озвучивание лекций доверить профессиональным чтецам.

В форме онлайн сегодня можно получить заочное либо дистанционное образование в ведущих вузах мира, как платное, так и бесплатное. Причём полученный диплом (имеются ввиду европейские и американские вузы) ничем не будет отличаться от диплома очного студента. Считается, что его обладатель является более конкурентноспособным при устройстве на работу в условиях той страны, где получил образование. Также международный диплом может поспособствовать устройству на приличную работу в России. Упоминание о его существовании в резюме призвано произвести должное впечатление на работодателей. В плане иммиграции обучение за рубежом может стать одним из первых шагов для достижения поставленной цели. Но пора ли уезжать из России и куда лучше – не тема данной статьи.

Когда в нашей стране интернет и персональные компьютеры стали доступны большинству населения, у людей появился шанс получить онлайн образование. А информационные технологии обеспечили интерактивный контакт между студентами и wybranными ими вузами. Рассмотрим далее технологии онлайн-образования.

*Технологии с избирательной интерактивностью* [4] хранят инфор-

мацию в структурированном виде. К ним относятся:

- Банки и базы данных и знаний;
- Видеотекст (система, которая дает возможность использовать клавиатуру в сочетании с обычным телевизором и телефоном);
- Телетекст (сетевая служба телевизионной сети, обеспечивающая передачу текста и простых изображений);
- Интернет.

В настоящее время стали необыкновенно популярными электронные учебники [2]. Их функциональность отвечает требованиям современного подхода к работе с информацией. Например, пользователь может делать заметки и закладки в электронном учебнике, прикреплять собственные файлы с дополнительными материалами

У электронных учебников много недостатков. Отметим главные из них:

- изложение материала весьма поверхностно и не может стать источником системных, углублённых знаний;
- средства мультимедиа часто отвлекают и не дают сосредоточиться на изучаемом материале по причине своей избыточности;
- не все готовы воспринимать текст с экрана (хотя есть такие, которые смотрят в книгу и тоже ничего не видят).

Последний недостаток настолько хорош, что его следует выделить отдельно:

**ИНТЕРНЕТ НЕ ЗАЩИЩЁН ОТ РАЗМЕЩЕНИЯ В НЁМ НЕКАЧЕСТВЕННЫХ И/ИЛИ ВРЕДНЫХ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНИКОВ!!!**

Гипертекстовый электронный учебник, кейс-технологии и сетевые интернет-технологии [2] относятся к *технологиям с полной интерактивностью* (рис. 2). Не просто учить, а учить результативно – главный лозунг кейс-технологий. В их основе лежит анализ какой-либо проблемной ситуации, реальной или вымышленной. Это могут быть ролевые игры или метод проектов.



Рисунок 2 – Технологии с полной интерактивностью

В нашем МГУ им. Ломоносова уже давно успешно применяются роле-

вые игры в области экономики, политологии, истории и других гуманитарных наук. Деловые игры популярны по всему миру, особенно в практике высшего образования.

Метод проектов [1] предполагает самостоятельную работу студента, направленную на решение поставленной преподавателем задачи, что формирует у обучаемого навыки самостоятельного получения знаний, развитие творческих способностей и креативного мышления. Сегодня это особенно актуально. Главный бич нашего образования - переполненность знаниями и недостаток навыков в обучении. Работодатели ждут от вузов людей с навыками, ценность в их глазах имеют не сами знания, а умение применять их на практике для решения конкретных задач. Правда, вузы не всегда согласны с мнением работодателей. Но это – тема отдельной статьи.

Заметный вклад в развитие заочного и дистанционного образования вносят такие компьютерные технологии, как **интеллектуальные обучающие системы** и **технологии информационного моделирования**, которые, в свою очередь, не смогли бы существовать без **мультимедиа технологий** и **технологий виртуальной реальности** [3]. Мультимедиа позволяют сочетать вербальную и наглядно-чувственную информацию, что делает процесс обучения технологичнее и результативнее. Виртуальная реальность имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие объектов и субъектов мира в режиме реального времени.

**Интеллектуальная обучающая система** [2] моделирует процесс обучения: тренирует студента и контролирует его знания. Кроме того, система настолько умна, что может:

- а) оценить результаты деятельности обучаемого,
- б) определить, какие знания у него недостаточны или ошибочны,
- в) вернуть обучаемого на соответствующий раздел теории или практики, либо дать дополнительные разъяснения.

**Каждому студенту индивидуальный подход** – главный лозунг **интеллектуальных обучающих систем**. Классификация интеллектуальных систем учебного назначения и их краткие характеристики представлены на рис. 3.

**Технологии информационного моделирования** [2] можно применять для всех видов обучения (очного, заочного, дистанционного), например, в тех случаях, когда изучаемый исходный объект по величине слишком большой или маленький, когда исследование объекта опасно для студентов либо исследование может привести к разрушению прототипа. Но самое замечательное, что подвергать компьютерному моделированию можно не только физические объекты, но и процессы. Владение методами информационного моделирования глобальных процессов делает возможным прогноз многих кризисных ситуаций, представляющих повышенную опасность для общества. Хотя, справедливости ради, стоит отметить, что для прогнозирования иных представляющих опасность для общества ситуаций компьютерное моделирование совсем не нужно, как и сам компьютер. Эти опасности и так можно разглядеть невооружённым глазом.



Рисунок 3 – Классификация интеллектуальных систем учебного назначения и их краткие характеристики

Информационные модели можно разделить на образно-знаковые (рис. 4) и знаковые (рис. 5).

На компьютере можно исследовать следующие информационные модели: физические, математические, геоинформационные, биологические модели развития популяций, а также проводить оптимизационное моделирование в экономике, создавать экспертные модели распознавания химических веществ, модели логических устройств и информационные модели управления объектами.

*Гипертекстовые обучающие системы* [3] вступают в конфликт с идеей традиционных обучающих систем с их заранее намеченным сценарием

– чётко определенной последовательностью изучения теоретического материала, проведения практических занятий и проверочных тестов. На рис. 6 схематично представлены принципы построения гипермедиа. Пользователи гипертекстовых обучающих систем могут свободно переходить по ссылкам, выбирая свой собственный путь обучения, и эта свобода выбора накладывает ответственность пользователя системы за процесс обучения.

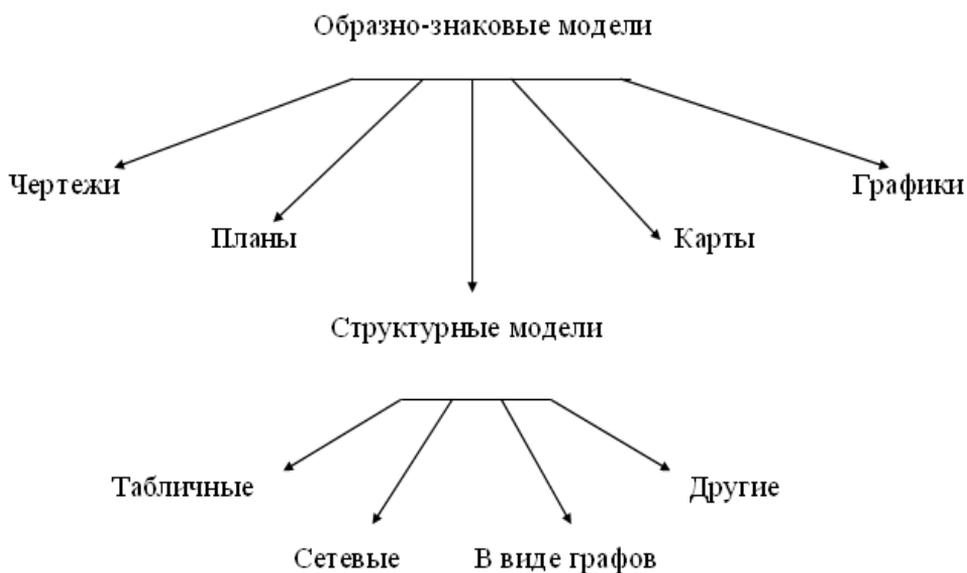


Рисунок 4 – Образно-знаковые модели



Рисунок 5 – Знаковые модели

И, разумеется, обычных учебников и учебных пособий никто не отменял. Студент может их взять в местной библиотеке. И да, они могут быть на его родном языке, что несомненно облегчит усвоение наиболее трудного материала. Телевизор тоже вполне можно приспособить для повышения своего образовательного уровня на дому. В России имеются телеканалы категории образовательные, например, Национальный Образовательный Телевизионный канал «ПРОСВЕЩЕНИЕ» [4]. В сетке вещания канала – программы о российских вузах, достижениях современной науки, великих ученых, философских течениях, о профессиях и семейных ценностях.

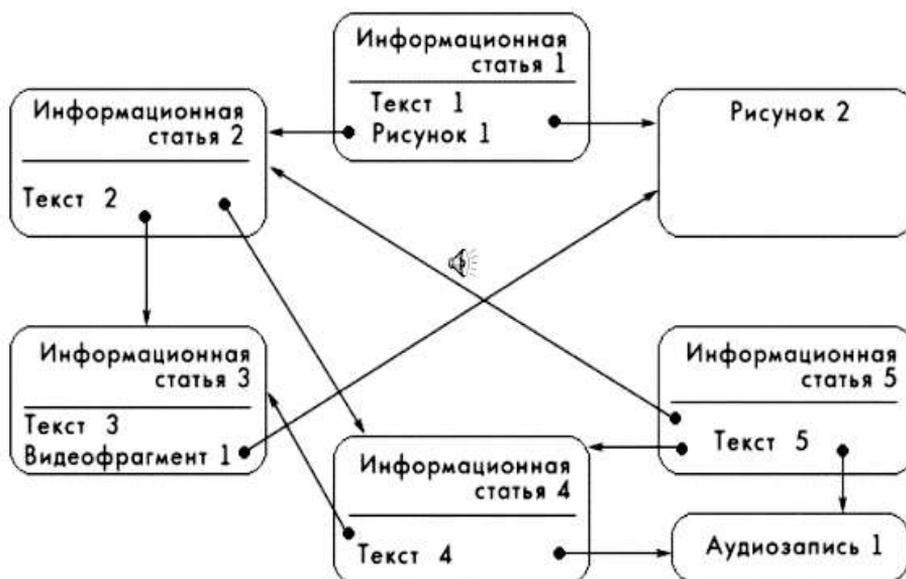


Рисунок 6 – Принципы построения гипермедиа

В настоящее время онлайн-обучение считают недостаточно эффективным. Традиционное образование пока является основным способом получения знаний [4]. Но в будущем ситуация может измениться, особенно если качество традиционного образования будет продолжать разочаровывать. Предполагается использовать социальные сети для электронного обучения. Доступность смартфонов и планшетных компьютеров в плане их приобретения в личное пользование делают возможным развитие мобильного обучения. Около 90% учебных заведений в мире способны уже сегодня предложить обучение в электронном варианте. Россия, по самым скромным оценкам, отстаёт лет на семь от мирового сообщества [4]. Мы будем догонять, и рынок электронных образовательных услуг в нашей стране тоже будет развиваться. Спрос на онлайн-обучение будет расти, всвязи с чем ожидается снижение объёмов очного обучения. Учебные заведения России встанут перед выбором – быть или не быть. Чтобы быть, придётся сокращать невостребованные специальности и внедрять электронное обучение. На собеседованиях при приёме на работу к традиционному вопросу «Какое учебное заведение вы закончили?» добавится ещё и «Как часто вы обновляете свои знания, умения и навыки?». Дистанционное образование в отличие от классического обеспечит гибкость графика обучения работника, повышающего свою квалификацию и в некотором роде гарантирует избирательность получения действительно необходимых знаний. С накоплением онлайн-курсов по разным предметам и повышением их качества у студентов появится возможность и желание с некоторыми учебными материалами взаимодействовать удалённо и в удобное для себя время. Вследствие этого освободится часть аудиторий, но главное, ос-

новное внимание можно будет направить на улучшение практико-ориентированного образования.

Почву для такого улучшения преподавателям вузов в рамках развития своих учебных учреждений по намеченным руководством планам нужно начинать готовить уже сейчас. Так, например, сотрудниками нашего вуза вообще и автором статьи в частности выкладываются учебные материалы в сетевых папках локальной сети университета, с которыми студенты могут работать удалённо из дома. Таким же образом студенты могут пользоваться цифровыми ресурсами университетской библиотеки, проходить различные онлайн тестирования, вклад в сочинение которых вносят все преподаватели вуза. Автор статьи считает, что лекции можно и нужно разнообразить разнообразными видеоматериалами, благо возможности лекционных аудиторий позволяют. Практика показывает, что видеотрекеры, используемые в лекциях, не должны превышать 10-15 минут, после демонстрации каждого фрагмента его содержание следует обсудить со студентами. К демонстрации качественных видео лекций два академических часа подряд мы ещё не готовы по причине отсутствия оных. В заключение хочется сказать, что мы ещё в самом начале пути. Но главное преимущество введения онлайн образования параллельно с классическим – свободу выбора – студенты и их преподаватели уже имеют.

#### *Литература*

1. Богдановская И.М., Зайченко Т.П., Проект Ю.Л. Информационные технологии в педагогике и психологии: Учебник для вузов / Стандарт третьего поколения // СПб.: Питер. 2015. 304 с.
2. Корнеев И.К., Ксандопуло Г.Н., Машурцев В.А. Информационные технологии: Учебник для вузов // М.: 2009. 224 с.
3. Кругликов В.Н., Оленникова М.В. Интерактивные образовательные технологии: учебник и практикум для академического бакалавриата /. 2-е изд., испр. и доп // М.: Издательство Юрайт. 2017. 353 с.
4. Соловьев А.В. Культура информационного общества: учебное пособие // М.: Директ-Медиа. 2013. 276 с.

УДК 621.793

**Исследование возможности формирования многофункциональных покрытий газодинамическим напылением**

**А.П. Голубев**, доц., к.т.н.,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область,

**А.А. Корнеев**, доц., к.т.н.,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский государственный университет  
им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва

*В статье рассмотрен прогрессивный газодинамический метод формирования многофункциональных покрытий. Данный метод обладает значительным превосходством перед другими методами напыления и может с успехом использоваться для повышения эксплуатационных характеристик узлов и механизмов технологического оборудования. Определены оптимальные размеры напыляемых медных и алюминиевых частиц, а также необходимая для технологичности процесса данного процесса скорость. Рассмотрены основные этапы формирования покрытия данным методом. Проведен обзор современного оборудования для газодинамического напыления.*

Газодинамическое напыление, формирование покрытий, восстановление и защита поверхности.

**Study the possibility of forming multifunctional coatings of gas-dynamic coating**

**A.P. Golubev**, associate Professor, Ph. D.,

State Educational Institution of Higher Education

Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,

**A.A. Korneev**, Assoc., Ph. D.,

Federal state budgetary educational institution of higher professional education  
«Russian state University. A.N. Kosygin (Technology. Design. Art)», Moscow

*The article considers the progressive gas-dynamic method of forming multifunctional coatings. This method has considerable advantage over other methods of deposition and can be used with success to improve the operational characteristics of the components and mechanisms of technological equipment. The optimal size of the spray copper and aluminum particles, as well as the necessary speed. The basic stages of formation of the coating by this method. The review of modern equipment for gas-dynamic spraying.*

Gas-dynamic sputtering, a coating formation, restoration and surface protection

Современное технологическое оборудование работает в достаточно жестких условиях эксплуатации, что приводит к его преждевременному выходу из строя. Повысить эксплуатационные характеристики узлов и механизмов технологического оборудования можно с использованием методов формирования покрытий в потоках энергии [1]. Среди этих методов особую роль играют методы порошкового напыления, т.к. они обладают широкими технологическими возможностями и позволяют формировать различные покрытия (в том числе и композиционные).

В процессе порошкового напыления частицы материала получают в достаточно широком диапазоне от источника нагрева тепловую и от газового потока кинетическую энергии. Оба этих вида энергии одновременно и совместно участвуют в формировании покрытия и определяют специфику его структуры и эксплуатационных свойств.

При превалировании тепловой энергии над кинетической сформированные покрытия обладают хорошей адгезией, но имеет следующие технологические недостатки, значительно снижающие перспективность их применения:

- неблагоприятные условия работы персонала, обеспечивающего технологический процесс нанесения покрытий;
- высокая температура нагрева поверхности обрабатываемой детали;
- получаемая высокая пористость покрытия;
- образующиеся в покрытие высокие внутренние напряжения.

Эти недостатки могут быть устранены, если покрытие формируется в основном за счет кинетической энергии, переданной потоком частицам напыляемого материала.

Выполненный анализ методов порошкового напыления, что наиболее полно этому требованию удовлетворяет газодинамический метод напыления (МГН) (рисунок 1).

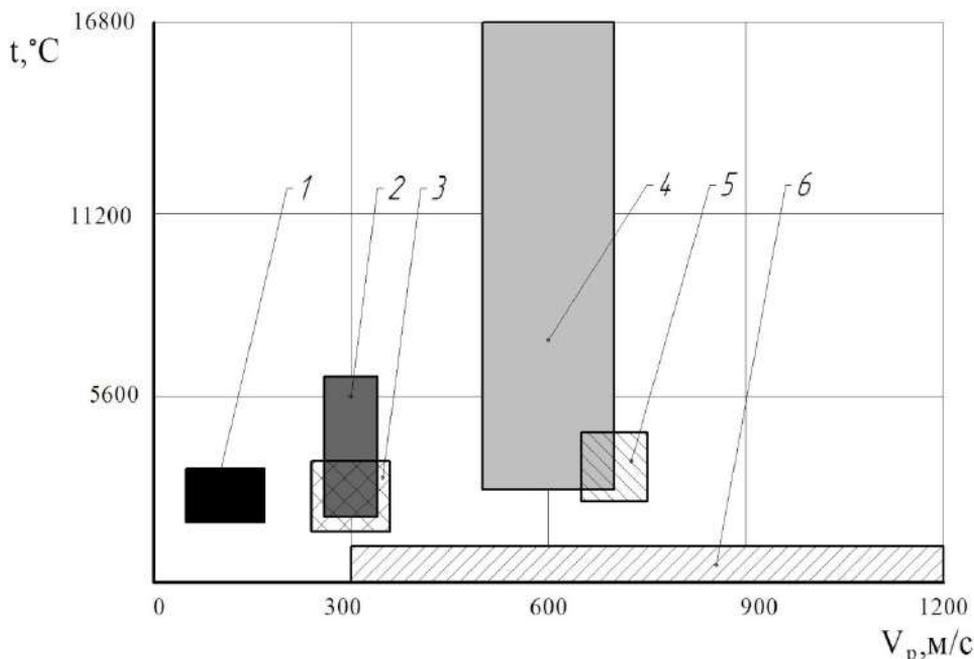


Рисунок 1 – Диаграмма, зависимости температуры ( $t$ ) и скорости частиц ( $V_p$ ) в зависимости от методов напыления [3]:

- 1 – газопламенный (низкоскоростный); 2 – электродуговой;  
 3 – газопламенный (высокоскоростной); 4 – плазменный;  
 5 – детонационный; 6 – газодинамический

Этот метод позволяет формировать на поверхностях деталей многослойные композиционные покрытия из порошков мягких металлов.

Важную роль в процессе нанесения покрытий газодинамическим методом играет скорость соударения частиц с материалом подложки[2]. Поэтому определение данной скорости для ГДН является одной из основополагающих задач повышению эффективности данного метода.

Расчет скорости выполнялся для одиночной частицы. Допущено предположение, что движение частицы в сопло осуществляется вдоль его центральной оси без турбулентных пульсаций газовых параметров.

Расчет ускорения частицы осуществлялся по уравнению:

$$m_p v_p \frac{dv_p}{dz} = C_x \frac{\rho \cdot (v - v_p)^2}{2} \cdot S_{mid} \quad (1)$$

где,

$m_p$  – масса частицы;

$v_p$  – скорость частицы;

$C_x$  – коэффициент сопротивления частицы;

$\rho$  – плотность газа;

$v$  – скорость газа;

$S_{mid}$  – Миделево сечение.

Для получения коэффициента сопротивления частицы использовалась аппроксимация Хендерсона:

$$C_x = \begin{cases} C_{x1}, M_p < 1 & (2) \\ C_{x2}, M_p > 1,75 & (3) \\ C_{x1} + 1,33(M_p - 1)(0,9 + \frac{0,34}{1,75} - C_{x1}), 1 < M_p < 1,75 & (4) \end{cases}$$

$$C_{x1} = \frac{24}{Re_p + 3,06\sqrt{\gamma}} + \frac{4,5 + 0,0114 Re_p + 0,1825\sqrt{Re_p}}{1 + 0,03 Re_p + 0,48\sqrt{Re_p}} + 0,3 \quad (5)$$

$$C_{x2} = C_{x1} + 0,1M_p^2 + 0,2M_p^8 - 0,3 \quad (6)$$

$$M_p = \frac{v - v_p}{\alpha} \quad (7)$$

$$Re_p = \frac{(v - v_p)\rho d_p}{\mu} \quad (8)$$

где,

$d_p$  – диаметр частицы;

$\mu$  – вязкость газа;

$\alpha$  – местная скорость звука ( $\alpha = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}$ );

$p$  – статическое давление газа;

$\gamma$  – показатель адиабаты ( $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ );

$c_p$  – теплоемкость газа при постоянном давлении;

$c_v$  – теплоемкость газа при постоянном объеме.

Экспериментальное определение скорости частиц проводилось по известной методике [6], по так называемому методу треков. Данный метод прост в применении и обеспечивает удовлетворительную достоверность измерений при очень малых концентрациях частиц одновременно на различных

расстояниях от среза сопла, при этом надежно измеряется скорость частиц размером до 5 мкм в диапазоне скоростей от 200 до 1200 м/с [3].

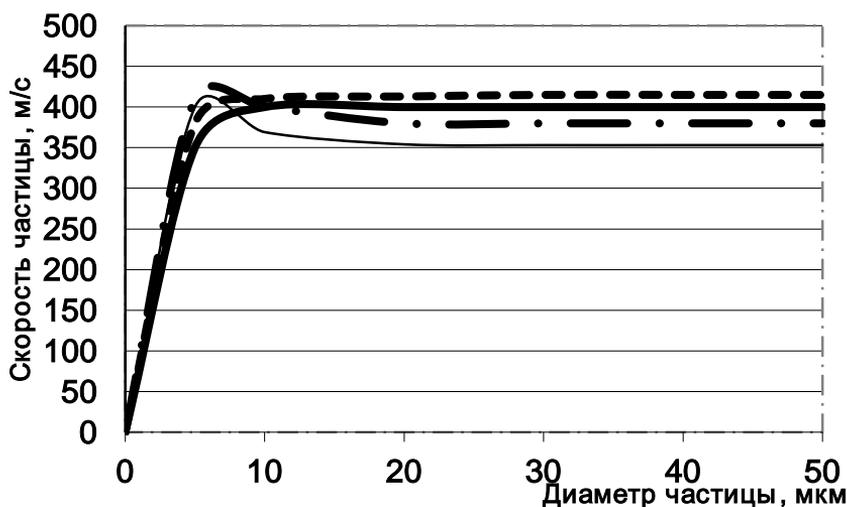


Рисунок 2 – Результаты расчетов и экспериментальные значения зависимости скорости частиц алюминия и меди у поверхности преграды от размера этих частиц ( $L=150$ мм,  $p_0=2$  МПа, где  $L$  – расстояние от среза сопла;  $p_0$  – давление газового потока)

<i>Расчет</i>	<i>Эксперимент</i>
..... частицы меди	- . - . - . частицы меди
_____ частицы алюминия	_____ частицы алюминия

Анализ полученных расчетных и экспериментальных исследований показал, что результаты значений имеют хорошую корреляцию (рисунок 2).

Как видно из графиков, частицы, имеющие размер менее 5 мкм непосредственно перед подложкой значительно теряют свою изначальную скорость. А медные и алюминиевые частицы, имеющие размеры 5-50 мкм сталкиваются с подложкой примерно с одинаковой скоростью.

Следовательно, можно сделать вывод: оптимальным является размер частиц не менее 10 мкм, разогнать которые необходимо до скорости 400 м/с.

Общая схема технологического процесса формирования покрытия газодинамическим напылением, включающего в себя: подготовку порошкового материала, подготовку поверхности к нанесению покрытия, нанесение покрытия, финишную обработку покрытий и контроль качества нанесенного покрытия, представлена на рисунке 3.

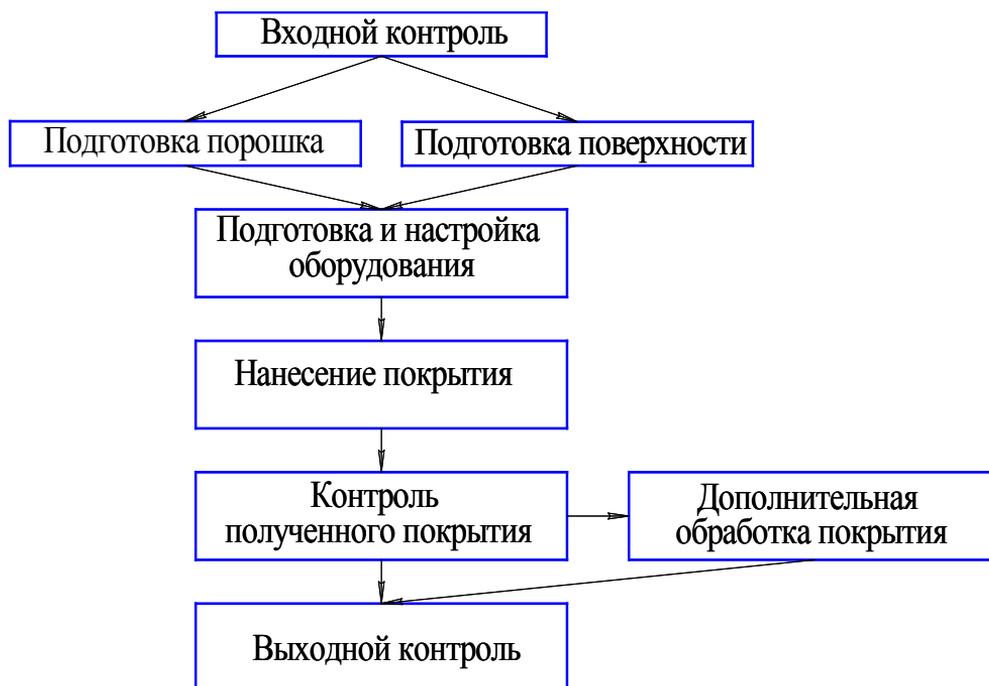


Рисунок 3 – Общая схема технологического процесса формирования покрытия газодинамическим напылением

На этапе *подготовки порошкового материала* обязательным является сушка порошка, улучшающая его сыпучесть, способствующая удалению влаги и различных органических загрязнений. Сушку металлических порошков производится в сушильных шкафах при температуре около  $150^{\circ}\text{C}$  в течение 5 часов. Если планируется наносить одновременно несколько видов порошков, то предусматривается операция приготовления смеси с помощью механических мешалок.

При *подготовке поверхности к нанесению покрытия* осуществляют очистку поверхности от различных загрязнений механическими, химическими и другими методами и придают поверхности необходимую шероховатость.

Для качественной подготовке поверхности необходимо соблюдать ряд требований:

- подготовленная поверхность должна иметь температуру около  $+25^{\circ}\text{C}$ ;
- оксидную пленку с поверхности удаляют металлическими щетками с последующей промывкой горячей водой с моющими средствами;
- жировые и масляные пленки удаляются с поверхности ацетоном, бензином или иными органическими растворителями;
- влага с поверхности удаляется либо сушкой в естественных условиях, либо нагревом изделия до температуры  $+200^{\circ}\text{C}$ .

В заключение, после подготовки к нанесению покрытия поверхности изделие необходимо обдуть сжатым воздухом для удаления пыли.

Подготовленную поверхность необходимо оберегать от попадания влаги, пыли, масла и других загрязнений.

Технология *нанесение покрытия* состоит из двух стадий. Первая стадия - это нагрев и разгон частиц. Вторая стадия – непосредственное взаимодействие частиц с материалом подложки.

Для предотвращения интенсивного окисления поверхности температура ее нагрева не должна превышать +200 °С. При этом следует учитывать, что на скорость протекания химических реакций связи существенно влияет применяемая скорость напыления.

В покрытиях, нанесенных методом напыления возникают напряжения растяжения или сжатия. Для большинства материалов выполняется правило: при разных материалах покрытия и подложки возникают остаточные напряжения растяжения, если коэффициент термического расширения напыляемого материала равен коэффициенту материала основы или больше него. Иначе возникают напряжения сжатия, приводящие к порче деталей.

Существуют известные технологические приемы, которые осуществляют регулировку остаточных напряжений и адгезии покрытий [4]:

- согласование температурных коэффициентов линейного расширения применяемых материалов;
- уменьшение термического воздействия газа на материал подложки;
- введение в структуру напыляемого материала пластичных составляющих;
- использование дополнительно нанесенных подслоев;
- армирование покрытия волокнами или проволокой;
- нанесение напыления на детали, находящиеся в предварительно напряженном состоянии.

*Финишная обработка нанесенных покрытий* заключается в механической обработке поверхности детали (обработка щетками, дробью, прессованием или прокаткой), спекании, пропитки, оплавлении и др. В качестве дополнительной обработки возможно нанесение лакокрасочного или полимерного покрытия, что значительно повышает его коррозионную стойкость.

*Контроль качества полученного покрытия* осуществляется на готовых изделиях или специально подготовленных образцах. На данном этапе контролируются следующие параметры [3]:

- внешний вид покрытия: покрытие должно быть сплошным, однородного цвета и без трещин;
- минимальная толщина покрытия: устанавливается в зависимости от назначения покрытия и условий его эксплуатации, в соответствии установленными по ГОСТ 9.304-87 требуемому сроку службы защитных свойств;
- шероховатость покрытия: должна быть не более Rz 100 по ГОСТ 2789-73;

- прочность сцепления материала покрытия с материалом подложки: при испытаниях методом царапин не должно происходить отслаивания покрытия;

- пористость покрытия: устанавливается в соответствии с требованиями технологической документации;

- коррозионная стойкость покрытия: покрытие должно обладать требуемой условиями эксплуатации коррозионной стойкостью.

На основе исследования рынка оборудования для газодинамического напыления установлено, что данное оборудование выпускается как зарубежными, так и отечественными производителями (таблица 1).

**Таблица 1 – Типовые характеристики установок для газодинамического напыления порошковых материалов [5,7].**

Производитель	CGT	ИТПМ	Интерметкомпозит	Inovati	ОЦПН
Оборудование	Kinetiks	УХГН	НГА-5	КМ	ДИМЕТ
Рабочий газ	азот / гелий	воздух / гелий	воздух	гелий	воздух
Давление, МПа	3,0 – 4,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5	0,35	0,5 – 0,8
Расход, м <sup>3</sup> /мин	2 – 4	1,3	2	0,2	0,4
Мощность, кВт	47	15	18	2,5	3,5

Выполненный анализ показывает, что для отечественных ремонтных подразделений представляет интерес оборудование марки ДИМЕТ, как недорогое и наиболее универсальное.

#### *Литература*

1. Абрамов В.Ф., Андреев Е.В., Афанасьев В.В. и др. Инновационные производственные технологии для малых предприятий: процессы, инструменты и устройства. Под ред. профессора Белгородского В.С. // Москва. 2011.
2. Алхимов А.П., Косарев В.Ю., Папырин А.Н. Газодинамическое напыление. Экспериментальное исследование процесса напыления // ПМТФ. 1997. Т. 38. № 2. с. 176-183.
3. Алхимов А.П. Косарев В.Ф., Плохов А.В. /Научные основы технологии холодного газодинамического напыления (ХГН) и свойства напыленных материалов: монография //Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2006. 280 с.
4. Анциферов В.Н. Порошковая металлургия и напыление покрытия // М.: Металлургия. 1987.
5. Бурак П.И. Газодинамическое напыление металлических покрытий // Сетевой научно-методический электронный агрожурнал. № 9. 2009.
6. Газодинамическое напыление. Исследование плоской сверхзвуковой двухфазной струи / А.П. Алхимов, С.В. Клинов, В.Ф. Косарев, А.Н. Папырин // ПМТФ. 1997. Т. 38. № 2. с. 176-183.

7. Мерцалов Е.Н., Буравцов С.А., Порздняков А.Л., Титов С.И., Чулков В.В. Газодинамическое напыление. Анализ оборудования, опыт практического использования. В сборнике: Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2016) сборник статей VIII Международной научно-технической конференции. 2016. С. 244-250.

УДК 621.794

**Особенности физико-геометрической модели образования пористых структур оксидных пленок при микродуговом оксидировании поршневых алюминиевых сплавов**

**М.Л. Скрябин**, к.т.н., доцент,

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вятская государственная сельскохозяйственная академия (ФГБОУ ВО Вятская ГСХА), г. Киров,

**И.Н. Смехова**, старший преподаватель,

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вятский государственный университет (ФГБОУ ВО Вятский ГУ), г. Киров

*В статье рассмотрен один из перспективных методов поверхностного упрочнения поршневых алюминиевых сплавов – микродуговое оксидирование. Рассмотрены схемы формирования барьерного и наружного слоев поверхностного покрытия в водных электролитах. Показан механизм образования границы раздела. Рассмотрено формирование слоев с большой пористостью и методами воздействия на нее. Предложены и описаны условия формирования оксидных пленок на поверхности поршня на основе физико-геометрической модели Келлера и выявлены их характерные особенности.*

Микродуговое оксидирование, пленочные покрытия.

**Features of physical and geometrical model of the formation of porous structures of oxide films with micro-arc oxidation of aluminum piston alloys**

**M.L. Scriabin**, Ph. D., associate Professor,

Federal state budgetary educational institution of higher professional education Vyatka state agricultural Academy (University at Vyatka state agricultural Academy), Kirov,

**I.N. Smekhova**, senior lecturer,

Federal state budgetary educational institution of higher professional education Vyatka state University (Vyatka state University), Kirov

*The article considers one of the promising methods of surface hardening of piston aluminum alloy – microarc oxidation. The schemes of formation of the barrier and outer layers surface treatment in aqueous electrolytes. Shows the mechanism of formation of the interface. Considers the formation of layers with high porosity and method of exposure. Proposed and described the conditions of formation of oxide films on the surface of the piston on the basis of physico-geometrical model of Keller and identified their characteristics.*

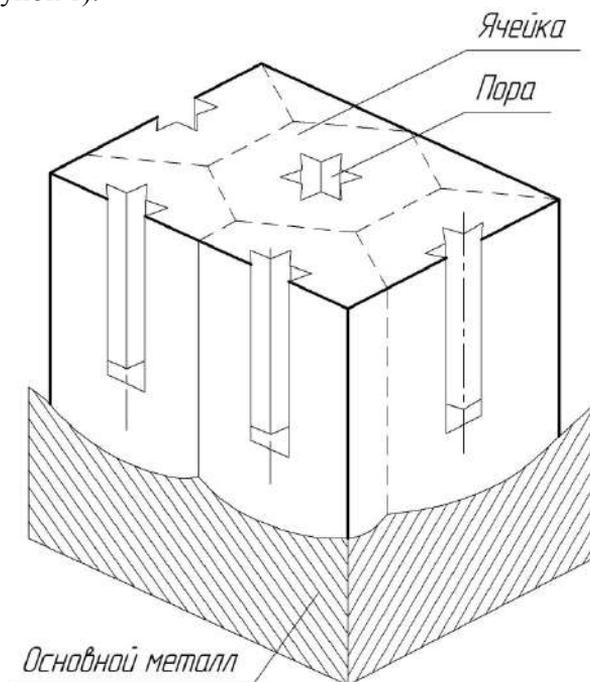
Microarc oxidation, of the coating film.

В настоящее время в связи с повышением удельной мощности современных двигателей внутреннего сгорания и возрастанием нагрузки на цилиндропоршневую группу остро встал вопрос о повышении надежности поршневых алюминиевых сплавов [6, С.9]. Кроме того, все больше транспортных средств переводится на альтернативные виды топлива. При работе тепловых двигателей на альтернативных топливах на поршень действуют более высокие механические (давление газов, силы инерции) и тепловые нагрузки, чем при работе на штатном топливе [5, С.9]. Ввиду высоких температур поверхности днища поршня, достигающих обычно более 300°C, прочность материала поршня снижается, что может привести к образованию в нем трещин [4. С.9] Рассматривая основные методы упрочнения поршневых сплавов, можно отметить микродуговое оксидирование (МДО). Этот метод упрочнения является одним из наиболее эффективных и перспективных в современном машиностроении.

Известные работы в большинстве носят исследовательский или прикладной характер, а теоретические разработки по механизму МДО практически отсутствуют. В целом количество работ, посвященных МДО-воздействию на поверхность металлических материалов, постоянно растет, что характеризует данный процесс упрочнения как перспективный и далеко идущий [5, С.9]. В настоящее время не существует однозначных теорий и единого механизма формирования структуры покрытий во время МДО. Но, на наш взгляд, основной является физико-геометрическая модель Келлера. Рассматривая наглядную физико-геометрическую модель можно отметить, что в начальный момент времени при микродуговом оксидировании на поверхности основного металла возникает барьерный слой [8, С.9].

Физико-геометрическая модель формирования оксидного анодно-искрового покрытия на основании на механизме образования окисных слоев в доискровом режиме. Для полного понимания и обобщения процесса образования анодных оксидных пленок нужно рассмотреть схемы строения тонких окисных покрытий на группах вентильных металлах. В данной работе рассматривается образование оксидных пленок при МДО на поршневых алюминиевых сплавах. В предыдущих работах было доказано, что искровой разряд возможен на аноде только в том случае, если обрабатываемая поверхность покрыта тонким слоем диэлектрика. Именно эти свойства имеет тонкая оксидная пленка барьерного слоя. Этот слой образуется на первоначальной стадии МДО. При повышении диэлектрической прочности тонкой пленки барьерного типа повышается напряжение начала прианодного искрообразования [7, С.9]. Прианодное окисление поршневых алюминиевых сплавов (как и других металлов вентильной группы) в электролитах, которые частично растворяют анодный оксид (с использованием водного раствора  $H_2SO_4$ ) определяет кинетику формированию особых анодных оксидных пленок. Эти пленки ха-

рактируются наличием основных пор, расположенными нормально к поверхности основного металла и отделенными от него очень плотным, барьерным слоем (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Идеальная пористая структура анодной оксидной пленки на поверхности поршневого алюминиевого сплава**

Пористые анодные оксидные пленки при оптимально подобранных режимах оксидирования могут быть выращены до толщины в сотни микрометров. Рассматривая формирование анодных покрытий можно отметить регулярность формирования ячеек на поверхности основного металла. Для поршневых алюминиевых сплавов главная задача состоит в получении близких к идеальным пористых пленок. Эти оксидные пленки должны обладать низкой дефектностью регулярной структуры ячеек, с равномерным распределением пор. Для этого необходимо использовать особенную методику - продолжительное длительное микродуговое оксидирование алюминия в водном растворе серной кислоты. В результате этого получается практически идеальная структура по типу «пчелиных сот» [7, С.9].

Основным электролитом, в котором микродуговое оксидирование приводит к образованию поверхностных пленок с наличием регулярно-пористой структуры, является водный раствор серной кислоты. Также проводились исследование с использованием щавелевой и ортофосфорной кислоты, но формирование пористой структуры при этих исследованиях отличалось неравномерностью.

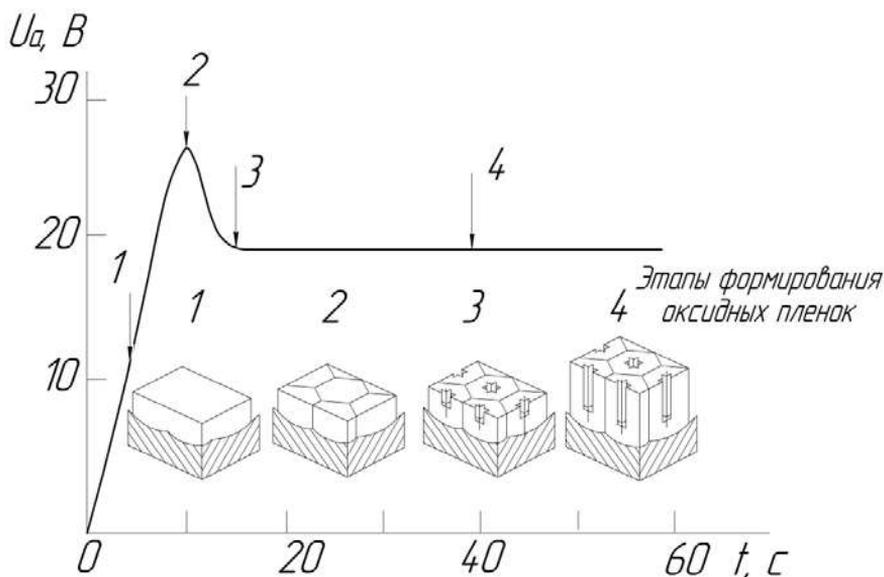
Основной характеристикой, от которой зависит скорость формирования оксидных слоев, согласно классической теории, является плотность ионного тока  $i_u$ , представляющая собой физическую величину, силы электрического тока, который протекает через единицу площади поверхности. Плотность тока экспоненциально зависит от напряженности электрического поля  $E$  в поверхностной пленке основного металла. Кроме того, важнейшим показателем является толщина барьерного слоя  $h$ , от которого зависит качество оксидированной поверхности основного металла [1, С.9].

$$h = \frac{\beta \cdot U}{\ln i_u - \ln \alpha} = m_{oc} \cdot U,$$

где  $m_{oc}$  – эффективная скорость роста барьерного слоя в основном металле при постоянной плотности ионного тока  $i_u$  в гальваностатическом режиме;

$U$  – падение напряжения на плёнке.

Кинетическая зависимость анодного потенциала  $U_a$  от времени воздействия  $t$  при постоянной плотности тока (при которой происходит формирование пористого оксидного слоя на поверхности алюминия), приведена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Кинетическая зависимость формирования анодного потенциала от времени при микродуговом оксидировании алюминия в 3 % водном растворе  $H_2SO_4$  при использовании гальваностатического режима (плотность тока 25 мА/см<sup>2</sup>)**

Рассматривая и анализируя основные участки графической зависимости можно выделить четыре стадии роста пористых анодных оксидных пленок. Стадия 1 характеризуется линейной зависимостью роста анодного потенциала. Именно на этой стадии начинает образовываться плотная оксидная пленка. Толщина формируемого барьерного слоя будет зависеть от величины потенциала формирования (это подтверждается многочисленными экспериментами). К концу этой стадии можно отметить в наружных областях барьерного слоя наличие мелких образований, глубиной около 8...12 нм. На второй стадии происходит замедление скорости роста анодного потенциала. Это характеризуется началом зарождения и формирования микропор в поверхностной оксидной пленке. Также на этой стадии продолжается «расползание» наружной области оксидной пленки по поверхности основного металла и определяются преимущественные пути формирования дальнейших проникновений. Часто происходит их углубление и разветвление отдельных участков оксидной пленки. В некоторых случаях появляются разрывы, приводящие к нарушению структуры. Чаще всего подобные эффекты появляются около границы пленка – электролит [7, С.9].

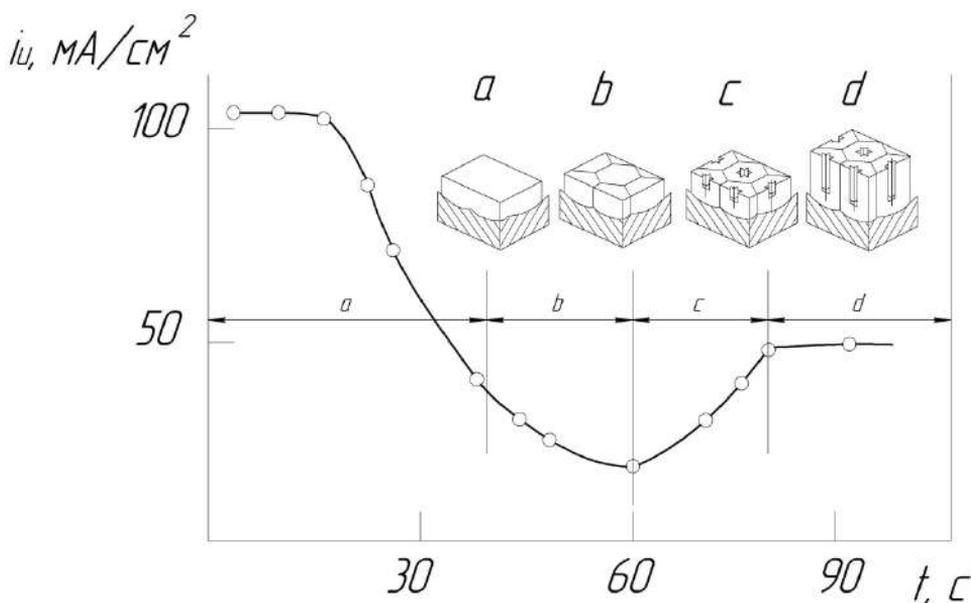
На третьей трети стадии происходит спад потенциала, вызванный дальнейшим поперечным расширением локальных путей проникновения. Из-за этого явления общее сопротивление барьерной пленки уменьшается и одновременно с этим происходит временное снижение напряжения на аноде. На последней (четвертой) стадии напряжение на аноде остается постоянным, так как толщина барьерного слоя практически неизменна. Здесь имеет место равновесие, которое усиливается вследствие частичного растворения оксида. Основное растворение наблюдается у дна пор и на границе металл – оксид. Это объясняется миграцией ионов  $O^{2-}/OH$  через барьерный слой, находящийся у основания пор. Именно на этой стадии начинается формирование регулярных пор. Обобщая все стадии можно отметить, что растворенная часть оксидной пленки является главным условием роста пористого оксидного слоя. Причем чем выше «агрессивность» электролита, его концентрация и температура, тем более низким значениям напряжения на аноде соответствуем максимальная ордината кинетической зависимости. Потенциальная эффективность образования анодных оксидных пленок на поршневых алюминиевых сплавах чаще всего не превышает 70...75% и постепенно уменьшается с продолжительностью оксидирования [7, С.9].

Образование пористой анодной оксидной пленки при МДО можно осуществить при постоянном напряжении. Кинетика процесса будет характеризоваться изменением плотности ионного тока  $i_u$  в зависимости от времени  $t$ .

В начальный период времени происходит снижение плотности ионного тока  $i_u$ , а затем он возрастает по определеному постоянному значению. Подобный характер изменения достаточно специфичен и характерен только для образования пористой пленки. Исследования показали, что изменение

морфологических особенностей пленочного покрытия связано с изменением плотности ионного тока. Данная зависимость представлена на рисунке 3.

В области падения плотности тока (а) начинает образовываться пленка барьерного типа. Образование происходит достаточно быстрыми темпами. В области (b) поверхность вновь образованной пленки становится более волнистой, начинается формирование отдельных ячеек. В области (c), с возрастанием плотности ионного тока, начинают формироваться отдельные поры, условный диаметр которых колеблется в пределах 2...4 нм. Отдельные поры могут достигать условного диаметра до 25 нм. В зоне постоянства плотности ионного тока (d) исходная структура сохраняется, но толщина образованной пористой пленки возрастает. На основе анализа кинетики роста отдельных ячеек и морфологии пленочных покрытий предлагается следующая качественная модель образования и развития процессов роста и растворения оксидных пленок [3, С.9].



**Рисунок 3 – Изменение плотности тока (в логарифмических координатах) со временем при микродуговом оксидировании в 3%-ом водном растворе серной кислоты при 45 °С, 30В**

В начальный момент времени на стадии (а) скорость образования анодной оксидной пленки при МДО достаточно большая. Это объясняется малой толщиной пленки и большой плотностью ионного тока. Из-за повышенных значений напряженности магнитного поля в слое раствора происходит ускорение разложения  $H_2SO_4$  с выделением анионов  $SO_4^{2-}$ . Эти анионы вступают в реакцию с локально мигрирующими катионами  $Al^{3+}$ . В этом случае происходит образование комплексных ионов  $Al(SO_4^{2-})_3^{3-}$ , которые впо-

следствии переходят в раствор. На этой стадии растворение происходит достаточно легко. Именно поэтому ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  не попадают в оксидную пленку в виде исходных компонентов. При приближении к стадии (b) барьерный слой увеличивается, электрическое поле ослабевает и снижается плотность ионного тока. Это облегчает попадание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  в пленку. На стадии (c) электрическое поле еще более ослабевает и вместе с  $\text{SO}_4^{2-}$  в наружный слой оксидной пленки начинают попадать ионы водорода  $\text{H}^+$ . В этом случае растворение происходит только на дне пор, где электрическое поле сохраняет свое значение. Увеличение тока на стадии (c) связано с образованием полусферической формы дна пор и с увеличением площади поверхности. Вследствие этого толщина барьерного слоя немного уменьшается по сравнению со стадией (b) [10, С.9].

Подобная кинетическая зависимость тока сохраняется практически во всех порообразующих электролитах: здесь всегда наблюдается спад анодного тока, а впоследствии происходит подъем к определенному постоянному значению.

Анализируя кинетику можно отметить, что в процессе роста пористой оксидной пленки, после того как происходит зарождение пор и толщина барьерного слоя стабилизируется, микродуговое оксидирование сводится к увеличению толщины пористой части оксида. Толщина пористой части сначала увеличивается линейно, а затем происходит ее насыщение. Эта зависимость объясняется тем, что с течением времени происходит удлинение пор, и перегородки между ними становятся тоньше за счет химического растворения оксида. Скорость химического растворения оксида гораздо ниже скорости электрохимического растворения. Если температура водного раствора электролита достаточно высокая, а длительность процесса микродугового оксидирования существенная, то за счет химических реакций растворения к моменту окончания процесса стенки полученных пор теряют механическую прочность и осыпаются. Понижая агрессивность электролита, можно повысить толщину пористого слоя.

Проведя комплексный анализ кинетики микродугового оксидирования, уже по виду графических зависимостей плотности тока и анодного потенциала, можно оценить все морфологические особенности получаемой оксидной пленки. Но, несмотря на однозначность выводов, четкая интерпретация затруднительна, так как в процессе микродугового оксидирования одновременно происходят несколько химических и физических процессов: окисление основного металла, рост и растворение оксидов, изменение линейных размеров пор. Следует отметить, что практически все проведенные исследования морфологии пористых оксидных пленок посвящены изучению строения пленок только на стадии стационарного роста пор.

#### *Литература*

1. Гюнтершульце А, Бетц Г. Электролитические конденсаторы // М.: Оборонгиз. 1938. 272 с.

2. Раkoch А.Г., Бардин И.В. Микродуговое оксидирование легких сплавов // *Металлургия*. 2010. № 6. С. 58-61.
3. Розен А.Е., Артемьев А.Ю. Упрочнение поверхности деталей из алюминиевых, титановых и циркониевых сплавов микродуговым оксидированием // М.:Наука. 2015. 145с.
4. Скрябин М.Л. Выбор современных материалов для поршневой группы при работе дизеля на альтернативных видах топлива // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы IX Международной научно-практической кон ференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: Сборник научных трудов // Киров: Вятская ГСХА. 2016. Вып. 12. С.359-364.
5. Скрябин М.Л. Применение природного газа как альтернативного топлива в дизеле с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы IX Международной научно-практической кон ференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: Сборник научных трудов // Киров: Вятская ГСХА. 2016. Вып. 12. С.369-374.
6. Скрябин М.Л. Современные материалы для поршней двигателей внутреннего сгорания // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы IX Международной научно-практической кон ференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: Сборник научных трудов // Киров: Вятская ГСХА. 2016. Вып. 12. С.374-379.
7. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов // М.: Техносфера. 2011. 464 с.
8. Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) // М.: ЭКОМЕТ. 2005. 368 с.
9. Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Дунькин О.Н., Невская О.С. Характер разряда в системе металл-оксид-электролит при микродуговом оксидировании на переменном токе // *Известия АН. Серия Физическая*. 2000. Т. 64. № 4. С. 759-762.
10. Nie X., Leyland A., Song H.W., Yerokhin A.L, Dowey S.J., Matthews A. Thickness effects on the mechanical properties of micro-arc oxide coatings on aluminium alloys // *Surface and coatings technology*. 1999. No 116. p.1055-1060.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

---