

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средствам массовой коммуникации (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-64098  
от 18 декабря 2015 г.

Издается с сентября 2014 г.

Выходит 4 раза в год  
ISSN 2409-1650

Журнал «Информационно-технологический вестник» включён в Перечень ведущих периодических изданий ВАК

Группы научных специальностей и научные специальности в рамках групп научных специальностей, по которым издание входит в Перечень:  
05.07.00 Авиационная и ракетно-космическая техника [05.07.02 Проектирование конструкции и производство летательных аппаратов, 05.07.03 Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов, 05.07.10 Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности],  
05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление [05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям), 05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, 05.13.18 Математическое моделирование численные методы и комплексы программ, 05.13.19 Методы и системы защиты информации, информационная безопасность],  
05.16.00 Металлургия и материаловедение [05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы, 05.16.08 Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям), 05.16.09 Материаловедение (по отраслям)]

Подписной индекс в каталоге  
НТИ-Роспечать 62190

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 (доб.138),  
E-mail : rio-kimes@mail.ru,  
Site:www.unitech-mo.ru

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Информационно-технологический вестник», допускается только с письменного разрешения редакции.

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

Материалы приводятся в авторской редакции.

## СОДЕРЖАНИЕ

### *АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА*

Артюшенко В.М., Воловач В.И.  
**ОПИСАНИЯ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ В РАДИОЛИНИЯХ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ РАДИОСИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИГАУССОВСКИХ МОДЕЛЕЙ.....3**

Восейко О.А., Романов Д.В.  
**ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СНИЖЕНИЮ ОТКАЗОВ В РАБОТЕ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ.....13**

Исаев В.Г., Серёгин Н.Г., Сорокин С.В.  
**КОМПЛЕКСНЫЙ РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....22**

Кучеров Б.А.  
**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ В УСЛОВИЯХ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ.....32**

Макаров В.М.  
**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НАДЁЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ИХ СИСТЕМ ПРИ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ.....44**

Татаринев А.И.  
**СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПУНКТАМИ....60**

### *ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ*

Аббасов А.Э.  
**СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА МНОГОМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....66**

Акимкина Э.Э.  
**СТРУКТУРИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В МНОГОМЕРНЫХ КУБАХ ДАННЫХ.....79**

Маслобоев А.В.  
**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ.....88**

Семенов А.Б., Аббасова Т.С.  
**СИНТЕЗ КОНСТРУКЦИИ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОМЕХОЗАЩИЩЁННОСТИ.....99**

#### 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. **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. **Макаров М.И.**, д.т.н., профессор
6. **Матвиенко Ю.Г.**, д.т.н., профессор
7. **Разумовский И.М.**, д.ф.-м.н., профессор
8. **Рудаков В.Б.**, д.т.н., профессор
9. **Смердов А.А.**, д.т.н., профессор
10. **Стреналюк Ю.В.**, д.т.н., профессор

Подписано в печать 20.12.2018

Формат В5

Печать офсетная. Усл.печ.л. 9,5

Тираж 500 экз.

Заказ № 74-15

Отпечатано

в типографии

ООО «Научный консультант»

г. Москва

Хорошевское шоссе, 35, корп.2

Стреналюк Ю.В.

**КОНЦЕПЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЯДРУ  
ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ.....109**

Сухотерин А.И., Ерёмина Е.В., Кручинина С.А.  
**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА:  
НАКОПЛЕННЫЙ ОПЫТ, ПРОБЛЕМНЫЕ  
ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....117**

#### *МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ*

Антипова Т.Н., Лабутин А.А.  
**СРАВНЕНИЕ ВАКУУМНЫХ МЕТОДОВ НАПЫЛЕНИЯ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СЛОИСТЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА  
ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....125**

Копытов А.А., Рябчиков М.Ю., Рябчикова Е.С.  
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ В ДОМЕННОЙ  
ПЕЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСКОНУСНОГО  
ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА.....138**

УДК 621.391.26

**Описания сигналов и помех в радиолиниях авиационно-космических радиосистем с помощью полигауссовских моделей**

**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 описанием сигналов и помех в радиолиниях авиационно-космических радиосистем полигауссовскими моделями. Рассмотрена и проанализирована детализация полигауссовских алгоритмов оптимального приема дискретных сигналов на основе учета конкретных особенностей сигнально-помеховой обстановки.*

*Проанализированы функциональные схемы основных узлов приемника прямоугольных радиоимпульсов. Получен оптимальный алгоритм обнаружения-различения сигналов при шумах со случайной мощностью и одинарных потоков хаотических импульсных помех. Показано, что данный алгоритм является поликорреляционным в общих случаях произвольных флуктуаций полезных и мешающих импульсов.*

Авиационно-космические радиосистемы, радиосистемы с подвижными объектами, шумы приемной аппаратуры, полигауссовские модели, плотность распределения вероятностей сигналов и помех, приемники дискретных сигналов.

**Descriptions of signals and radio interference aerospace systems using oligopsony models**

**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 the questions related to the description of signals and radio interference aerospace systems in lahaussois models. Reviewed and analyzed detail oligopsony algorithms for optimal reception of digital signals on the basis of the specific characteristics of the signal-to-noise conditions.*

*The functional schemes of the basic units of the receiver of rectangular radio pulses are analyzed. An optimal algorithm for detecting-distinguishing signals with noise with random power and single streams of chaotic impulse noise is obtained. It is shown that this algorithm is precorrelation in the General cases of arbitrary fluctuations of the useful and the interfering pulses.*

Aerospace radio system, a radio system with mobile objects, noises of the receiving equipment, oligopsony model, the probability density function of signals and interferences, the receivers of digital signals.

**Введение.** Бурное развитие радиоэлектронных информационных систем и их широкое внедрение во все области человеческой деятельности, выводят проблемы помехоустойчивости в ряд центральных, стержневых проблем радиотехники. Особенно остро они проявляются при построении и эксплуатации радиосистем в авиационно-космической отрасли, где решаются вопросы, связанные с радиоуправлением, телеметрией и т.д.

Как правило, обрабатываемые сигналы и воздействующие на них помехи не описываются гауссовским законом распределения, и их плотность распределения вероятностей (ПРВ) имеют весьма разнообразный характер. Поэтому для проведения анализа и синтеза информационных авиационно-космических радиосистем, для описания сигналов и помех, необходимы новые методы, в частности с применением полигауссовских моделей.

**Полигауссовские представления случайных сигналов и помех.** Как известно, случайный процесс называется полигауссовским, если соответствующие закон распределения вероятностей  $F(\cdot)$  и ПРВ  $W(\cdot)$  могут быть представлены гауссовскими смесями:

- в дискретной форме  

$$F(\cdot) = \sum_k p_k F_k(\cdot); W(\cdot) = \sum_k p_k W_k(\cdot); \sum_k p_k = 1; \quad (1)$$

- в непрерывной форме  

$$F(\cdot) = \int F_G(\cdot) dG; W(\cdot) = \int W_G(\cdot) dG; \int dG = 1; \quad (2)$$

- в смешанной дискретно-непрерывной форме  

$$F(\cdot) = \sum_k p_k \int F_{G_k}(\cdot) dG_k; W(\cdot) = \sum_k p_k \int W_{G_k}(\cdot) dG_k; \sum_k p_k \int dG_k = 1. \quad (3)$$

где  $F_k(\cdot), F_G(\cdot), F_{G_k}$  – гауссовские распределения вероятностей;  $W_n(\cdot), W_G(\cdot), W_{G_k}$  – гауссовские ПРВ;  $p_n$  – вероятность наличия отдельных компонент;  $\{p_k\}, dG, dG_k$  – «взвешивающие» множители.

Рассмотрим и проанализируем оптимальные полигауссовские алгоритмы приема дискретных сигналов.

**Оптимальные полигауссовские алгоритмы приема дискретных сигналов.**

Рассмотрим задачу различения сигналов  $s_i(t), i = \overline{1, L}$ , в интервале наблюдения  $0 \leq t \leq T$ , на входе приемника с априорными вероятностями  $p_i, \sum_{i=1}^L p_i = 1$  и произвольными ПРВ  $W_{s,i}(y_1, \dots, y_k)$  при аддитивной помехе  $n(t)$  с произвольной ПРВ  $W_{n,0}(y_1, \dots, y_k)$ .

Представляя  $n(t)$  и  $s(t)$  смесями гауссовских процессов с различными

средними  $m_{n,i}$  и постоянной спектральной плотностью мощности  $G/2$

$$W_i(y_1, \dots, y_k) = \sum_{n=1}^{N_i} p_{n,i} W_{n,i}(y_1, \dots, y_k), \quad i = \overline{1, L},$$

получим, что входное колебание

$$y(t) = s_i(t) + n(t)$$

также есть полигауссовский процесс, так как его распределение является сверткой соответствующих распределений  $W_{s,i}(\cdot)$  и  $W_{n,0}(\cdot)$ , а, как известно, свертка гауссовских ПРВ, также есть гауссовское распределение.

Таким образом, задача различения  $L$  случайных сигналов сводится к задаче различения определенных полигауссовских процессов.

Вероятность ошибки будет минимальной, если, используя критерий максимального правдоподобия, множество реализаций  $\{y(t)\}$  наблюдаемых на входе приемника, разбить на области  $s_i$  решений о сигналах  $s_i(t)$  следующим образом [7]:

$$s_i = \left\{ u(t) : p_i \sum_{n=1}^{N_{i0}} p_{n,i0} B_{n,i0}[y(t)] = \max_{1 \leq j \leq L} p_j \sum_{n=1}^{N_{j0}} p_{n,j0} L_{n,j0}[y(t)] \right\}, \quad i = \overline{1, L}. \quad (4)$$

Здесь условные функционалы правдоподобия

$$B_{n,j0}[y(t)] = \lim_{W_B(y_1, \dots, y_k)} \frac{W_{n,i0}(y_1, \dots, y_k)}{W_B(y_1, \dots, y_k)}$$

получены из отношений условной ПРВ  $W_{n,i0}(y_1, \dots, y_k)$  и некоторой вспомогательной ПРВ  $W_B(\cdot)$ , которую стараются выбрать так, чтобы обеспечить наибольшую простоту отношений правдоподобия, как в математическом смысле, так и в смысле удобства аппаратного формирования в приемнике.

При  $W_B(y_1, \dots, y_k)$ , соответствующей центрированному гауссовскому шуму со спектральной плотностью мощности  $G$ , приходим к выражению

$$B_{n,j0}[y(t)] = \exp \left\{ \frac{\Phi_{n,i}}{G} \right\} \exp \left\{ \frac{2}{G} z_{n,i}[y(t)] \right\}, \quad (5)$$

где

$$z_{n,i}[y(t)] = \int_0^T y(t) m_{n,i0}(t) dt - \text{корреляционный интеграл;}$$

$$\Phi_{n,i} = \int_0^T [m_{n,i0}(t)]^2 dt - \text{функций формы.} \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в (3), получим «поликорреляционный» алгоритм.

Заметим, что при увеличении числа компонент последовательность таких алгоритмов сходится к оптимальному [7].

Функциональная схема такого алгоритма приведена на рисунке 1.

Отметим, что каждый канал схемы порожден соответствующей компонентой полигауссовского представления помехи.

Таким образом, корреляционная обработка наблюдаемого процесса оптимальна при более широком, чем гауссов, классе аддитивных помех с полимодальными ПРВ.

**Детализация полигауссовских алгоритмов оптимального приема дискретных сигналов.** Рассмотрим и проанализируем детализацию полигауссовских алгоритмов оптимального приема дискретных сигналов на основе учета конкретных особенностей сигнально-помеховой обстановки.

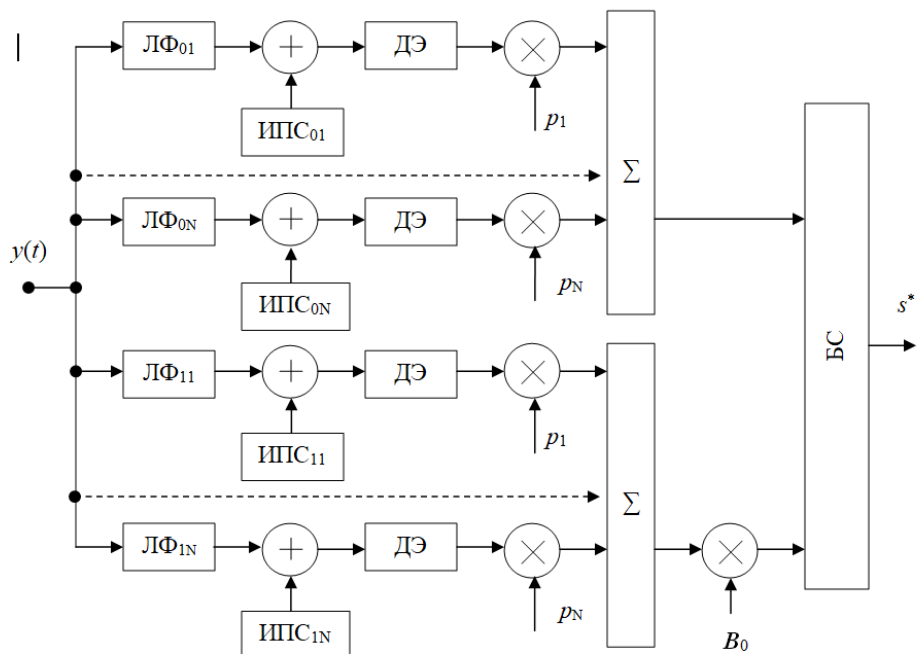


Рисунок 1 – Блок-схема поликорреляционного приемника детерминированного сигнала, где:  $ЛФ_{ij}$  – линейные фильтры;  $ИПС_{ij}$  – источники постоянного смещения; ДЭ – детектор с экспоненциальной характеристикой; БС – блок сравнения;  $\Sigma$  – сумматор

В начале, дадим общие рекомендации к построению полигауссовских моделей входных колебаний приемника, а потом синтезируем оптимальные и квази-оптимальные структуры приемников в этих условиях.

Как известно, при импульсных и шумовых помехах наиболее целесообразной является такая полигауссовская конструкция, когда реализации импульсных помех считаются средними значениями гауссовских компонент [6].

На первоначальном этапе синтеза, при необходимости, из всего множества мешающих воздействий необходимо выделить только те компоненты полигауссовского разложения, которые следует учитывать при синтезе алгоритмов. То есть, необходимо учитывать в полигауссовском представлении помех только те компоненты, при которых достаточная статистика при проверке гипотез о передаваемом сигнале не может быть сформулирована корреляционным приемником.

Шумовые помехи, состоящие из внутренних и внешних шумов, будем считать гауссовскими, имеющими соответствующую случайную или постоянную спектральную мощность.

В первом случае шумовые помехи принимаются нестационарными. Все полученные алгоритмы при такой модели шума будут требовать, чтобы оптимальный приемник содержал блок оценки мощности шума (БОМШ).

**Прием сигналов с прямоугольной огибающей.** Рассмотрим и проанализируем задачу приема  $i$  сигналов с прямоугольной огибающей

$$s_i(t) = \xi_i \text{Re}[u_{s,i} s_i(t) \exp\{j(2\pi f t + i)\}], t \in T, i = \overline{1, J},$$

при действии различных  $m$  потоков хаотических импульсных помех (ИП)

$$n_m(t) = \eta_m \text{Re}[u_{n,m} n_m(t) \exp\{j(2\pi f t + \varphi_m)\}], t \in T, m = \overline{1, M},$$

с произвольными заданными ПРВ флуктуаций  $W_{s,i}(\xi_i)$  и  $W_{n,m}(\eta_m)$  на фоне шумов с равномерной в полосе частот радиолинии спектральной плотностью мощности  $G \in [G_{\min}, G_{\max}]$ , величина которой случайна при ПРВ  $W_{\text{ш}}(G)$ .

Здесь  $\xi_i$  и  $\eta_m$  – флуктуации амплитуд импульсов сигналов и помех;  $i$  и  $\varphi_m$  – начальные фазы  $i$  и  $\varphi_m$  импульсов сигналов и помех.

Обозначим вероятность появления сигналов –  $p_{s,i}, i = \overline{0, L}$ , наличия потоков ИП –  $p_{n,m}, m = \overline{0, M}$ . Здесь нулевые индексы означают отсутствие сигналов и потоков ИП.

Как правило, на практике результирующий поток ИП ординарен, случайные начальные фазы  $i$  и  $\varphi_m$  равновероятны, а флуктуации амплитуд импульсов сигналов и помех, всегда представимы полирайсовскими ПРВ безразмерных коэффициентов  $\xi_i$  и  $\eta_m$  [5]:

$$W_{s,i}(\xi_i) = \sum_{n=1}^{N_{s,i}} p_{s,in} \frac{\xi_i}{\sigma_{s,i}^2} \exp\left\{-\frac{\xi_i^2 + m_{s,in}^2}{2\sigma_{s,i}^2}\right\} I_0\left\{\frac{m_{s,in}\xi_i}{\sigma_{s,i}^2}\right\}, i = \overline{1, L};$$

$$W_{n,m}(\varphi_m) = \sum_{n=1}^{N_{n,m}} p_{n,in} \frac{\eta_m}{\sigma_{n,m}^2} \exp\left\{-\frac{\eta_m^2 + m_{n,m}^2}{2\sigma_{n,m}^2}\right\} I_0\left\{\frac{m_{n,m}\eta_m}{\sigma_{n,m}^2}\right\}, m = \overline{1, M}, \quad (7)$$

где  $I_0(\cdot)$  – функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Используя эти выражения, воспользовавшись методикой изложенной в [3], можно получить полирайсовские выражения для всех входящих в (4) условных функционалов, которые, как и в частном случае полирелеевских флуктуаций импульсов [6], сводятся к нелинейным преобразованиям нескольких типов корреляционных интегралов  $z[y(t), t_H]$  и функций формы  $\Phi(t_H)$  результатов интерференции сигналов и импульсов ИП, наложившихся в моменты времени  $t_H$ .

Функционал правдоподобия для гипотез о наличии  $s_i(t)$  при отсутствии наложения ИП будет описываться выражением:

$$B_{i,0}[y(t), G^*] = \frac{G^*}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,0}} \exp\left\{\frac{1}{G^*} \times \frac{2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 z_{i,0}^2[y(t)]}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,0}}\right\} \times$$

$$\times \sum_{n=1}^{N_{s,i}} p_{s,in} \exp\left\{-\frac{m_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,0}}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,0}}\right\} I_0\left\{\frac{m_{s,in} u_{s,i} z_{i,0}[y(t)]}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,0}}\right\}.$$

Для гипотезы о наличии только импульса из  $m$ -го потока ИП:

$$B_{0,m}[y(t), G^*] = \int_{-T_m}^T \frac{G^* W_m(t_H) dt_H}{G^* + 2\sigma_{n,m}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{0,m}(t_H)} \times$$

$$\times \exp\left\{\frac{1}{G^*} \times \frac{2\sigma_{n,m}^2 u_{n,m}^2 z_{0,m}^2[y(t), t_H]}{G^* + 2\sigma_{n,m}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{0,m}(t_H)}\right\} \sum_{n=1}^{N_{n,m}} p_{n,mn} \times$$

$$\times \exp\left\{-\frac{m_{n,mn}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{0,m}(t_H)}{G^* + 2\sigma_{n,m}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{0,m}(t_H)}\right\} I_0\left\{\frac{m_{n,mn} u_{n,m} z_{0,m}[y(t), t_H]}{G^* + 2\sigma_{n,m}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{0,m}(t_H)}\right\}.$$

Для гипотезы о взаимодействии  $s_i(t)$  и импульса из  $m$ -го потока ИП:

$$B_{i,m}[y(t), G^*] = \int_{-T_m}^T \frac{G^* W_m(t_H) dt_H}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,m}(t_H)} \exp\left\{\frac{1}{G^*} \times \frac{2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 z_{i,m}^2[y(t), t_H]}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,m}(t_H)}\right\} \times$$

$$\times \sum_{n=1}^{N_{s,i}} p_{s,in} \sum_{k=1}^{N_{n,m}} p_{n,mk} \exp\left\{-\frac{m_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,m}(t_H)}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,m}(t_H)} - \right.$$

$$\left. - \frac{m_{n,mk}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{i,m}(t_H)}{G^* + 2\sigma_{n,m}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{i,m}(t_H)}\right\} I_0\left\{\frac{m_{s,in} u_{s,i} z_{i,m}[y(t), t_H]}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,m}(t_H)}\right\} \times$$

$$\times I_0 \left\{ \frac{m_{n,mk} u_{n,m} z_{i,m} [y(t), t_H]}{G^* + 2\sigma_{n,m}^2 u_{n,m}^2 \Phi_{i,m}(t_H)} \right\} I_0 \left\{ \frac{m_{s,in} m_{n,mk} u_{s,i} z_{i,m} [y(t), t_H]}{G^* + 2\sigma_{s,i}^2 u_{s,i}^2 \Phi_{i,m}(t_H)} \right\}.$$

Заметим, что входящая в выражение (7) оценка плотности шума может быть получена известными способами при принятии гипотезы об отсутствии каких бы то ни было импульсов на входе, то есть при

$$p_{s,0} p_{n,0} B_{0,0} [y(t), \tilde{G}] \geq \sum_{i=1}^L p_{s,i} \sum_{m=0}^M p_{n,m} p_{n,m} B_{i,m} [y(t), \tilde{G}] + p_{s,0} \sum_{m=1}^M p_{n,m} p_{n,m} L_{0,m} [y(t), \tilde{G}],$$

где  $\tilde{G}$  – априорная или полученная ранее оценка.

Функциональные схемы основных узлов приемника прямоугольных радиоимпульсов, для  $L = 1$ , представлены на рисунке 2, где  $u_{стр}$  – стробирующие импульсы.

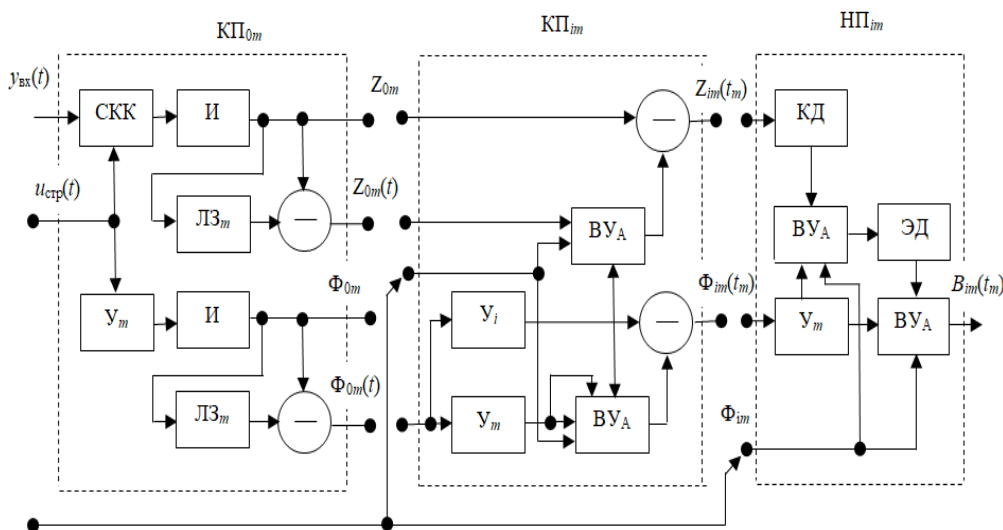


Рисунок 2 – Блок-схема основных узлов приемника прямоугольных радиоимпульсов, где:  $KP_{ij}$  – корреляторы помеховые;  $NP_{ij}$  – нелинейные преобразователи корреляционных интегралов; СКК – стробируемый ключевой каскад; И – интегратор; ЛЗ – линия задержки на интервал  $T$ ; У – усилитель; КД – квадратичный детектор; ВУ<sub>а</sub> – видеусилитель с мгновенной автоматической регулировкой усиления; ЭД – экспоненциальный детектор

Укрупненная блок-схема приемника, приведена на рисунке 3, функциональные схемы блоков – на рисунке 4.



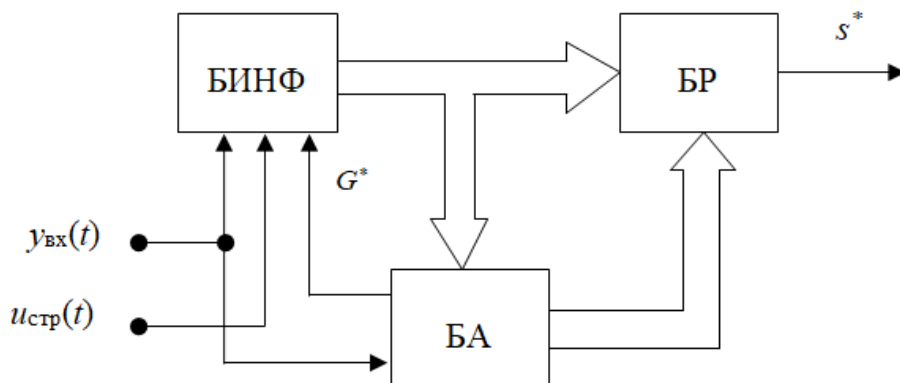
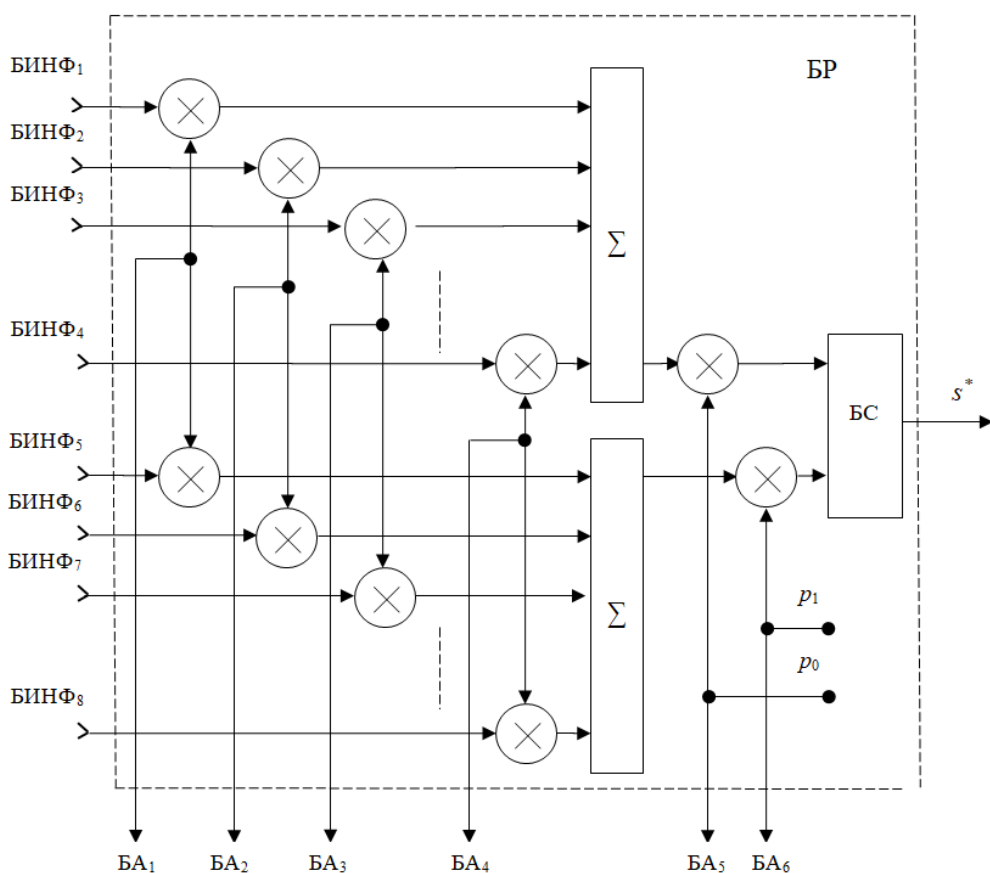
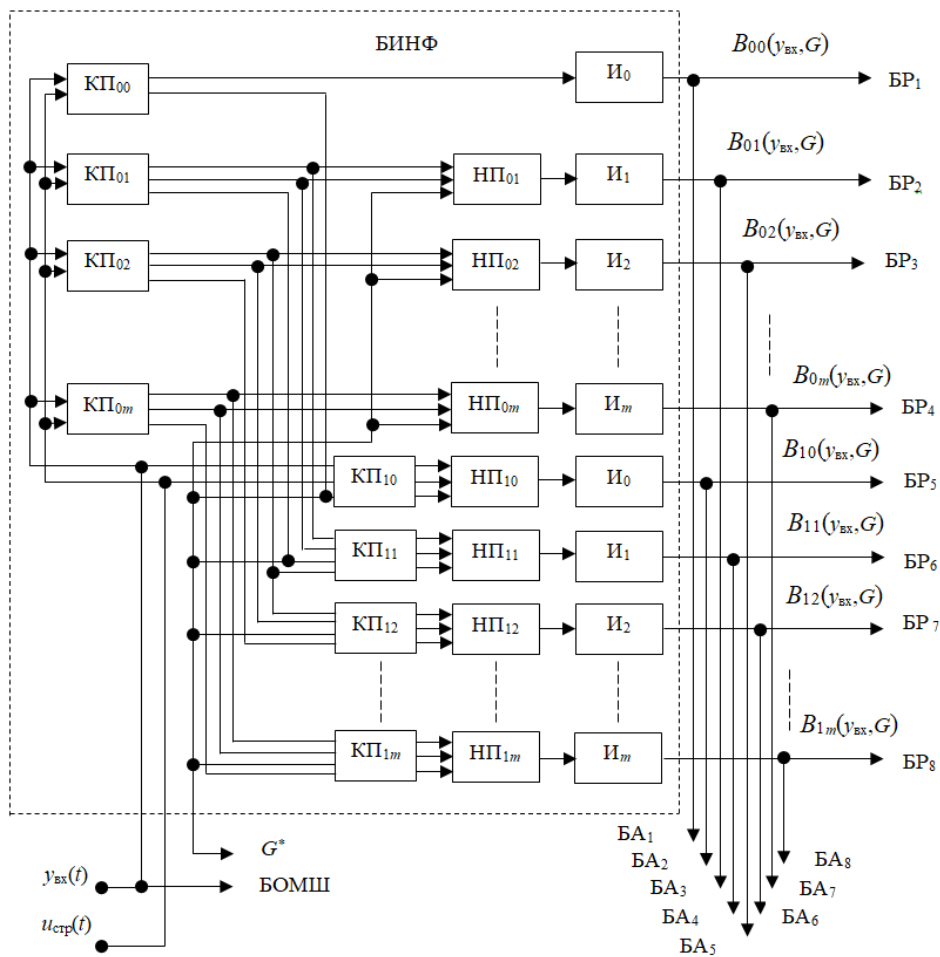


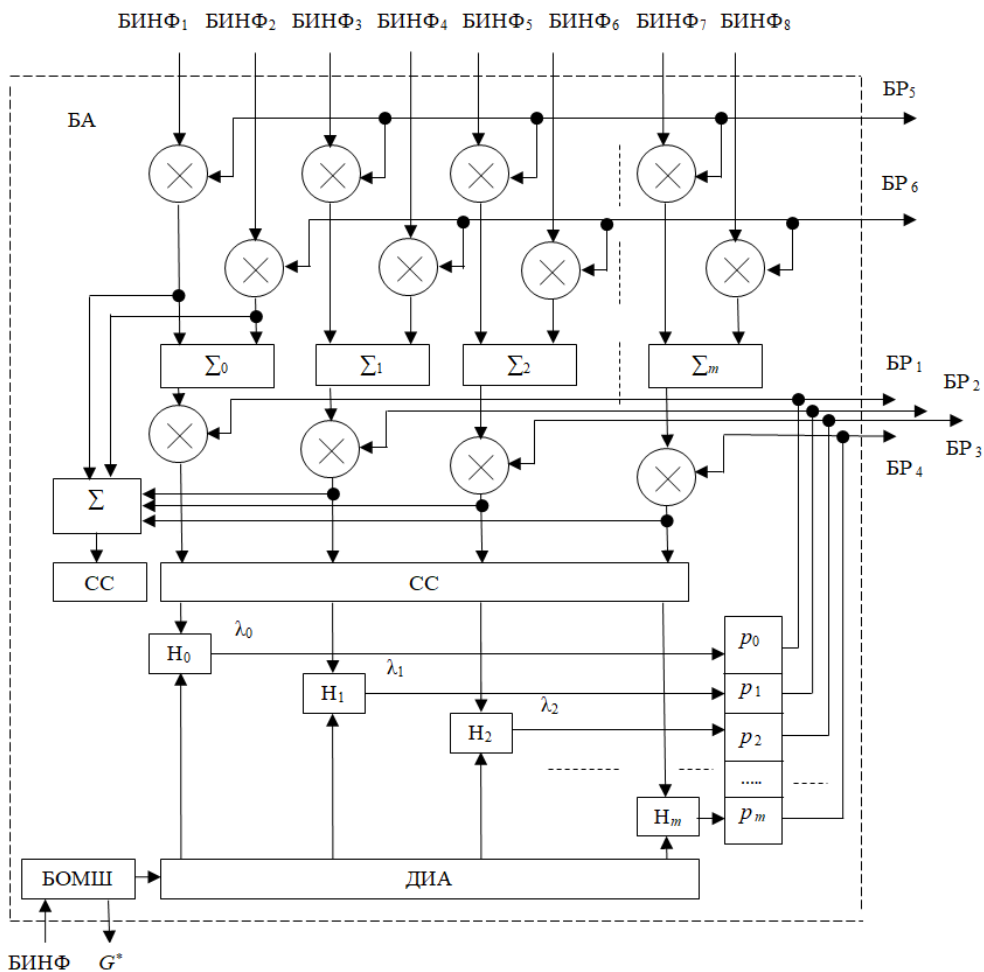
Рисунок 3 – Структурная схема приемника, укрупненная, где: БР – блок решающий; БИНФ – блок инерционных нелинейных фильтров; БА – блок адаптации



a)



б)



в)

Рисунок 4 – Функциональная схема блока: а – РС; б – БИНФ; в – БА, где: БС – блок сравнения,  $H_i$  – накопитель импульсов, ДИА – датчик интервала адаптации, БР<sub>*i*</sub> и БА<sub>*i*</sub> – контакты соединения с БР и БА, соответственно;  $\lambda_i$  – плотность парциальных хаотических ИП

Следует отметить, что структура оптимальных полигауссовских приемников очень удобна для осуществления адаптации, как к параметрам сигналов, так и к параметрам помех. Это связано с тем, что при априори неизвестном ПРВ входного колебания  $y_{вх}(t)$  его полигауссовское представление вполне естественно и адаптация при этом состоит лишь в определении средних, корреляционных функций и вероятностей компонент.

Например, в задачах различия детерминированных сигналов  $s_k(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ ,  $k = 1, \dots, m$  с вероятностью  $p_k$  при аддитивной помехе  $n(t)$  с неизвестным априорным распределением на основе наблюдаемой реакции  $y_{вх}(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ , до принятия решения о действующем сигнале, необходимо получить оценки вероятностей  $p_k^*$ .

Результаты о принятия решения о сигнале подаются на выход приемника, а результаты принятия решений о компоненте помехи подаются в соответствующие счетчики-накопители. Накопленные в счетчиках нормировочные величины  $p_v^*$  подаются на запоминающие регистры, которые в течение очередного цикла адаптации обеспечивают использование этих величин в качестве вероятностей наличия компонент помехи в ее полигауссовом представлении.

В таком алгоритме проявляется одно из достоинств полигауссовских представлений – идентичность операций над видеосигналами во всех каналах, как в цепях оценки сигнала, так и в цепях оценки компонент помехи.

**Выводы:** Таким образом, оптимальный алгоритм различения  $L$  сигналов при шумах со случайной мощностью и  $M$  одинарных хаотических ИП потоках является поликорреляционным [2, 4] в общих случаях произвольных флуктуаций полезных и мешающих импульсов. Он сводится к выбору наибольшей из  $L + 1$  взвешенных сумм  $M + 1$  результатов однотипных нелинейных многоканальных преобразований соответствующих корреляционных интегралов. Эти каналы соответствуют райсовским компонентам флуктуаций сигналов и помех, а параметры преобразования зависят от мощности действующих шумов. Ее оценка осуществляется при принятии гипотезы об отсутствии импульсов во входном процессе.

Особо следует отметить инвариантность структуры полученного алгоритма. При смене ПРВ флуктуаций импульсов его структура неизменна. Меняются лишь величины параметров в отдельных каналах.

При упрощении сигнально-помеховой обстановки получаем известные частные случаи, например, для релейских амплитуд сигналов и хаотических ИП [6, 8], для райсовских [1] и релейских ПРВ сигнала [1], при отсутствии хаотических ИП для произвольно флуктуирующих сигналов и других случаях.

#### *Литература*

1. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам // М.: Связь. 1969.
2. Мальцева Н.И. Аппроксимация непрерывных распределений смесью распределений Эрланга // Проблема передачи информации. 1970, Т. 5, № 3.
3. Сафиуллин Н.Э., Чабдаров Ш.М. О преобразовании негауссовских случайных процессов радиотехническими устройствами // Радиотехника. 1978. № 4.
4. Фалькович С.Я. Прием радиолокационных сигналов на фоне флуктуационных помех // М.: Сов. Радио. 1961.
5. Чабдаров Ш.М. Полигауссовы приемники произвольно флуктуирующих сигналов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1977. № 9.
6. Чабдаров Ш.М. Оптимальный прием дискретных сигналов при комплексе шумовых и импульсных помех // Радиотехника и электроника. 1977. Т. 22. № 6.
7. Чабдаров Ш.М. Трифонов А.Т. Полигауссовы представления произвольных помех и прием дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 1975. № 4.
8. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов // М.: Сов. Радио. 1974.

УДК 621.396

### **Предложение по снижению отказов в работе станции спутниковой связи**

**О.А. Воейко**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Управление качеством и стандартизации»  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область,  
**Д.В. Романов**, ведущий инженер ООО «Технологии радиосвязи»,  
г. Королев, Московская область

*Одной из основных характеристик антенного комплекса являются его скоростные способности, поэтому важно, чтобы двигатели, установленные на антенне, были высокого качества и обладали теми свойствами, которые указаны в нормативной документации. В работе проведен сравнительный анализ испытаний двигателей для антенного комплекса СССТ 1,2.*

Станция спутниковой связи, антенный комплекс, контроль качества, дисперсионный анализ.

### **The reducing failures proposal in the satellite communications station**

**O.A. Voeyko**, PhD senior lecturer,  
Chair of Quality Management and Standardization,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,  
**D.V. Romanov**, Chief Engineer,  
«Radio communication technologies Ltd», Korolev, Moscow region

*One of the main characteristics of the antenna complex is its speed capabilities, so it is important that the engines installed on the antenna are of high quality and have the properties specified in the documentation. In this paper the comparative analysis of the engine tests for the CCCT 1.2 antenna system is carried out.*

Satellite communication station, the antenna complex, quality control, ANOVA.

Спутниковая связь является ведущим видом связи на средние и большие расстояния на национальном и международном уровнях. Перспективы использования искусственных спутников Земли для организации связи будут только расширяться. Этому способствует развитие существующих сил и средств связи. Общая тенденция ведущих стран мира (в том числе и России) – создание собственных национальных сетей спутниковой связи [1].

В нашей стране создается единая автоматизированная система связи. Для этого развиваются и совершенствуются различные технические средства связи. В

некоторых случаях находятся новые области применения существующим средствам связи.

ООО «Технологии Радиосвязи» является разработчиком и производителем спутникового и навигационного оборудования, отвечающих российским требованиям и имеющих более низкую стоимость, чем зарубежные аналоги. Основным видом продукции являются антенны и антенные комплексы. Антенный комплекс предназначен для решения функциональных задач по управлению наведением антенны на спутник (космический аппарат) и его сопровождение по его угловым координатам в различных режимах работы.

Станция спутниковой связи транспортируемая СССТ 1,2 м Ku/Ка-диапазона (рис. 1) производства ООО «Технологии Радиосвязи» является перебазируемым комплексом быстрого развертывания с автоматическим наведением и предназначена для наведения на космические аппараты, находящиеся на геостационарной орбите и приема сигналов в Ku/Ка-диапазонах частот.

В СССТ 1,2 м реализован принцип наведения «One button acquisition», который обеспечивает простой алгоритм наведения, не требующий профессиональной подготовки пользователя. Устройство автоматического наведения антенны включает в себя двухосный позиционер (опорно-поворотное устройство) и бесплатформенную навигационную систему БИНС-А.

Для вращения осей по АЗМ и УГМ в антенном комплексе используют шаговые электродвигатели.

Шаговый электродвигатель – это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками. Ток подается в одну из обмоток статора и вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения ротора. Эти перемещения называют «шагами» (рис. 2) [2].

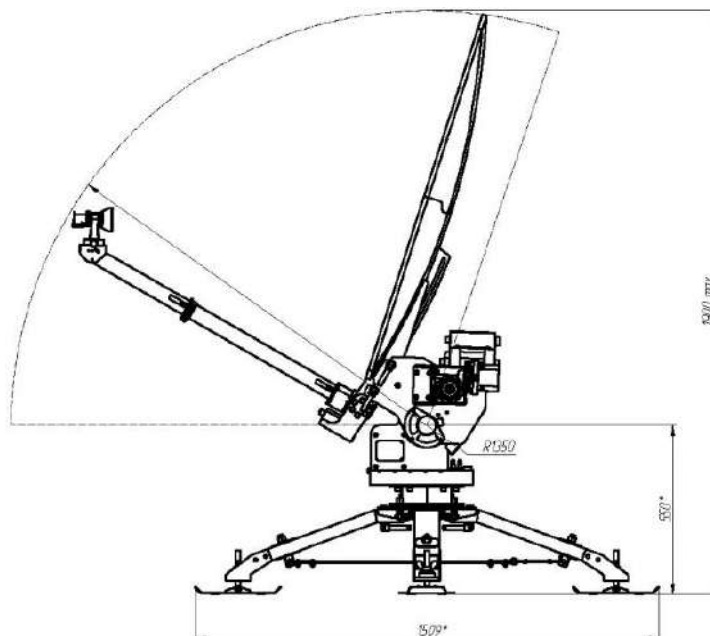


Рисунок 1 – Габаритный чертеж антенны в развернутом состоянии

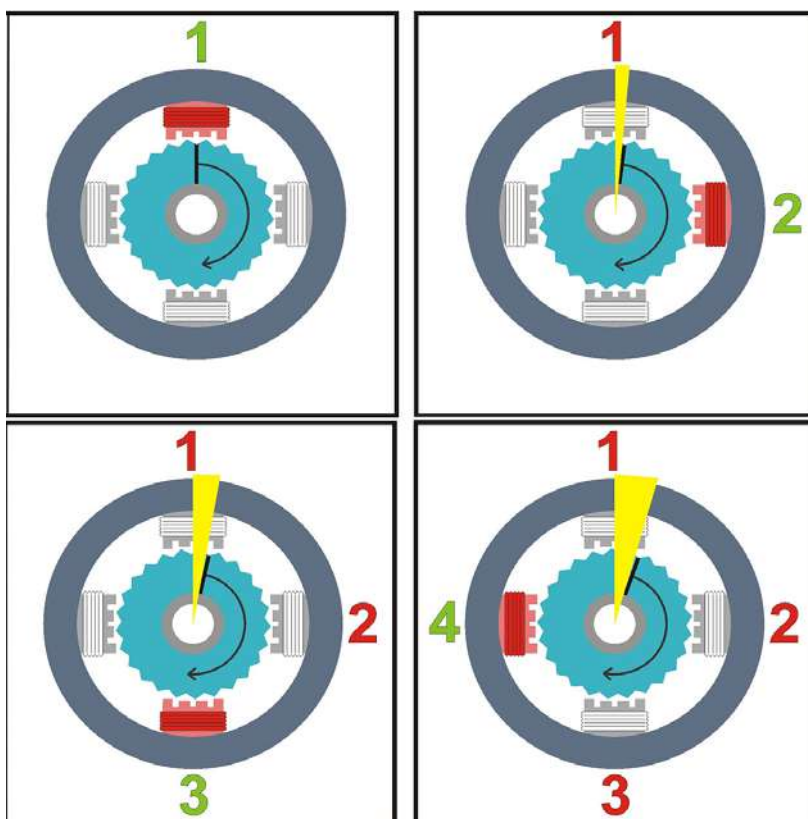


Рисунок 2 – Принцип работы шагового двигателя

Шаговые двигатели относятся к группе бесколлекторных двигателей постоянного тока. Шаговые двигатели обладают высокой надежностью и большим сроком службы. Благодаря этому их используют в антенных комплексах.

С 2014 по 2018 год ООО «Технологии Радиосвязи» было разработано и выпущено 37 антенных комплексов СССТ 1,2 м, на которых были установлены шаговые двигатели FL86.

В процессе эксплуатации антенных комплексов возникают проблемы с шаговыми двигателями. Конструктивная особенность двигателя FL86 в том, что он не является влагозащищенным, и при эксплуатации в уличных условиях происходит попадание воды в корпус двигателя.

Попадание влаги в корпус двигателя могут повлечь за собой различные последствия:

- выгорание обмоток двигателя (выход из строя двигателя);
- выгорание платы драйвера;
- выгорание платы управления антенной Quick Deploy;
- выход из строя блока питания антенны.

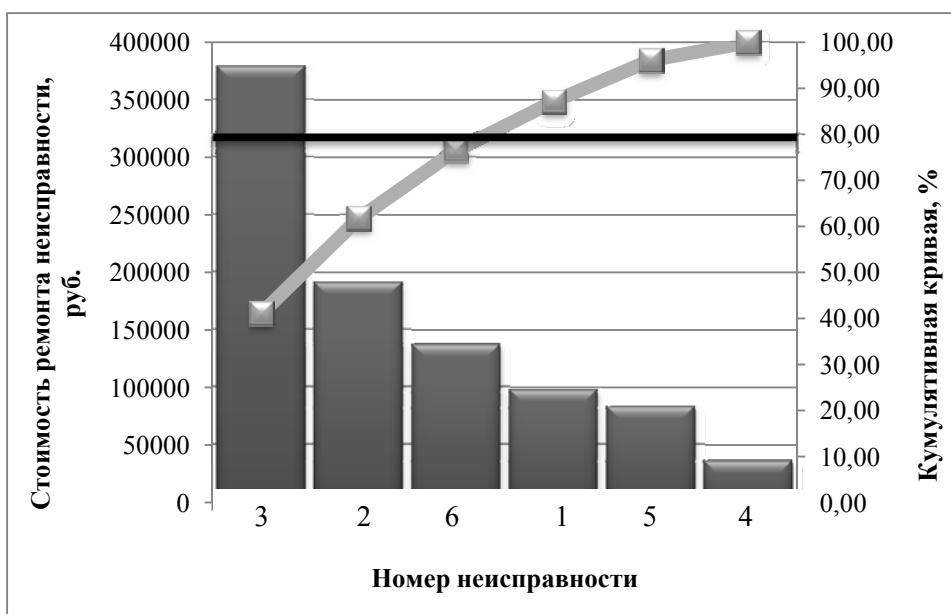
В таблице 1 представлены сведения по количеству отказов данного комплекса за 5 лет.

**Таблица 1 – Статистика отказов антенного комплекса СССТ 1,2 м за 2014- 2108 гг.**

	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
1. Неисправность кабеля	5	4	3	2	1	15
2. Отказ платы драйвера ШД	3	3	3	2	2	13
3. Отказ шагового двигателя FL86	2	1	2	1	1	7
4. Отказ платы управления антенной Quick Deploy	2	1	1	1	0	5
5. Отказ блока питания антенны	1	0	1	0	0	2
6. Отказ платы ПСН	2	1	0	0	0	3

Анализ таблице 1 показывает, что самыми распространенными неисправностями по числу появлений являются: неисправность кабеля и отказ платы драйвера шагового двигателя. Они составляют более 60% всех неисправностей. Данные неисправности считаются ремонтпригодными и подлежат исправлению, что нельзя сказать о неисправности шагового двигателя. Шаговый двигатель FL86 является не разборным и не подлежит ремонту.

Замена шагового двигателя является наиболее затратным существующих отказов для предприятия (41,02% от общей стоимости затрат на устранение отказов) и требует немедленного решения (рис. 3).



**Рисунок 3 – Общие затраты предприятия на ремонт антенного комплекса СССТ 1,2 м за 2014-2018 гг.**

Для решения данной проблемы были разработаны предложения по замене шаговых двигателей FL86 на защищённые двигатели со степенью защиты IP65. Степень защиты IP – классификация способа защиты, обеспечиваемого оболочкой



технического устройства от доступа к опасным частям. Международный знак защиты состоит из букв IP из двух цифр, первая из которых означает защиту от попадания твёрдых предметов, вторая – от проникновения воды. Регулируется стандартом ГОСТ 14254 [3].

Основными параметрами при поиске двигателей были аналогичные габаритные размеры и посадочные места с двигателем FL86, для того чтобы замена двигателей не приводила к изменениям в конструкции антенны.

Так, для оценки были выбраны 3 двигателя, характеристики которых представлены в таблице 2. Все представленные двигатели имеют степень защиты IP65.

**Таблица 2 – Технические характеристики сравниваемых двигателей**

Наименование	Номинал. ток, А	Сопротивление, Ом	Крутящий момент, кг*см	Длина, мм	Момент инерции ротора, г*см	Вес, кг
ШД86	4,0	0,65	34	66	1000	1,7
80MPH1.300S000	2,8	0,80	29	66	1000	1,8
PL86H75	3,5	1,00	46	66	1400	2,1

Для того, чтобы выбрать из трех представленных двигателей один был применен двухфакторный дисперсионный анализ [4]. В качестве отклика выступает сила тока, потребляемой разными двигателями. Факторами являются представленные двигатели и скорость углового перемещения. Дисперсионный анализ позволит определить, существует ли статистически значимое отличие между силой тока, потребляемой разными двигателями при различных скоростях углового перемещения. Если да, выбирается двигатель с минимальной потребляемой силой тока. Если же разница между силами тока окажется статистически незначимой, то основанием для выбора двигателя должны быть другие показатели.

В таблице 3 приведены исходные данные для проведения анализа. Сила тока представлена относительными величинами: потребляемая сила тока была отнесена к максимальной силе тока, на которую рассчитан двигатель.

В двухфакторном анализе проверяются три гипотезы:

$H_0^A$  – Вид двигателя (фактор А) не влияет на значение силы тока;

$H_0^B$  – Скорость углового перемещения антенны,  $^\circ$ /сек (фактор В) не влияет на значение силы тока;

$H_0^{AB}$  – Взаимодействие факторов А и В не влияет на значение силы тока.

Дисперсионный анализ проведен в данной работе с помощью Пакета анализа Microsoft Office Excel. Результаты анализа представлены на рисунке 4. В отчете представлены объем выборки, среднее арифметическое значение и дисперсия

каждой комбинации видов двигателя и скорости углового перемещения. Уровень значимости задан равным 0,05.

В первых трёх таблицах рисунка 4 приведены результаты дисперсионного анализа для всех видов двигателя, а в четвертой – для каждой скорости.

**Таблица 3 – Сила тока (относительные значения) при различных скоростях углового перемещения**

Двигатель	Скорость углового перемещения антенны, °/сек										
	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ШД 86	0,90	0,31	0,28	0,33	0,42	0,49	0,54	0,64	0,71	0,80	0,95
	0,95	0,41	0,46	0,50	0,55	0,60	0,65	0,68	0,70	0,73	0,85
	0,98	0,34	0,42	0,53	0,52	0,57	0,60	0,65	0,71	0,82	0,90
	0,99	0,42	0,34	0,38	0,46	0,54	0,62	0,68	0,74	0,82	0,89
	0,98	0,43	0,30	0,48	0,55	0,62	0,74	0,81	0,90	0,96	0,98
80МРН	0,92	0,59	0,66	0,71	0,79	0,86	0,93	0,96	1,00	0,00	0,00
	0,98	0,53	0,62	0,72	0,76	0,82	0,89	0,92	0,95	0,98	1,00
	0,99	0,46	0,45	0,56	0,68	0,76	0,82	0,86	0,92	0,98	0,99
	0,97	0,49	0,46	0,50	0,59	0,63	0,69	0,75	0,83	0,96	1,00
	0,99	0,57	0,59	0,64	0,68	0,70	0,76	0,82	0,85	0,93	0,98
PL86H75	0,99	0,42	0,34	0,38	0,46	0,54	0,62	0,68	0,74	0,82	0,89
	0,98	0,43	0,30	0,48	0,55	0,62	0,74	0,81	0,90	0,96	0,98
	0,92	0,59	0,66	0,71	0,79	0,86	0,93	0,96	1,00	1,00	1,00
	0,98	0,53	0,62	0,72	0,76	0,82	0,89	0,92	0,95	0,98	1,00
	0,99	0,46	0,45	0,56	0,68	0,76	0,82	0,86	0,92	0,98	0,99

Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями												
ИТОГИ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Итого
<i>шд 86</i>												
Счет	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	55
Сумма	4,8	1,915	1,8025	2,22	2,5	2,8175	3,145	3,455	3,7625	4,13	4,57	35,1175
Среднее	0,96	0,383	0,3605	0,444	0,5	0,5635	0,629	0,691	0,7525	0,826	0,914	0,6385
Дисперси	0,00135	0,002817	0,006126	0,00723	0,00335	0,002724	0,00563	0,004705	0,007019	0,00698	0,00263	0,044066
<i>80МРН</i>												
Счет	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	55
Сумма	4,85	2,639286	2,780714	3,134286	3,495714	3,767143	4,088571	4,314286	4,55	3,85	3,97	41,44
Среднее	0,97	0,527857	0,556143	0,626857	0,699143	0,753429	0,817714	0,862857	0,91	0,77	0,794	0,753455
Дисперси	0,00085	0,002898	0,009167	0,009264	0,005961	0,00833	0,00929	0,007034	0,00495	0,1857	0,19708	0,050985
<i>PL86H75</i>												
Счет	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	55
Сумма	4,86	2,429286	2,370714	2,854286	3,235714	3,597143	3,998571	4,234286	4,51	4,74	4,86	41,69
Среднее	0,972	0,485857	0,474143	0,570857	0,647143	0,719429	0,799714	0,846857	0,902	0,948	0,972	0,758
Дисперси	0,00087	0,005193	0,026247	0,021904	0,019369	0,018202	0,015258	0,012128	0,00962	0,00532	0,00217	0,043567
<i>Итого</i>												
Счет	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Сумма	14,51	6,983571	6,953929	8,208571	9,231429	10,18179	11,23214	12,00357	12,8225	12,72	13,4	13,4
Среднее	0,967333	0,465571	0,463595	0,547238	0,615429	0,678786	0,74881	0,800238	0,854833	0,848	0,893333	0,893333
Дисперси	0,000907	0,007084	0,018763	0,01724	0,015815	0,015685	0,01637	0,013257	0,01179	0,062489	0,063567	0,063567
<b>Дисперсионный анализ</b>												
Источник вари	SS	df	MS	F	P-Значение		критическое					
Выборка	0,50445	2	0,252225	13,26729	5,62E-06	3,064761						
Столбцы	4,588272	10	0,458827	24,13478	2,61E-25	1,903115						
Взаимодѣ	0,387627	20	0,019381	1,019479	0,444202	1,650626						
Внутри	2,509457	132	0,019011									
Итого	7,989807	164										

Рисунок 4 – Результат двухфакторного дисперсионного анализа

Чтобы проанализировать степень эффекта взаимодействия, проверяем, существует ли взаимодействие между обоими факторами. При заданном  $\alpha = 0,05$ , применяется следующий критерий:

$$\begin{aligned} & \text{нулевая гипотеза } H_0^{AB} \text{ отклоняется,} \\ & \text{если } F - \text{статистика} > F_{кр} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $F$  – статистика – вычисленное значение,

$F_{кр}$  – верхнее критическое значение F-распределения.

Поскольку  $F = 1,01 < F_{кр} = 1,65$ , а  $P$  – значение =  $0,444 \gg \alpha = 0,05$ , гипотеза  $H_0^{AB}$  не отклоняется. Следовательно, эффект взаимодействия факторов А и В незначителен и необходимо оценить влияние главных факторов.

Используя критерий (1) было проверено влияние каждого фактора на отклик отдельно. Результаты анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Анализ влияния главных эффектов на отклик

Фактор А	Фактор В
$F = 13,27 > F_{кр} = 3,06$	$F = 24,13 > F_{кр} = 1,90$
$P$ – значение $\ll \alpha$	$P$ – значение $\ll \alpha$
между силами тока, потребляемыми разными двигателями, существует значимая разница	между силами тока, потребляемыми при заданной скорости перемещения, существует значимая разница

Поскольку по результатам дисперсионного анализа видна разница между разными двигателями, нужно узнать, какой же из них существенно отличается от остальных. В результате проведенной работы известно, что, по крайней мере, одно из математических ожиданий существенно отличается от других.

Существует несколько способов решить эту задачу. Можно воспользоваться процедурой Тьюки – попарного сравнения между группами [5].

Критический размах для фактора А

$$\text{Критический размах} = Q_{\text{Акр}} \sqrt{\frac{MSE}{cn'}} \quad (2)$$

где  $Q_{\text{Акр}}$  – верхнее критическое значение распределения размаха.  $Q_{\text{Акр}}$  имеет  $c$  степеней свободы в числителе и  $rc(n' - 1)$  степеней свободы в знаменателе.

Поскольку имеется три разных двигателя, следует проверить  $3(3 - 1)/2 = 3$  пары двигателей. Вычисленные модули разности между соответствующими средними значениями по выборкам разных двигателей представлены в таблице 5.

**Таблица 5 – Попарные сравнения средних значений по выборкам исследуемых двигателей**

Пары двигателей	Средние значения по каждому двигателю в паре		Абсолютное значение отклонения между средними значениями в паре
1 и 2	0,6385	0,7535	0,1150
1 и 3	0,6385	0,7580	0,1195
2 и 3	0,7535	0,7580	0,0045

Используя формулу (2), получаем Критический размах = 0,07.

Сравниваем критический размах с абсолютным значением отклонения для каждой пары двигателей. Для первых двух пар сравниваемых двигателей существует статистически значимая разница. Средняя сила тока, потребляемая данными двигателями, значимо меньше, чем у второго и третьего. Следовательно, для замены шаговых двигателей FL86, выбран двигатель ШД 86.

Итак, выбранный шаговый двигатель ШД86:

- 1) не требует каких-либо доработок конструкции антенны;
- 2) имеет степень защиты IP65, которая полностью защищает от пыли и водяных струй любого направления;
- 5) разработан и производится российской компанией, которая является постоянным поставщиком двигателей для ООО «Технологии Радиосвязи».

#### Литература

1. Хрусталеv Е.П. Развитие системы информационного инфраструктурного обеспечения предпринимательской деятельности малых коммерческих организаций сектора волоконно-оптической связи. Автореферат диссертации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.avtoref.mgou.ru/ar/ar26.pdf> (дата обращения: 26.06.2018).

2. Шаговый электродвигатель. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаговый\\_электродвигатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаговый_электродвигатель). (дата обращения: 26.06.2018).
3. ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529:2013) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)/.
4. Дисперсионный анализ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title>. (дата обращения: 26.06.2018).
5. Однофакторный дисперсионный анализ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://baguzin.ru/wp/odnofaktornyj-dispersionnyj-analiz> (дата обращения: 26.06.2018).

УДК 681.586:629.78

## **Комплексный расчётно-экспериментальный метод оценки надёжности технических систем летательных аппаратов**

**В.Г. Исаев**, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой управления качеством и стандартизации,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область,

**Н.Г. Серёгин**, кандидат технических наук, доцент,  
заместитель директора завода «Импульс», г. Королёв, Московская область,

**С.В. Сорокин**, заместитель генерального директора,  
Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной  
техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королёв, Московская область.

*В статье рассмотрен комплексный расчётно-экспериментальный метод оценки надёжности технических систем летательных аппаратов на этапах проектирования и отработки опытных образцов. Приведено прогнозирование надёжности технических систем аналитическими методами. Дано краткое представление о математическом моделировании изделий. Рассмотрены эксплуатационные и стендовые ускоренные испытания технических систем. Показана необходимость комплексного рассмотрения аналитических методов прогнозирования надёжности, эксплуатационных и стендовых ускоренных испытаний для оценки надёжности технических систем летательных аппаратов на этапах проектирования и отработки опытных образцов.*

Надёжность технических систем, прогнозирование надёжности, аналитические методы, математическое моделирование, эксплуатационные испытания, стендовые ускоренные испытания, комплексный расчётно-экспериментальный метод.

## **Comprehensive calculation and experimental method for assessing the reliability of technical systems of aerial vehicle.**

**V.G. Isaev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Quality Management and Standardization  
State Educational Institution of Higher Education

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

**N.G. Seregin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
deputy director of the plant «Impulse», Korolev, Moscow Region,

**S.V. Sorokin**, deputy general director,  
Joint Stock Company «Scientific and Production Association of Measuring Equipment»  
(JSC «NPO IT»), Korolev, Moscow Region.

*The article considers a complex calculation and experimental method for evaluating the reliability of aircraft technical systems at the design and development stages of prototypes. The forecasting of reliability of technical systems by analytical methods is*

*given. A brief presentation about mathematical modeling of products is given. Operational and bench accelerated tests of technical systems are considered. The necessity of complex analysis of analytical forecasting methods, operational and bench accelerated tests is shown to assess the reliability of technical systems of aircraft during the design and development stages of prototypes.*

Reliability of technical systems, reliability prediction, analytical methods, mathematical modeling, operational tests, bench accelerated tests, complex computational and experimental method.

### **Предмет исследования.**

Надёжность технических систем любого летательного аппарата необходимо гарантировать на всём протяжении его срока эксплуатации от проектирования и отработки опытных образцов до изготовления и принятия заказчиком. Главное условие создания надёжных технических систем летательных аппаратов является соблюдение триады надёжности, а именно: надёжность технических систем формируется в процессе проектирования, гарантируется при изготовлении и обеспечивается в эксплуатации. Без строгого соблюдения этого правила невозможно создать высоконадёжные технические системы для летательных аппаратов с компенсацией недоработок предыдущего этапа создания летательного аппарата на последующем.

Поэтому необходима своевременная оценка надёжности всех технических систем летательных аппаратов. Например, основными техническими требованиями, сформированными для авиационных двигательных установок, являются [1]:

- создание взлётной тяги;
- соблюдение надёжной работы и стабильности эксплуатационных режимов;
- минимизация потребления топлива;
- формирование заданных режимов;
- гарантирование безопасности эксплуатации;
- снижение загрязняющих выбросов в атмосферу;
- минимальные экономические и габаритно-массовые характеристики.

Надёжность – это комплексное свойство любых сложных технических систем, к которым относятся двигатели летательных аппаратов. Поэтому их надёжность включает в себя долговечность, сохраняемость, безотказность и ремонтпригодность. Уровень надёжности любых технических систем летательных аппаратов характеризуется количественными показателями, которые рассчитываются на основании статистических данных, получаемых в ходе проведения экспериментальных исследований, и в результате выполнения теоретических расчётов. Он закладывается при проектировании технических систем летательных аппаратов и контролируется в процессе их дальнейшего существования.

В частности, обеспечение надёжности двигателей летательных аппаратов достигается применением в их конструкциях ранее успешно себя зарекомендовавших в других изделиях сборочных единиц и деталей, дублированием или резервированием наиболее ответственных систем и узлов, контролем качества материалов, изготовления, сборки и испытаний.

В технических системах летательных аппаратов резервирование наиболее важных систем и узлов является одним из основных способов обеспечения безопасности их эксплуатации [2], который закладывается на этапе проектирования и оценивается на этапе экспериментальной отработки опытных образцов. В данной работе рассматривается комплексный расчётно-экспериментальный метод оценки надёжности технических систем летательных аппаратов на этапах проектирования и отработки их опытных образцов.

**Цель исследования.**

Разработка комплексного расчётно-экспериментального метода оценки надёжности технических систем летательных аппаратов на этапах проектирования и отработки их опытных образцов.

**Методы и средства достижения цели.**

Прогнозирование надёжности технических систем летательных аппаратов на этапе проектирования связано с решением вероятностной задачи, в которой будущее поведение технических систем определяется степенью достоверности и оценивается вероятность её нахождения в определённом состоянии при заданных условиях эксплуатации. Согласно теории надёжности прогнозирования сводится к определению вероятности безотказной работы технической системы  $P(t)$  [3] в зависимости от заданных режимов её эксплуатации. Качество прогнозирования надёжности технической системы зависит от источников информации о надёжности её отдельных конструктивных составляющих. Для прогнозирования надёжности применяют различные методы, в которых используется математическое и физическое моделирование, аналитические расчёты, статистическая информация, экспертные оценки, а также методы аналогий.

Прогнозирование надёжности, связанное с применением математических моделей, является аналитическим [4]. Особенность прогнозирования надёжности заключается в том, что при определении вероятности безотказной работы технической системы  $P(t)$  её в общем случае нельзя экстраполировать. Так как, если функция  $P(t)$  определена на каком-то участке, то за пределами этого участка о данной функции ничего сказать нельзя [5]. Поэтому основным методом прогнозирования надёжности технических систем летательных аппаратов является контроль изменения их выходных параметров во времени при различных входных, т.е. прогнозирование параметрической надёжности.

Часто надёжность технических систем определяется надёжностью их узлов трения [6]. Следовательно, расчёт на параметрическую надёжность предусматривает выполнение следующих этапов:

- 1) построение динамических моделей узлов трения;
- 2) установление закономерностей процессов изнашивания;
- 3) определение уровня вибраций в трущихся сопряжениях;
- 4) установление взаимовлияния износных и вибрационных процессов.

Однако только расчётными методами невозможно получить высокую достоверность результатов. Они в основном позволяют получить качественную оценку уровня надёжности различных конструктивных вариантов изделий с последующим принятием решения о выборе для дальнейших экспериментальных исследований надёжности лучшего варианта или вариантов [6].



В качестве математических моделей прогнозирования надёжности часто применяют модели отказов, модели экстремальных значений технических параметров и модели, осуществляющие учёт изменения значений процессов изнашивания.

Большое значение при исследовании надёжности электрических систем и систем управления имеет математическая модель экстремальных значений технических параметров. Применение этой модели позволяет не проводить продолжительных экспериментальных исследований, а определять параметры модели прогнозирования надёжности на сравнительно коротком начальном интервале времени испытаний и использовать полученную модель для прогнозирования надёжности технической системы на весь период эксплуатации.

Также одной из распространённых математических моделей прогнозирования надёжности является регрессионный анализ. Среди регрессионных моделей широкое распространение получила авторегрессионная математическая модель прогнозирования надёжности технических систем, согласно которой значения параметров в момент времени  $t$  зависит лишь от  $S$  предыдущих значений.

Для повышения точности исходных данных, заложенных в математических моделях прогнозирования надёжности технических систем, их целесообразно определять экспериментально. Поэтому прогнозирование надёжности технических систем на математических моделях должно дополняться испытаниями на надёжность. Но при проведении испытаний периодически возникает необходимость определения технического состояния исследуемых изделий. Это возможно осуществить с помощью методов эксплуатационных наблюдений.

Эксплуатационные наблюдения – это наблюдения за работой технических систем летательных аппаратов в процессе их эксплуатации. Методы эксплуатационных наблюдений предназначены для определения показателей надёжности технических систем, полученных в результате их опытной эксплуатации.

В условиях эксплуатации методы сбора информации о работе технических систем подразделяются на многоступенчатый и централизованный.

При многоступенчатом методе первичные данные обрабатывают на месте их получения. После чего они в обобщённом виде поступают в пункт окончательной обработки. Основным недостатком этого метода являются малая оперативность работы, а также возможность искажения и потери части информации.

Централизованный метод не имеет вышеуказанных недостатков, так как первичные данные о работоспособности технических систем поступают непосредственно с места сбора на участок окончательной их обработки. Централизованный метод сбора и обработки информации предусматривает проведение работ в два этапа.

На первом этапе, который осуществляется посредством рассылки опросных листов, собирается предварительная информация о режимах работы технической системы, условиях и интенсивности её эксплуатации, а также данные об отказах и ремонтах системы. Второй этап предусматривает проведение эксплуатационных испытаний непосредственно на объектах функционирования технических систем.

На втором этапе централизованного метода сбора и обработки информации эксплуатационные испытания могут быть однократными и многократными.

Однократные испытания применяют для технических систем, длительное время находящихся в эксплуатации, выявляя их типичные отказы. Полученную информацию используют при разработке новых изделий, обеспечивая преемственность хорошо зарекомендовавших себя сборочных единиц и деталей. Многократные испытания применяют для наблюдения за опытной партией изделий, изучая трансформацию начального качества их показателей надёжности [6].

Основным достоинством эксплуатационных испытаний являются полные и достоверные сведения о надёжности технических систем.

Однако, из-за сравнительно высоких сроков службы современных изделий, проведение эксплуатационных испытаний связано со значительными организационными трудностями и требуют продолжительного времени. Поэтому эксплуатационные испытания следует планировать, как предшествующие стендовым ускоренным испытаниям, для определения надёжных аналогов технических систем и установления режимов их ускоренных испытаний.

При проведении стендовых ускоренных испытаний экспериментально определяют численные показатели начального качества технических систем летательных аппаратов, испытываемых на экспериментальных установках (рисунок 1), воспроизводящих комплекс воздействий и условий в соответствии с программой испытаний [3, 7, 8].

Объектами стендовых ускоренных испытаний могут быть отдельные элементы, функциональные узлы и изделия в целом. Наибольший эффект достигается при испытаниях функциональных узлов, так как это позволяет распространить результаты испытаний на другие изделия, имеющие аналогичные функциональные узлы, а также использовать эти данные при разработке новых технических систем.

Основные методы стендовых ускоренных испытаний технических систем заключаются в интенсификации эксплуатационных процессов и в ускорении получения информации о них. Испытания, в которых повышается скорость потери работоспособности изделия, называют форсированными. Основным достоинством форсированных испытаний является значительное сокращение времени их проведения. Но, перед началом составления программы форсированных испытаний необходимо предварительно определить коэффициент ускорения испытаний путём проведения ряда исследований с целью выбора режимов нагружения, не вызывающих изменения физической сущности процесса изнашивания.

Однако существует ряд методов стендовых ускоренных испытаний, не требующих предварительного определения коэффициента ускорения. Наибольшее распространение из них получил метод «запросов» [3, 7, 8]. Он основан на последовательном чередовании нагрузок нормальной, называемой «запрос», и форсированной (рисунок 2). В ходе стендовых ускоренных испытаний технических систем по методу «запросов» устанавливают связь между временем накопления износа на каждом интервале форсированного режима и временем накопления той же величины износа при нормальном режиме.



Рисунок 1 – Экспериментальная установка для испытаний технических систем летательных аппаратов

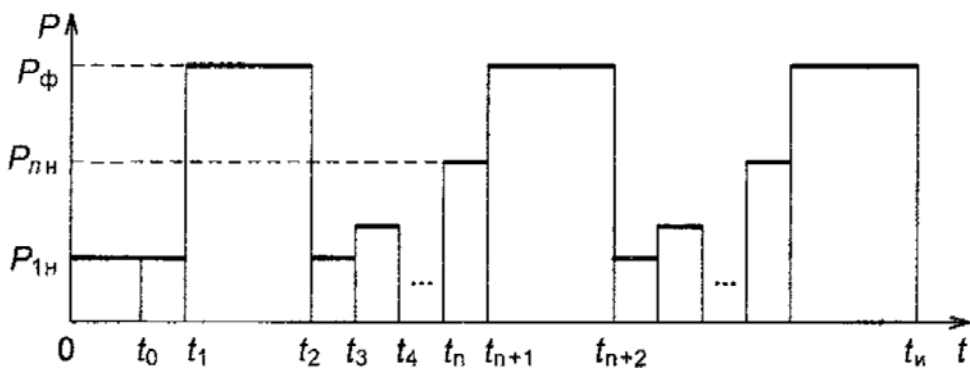


Рисунок 2 – Схема ускорения испытаний по методу «запросов»

Раздельное прогнозирование надёжности технических систем летательных аппаратов путём выполнения расчётов аналитическими методами, проведением эксплуатационных и стендовых ускоренных испытаний не обеспечивает получение точной информации об их надёжности в полном объёме. Наибольший эффект в обеспечении заданного уровня оценки надёжности технических систем летательных аппаратов даёт комплексный расчётно-экспериментальный метод. Он включает в себя прогнозирование надёжности различных конструктивных вариантов технических систем летательных аппаратов на этапе проектирования и сравнительные ресурсные стендовые ускоренные испытания лучших вариантов опытных образцов изделий на базе эксплуатационных испытаний их надёжных аналогов.

#### **Результаты исследования.**

Как уже выше было сказано, наибольший эффект в обеспечении заданного уровня оценки надёжности технических систем летательных аппаратов даёт комплексный расчётно-экспериментальный метод. Он включает в себя прогнозирование надёжности различных конструктивных вариантов технических систем на этапе проектирования и сравнительные ресурсные стендовые ускоренные испытания лучших вариантов опытных образцов изделий на базе эксплуатационных испытаний их надёжных аналогов (рисунок 3).

Разработка конструкции нового изделия начинается с проектирования, в результате которого для дальнейших исследований предлагаются различные его конструктивные варианты. Для получения данных по режимам, условиям и интенсивности эксплуатации ранее разработанных аналогов, данных по их функциональным и параметрическим отказам, рекомендаций эксплуатационников по совершенствованию конструкций, а также по уровню внешних возмущений и динамических параметров, организуют и проводят эксплуатационные испытания базовых конструкций изделий и их динамические стендовые испытания.

Эксплуатационные испытания осуществляют методом однократных наблюдений, так как он позволяет выявлять наиболее типичные отказы изделий и может быть применён при разработке новых конструкций, обеспечивая преемственность в них хорошо зарекомендовавших себя узлов. В процессе эксплуатационных испытаний определяют ресурсы основных конструктивных элементов изделий, время и трудоёмкость проведения ремонтных работ. По оценкам ресурса элементов конструкций изделий определяют вид закона распределения, рассчитывают параметры закона распределения и показатели надёжности.

Динамические стендовые испытания базовой конструкции изделия предназначены для исследования её показателей начального качества.

Полученные при проектировании конструктивные варианты изделия рассчитывают на прочность, статическую жёсткость и контактные нагрузки. На основании данных эксплуатационных испытаний и результатов динамических стендовых испытаний базовой конструкции определяют и рассчитывают её технические параметры.

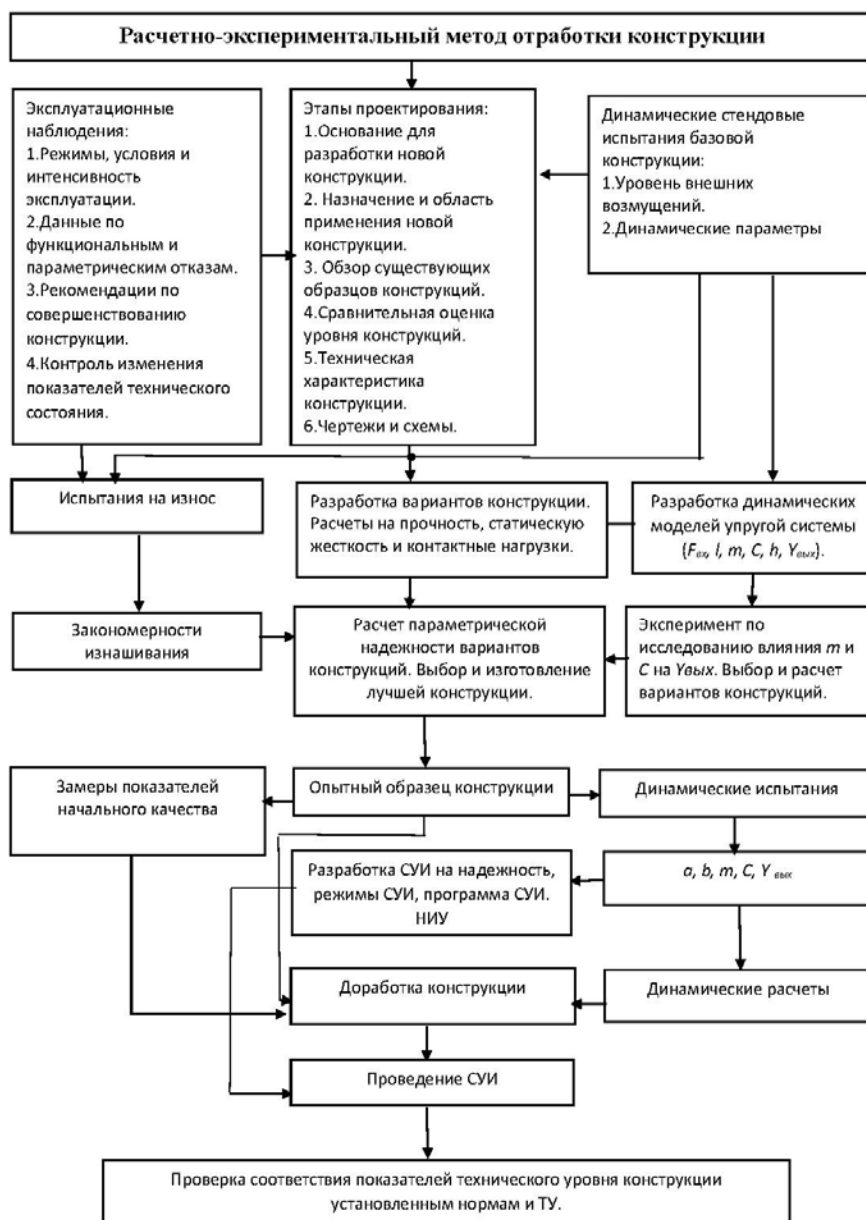


Рисунок 3 – Схема комплексного расчётно-экспериментального метода оценки надёжности технических систем летательных аппаратов

Для выбора оптимального конструктивного варианта изделия разрабатывают математическую модель динамики его упругой системы. Математическая модель динамики упругой системы изделия позволяет определять её динамические характеристики (амплитуды виброперемещений в подвижных стыках, частоты собственных и вынужденных колебаний) в зависимости от уровня и сочетания входных воздействий  $F_{ex}$ , и коэффициентов математической модели, которые ха-

рактически характеризуют техническое состояние объекта испытаний (масс элементов конструкции изделия  $m$ , моментов инерции  $I$ , жёсткости  $C$ , демпфирования  $h$ ). Эта математическая модель устанавливает связь между входными воздействиями на объект  $F_{вх}$  и выходными сигналами  $Y_{вых}$ , описывающими реакцию объекта на эти воздействия. При этом входные воздействия  $F_{вх}$  являются результатом динамических стендовых испытаний базовой конструкции изделия (уровень внешних возмущений, динамические параметры) и расчётов конструктивных вариантов изделия на прочность, жёсткость и контактные нагрузки. Кроме того, математическая модель изделия позволяет методом частотного анализа [9] оценить динамическую устойчивость конструкции изделия.

Математическая модель динамики упругой системы изделия позволяет производить расчёт и выбор вариантов конструкций изделия путём только математического моделирования без проведения натуральных экспериментальных исследований. Математическое моделирование проводят для изучения влияния геометрических размеров  $a$  и  $b$ , масс элементов конструкции изделия  $m$ , составляющих контактной жёсткости подвижных стыков  $C$  на поведение тех или иных конструктивных вариантов изделия.

С целью установления закономерностей изнашивания в подвижных сопряжениях механизмов изделий проводят испытания на износ различных износостойких материалов пар трения [10]. Так как износ материалов пар трения в сопряжениях механизмов технических систем проявляется через возникновение зазоров в стыках, что приводит к снижению их контактной жёсткости и ухудшает динамические характеристики упругой системы изделия. А уже динамические характеристики упругой системы изделия через увеличение уровня вибраций вызывают кинематические возмущения в элементах конструкций изделий.

Входными параметрами испытаний на износ являются результаты эксплуатационных испытаний (режимы, условия и интенсивность эксплуатации) и динамических стендовых испытаний (уровень внешних возмущений и динамические параметры) базовой конструкции изделия.

Следующим этапом отработки конструкции исследуемого объекта является расчёт параметрической надёжности вариантов конструкций изделия и по результатам расчёта выбор лучшей из них. Расчёт выполняется анализа работы математической модели прогнозирования надёжности. А вибрационные параметры рассчитываются с помощью математической модели динамики упругой системы изделия. Исходными параметрами математической модели динамики упругой системы изделия в данном случае являются составляющие контактной жёсткости подвижных стыков, изнашивающиеся согласно ранее установленным закономерностям. Совместное рассмотрение этих двух математических моделей позволяет определить предельные уровни виброперемещений, достижение которых приводят к наступлению параметрического отказа.

На основании проведённого расчёта выбирается лучшая конструкция изделия и изготавливается её опытный образец. На экспериментальной установке проводят замеры показателей начального качества и осуществляют динамические испытания опытного образца изделия.

Динамические испытания и замеры показателей начального качества опытного образца предлагаемой конструкции исследуемого объекта дают воз-

возможность уточнения и проведения динамических расчётов с целью доработки предлагаемой конструкции изделия, а также разработки программы и режимов стендовых ускоренных испытаний (СУИ) на экспериментальной установке, оборудованной нагрузочно-имитирующим устройством.

Заключительным этапом разработанного комплексного расчётно-экспериментального метода оценки надёжности технических систем летательных аппаратов на этапах проектирования и отработки их опытных образцов является проведение СУИ для проверки соответствия показателей технического уровня предлагаемой конструкции изделия, установленным нормам и техническим условиям на изготовление изделия.

#### *Литература*

1. Сенюшкин Н.С., Зырянов А.В., Султанов Р.Ф., Салимова И.И. Формирование требований к двигателям силовых установок летательных аппаратов // Молодой учёный. 2014. № 16 (75). С. 99-101.
2. Чекрыжев Н.В. Разработка методов и моделей повышения эффективности технического обслуживания летательных аппаратов и их систем // Самара: СГАУ. 2014. 180 с.
3. Гиясов Б.И., Серёгин Н.Г., Серёгин Д.Н., Беляков В.А. Стендовые ускоренные испытания технических систем на надёжность // М: АСВ. 2017. 74 с.
4. Волков Е.Б., Судариков Р.С., Сырицын Т.А. Основы теории надёжности ракетных двигателей // М: Машиностроение. 1974. 399 с.
5. Гнезденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д. Математические методы в теории надёжности // М: Наука. 1965. 524 с.
6. Проников А.С. Надёжность машин // М: Машиностроение. 1978. 590 с.
7. Беляков В.А., Серёгин Н.Г., Серёгин Д.Н., Семёнов К.В. Стендовые ускоренные испытания приборов на надёжность // М: Издательство МГУЛ. 2015. 51 с.
8. Шашурин В.Д., Ветрова Н.А., Назаров В.В., Серёгин Н.Г. Ускоренные испытания на надёжность технических систем // М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. 45 с.
9. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара // Л: Машиностроение. 1976. 314 с.
10. Шашурин В.Д., Серёгин Н.Г., Гиясов Б.И., Ветрова Н.А., Никитин А.О. Многослоистый композиционный материал на основе углеволокнита ЭПАН // М: Машиностроитель. 2016. № 7. С. 28-32.

УДК 629.78; 629.7.08; 681.5.034

### **Постановка задачи оптимизации распределения средств управления космическими аппаратами в условиях ресурсных ограничений**

**Б.А. Кучеров**, кандидат технических наук, ведущий инженер учебно-научной лаборатории программных комплексов численного моделирования, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Рассмотрены задачи, решаемые при распределении средств управления (PCY) космическими аппаратами (КА). Проанализирована иерархия задач планирования, проведено сравнение задачи составления плана распределения средств управления КА (либо «задачи PCY КА»?) с общей задачей составления расписания. Проведен анализ различных подходов к составлению плана распределения средств управления КА. Представлена математическая постановка задачи PCY КА, с использованием которой проведены исследования возможных путей повышения оперативности и качества PCY КА.*

Космический аппарат, наземный автоматизированный комплекс управления, сеанс связи, орган планирования.

### **Formulation of the problem of ground stations scheduling under resource restrictions**

**В.А. Kucherov**, candidate of engineering sciences, lead engineer of educational and research laboratory of numerical modeling software complexes, State Educational Institution of Higher Education Moscow Region «University of Technology», Korolev, Moscow region

*The tasks solving during ground stations scheduling to ensure satellites control are considered. The hierarchy of scheduling problems is analyzed. Ground stations scheduling problem is compared with general scheduling problem. Various approaches to develop schedule of ground stations are analyzed. Mathematical formulation of ground stations scheduling problem is presented. Research of possible ways to increase efficiency and quality of ground stations scheduling was performed using presented mathematical formulation of mentioned problem.*

Satellite, ground stations network, communication session, planning department.

В настоящее время при управлении космическими аппаратами (КА) требуется решение целого ряда задач распределения различных ресурсов [1-3]. Так, важную роль в осуществлении непосредственно управления КА (выдачи на КА управляющих воздействий для выполнения целевой задачи и поддержания его в работоспособном состоянии) играет планирование программы полёта КА и отдельных операций с ним [1, 4-6]. Для обеспечения решения целевых задач КА



требуется планирование работы целевой аппаратуры (распределение её ресурса) [7, 8], планирование передачи целевой информации с КА на наземные пункты приёма информации (распределение ресурса указанных пунктов приёма) [9, 10]. Для кластера малоразмерных КА также требуется решение задач распределенного управления групповыми операциями и группировкой в целом [11, 12]. Одной из важных задач, решение которой необходимо для обеспечения управления КА, является распределение средств управления (PCY) КА, предназначенных для передачи командно-программной информации, приёма телеметрической информации и решения ряда других задач.

В отечественных и зарубежных работах большое внимание уделяется проблеме составления и оптимизации планов распределения средств управления (PCY) КА, являющейся одной из важнейших задач PCY КА [3, 13-17].

Отечественными учеными задача оптимизация планов использования средств управления КА решалась главным образом применительно к многопунктной технологии управления КА [18]. Так, в работах [18, 19] рассматривается планирование сеансов связи ЦУП с группировкой КА через сеть наземных станций. При этом все КА управляются из одного ЦУП КА с использованием многопунктной технология их управления. Для решения задачи планирования сеансов связи предлагается использование мультиагентных технологий.

Стоит отметить, что ряд работ отечественных и зарубежных ученых посвящен оптимизации планов при использовании однопунктной технологии управления КА [2]. Такая технология используется в различных коммерческих спутниковых системах, имеющих выделенный НКУ. В работе [20] рассматривается планирование работы наземных станций для управления одним КА (или группировкой однотипных КА, управляемых из одного ЦУП КА).

В зарубежной литературе задача составления плана распределения средств управления космическими аппаратами и близкие к ней задачи встречаются под различными названиями [21]: «satellite range scheduling (SRS) problem» (задача составления расписания для спутников) [3, 13-15]; «multi-resource range scheduling problem (MuRRSP)» (задача составления расписания для нескольких ресурсов) [3, 14]; «antenna-satellite assignment problem» (задача о назначениях антенн спутникам) [15]; «ground station scheduling problem» (задача составления расписания наземных станций) [17]; «spacecraft support allocation problem» (задача распределения ресурсов обслуживания КА) [16]; «contact scheduling process» (процесс планирования сеансов связи) [22]; «scheduling problem for satellites» (задача планирования для спутников) [23].

Согласно анализу, проведенному в работе [24], иерархия задач планирования (от самой общей к самой частной) может иметь следующий вид:

задача составления расписания;

задача планирования работы параллельно действующих машин;

задача минимизации числа запаздывающих работ для несвязанных параллельных машин;

задача составления расписания для спутников (SRS).

Как видно, в данной иерархии наиболее строгие ограничения имеет задача составления расписания для спутников (SRS), что полностью подтверждается

практикой, где могут встречаться задачи с ещё более строгими ограничениями [15].

В зависимости от числа распределяемых ресурсов, задача составления расписания для спутников (SRS) может быть классифицирована как задача составления расписания для нескольких ресурсов (MuRRSP) или задач составления расписания для одного ресурса («single-resource range scheduling problem (SiRRSP)»). Задач PCY КА является подмножеством первого варианта указанной задачи (подмножеством MuRRSP), т.к. в рамках неё осуществляется распределение нескольких средств управления КА (ресурсов) для управления несколькими КА (потребителями) [21].

Стоит отметить, что, как показано в ряде работ, например в [3, 14-16, 24, 25], задача оптимизации плана распределения средств управления КА в наиболее общем её виде (MuRRSP) является NP-полной (NP – non-deterministic polynomial) задачей. Отечественными и зарубежными учеными предлагаются различные пути решения указанной задачи.

Как показано, например, в [3, 15, 24], задача составления расписания для спутников (SRS) имеет как сходства, так и различия с общей задачей составления расписания.

К основным сходствам можно отнести: набор задач (сеансов), которые следует распределить между машинами (средствами управления); выполнение задач не может быть прервано; две различные задачи не могут выполняться одновременно на одной и той же машине (средство управления не может одновременно проводить два сеанса связи). К основным отличиям следует отнести: целевые функции оптимизации плана (минимизация периода обработки не применима к задаче составления расписания для КА); отсутствие очереди на выполнение задач (КА не могут находиться в очереди, ожидая обслуживания их средствами управления); более строгие ресурсные ограничения [21].

В работе [3] представлена классификация различных вариантов задачи составления расписания для спутников (SRS). Подробно рассмотрены сходства и различия данной задачи с задачей составления расписания. Проводится сравнение различных вариантов постановки задачи SRS, отличающихся в частности следующими параметрами: один или несколько КА, одно или несколько средств управления КА, дискретность или непрерывность планируемых временных интервалов, учитываемый набор ограничений, целевая функция планирования.

В работах [13, 25] представлены подходы к решению задачи составления расписания для сети управления спутниками BBC США (Air Force Satellite Control Network, AFSCN). В подходах используются, в частности, различные генетические алгоритмы. В качестве целевой функции выбрана минимизация числа и времени конфликтных ситуаций (КС).

В работе [15] предложена модель целочисленного линейного программирования для решения частного случая задачи SRS (планирование сеансов для наземной сети, состоящей из множества антенн, размещенных на множестве пунктов, обслуживающей многочисленных спутниковых операторов). Модель основана на постановке задачи планирования, используемой в компании и являющейся более строгой, чем общая постановка. Отмечены её сходства и различия с задачей дизъюнктивного сетевого планирования. Цель представленной модели – разре-

шить конфликтные ситуации за наименьшее время с учётом заданных приоритетов. В качестве возможных вариантов разрешения конфликтов рассматриваются перенос сеанса на другую наземную станцию, сокращение времени сеанса или вообще отмена сеанса. Перенос сеанса на другое время не рассматривается.

Другой подход к решению похожей задачи (MuRRSP) основан на генетических алгоритмах [14], когда целевая функция оптимизации плана – это максимизация суммы приоритетов сеансов, включенных в план.

Примеры использования генетических алгоритмов для решения задачи SRS рассматриваются в [16], где представлены генетические алгоритмы для нелинейной оптимизации разрешения конфликтных ситуаций. В работах подробно рассмотрена целевая функция оптимизации, приведены учитываемые в ней факторы (приоритеты КА, критически зависимые операции, обязательность выполнения особых операций на заданных витках и т.д.). Критерий оптимизации – запланировать сеанс связи строго заявленной длительности. Планирование сеанса меньшей длительности запрещено, большей – желательно, но обязательным не является. Отмечено, что большое количество требований должно обсуждаться с экспертами и может быть включено в набор учитываемых ограничений в качестве нечетких правил.

Другой пример задачи составления расписания наземных станций, основанный на генетических алгоритмах, подробно рассмотрен в [17].

В работе [23] предлагается использование теории раскраски графов для решения проблемы распределения ресурсов (спутниковых или наземных) для низкоорбитальных КА. Цель – включение в план максимального количества сеансов с учётом их приоритетности и удовлетворения заданных ограничений.

Другой пример использования теории раскраски графов для решения MuRRSP представлен в работе [26], где предлагается использование эвристического поиска с запретами и адаптивного алгоритма памяти для решения MuRRSP.

В [27] представлен подход к решению проблемы SRS, основанный на планировании с использованием нескольких алгоритмов. Целью данного подхода – максимизация времени сеансов связи при соблюдении заданных ограничений.

В [28] предложен эвристический подход, основанный на подходящей комбинации методов математического программирования, который позволяет найти решение, близкое к оптимальному, для MuRRSP при большом количестве КА.

В условиях прогрессирующего роста числа КА в составе орбитальных группировок при использовании малопунктной технологии управления будут неуклонно возрастать количество конфликтных ситуаций при РСУ КА, сложность формирования (коррекции) ПРС, нагрузка на специалистов органа планирования. При этом превышение нормативного времени формирования (коррекции) плана может привести к дезорганизации управления орбитальной группировкой КА [29]. Кроме того, время формирования (и особенно коррекции) ПРС в случае возникновения различных нештатных ситуаций при управлении группировкой КА может оказать существенное влияние на варианты их парирования.

Для парирования негативного влияния указанных факторов требуется повышение не только оперативности РСУ КА, но и качества разрабатываемых планов. Различные подходы к решению данных задач были предложены в работах

[21, 29-34]. Однако, необходимы дальнейшие исследования возможных путей их решения с использованием математической постановки задачи РСУ КА.

На основании проведенного анализа процесса управления группировкой КА в условиях ресурсных ограничений, математическая постановка задачи РСУ КА может быть представлена в следующем виде [21]:

$$(SHD, T) = f(SAT, GS, REQ, RESTR, RULES, MT, SW) \quad (1)$$

где  $SHD$  – план распределения средств управления КА;  $T$  – время формирования плана распределения средств управления КА;  $SAT$  – множество КА (состав группировки КА);  $GS$  – множество средств управления (состав НАКУ КА);  $REQ$  – потребности в ресурсах (средствах управления КА);  $RESTR$  – ограничения на использование ресурсов (средств управления КА);  $RULES$  – решающие правила;  $MT$  – методическое обеспечение распределения средств управления КА;  $SW$  – программное обеспечение распределения средств управления КА.

Здесь [21]:

$SAT = \{sat_i\}, i = \overline{1, sat\_num}$ , где  $sat\_num$  – количество КА в составе группировки;

$GS = \{gs_j\}, j = \overline{1, gs\_num}$ , где  $gs\_num$  – количество средств управления в составе НАКУ КА.

Таким образом, ПРС и время его формирования зависят от потребностей, ограничений, решающих правил и используемых методического и программного обеспечения.

С учётом выражений, приведенных в [3, 4, 14, 15, 23], представим потребности в ресурсах как:

$$REQ = \{req_k\} : req_k = \{sat_i, gs_j, t_{req_k}^{begin}, t_{req_k}^{end}, t_{req_k}^{prep}, wm_{req_k}, P_{req_k}\}, \\ k = \overline{1, req\_num}, \quad (2)$$

где  $sat_i$  – КА, у которого существует потребность в ресурсах;  $gs_j$  – средство управления, потребность в использовании которого существует у КА  $sat_i$  (средство управления, запрашиваемое для проведения сеанса связи с КА  $sat_i$ );  $t_{req_k}^{begin}$  и  $t_{req_k}^{end}$  – соответствующие запрашиваемые времена начала и окончания использования ресурса (времена начала и окончания сеанса связи);  $t_{req_k}^{prep}$  – запрашиваемое время подготовки к использованию ресурса (время подготовки к сеансу связи, во время которого распределяемый ресурс также занят);  $wm_{req_k}$  – запрашиваемые режимы работы средства управления КА;  $P_{req_k}$  – приоритет запроса на использование ресурса (заявки на проведение сеанса связи);  $req\_num$  – количество потребностей в ресурсах (заявок).

Ограничения на использование средств управления КА представим в виде:

$$RESTR = \{VW, GCC, SO, ST, WM\} \quad (3)$$

где  $VW$  – множество зон радиовидимости космических аппаратов средствами управления, когда возможно установление непосредственной радиосвязи между КА и средством управления;  $GCC$  – множество НКУ отдельных КА;  $SO$  – множество эксплуатационных мероприятий на средствах управления КА;  $ST$  – состояние средств управления КА;  $WM$  – множество режимов работы, поддерживаемых отдельными средствами управления.

Воспользовавшись выражениями, приведенными в [3, 4, 14, 15, 23], представим множество зон радиовидимости как:

$$VW = \{vw_l\} : vw_l = \{sat_i, gs_j, t_{vw_l}^{begin}, t_{vw_l}^{end}\}, l = \overline{1, vw\_num} \quad (4)$$

где  $sat_i$  и  $gs_j$  – соответственно КА и средство управления, между которыми существует ЗРВ;  $t_{vw_l}^{begin}$  и  $t_{vw_l}^{end}$  – соответственно время начала и время окончания ЗРВ;  $vw\_num$  – количество зон радиовидимости.

Возможность использования средств для управления определенным КА определяется входением данного средства в состав НКУ рассматриваемого КА [21]:

$$GCC = \{gcc_{ij}\} : gcc_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } gs_j \text{ водит в состав НКУ КА } sat_i \\ 0 & \text{в другом случае.} \end{cases} \quad (5)$$

При этом множество средств НАКУ КА можно представить как совокупность множеств НКУ отдельных КА:

$$GCC = \{gcc_i\}, i = \overline{1, sat\_num} \quad (6)$$

Стоит отметить, что средство управления может входить в состав НКУ нескольких КА [21]:

$$(\forall j \in [1, gs\_num]) \sum_{i=1}^{sat\_num} gcc_{ij} \geq 1. \quad (7)$$

Эксплуатационные мероприятия представим в виде:

$$SO = \{so_i\} : so_i = \{gs_j, t_{so_i}^{begin}, t_{so_i}^{end}\}, i = \overline{1, so\_num} \quad (8)$$

где  $gs_j$  – средство управления, которое является объектом проведения эксплуатационного мероприятия;  $t_{so_i}^{begin}$  и  $t_{so_i}^{end}$  – соответственно время начала и время окончания эксплуатационного мероприятия;  $so\_num$  – количество эксплуатационных мероприятий.

Сведения о состоянии средств управления КА ( $ST$ ) формируются в процессе решения подзадачи мониторинга и анализ сложившейся ситуации [21]:

$$ST = f(RS, PS, MM) \quad (9)$$

где  $RS$  – сведения о результатах выполнения сеансов связи;  $PS$  – замечания от ЦУП КА к проведению сеансов связи;  $MM$  – сообщения от КИП о выявлении неисправностей средств управления и об их устранении, а также о ходе их устранения.

Состояние средств управления можно записать как [21]:

$$ST = \{st_{ij}\} : st_{ij} = \{gs_j, state_i, t_{st_{ij}}^{begin}, t_{st_{ij}}^{end}\},$$

$$i = \overline{1, st\_num_{gs_j}}, j = \overline{1, gs\_num} \quad (10)$$

где  $gs_j$  – средство управления, состояние которого рассматривается;  $state_i$  – состояние средства управления;  $t_{st_{ij}}^{begin}$  и  $t_{st_{ij}}^{end}$  – соответственно начало и окончание временного интервала, на котором состояние средства не меняется;  $st\_num_{gs_j}$  – количество временных интервалов, на которых не меняется состояние средства управления  $gs_j$ .

Состояние средства может принимать одно из следующих значений:

$$state_{ij} \in \{full\_func, part\_func, not\_func\} \quad (11)$$

где  $full\_func$  – работоспособно (может использоваться без ограничений);  $part\_func$  – частично работоспособно (может использоваться с ограничениями);  $not\_func$  – не работоспособно (не может использоваться).

Представим множество режимов работы, поддерживаемых отдельными средствами управления, как:

$$WM = \{WM_{gs_j}\} = \{wm_{ij}\} : wm_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ если } gs_j \text{ поддерживает} \\ \text{выполнение режима работы } wn_{ij} \\ 0 \text{ в другом случае.} \end{cases} \quad (12)$$

где  $wm_i$  –  $i$ -й режим работы средств управления КА ( $i = \overline{1, wm\_num}$ ,  $wm\_num$  – количество всех режимов работы средств управления КА).

С учётом выражений, приведенных в [3, 4, 14, 15, 23], представим план распределения средств управления КА как:

$$SHD = \{req\_conf_k\} : req\_conf_k = \begin{cases} 1 \text{ если } req_k \text{ включен в ПРС;} \\ 0 \text{ в другом случае.} \end{cases} \quad (13)$$

При этом характеристики пункта ПРС (характеристики сеанса связи) могут отличаться от запрашиваемых (например, вследствие переноса сеанса на другую ЗРВ для разрешения конфликтной ситуации). С учётом вышеуказанного факта и выражений, приведенных в [3, 4, 14, 15, 23], представим ПРС как:

$$SHD = \{task_k\} : task_k = \{sat_i, gs_j, t_{task_k}^{begin}, t_{task_k}^{end}, t_{task_k}^{prep}, wm_{task_k}, p_{task_k}\} \quad (14)$$

где  $t_{task_k}^{begin}$  и  $t_{task_k}^{end}$  – соответственные запланированные времена начала и окончания использования ресурса (времена начала и окончания сеанса связи);  $t_{task_k}^{prep}$  – запланированное время подготовки к использованию ресурса (время подготовки к сеансу связи, во время которого распределяемый ресурс также занят);  $wm_{task_k}$  – запланированные режимы работы средства управления КА;  $p_{task_k}$  – приоритет запроса на использование ресурса (заявки на проведение сеанса связи).

Заметим, что допустимый (бесконфликтный) план распределения средств управления должен удовлетворять следующим условиям:

проведение сеанса связи (кроме тренировок) в рамках ЗРВ (с учётом выражений, приведенных в [3, 4, 14, 15, 23]):

$$\forall \{sat_i, gs_j, t_{task_k}^{begin}, t_{task_k}^{end}\} \in VW \quad (15)$$

работа одного средства только с одним КА в один момент времени (с учётом выражений, приведенных в [3, 4, 14, 15, 23]):

$$\left\{sat_{i_1}, gs_j, \left(t_{task_{k_1}}^{begin} - t_{task_{k_1}}^{prep}\right), t_{task_{k_1}}^{end}\right\} \cap \left\{sat_{i_2}, gs_j, \left(t_{task_{k_2}}^{begin} - t_{task_{k_2}}^{prep}\right), t_{task_{k_2}}^{end}\right\} = \emptyset$$

$$\forall req\_conf_{k_1} = 1, req\_conf_{k_2} = 1 \quad (16)$$

поддержка средством управления режимов работы, запланированных к выполнению в рамках сеанса связи:

$$\forall wm_{task_k} \in WM_{gs_j}, task_k = \left\{sat_i, gs_j, t_{task_k}^{begin}, t_{task_k}^{end}, t_{task_k}^{prep}, wm_{task_k}, p_{task_k}\right\} \quad (17)$$

невозможность использования средства управления КА для проведения сеансов связи во время проведения эксплуатационных мероприятий (с учётом выражений, приведенных в [3, 4, 14, 15, 23]):

$$\forall \left\{sat_i, gs_j, \left(t_{task_k}^{begin} - t_{task_k}^{prep}\right), t_{task_k}^{end}\right\} \notin SO \quad (18)$$

невозможность использования неработоспособного средства управления КА для проведения сеансов связи, вытекающая из выражения (16) (с учётом выражений, приведенных в [3, 4, 14, 15, 23]):

$$\forall \left\{sat_i, gs_j, \left(t_{task_k}^{begin} - t_{task_k}^{prep}\right), t_{task_k}^{end}\right\} \notin ST \text{ если } state_j = not\_ \quad (19)$$

Воспользовавшись выражениями, приведенными в [3, 4, 14, 15, 23], решающие правила представим в виде:

$$RULES : Q = \Phi(SHD) \rightarrow max \quad (20)$$

где  $Q$  – качество ПРС;  $\Phi(SHD)$  – целевая функция разработки ПРС.

При этом целевая функция может представлять собой как зависимость от приоритетов включенных в план сеансов связи

$$Q = \Phi(SHD) = \Phi\left\{req\_conf_k, p_{req_k}\right\} \rightarrow max \quad (21)$$

так и являться более сложной функцией – например, отражающей достаточность включенных в ПРС сеансов для выполнения ТЦУ каждого КА.

Частный случай – сумма приоритетов включенных в ПРС сеансов связи [14]:

$$Q = \sum_{k=1}^{req\_num} \left(req\_conf_k \cdot p_{req_k}\right) \rightarrow max \quad (22)$$

Заметим, что вопросы оценки качества плана и предлагаемые для этого показатели подробно рассмотрены в [29].

Методическое обеспечение распределения средств управления КА можно представить в следующем виде:

$$MT = \{EXCH, SCS, NOTIF, MON, PRED\} \quad (23)$$

где *EXCH* – методическое обеспечение подзадачи информационного обмена органа планирования с абонентами; *SCS* – методическое обеспечение подзадачи формирования (и коррекции) бесконфликтного плана распределения средств управления КА; *NOTIF* – методическое обеспечение подзадачи оперативного оповещения специалистов органа планирования об изменении ситуации; *MON* – методическое обеспечение подзадачи мониторинга и анализа сложившейся ситуации; *PRED* – методическое обеспечение подзадачи прогнозирования ситуации при РСУ КА.

Распределение средств управления КА осуществляется в условиях жестких ресурсных ограничений, когда время формирования (коррекции) плана не должно превышать нормативного значения, установленного регламентирующими документами:

$$T \leq T_{norm} \quad (24)$$

где  $T_{norm}$  – нормативное время формирования (коррекции) плана распределения средств управления КА.

Результаты анализа проведенной работы показывают, что РСУ КА может рассматриваться как многокритериальная оптимизационная задача, когда требуется сформировать наиболее качественный ПРС за наименьшее время. Другими словами, при решении задачи РСУ КА требуется максимизация качества ПРС при минимизации времени его формирования:

Значение целевой функции формирования ПРС (качество плана) и время его формирования в общем случае зависят от потребностей, доступных ресурсов, существующих ограничений, используемых решающих правил, а также используемого методического и программного обеспечения РСУ КА. При этом потребности и доступные ресурсы являются входными данными, задаваемыми вне рассматриваемой системы (органа планирования). Т.е., они не могут быть изменены органом планирования с целью повышения качества плана или оперативности его формирования. Ограничения на использование ресурсов формируются в органе планирования на основании сведений, отражающих фактическое состояние средств управления и поступающих от абонентов, и не могут быть скорректированы для повышения качества плана или оперативности его формирования.

Решающие правила могут, как задаваться вне рассматриваемой системы (органа планирования), так и уточняться в органе планирования с учётом внешних факторов.

Заметим, что вопросы выработки решающих правил, а именно вопросы оценки качества плана и выбора используемых для этого показателей, подробно рассмотрены в [29].

Таким образом, повышение качества ПРС и оперативности его формирования может быть достигнуто путём развития методического и программного обеспечения РСУ КА. Это может рассматриваться как многокритериальная оптимизационная задача, когда требуется обеспечить формирование наиболее качественного ПРС за наименьшее время. Другими словами, используемое методическое и программное обеспечение РСУ КА должно обеспечивать максимизацию качества ПРС при минимизации времени его формирования:



$$T = f(SAT, GS, REQ, RESTR, RULES, TOOLS) \rightarrow \min$$

$$Q = \Phi(SHD) \rightarrow \max \quad (25)$$

Таким образом, осуществлен анализ задач, решаемых при РСУ КА. Показано, что формируемый ПРС, в общем случае, зависит от потребностей, ограничений и решающих правил. Определены и проанализированы выражения, позволяющие определить: потребности в ресурсах, ограничения на использование средств управления КА, решающие правила. Показано, что дальнейшее повышение оперативности РСУ КА и качества ПРС возможно путём развития методического и программного обеспечения РСУ КА.

#### Литература

1. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Информационные технологии. 2013. № S1. С. 1-32.
2. Fliege J., Kaparis K., Khosravi B. Operations research in the space industry // European Journal of Operational Research. 2012. Vol. 217, № 2. pp. 233-240.
3. Vazquez A.J., Erwin R.S. On the tractability of satellite range scheduling // Optimization Letters. 2015. Vol. 9, № 2. pp. 311-327.
4. Darnopykh V.V., Malyshev V.V. Operative planning of functional sessions for multisatellite observation and communication systems // Acta Astronautica. 2012. Vol. 73. pp. 193-205.
5. Меньшиков В.А., Рудаков В.Б., Сычев В.Н. Оптимальный иерархический контроль технических параметров космических аппаратов // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2010. № 3. С. 15-19.
6. Жигастова О.К., Почукаев В.Н. Методика автоматизированного планирования полёта автоматических околоземных космических аппаратов // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19, № 3. С. 97-103.
7. Wang P., Reinelt G. A heuristic for an Earth observing satellite constellation scheduling problem with download considerations // Electronic Notes in Discrete Mathematics. 2010. Vol. 36. pp. 711-718.
8. Губанов А.А., Пирогов М.В., Плещев Н.Н., Рожков В.В. Метод формирования программы работы целевой аппаратуры космического аппарата с использованием визуализации // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 2. С. 35-42.
9. Karapetyan D., Mitrovic M.S., Malladi K.T., Punnen A.P. Satellite downlink scheduling problem: A case study // Omega. 2015. Vol. 53. pp. 115-123.
10. Иванов А.Б., Жилиев А.А., Скобелев П.О., Майоров И.В., Симонова Е.В., Травин В.С., Скирумунт В.К., Стратилатов Н.Р., Тюлевин С.В. Адаптивное планирование сеансов связи малых космических аппаратов в сети наземных пунктов приема информации на основе мультиагентных технологий // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 8975-8983.
11. Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев А.В., Степанов М.Е., Жилиев А.А. Интеллектуальная система распределенного управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов в задачах

- дистанционного зондирования Земли // Информационно-управляющие системы. 2013. № 1 (62). С. 16-26.
12. Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев А.В., Степанов М.Е. Модели для решения сетцентрических задач планирования и управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов // Информационно-управляющие системы. 2012. № 1. С. 33-38.
  13. Barbulescu L., Howe A., Whitley D. AFSCN scheduling: How the problem and solution have evolved // Mathematical and Computer Modelling. 2006. Vol. 43, № 9-10. pp. 1023-1037.
  14. Yuqing L., Rixin W., Minqiang X. Satellite range scheduling with the priority constraint: An improved genetic algorithm using a station ID encoding method // Chinese Journal of Aeronautics. 2015. Vol. 28, № 3. pp. 789-803.
  15. Vazquez R., Perea F., Galán V.J. Resolution of an Antenna-Satellite assignment problem by means of Integer Linear Programming // Aerospace Science and Technology. 2014. Vol. 39. pp. 567-574.
  16. Bagchi T.P. Near optimal ground support in multi-spacecraft missions: a GA model and its results // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2009. Vol. 45, № 3. pp. 950-964.
  17. Xhafa F., Herrero X., Barolli A., Barolli L., Takizawa M. Evaluation of struggle strategy in Genetic Algorithms for ground stations scheduling problem // Journal of Computer and System Sciences. 2013. Vol. 79, № 7. pp. 1086-1100.
  18. Калашников Д.А., Соловьев В.А., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Майоров И.В., Лахин О.И., Тихонов Д.И., Ворожейкин В.Н. Метод адаптивного планирования сеансов связи ЦУП с группировкой космических аппаратов по критериям надежности и экономичности связи // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2015. № 1. С. 58-70.
  19. Калашников Д.А., Соловьев В.А., Симонова Е.В., Майоров И.В., Грачев С.П., Тихонов Д.И., Ворожейкин В.Н., Скобелев П.О. Особенности постановки задачи оптимизации показателей надежности и экономичности сеансов связи для передачи разнородных данных группировки КА и ЦУП через сеть наземных станций // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2014. № 4. С. 59-68.
  20. Spangelo S., Cutler J., Gilson K., Cohn A. Optimization-based scheduling for the single-satellite, multi-ground station communication problem // Computers & Operations Research. 2015. Vol. 57. pp. 1-16.
  21. Kucherov B., Přibyl O. Increasing efficiency of ground stations scheduling for sustainable satellite based services // Proceedings of 2018 Smart City Symposium Prague (SCSP). Prague, Czech Republic. 2018. pp. 1-6.
  22. Franco T., Moreira F., Hall S., Oliveira H. The contact scheduling process of the Galileo navigation system // New Frontiers in Applied Artificial Intelligence. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2008. pp. 446-455.
  23. Sarkheyli A., Bagheri A., Ghorbani-Vaghei B., Askari-Moghadam R. Using an effective tabu search in interactive resources scheduling problem for LEO satellites missions // Aerospace Science and Technology. 2013. Vol. 29, № 1. pp. 287-295.

24. Feng T.K. Combining decomposition and hybrid algorithms for the satellite range scheduling problems: master's thesis in Mechanical and Industrial Engineering. University of Toronto. 2012. 105 p.
25. Barbulescu L., Watson J.-P., Whitley L.D., Howe A.E. Scheduling space-ground communications for the Air Force Satellite Control Network // Journal of Scheduling. 2004. Vol. 7, № 1. pp. 7-34.
26. Zufferey N., Amstutz P., Giaccari P. Graph colouring approaches for a satellite range scheduling problem // Journal of Scheduling. 2008. Vol. 11, № 4. pp. 263-277.
27. Corrao G., Falone R., Gambi E., Spinsante S. Ground station activity planning through a multi-algorithm optimisation approach. Satellite Telecommunications // Proceedings of 2012 IEEE First AESS European Conference on Satellite Telecommunications (ESTEL). 2012. pp. 1-6.
28. Marinelli F., Nocella S., Rossi F., Smriglio S. A Lagrangian heuristic for satellite range scheduling with resource constraints // Computers & Operations Research. 2011. Vol. 38, № 11. pp. 1572-1583.
29. Алексахина А.А., Дудко А.Н., Кучеров Б.А., Литвиненко А.О., Хроменков А.С. Метод превентивного разрешения конфликтных ситуаций при планировании задействования средств управления космическими аппаратами // Космонавтика и ракетостроение. 2017. № 2 (95). С. 46-54.
30. Алексахина А.А., Кучеров Б.А., Хроменков А.С. Использование существующих и перспективных информационных технологий при планировании задействования средств управления космическими аппаратами // Космонавтика и ракетостроение. 2016. № 6 (91). С. 140-148.
31. Kucherov B., Pribyl O., Artyushenko V. Increasing efficiency of getting results of satellite remote sensing for smart cities // Proceedings of 2017 Smart City Symposium Prague (SCSP). Prague, Czech Republic. 2017. pp. 1-6.
32. Кучеров Б.А. Состояние и перспективы развития основных направлений информатизации распределения средств управления космическими аппаратами // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. Т. 10, № 2. С. 54-61.
33. Кучеров Б.А. Система визуального и звукового оповещения в управлении группировкой космических аппаратов // Прикладная информатика. 2014. № 5 (53). С. 25-32.
34. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Стреналюк Ю.В., Привалов В.И., Воловач В.И., Шевченко Е.П., Зимин В.М., Харламова Е.С., Аббасов А.Э., Кучеров Б.А. Информационные технологии и управляющие системы: монография // М.: Издательство «Научный консультант». 2015. 185 с.

УДК 629.7

**Основные направления совершенствования методов статистического контроля надежности автоматических космических аппаратов и их систем при наземной отработке**

**В.М. Макаров**, кандидат технических наук,  
главный специалист Департамента автоматических комплексов и систем  
специального назначения,  
Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос»,  
г. Москва

*Проводится анализ основных направлений развития автоматических космических аппаратов (АКА), организации и особенностей проведения наземной отработки их систем, а также основных методов статистического контроля их надежности. Дается общая характеристика АКА как объекта исследования, определены основные направления совершенствования существующих методов статистического контроля надежности АКА и входящих в них систем при их наземной отработке.*

Автоматический космический аппарат (АКА), иерархия, изделия, контроль, надежность, оптимизация, параметры, планирование, потери, риски 1 и 2 рода, системы АКА, требования, целевая функция, экономические затраты.

**The main directions of improvement of methods of statistical control of reliability of automatic spacecraft and their systems at ground testing**

**V.M. Makarov**, PhD in Engineering sciences,  
chief specialist of Department of automated systems and special purpose systems,  
Space agency of the Russian Federation, Moscow

*The analysis of the main directions of development of automatic spacecraft (AKA), the organization and features of the ground testing of their systems, as well as the main methods of statistical control of their reliability is carried out. The General characteristic of AKA as the object of research is given, the main directions of improvement of the existing methods of statistical control of reliability of AKA and the systems entering into it at their ground working off are defined.*

Automatic spacecraft, hierarchy, products, control, reliability, optimization, parameters, planning, losses, risks of the 1st and 2nd kind, AKA systems, requirements, objective function, economic costs.

В настоящее время по некоторым направлениям космическая деятельность достигла стадии промышленного производства. Услуги, предоставляемые космическими системами, стали массовым и обычным явлением в жизни населения большинства стран мира. К таким системам относятся, прежде всего, автоматические космические аппараты (АКА), с помощью которых обеспечивается реа-

лизация систем спутниковой телекоммуникации, дистанционного наблюдения, контроля месторасположения и навигации.

Практика создания и эксплуатации АКА показывает, что основными направлениями их развития являются: наращивание потенциала полезной нагрузки; увеличение их функциональной сложности; увеличение сроков активного существования (САС).

Наращивание полезной нагрузки объясняется высокой удельной стоимостью выведения в космос 1 кг груза. Так, по данным [1, 2] в настоящее время эта удельная стоимость составляет 20...22 тысячи долларов.

Увеличение функциональной сложности АКА на базе использования современных технологий связано с расширением их функциональных возможностей для предоставления все более широкого спектра услуг потребителю.

Увеличение САС АКА вызвано, в том числе и инвестиционной привлекательностью космических проектов. Например, в работе [2] отмечается, что при современном уровне развития технологий рациональные значения технико-экономических показателей эффективности и инвестиционной привлекательности проектов создания АКА обеспечиваются при САС на уровне 12...15 и более лет, хотя в настоящее время реально они находятся на уровне 5...8 лет.

Эти направления развития АКА вызывают повышение удельных затрат на их создание и эксплуатацию, что приводит к большим экономическим трудностям в реализации космических проектов, поскольку требуют постоянных инвестиций, удорожает процессы их создания и снижает конкурентоспособность отечественных АКА на мировом рынке.

Поэтому в настоящее время особенно важным и актуальным становится, в том числе, проведение качественной экспериментальной отработки систем ракетно-космической техники. Практическая реализация этого направления напрямую связана с проблемой совершенствования методов рационального планирования и проведения наземной отработки АКА с длительными САС. Однако прежде чем приступить непосредственно к рассмотрению данной проблемы, декомпозиции ее на отдельные задачи рассмотрим особенности и условия функционирования АКА в космическом пространстве.

Анализ задач создания и обеспечения длительного функционирования в космическом пространстве таких сложных систем, как АКА, состоящих из значительного количества приборов, систем, агрегатов, содержащих большое число комплектующих изделий (электронная компонентная база), обычно проводят с позиций системного анализа [3, 4]. При этом первым этапом решения таких задач является всестороннее исследование особенностей построения и функционирования объекта, характера его взаимодействия с внешней средой.

В соответствии с общей методологией исследований сложных систем можно выделить три основные группы факторов, которые определяют обоснованный выбор проектных решений и методов обеспечения заданных в техническом задании (ТЗ) требований к характеристикам назначения и технико-эксплуатационным характеристикам АКА: условия эксплуатации (взаимодействие с внешней средой); внутреннее строение (структура); общесистемные, интегральные свойства.

Учет действия этих факторов тем более важен, что они в большой степени

определяют виды, объемы и условия проведения наземной отработки и испытаний, которые необходимы для обоснованного выбора и подтверждения правильности схемно-конструктивных и технологических решений и соответствия создаваемого объекта требованиям ТЗ.

Первая группа факторов (условия эксплуатации) характеризует состав и уровни эксплуатационных воздействий на электронные элементы, системы и АКА в целом, их изменчивость и степень изученности. Под эксплуатационными воздействиями будем понимать воздействие внешней среды, в условиях которой будет функционировать АКА, то есть воздействие факторов космического пространства (КП). К числу этих факторов относятся, прежде всего, ионизирующие излучения, такие как радиационные излучения поясов Земли, солнечные и галактические излучения, действие тяжелых ядер атомов различных элементов и т.д. Основной проблемой при анализе влияния ионизирующих излучений на надежность и технические характеристики электронных элементов и систем АКА, является с одной стороны недостаточная изученность влияния излучений на комплектующие элементы и электронные изделия, а с другой стороны, нестационарность их воздействия во времени и в пространстве на АКА. Так, электронное изделие одного функционального назначения, которое используется на различных АКА, может иметь разные показатели функционирования, по-разному вести себя в космосе в зависимости от особенностей положения АКА в космическом пространстве (по высоте и углу наклона орбиты, времени запуска АКА и т.д.).

Факторы второй группы характеризуют внутреннее строение АКА, его структуру, т.е. то, что определяет логику его функционирования, позволяет формально описать, смоделировать функциональные системы и на основе этого изучать как интегральные свойства («поведение»), так и значения конкретных параметров АКА в необходимые моменты времени. Данные факторы отражают сложность АКА (оценивается, как правило, числом примененных систем и элементов), степень его преемственности и новизны, уровни технологичности, надежности и стойкости, изученность характеристик материалов и элементов, реализованные запасы и виды избыточности, свойства контролепригодности и т.д.

Поскольку ремонт и восстановление АКА на орбите в настоящее время невозможен, то необходимый уровень его безотказности и долговечности можно обеспечить за счет введения в структуру избыточности и создания, например, контура управления техническим состоянием. Этот контур может осуществлять прогнозирование момента отказа стареющих и изнашиваемых компонентов бортовой аппаратуры и, по результатам прогноза, воздействовать на работоспособность АКА путем своевременного переключения на резерв. Вместе с тем, переключения на резерв не восстанавливают полностью его ресурс, и поэтому с каждым отказом снижается избыточность, а вместе с ней снижается и готовность бортовых систем к выполнению своих функций в будущем.

Факторы третьей группы характеризуют интегральные качества АКА, которые не выражаются через свойства входящих в него элементов. В первую очередь, это свойства, характеризующие потребительскую ценность АКА в целом, т.е. его способность решать поставленную задачу. Целевое назначение АКА требует очень высокой вероятности выполнения непрерывных операций в полете в течение всего срока активного существования.

Таким образом, АКА, как объект исследования, с точки зрения анализа условий его функционирования, основных особенностей построения и применения, представляет собой сложную невосстанавливаемую систему, которая характеризуется: большим числом элементов; сложными взаимосвязями между ними; изменяемой в процессе эксплуатации структурой, функционирующей в условиях длительного воздействия ионизирующих излучений. К надежности и техническим характеристикам этой системы предъявляются повышенные требования. При этом, поскольку АКА на начальном этапе создается в единичном экземпляре, его наземная отработка проводится последовательно по уровням иерархии: сначала должны проводиться испытания комплектующих элементов, затем испытания узлов, блоков, приборов, далее автономные и комплексные испытания изделий и систем и наконец испытания АКА в целом.

Нормативной базой для организации и проведения этого этапа являются требования руководящих документов [5], государственных и отраслевых стандартов [6, 7] и других.

Успешное решение задач отработки АКА неразрывно связано с правильным выбором объектов испытаний на каждом иерархическом уровне, а также условий и режимов их проведения, которые зависят от следующих факторов: требований заказчика; наличия персонала и оборудования для проведения испытаний; стоимости испытаний и контроля, включая затраты на контрольно-испытательное оборудование; времени проведения каждого испытания; стоимости испытываемых изделий, систем и АКА в целом.

Одновременно с выбором объектов испытаний, их конкретных характеристик и свойств должны быть определены входные условия и внешние факторы, так как выделение подлежащих проверке характеристик лишено смысла, если не будут установлены условия испытаний и контроля. Понятно, что за исключением наиболее простых изделий, невозможно проконтролировать все технические характеристики и свойства изделия в каждом испытательном режиме и вообще ни в каком режиме полностью, а также обеспечить весь спектр нагрузок и режимов во всем их диапазоне. Этот факт определяет важную особенность контроля оборудования АКА при отработке: объемы испытаний и глубина контроля испытываемых изделий, систем и АКА в целом ограничены, то есть оценки вероятностных или технических характеристик соответствующих иерархических уровней АКА, которые базируются на ограниченном объеме информации, являются случайными, что вызывает необходимость привлечения статистических методов.

АКА относятся к классу технических объектов, которые обладают высокой конструктивной и технологической сложностью, высокой стоимостью проведения испытаний и контроля при отработке и включают в себя большое количество разнородных комплектующих элементов и деталей, изготавливаемых малыми партиями. К надежности таких объектов предъявляются высокие требования и, соответственно, для обеспечения надежности АКА в целом, входящие в него элементы и системы должны обладать ещё большей надежностью, что отражается структурной схемой надежности АКА (ССН), которая является частным случаем иерархической структуры. При этом стоимость отработки каждого структурно-иерархического уровня по сравнению со стоимостью отработки АКА в целом, существенно ниже, что дает возможность назначать большие объемы отработки

этих уровней. Одновременно в производстве, как правило, каждый структурно-иерархический уровень АКА изготавливают большими партиями по отношению к производству АКА в целом, которое является уникальным и единичным. Сочетание необходимости подтверждения высоких требований по надежности, с одной стороны, и ограниченных объемов испытаний при отработке, а также мелкосерийность производства нижних иерархических уровней, с другой стороны, накладывает жесткие ограничения на возможности статистического оценивания [9] и контроля показателей надежности АКА, как структурно-иерархической системы. Это составляет главную особенность их контроля при отработке.

Следующей особенностью контроля надежности АКА является то, что статистическое оценивание и контроль на каждом структурно-иерархическом уровне носит динамический характер. Это объясняется тем, что при отработке АКА, как правило, проводится большое количество доработок, вносимых в конструкцию и технологию производства изделия каждого структурно-иерархического уровня. Таким образом, надежность изделий разных уровней постоянно изменяется, естественно, это приводит к тому, что изменяется и надежность АКА в целом.

Важная особенность состоит ещё и в том, что организация контроля на различных структурно-иерархических уровнях приводит к постоянному накоплению и изменению статистической информации о надежности. При этом условия получения этой информации постоянно изменяются, что связано с одной стороны, с проведением большого количества конструкторских и технологических доработок, с другой стороны, с различными условиями и режимами испытаний. То есть, информация, которая используется для оценки и контроля надежности по условиям ее получения по отношению к различным структурно-иерархическим уровням, является статистически неоднородной. И это также необходимо учитывать при решении задачи контроля АКА.

При отработке АКА взаимодействие и взаимовлияние отдельных элементов и подсистем на надежность АКА в целом можно оценить и проконтролировать только на высоких структурно-иерархических уровнях. Это обуславливает следующую особенность контроля.

В процессе отработки затраты на контроль колеблются в достаточно широких пределах, что также необходимо учитывать при его планировании и проведении.

Важной особенностью контроля на рассматриваемом этапе является то, что на различных иерархических уровнях АКА контроль технических характеристик и показателей осуществляется выборочным методом. При этом выборочный метод следует понимать в широком смысле. То есть, это понятие распространяется как на традиционную схему статистического контроля, когда оценка вероятностного показателя, относящегося к некоторой генеральной совокупности объектов, проводится на ограниченной по объему выборке, так и на контроль единичного объекта, свойства которого оцениваются: либо по ограниченному (по отношению к полной системе параметров, установленной в документации) перечню параметров; либо по результатам испытаний при ограниченной разновидности внешних воздействующих факторов (не полностью адекватных набору факторов, установленных в модели эксплуатации объекта).



Такая статистическая схема выборочного контроля реализуется при обработке всех иерархических уровней АКА, начиная от низших и заканчивая высшим уровнем (например, испытания и контроль комплектующих элементов и испытания и контроль АКА в целом).

Кроме того, как отмечается в [1, 2], наиболее перспективным и экономически выгодным решением является построение АКА в негерметичном исполнении по свободонесущей схеме, которое приводит к существенному увеличению воздействий ионизирующих излучений космического пространства на электронные элементы и изделия АКА, входящие в его состав и работающие в условиях открытого космоса. Эти особенности сразу определяют те ограничения, которые должны быть наложены на виды, объемы и условия проведения наземных испытаний и возможности использования тех или иных методов статистического оценивания и прогнозирования на длительную эксплуатацию характеристик и технических параметров, количественные значения которых заданы в документации. Прежде всего, к числу этих ограничений относится то, что испытания различных иерархических уровней АКА должны быть форсированными. Действительно, АКА создается в сжатые сроки, поэтому проводить испытания в нормальных (соответствующих реальным режимам и условиям эксплуатации) режимах в течение нескольких лет лишено смысла.

Далее, для оценки заданных в ТЗ значений показателей надежности по статистической информации, полученной по результатам испытаний каждого иерархического уровня АКА, эта информация должна быть определенным образом обработана. То есть, необходимо обоснованно выбрать методы статистического оценивания показателей по результатам наземной отработки элементов и изделий на весь срок активного существования АКА, имея при этом в виду, что электронное оборудование будет подвержено длительному воздействию ионизирующих излучений [2, 8, 29].

Все эти обстоятельства также накладывают ограничения на возможности использования традиционных методов статистического оценивания, тем более что, как показывает практика, один и тот же элемент АКА может по-разному себя вести в зависимости от дозы и интенсивности излучения, длительности воздействия, режима нагружения, места расположения в АКА и т.д. Следует заметить, что эти же обстоятельства в полной мере относятся не только к комплектующим элементам, но и к электронным изделиям АКА, которые состоят из десятков и сотен тысяч комплектующих элементов и в которых протекают под воздействием ионизирующих излучений различные физические процессы.

Следующей важной особенностью экспериментальной отработки АКА является необходимость учета предшествующего накопленного опыта. Дело в том, что современная практика реализации проектов по созданию АКА, ограничения по их финансированию, выход космической отрасли на мировой рынок, для которого характерна жесткая конкуренция, требуют уточнения подходов к организации и проведению отработки АКА, закрепленных в действующей нормативно-технической документации (НТД). Последовательная и полная реализация всех видов испытаний, предусмотренных в НТД, требует больших экономических затрат на создание ряда отработочных (макетных) образцов, проведение различных видов испытаний изделий АКА и контроля их показателей и технических пара-

метров. Следствием этого является высокая стоимость АКА и его систем, что приводит к потере их конкурентоспособности как продукции на мировом рынке. Объемы и последовательность проведения отработки АКА, которые сейчас приведены в НТД, были сформированы ранее на основании обобщения опыта проведения работ по созданию различных АКА, что в свое время обеспечило достижение приемлемых технических характеристик, хотя и за счет значительных затрат ресурсов: финансовых, трудовых, материальных, временных. В современных условиях, как отмечалось, требования к техническим характеристикам АКА существенно возросли (особенно с части длительности сроков активного существования), что в совокупности с необходимостью обеспечения и других технических характеристик (точности, мощности и т.д.) только повышает требования к качеству проведения наземной отработки. Кроме того, АКА создаваемые на предприятиях отрасли, особенно по коммерческим заказам, практически не имеют серийности. То есть, каждый АКА делается по отдельному ТЗ, что исключает возможность распределения высокой стоимости отработки АКА данного типа на все серийные образцы. Создавшееся положение еще в большей степени обостряет необходимость внедрения новых (с точки зрения действующей НТД) методов к планированию и проведению наземной отработки АКА и составляющих их изделий. При этом основой для разработки и внедрения таких подходов является накопленный опыт в процессе создания и эксплуатации изделий АКА, который в настоящее время содержит: информацию о среде эксплуатации АКА (космическом пространстве) ее свойствах, воздействии на используемые материалы и применяемое оборудование; результаты отработки (в том числе на АКА в реальных условиях эксплуатации) типовых технических решений (включая отдельные изделия АКА), обеспечивающих выполнение основных функций АКА; постоянно развивающиеся методы автоматизированного проектирования и углубленного математического моделирования (включая внедрение специализированных программных средств).

Кроме того, АКА создаваемые в настоящее время, обладают достаточной степенью преемственности используемых конструктивных и технологических решений, во многом напрямую заимствуют отдельные элементы оборудования, системы и т.д. из ранее реализованных проектов. Для вновь создаваемых АКА весь накопленный опыт является априорной информацией, в принципе, позволяющей: либо не проводить отработочные испытания и контроль показателей и технических параметров тех изделий, связей, режимов, которые уже подтвердили свою работоспособность в заданных условиях эксплуатации; либо уменьшать объем испытаний изделий АКА с учетом уже имеющейся информации.

При отсутствии априорной информации, например, для новых изделий АКА испытания и контроль показателей и технических параметров могут проводиться в полном объеме.

Данные положения являются основой методологии квалификации, введенной в отраслевой стандарт [7] и успешно используемой на передовых предприятиях космической отрасли при проведении работ по созданию и отработке АКА. Основное содержание квалификации состоит в том, что если по какому-либо оборудованию в прошлом уже были проведены испытания, в результате которых подтверждены требуемые значения показателей и технических параметров

(априорная информация), то заказчик оборудования совместно с поставщиком могут отказаться от проведения каких-то видов испытаний, оформляя это соответствующими документами. То есть, квалификация – это процесс оценки и документированного подтверждения соответствия характеристик бортового оборудования установленным требованиям, выполняемый последовательно на этапах его создания. Квалификация в целом ряде случаев позволяет избежать излишних экономических затрат на проведение различных видов испытаний при обработке дорогостоящих изделий АКА. В то же время практическое использование принципов квалификации основано на накопленном опыте, предполагает эвристический, интуитивный подход, не содержит количественных методов, что может привести к существенным ошибкам при ее проведении.

Основными документами, которые оформляются при проведении квалификации АКА являются соответствующие «Положения или Требования по квалификации и приемке» [10, 11]. Эти документы являются составной частью контракта на создание АКА коммерческого назначения. В них, в соответствующих разделах, описываются все виды отработочных испытаний, проводимых для данного проекта, требуемые для этого изделия АКА, а также порядок и требования по проведению испытаний штатных АКА. Далее эти требования детализуются в комплексной программе экспериментальной обработки (КПЭО), согласуемой Заказчиком АКА. Для некоммерческих проектов в силу отсутствия в действующей НТД документа аналогичного «Требованиям по квалификации и приемке» (устанавливающего на этапе заключения контракта порядок и объем проведения испытаний, а также требуемую материальную часть для проведения наземной отработки) данные требования устанавливаются только в КПЭО. А поскольку КПЭО выпускается на этапе разработки конструкторской документации, часто возникают конфликтные ситуации: контракт и его стоимость в целом уже определены, а объем работ и соответственно затрат на наземную экспериментальную отработку, составляющих значительную часть от общей суммы работ, только определяется.

И, наконец, последней особенностью экспериментальной отработки АКА, является то, что по результатам квалификации и наземной отработки, как отмечалось, принимаются определенные решения: не проводить отработочные испытания и контроль показателей и технических параметров тех изделий, связей, режимов, которые уже подтвердили свою работоспособность в заданных условиях эксплуатации; уменьшать объемы испытаний для контроля показателей и параметров изделий АКА с учетом имеющейся априорной информации; проводить отработочные испытания и контроль технических характеристик изделий АКА в полном объеме (для вновь разработанных новых изделий).

Эти решения могут быть как правильными, так и ошибочными. При этом последствия, к которым приводят ошибочные решения, для изделий АКА разных уровней различны. Более того, даже тогда, когда испытания и контроль технических характеристик проводятся, по результатам их проведения также принимаются определенные решения. А поскольку при наземной отработке реализуется статистическая схема выборочного контроля надежности и технических параметров, то из-за ограниченной глубины контроля изделий (в т.ч. и времени их испытаний), погрешностей средств измерений параметров, стохастического характера отказов, наряду с правильными решениями возможны и ошибочные решения. Например,

ошибочная приемка в эксплуатацию дефектных изделий (т.е. тех, показатели и технические параметры которых не соответствуют требованиям документации) может привести к большому количеству отказов при испытаниях изделий более высокого уровня, к авариям, необходимости проведения доработок, что влечет за собой значительные экономические потери. В то же время ошибочная браковка годных изделий также вызывают экономические потери, связанные, например, с дополнительными затратами на проведение повторного контроля и испытаний этих изделий, проведения различного рода доработок и т.д.

Таким образом, все изложенные особенности, возникающие при контроле показателей и технических параметров изделий АКА на этапе их наземной обработки, необходимо учитывать при планировании и проведении испытаний изделий на каждом уровне. Вместе с тем, существующие методы не позволяют этого сделать.

Существующие методы планирования и проведения статистического контроля основаны на многочисленных работах, например [12-28]. По способам проведения контроля эти методы принято разделять на методы контроля по количественному и качественному признакам. Если, например, в процессе контроля регистрируются численные значения измеряемых параметров изделий, то такой контроль носит название контроля по количественному признаку. Можно при контроле отмечать лишь категории, к которым принадлежат изделия, тогда контроль называют контролем по качественному признаку. Если контролируемые изделия относятся всего к двум категориям – годных и дефектных, то контроль носит название контроля по альтернативному признаку. Сама операция контроля может носить двоякий характер, то есть контроль может быть разрушающим или неразрушающим.

Допустим, что проводится альтернативный контроль партии изделий. В результате контроля надо выяснить, является ли партия годной или дефектной по проверяемому признаку. Если контрольная операция неразрушающая и стоимость ее невелика, то в этих условиях можно применить стопроцентный (сплошной) контроль партии изделий, при котором проверяются все изделия партии. Значительно чаще встречается такое положение, когда-либо велики расходы, связанные с проведением контроля, либо контроль носит разрушающий характер. В этих случаях контрольную операцию проходят только некоторые изделия, отбираемые от партии специальным образом. Такой контроль называется выборочным. Он базируется на использовании статистических планов контроля.

Статистический план контроля (план контроля) – это совокупность данных о виде контроля, объеме контролируемой выборки, контрольных нормативах и решающих правилах [17]. Чтобы раскрыть содержание статистического плана контроля, введем понятие математической модели контроля или оперативной характеристики.

Оперативная характеристика плана контроля есть функциональная зависимость вероятности принять партию изделий или изделие от величины, характеризующей качество этой партии или конкретного изделия [13, 17]. Эта зависимость обусловлена планом контроля партии или изделия и обычно выражается функцией. Поскольку оперативная характеристика является важнейшей характеристикой плана контроля, рассмотрим ее более подробно на примере плана сто-

процентного контроля партии изделий.

Пусть контролируемым показателем качества является доля дефектных изделий в партии  $q$ .

$$q = D/N, \quad (1)$$

где  $D$  – число дефектных изделий в партии размера  $N$ .

Тогда при стопроцентном и абсолютно достоверном контроле партии число дефектных изделий в партии точно известно. Если это число в общем случае оказывается меньше числа  $D_c$ , которое соответствует граничному (предельно допустимому) значению  $q_c$ , определенному требованиями заказчика, то с вероятностью  $L(q)$ , равной единице, партия будет принята. Если же число дефектных изделий в партии оказывается больше  $D_c$ , то такая партия с вероятностью  $L(q)$ , равной единице, будет отклонена как не удовлетворяющая требованиям заказчика. Оперативная характеристика  $L(q)$  плана стопроцентного абсолютно достоверного контроля изображена на рис. 1.

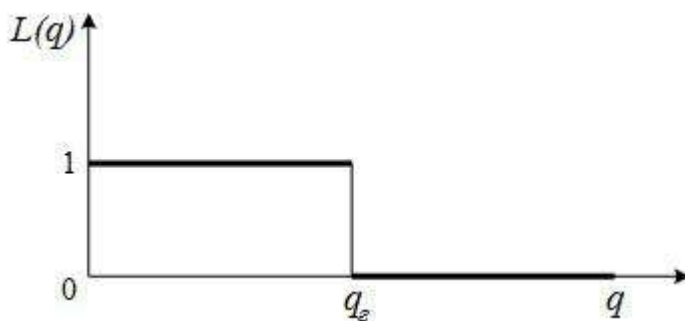


Рисунок 1 – Идеальная оперативная характеристика

Такая оперативная характеристика называется идеальной. В этом случае возможность приемки «плохих» партий с  $q > q_c$  была бы полностью исключена и вместе с тем «хорошие» партии с  $q < q_c$  всегда бы принимались. Однако эту оперативную характеристику можно было бы получить только при абсолютно достоверном контроле всей партии изделий.

При выборочном контроле проверяется не вся партия изделий, а только выборка, которая извлекается из партии по определенному правилу. Если при этом число дефектных изделий в выборке оказывается в общем случае меньше некоторого назначенного числа  $c$ , то партия принимается. Если же число дефектных изделий в выборке оказывается больше  $c$ , то партия отклоняется. Число  $c$  называется приемочным числом плана контроля и представляет собой контрольный норматив, являющийся критерием для приемки партии. Таким образом, при выборочном контроле доли дефектных изделий в партии контроль каждого изделия выборки считается абсолютно достоверным и результаты этого контроля распространяются на всю партию изделий. Поэтому выборочный контроль связан с необходимостью отбраковывать иногда хорошие партии (ошибка 1 рода) и принимать некоторую долю таких, которые должны бы быть забракованы при стопроцентном абсолютно достоверном контроле (ошибка 2 рода). В результате реальная оперативная характеристика плана контроля в общем случае имеет вид, пред-

ставленный на рис. 2.

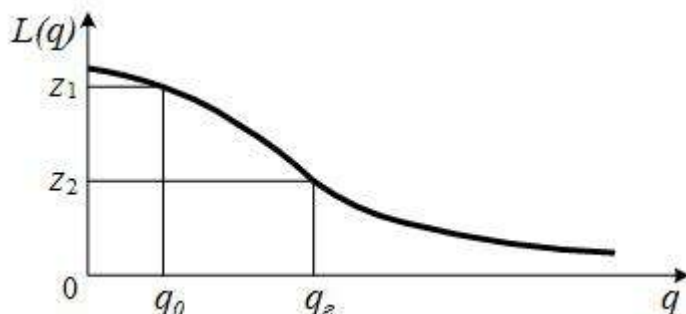


Рисунок 2 – Реальная оперативная характеристика

Реальная оперативная характеристика позволяет определить вероятности ошибок 1 и 2 рода

$$z_1 = 1 - L(q_0), \quad (2)$$

$$z_2 = L(q_2), \quad (3)$$

где  $z_1$  – вероятность ошибки 1 рода (вероятность браковки хорошей партии);

$z_2$  – вероятность ошибки 2 рода (вероятность приемки дефектной партии).

Эти вероятности в литературе определяются как характеристики достоверности контроля [2, 8, 30].

Ошибки при выборочном контроле неизбежны. Задача состоит в такой организации выборочного контроля, чтобы ошибки были возможно меньше. Поэтому на практике величины  $z_1$  и  $z_2$  выбирают достаточно малыми, например: 0,1; 0,05; 0,01.

Реальная оперативная характеристика позволяет при назначенных  $z_1$  и  $z_2$ , заданных  $q_0$  и  $q_2$  определить объем выборки  $n$  контролируемых изделий из партии и приемочное число плана контроля  $c$ . Определение оперативных характеристик проводят с использованием методов теории вероятностей. При этом, как правило, применяется принцип случайного выбора изделий из партии.

Случайным выбором без возвращения называется такой отбор изделий на контроль [17], когда изделия из партии отбираются последовательно одно за другим, уже отобранные изделия в дальнейшем отборе не участвуют и для всех еще не отобранных изделий вероятность отбора одинакова. Общее число изделий, отобранных для контроля, называется объемом выборки.

Сам статистический план контроля при известном виде оперативной характеристики определяется наличием четырех величин ( $n, z_1, z_2, c$ ), которые называются характеристиками или параметрами плана контроля.

Статистические планы контроля по виду контроля делятся на одноступенчатые, многоступенчатые, последовательные и их модификации.

Проведенный анализ основных существующих методов планирования и проведения выборочного контроля и возможности их использования для контроля надежности АКА и его изделий на этапе наземной обработки показал, что харак-

терным для этих методов является следующее:

методы не учитывают иерархию АКА, существующие взаимосвязи между уровнями иерархии и ориентированы на значительные объемы статистических данных, которые при отработке изделий отсутствуют;

в редких случаях, когда использование этих методов возможно, в результате получают большие объемы контролируемых выборок, которые соизмеримы или превышают размеры малых партий изделий АКА нижних уровней;

не привлекается накопленная предварительная информация о надежности, полученная на более ранних этапах по результатам контроля изделий, входящих в состав АКА, из-за ее статистической неоднородности и отсутствия математических моделей, которые позволяли бы ее учитывать для планирования структурно-иерархического контроля;

используются различные целевые функции для планирования и проведения контроля показателей надежности и технических характеристик, что не позволяет получить однозначного решения;

не учитывается изменение накопленной статистической информации о надежности, т.е. задача планирования и проведения контроля решается в статике;

не учитываются влияние условий космического пространства на надежность ЭРИ, и электронных изделий АКА;

не учитывается тот факт, что для подтверждения заданных требований к показателям и техническим характеристикам составных частей и АКА в целом их наземные испытания при отработке должны быть форсированными. Поскольку именно в наземных условиях необходимо подтвердить, что АКА будет безотказно функционировать в космическом пространстве при отсутствии возможности восстановления, в течение длительных сроков активного существования;

все методы выборочного контроля рассматривают партии и выборки только одинаковых изделий, в то же время при квалификации и отработке изделий АКА реально присутствуют совокупности разных изделий;

при выборочном контроле доли дефектных изделий в партии, которая является неизвестной и постоянной величиной и обычно используется в качестве основного показателя при статистическом контроле, традиционные методы предполагают, что контроль каждого изделия выборки является абсолютно достоверным. Поэтому ошибки 1 и 2 рода (риски 1 и 2 рода), возникающие при контроле, связаны с тем, что контролируется не вся партия изделий, а только выборка. Это предположение является достаточно идеализированным при контроле показателей надежности АКА и его изделий, которые носят вероятностный характер.

Рассмотрим следующую задачу [31]. Предположим, что проводится выборочный контроль надежности совокупности разных изделий АКА какого-либо иерархического уровня в процессе его наземной отработки следующим образом. Из совокупности изделий размером  $S$  в общем случае, извлекается некоторая номенклатура изделий  $x < S$  и проводится контроль их надежности. Случаи  $x=0$  и  $x=S$  являются частными случаями и поглощаются решением задачи.

Тогда при контроле показателей надежности различных изделий АКА и при контроле совокупности изделий на этапе отработки имеет место следующая специфика, которую также не позволяют учесть существующие методы выборочного контроля:

на каждое изделие в документации заданы требуемые значения показателей надежности (вероятность безотказной работы за заданное время, либо наработка на отказ, либо допустимое значение интенсивности отказов) и значения допусков на технические параметры;

при контроле надежности каждого изделия возникают ошибки 1 и 2 рода, в результате которых годное изделие (удовлетворяющее заданным требованиям) можно принять за дефектное (не удовлетворяющее заданным требованиям), а дефектное – за годное. Эти ошибки характеризуются определенными вероятностями – рисками 1 и 2 рода и относятся к каждому изделию. Они обусловлены тем, что контроль надежности не является абсолютно достоверным из-за стохастического характера проявления отказов изделий и ограниченного времени проведения их испытаний;

при контроле надежности определенной номенклатуры изделий  $x \in S$  из совокупности также возникают ошибки 1 и 2 рода, которые уже относятся ко всей совокупности изделий, поскольку по результатам контроля номенклатуры (выборки) изделий принимается для дальнейшего использования (или бракуется) вся совокупность. Вероятности этих ошибок также представляют собой риски 1 и 2 рода, которые зависят от номенклатуры контролируемых изделий и от рисков 1 и 2 рода, возникающих при контроле надежности каждого изделия, входящего в номенклатуру.

Наблюдается следующая взаимосвязанная иерархия ошибок 1 и 2 рода или рисков: риски при контроле надежности каждого изделия и риски при контроле надежности определенной номенклатуры изделий АКА из совокупности. Реализация тех или иных значений этих рисков при контроле совокупности изделий зависит от номенклатуры контролируемых изделий (глубины контроля совокупности) и связана с принятием ошибочных решений, которые влекут за собой определенные потери [31]. Изменяя номенклатуру контролируемых изделий из совокупности, можно влиять на последствия принимаемых решений и уменьшать, соответственно, затраты на контроль и потери, связанные с рисками принятия ошибочных решений.

Рассмотрим другую задачу. Предположим [31], что показатель надежности какого-либо изделия АКА полностью определяется совокупностью  $N_n$  независимых между собой технических параметров  $\{x_j\}$ ,  $j = 1 \dots N_n$ . Пусть на каждый параметр в технической документации задан допуск (двусторонний или односторонний).

Определим некоторые понятия. Под годным будем понимать параметр, находящийся в пределах установленного допуска, под дефектным – параметр, вышедший за пределы допуска. Годным будем считать изделие, у которого годны (находятся в пределах допусков) все параметры, и соответственно дефектным – изделие, у которого дефектен хотя бы один параметр.

Будем рассматривать наиболее общий случай контроля: контроль некоторой номенклатуры (выборки) параметров конкретного изделия  $n_n \leq N_n$  и контроль некоторой номенклатуры  $x \in S$  изделий из совокупности размера  $S$ .

В этом случае при контроле технических параметров различных изделий АКА и при контроле совокупности изделий на этапе отработки имеет место следующая специфика, которую также не позволяют учесть существующие методы



выборочного контроля:

совокупность всех параметров конкретных изделий и допуски на них уже выбраны конструктором и закреплены в технической документации;

при контроле каждого параметра возникают ошибки 1 и 2 рода, в результате которых годный параметр можно принять за дефектный, а дефектный – за годный. Эти ошибки также характеризуются определенными вероятностями – рисками 1 и 2 рода, относящимися к каждому  $j$ -му параметру  $\alpha_{nj}$  и  $\beta_{nj}, j = 1 \dots N_n$ .

при контроле номенклатуры (выборки)  $n_n$  параметров каждого изделия также возникают ошибки 1 и 2 рода, которые уже относятся к изделию в целом. Вероятности этих ошибок также представляют собой риски 1 и 2 рода, которые зависят от номенклатуры контролируемых параметров и от рисков 1 и 2 рода, возникающих при контроле надежности каждого параметра, входящего в номенклатуру;

при контроле номенклатуры (выборки) изделий от совокупности также возникают риски 1 и 2 рода, которые связаны со всеми предыдущими, а также с тем, что проводится контроль не всей совокупности, а только выборки.

Наблюдается следующая взаимосвязанная иерархия ошибок 1 и 2 рода или рисков: риски при контроле каждого параметра, риски при контроле каждого изделия в целом и риски при контроле определенной номенклатуры изделий АКА из совокупности.

По аналогии с первой задачей здесь также реализация тех или иных значений этих рисков при контроле рассмотренных иерархических уровней связана с принятием ошибочных решений, которые влекут за собой определенные потери [31]. Изменяя номенклатуру контролируемых параметров каждого изделия и номенклатуру контролируемых изделий из совокупности, можно влиять на последствия принимаемых решений и уменьшать, соответственно, затраты на контроль и потери, связанные с рисками принятия ошибочных решений. В этом случае при наличии соответствующей целевой функции, содержащей затраты на контроль и потери, появляется возможность построения взаимосвязанных статистических планов контроля надежности и технических параметров изделий АКА по уровням иерархии.

Рассмотренная специфика контроля надежности и технических параметров изделий АКА полностью отражает организацию их наземной отработки последовательно по уровням иерархии. Сначала должны проводиться испытания комплектующих элементов по найденным статистическим планам контроля, затем - испытания узлов, блоков, приборов по взаимосвязанным планам, далее - автономные и комплексные испытания изделий и систем и наконец – испытания АКА в целом. Однако существующие методы выборочного контроля не позволяют учесть эту специфику.

Таким образом, все изложенное выше показывает, что совершенствование методов планирования и проведения статистического контроля надежности и технических параметров автоматических космических аппаратов и их изделий при наземной отработке представляет собой важную и актуальную научную задачу. Главным направлением решения этой задачи является разработка новых математических моделей и методов, использование которых позволит учесть:

результаты проведенного анализа АКА как объекта исследования с точки зрения контроля его надежности;  
выявленные особенности организации его наземной обработки;  
результаты анализа основных существующих методов планирования и проведения выборочного контроля АКА и его изделий;  
специфику контроля надежности и технических параметров изделий АКА различных иерархических уровней на этапе их обработки.

*Литература*

1. Макаров В.М., Рудаков В.Б. Задачи совершенствования методов планирования и проведения наземной обработки автоматических космических аппаратов // Двойные технологии. 2015. № 3. С. 9-17.
2. Меньшиков В.А., Рудаков В.Б., Сычев В.Н. Контроль качества космических аппаратов при обработке и производстве // М.: Машиностроение, 2009. 400 с.
3. Бусленко Н.П. и др. Лекции по теории сложных систем // М.: Сов. Радио. 1973. 440 с.
4. Савин Г.И. Системное моделирование сложных процессов // М.: Фазис. 2000. 275 с.
5. РК – 11. Положение о порядке создания и серийного производства ракетных и космических комплексов // М.: РОП. 2010. 382 с.
6. ГОСТ В 22571-77. Аппараты автоматические космические. Общие требования к испытаниям.
7. ОСТ 92-5100-2001. Аппаратура космических комплексов. Общие технические условия.
8. Волков Л.И., Рудаков В.Б. Статистический контроль иерархических систем // М.: Изд-во СИП РИА. 2002. 360 с.
9. Макаров В.М., Рудаков В.Б. Анализ методов статистического контроля и возможность их использования для наземной обработки автоматических космических аппаратов // Двойные технологии. 2016. № 3. С. 2-11.
10. Положение по квалификации бортового оборудования КА // М.: РКК «Энергия». 2006. 76 с.
11. Макаров М.И., Рудаков В.Б. и др. Эскизный проект. Пояснительная записка. «Экспериментальная модель микроспутника, включая конструкцию экспериментального образца унифицированной микроспутниковой платформы и составные части МС». Положение по квалификации бортового оборудования микроспутника ДЗЗ // М.: НИИ КС. 2008. 57 с.
12. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности // М.: Сов. Радио. 1962. 552 с.
13. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности // М.: Наука. 1965. 524 с.
14. Коуден Д.Д. Статистические методы контроля качества // М.: Физматгиз. 1961. 682 с.
15. Хэнсен Б. Контроль качества // М.: Прогресс. 1968. 521 с.
16. Вальд А. Последовательный анализ // М.: Физматгиз. 1960. 211 с.
17. Беляев Ю.К. Вероятностные методы выборочного контроля // М.: Наука. 1975. 406 с.

18. Червонный А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В. Надежность сложных систем // М.: Машиностроение. 1972. 304 с.
19. Карпов Л.И., Литвинов В.Г., Яворский В.А. Инженерные методы оценки и контроля качества в серийном производстве // М.: Изд. Стандартов. 1984. 214 с.
20. Робертсон А. Управление качеством / Пер. с англ. // М.: Прогресс. 1974. 183 с.
21. Шиндовский Э. Шварц О. Статистические методы управления качеством // М.: Мир. 1976. 421 с.
22. Бендерский А.М. и др. Стандартизация статистических методов управления качеством // М.: Изд. Стандартов. 1983. 149 с.
23. Лондер М.И. Статистические методы контроля надежности в условиях серийного производства // М.: Знание. вып. 2. 1970. 42 с.
24. Фишбейн Ф.И. Методы планирования испытаний для контроля показателей надежности // М.: Знание. 1980. 38 с.
25. Лapidус В.А. Гибкие процедуры контроля качества и надежности // М.: Знание. вып. 1. 1983. 72 с., вып. 2. 1985. 61 с.
26. Кузьмин Ф.И. Задачи и методы оптимизации показателей надежности // М.: Сов. Радио. 1972. 223 с.
27. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений // М.: Физматгиз. 1959. 436 с.
28. Беляев Ю.К., Колмогоров А.Н. Экономичные планы приемочного контроля. Доклад на 4 Всесоюзном математическом съезде. Ленинград. 1966.
29. Рудаков В.Б., Макаров В.М. Анализ воздействия ионизирующих излучений космического пространства на электронные изделия автоматических космических аппаратов негерметичного исполнения с длительными сроками активного существования // Двойные технологии. 2016. № 2. С. 2-9.
30. Рудаков В.Б., Макаров В.М. Анализ методов статистического контроля и возможность их использования для наземной отработки автоматических космических аппаратов // Двойные технологии. 2016. № 3. С. 2-11.
31. Рудаков В.Б., Макаров В.М. Оптимизация иерархического контроля технических параметров сложных электронных изделий автоматических космических аппаратов при отработочных испытаниях // Двойные технологии. 2016. № 1. С. 9-13.

УДК 62-83:681.5

## **Структурно-параметрический синтез системы дистанционного управления мобильными измерительными пунктами**

**А.И. Татаринов**, аспирант кафедры  
«Информационные технологии и управляющие системы»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*С помощью общей и структурно-информационной схем дистанционного управления был произведен анализ, в процессе которого были выяснены и установлены требования к защите от несанкционированного доступа комплексной системы.*

*В статье рассмотрены структурные особенности системы дистанционного управления мобильными измерительными пунктами ракетно-космической техники. Эти особенности представлены требованиями к информационной защите, а также режимами работы данной системы. Перечень этих режимов получен в результате исследований структурных и функциональных схем системы дистанционного управления мобильными измерительными пунктами.*

Защита от несанкционированного доступа, ракетно-космическая техника, мобильный измерительный пункт.

## **Algorithms structural and parametric synthesis of remote control and diagnostics systems 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

*With the help of the general and structurally-information schemes of remote control, an analysis was made in the course of which the requirements for protection against unauthorized access of the complex system were clarified and established.*

*In the article structural features of the remote control system of mobile measuring points of rocket and space equipment are considered. These features are represented by the requirements for information protection, as well as the operating modes of this system. The list of these regimes was obtained as a result of studies of structural and functional schemes of a remote control system for mobile measuring points.*

Unauthorized access protection, space-rocket engineering, mobile measuring point.

Для решения проблем, связанных с несогласованностью действий предлагается ввести ряд режимов и приоритетов.

При управлении МИП контроль доступа заключается в выборе приоритетного оператора: удаленный оператор или местный оператор.

Для контроля доступа к МИП блокируется возможность управления в режиме технических работ.

Блокировка управления при технических работах должна быть с 3 уровнями:

- Нет технических работ.
- Повышенного внимания.
- Технические работы.

Если нет технических работ, это означает, что операторы и устройства могут работать без ограничений.

Если ведутся технические работы, это означает, что запрещается работа операторов и устройств до появления внешнего разрешения, диагностика без управления разрешена.

При уровне блокировки повышенного внимания работы разрешены, но операторам доводится сообщение о технических работах.

Выбор приоритета осуществляется руководителем работ или системным администратором путём вывода на сервер ДУ.

В свою очередь сервер ДУ передаёт настройку в программу мобильной приемно-регистрающей станции (МПРС) и в программу системы мобильной антенной (СМА).

Эти программы должны предусмотреть обратную связь для операторов ДУ, что заключается в возврате по запросу состояния приоритета.

Если технических работ нет, то управление и работа аппаратуры идёт в штатном режиме.

При технических работах аппаратура должна перейти в режим «ожидания», антенна должна перестать вращаться и должна находиться в режиме «ожидания» до момента отмены технических работ.

МПРС должна перейти в режим ожидания, перестать писать файлы на диск, но передачу ТМИ может вести. Также она не должна реагировать на управляющие команды операторов, но в то же время на команды диагностики должна реагировать, например, на команду получения текущих координат.

Режим повышенного внимания.

В этом режиме работы не останавливаются, а аппаратура не блокируется.

Двухступенчатая проверка производится на стороне клиентского программного обеспечения.

При посылке команд управления местный и удалённый оператор должны видеть сообщение о том, что «ведутся технические работы» с кнопкой «ОК». На следующем окне выводится запрос на подтверждение действия с кнопками «Да» или «Нет». При согласии программа принимает запрос. В противном случае запрос игнорируется.

В информационном обмене со стороны МИП должны участвовать следующие составные части:

- Сервер МИП;
- СМА

– МПРС

Внутри МИП организуется локальная сеть, закрытая от внешнего доступа. IP адреса элементов МИП назначаются статически при монтаже оборудования и должны быть неизменны в процессе штатной эксплуатации [4, С.7].

Информационное взаимодействие с МИП организуется по следующим направлениям:

- передача в сервер МИП исходных данных (ИД) для проведения сеансов измерений;
- прием от сервера МИП вектора состояния (информации о текущем состоянии);
- передача от сервера МИП зарегистрированной измерительной информации;
- дистанционное управление МИП через сервер МИП.

Значения портов находятся по умолчанию на сервере МИП.

Передача в МИП исходных данных для проведения сеансов измерений.

Расчетные ИД передаются до проведения сеанса измерений, корректирующие ИД передаются в процессе проведения сеанса измерений.

Расчетные и корректирующие ИД могут устанавливаться в МИП сколько угодно раз. МИП обеспечивает установку ИД с частотой не менее 10 Гц.

Шаг строк таблицы ИД должен быть в диапазоне от 1 до 10 с включительно. В разных таблицах ИД шаг может быть разным, а внутри таблицы шаг должен быть одинаковым.

Прием от МИП вектора состояния (информации о текущем состоянии).

Передача вектора состояния МИП осуществляется на этапе подготовки и проведения сеанса измерения. Сервер МИП умеет выдавать сокращенный и полный вектор состояния.

Передача сокращенного вектора состояния.

Сокращенный вектор состояния передается в беззапросном режиме на периодической основе. По умолчанию 1 Гц. Частота настраивается на этапе совместной отладки. Передача осуществляется в направлении от сервера МИП к подключенному клиенту. Короткий вектор состояния может применяться для отслеживания жизни линии связи. Порт соединения на стороне управляющей системы произвольный. Информация пересылается в виде сообщений. Число одновременных соединений должно быть более 10. Если достигнут предел максимального количества одновременно подключенных абонентов, то при попытке подключения нового абонента МИП должен отключать одного абонента (с самым давним временем подключения) и дать подключиться новому [1-3, С.7].

Сокращенный вектор состояния содержит следующие обязательные данные:

- режим работы МИП (готовность к измерению, проведение измерений);
- готовность измерительной информации (сеанс измерений закончен, измерительную информацию можно забирать);
- код статуса (работоспособность или ошибка).

Передача полного вектора состояния.

Полный вектор состояния передается по запросу управляющей системы. Передача осуществляется в направлении от сервера МИП в ПК ДУ по запросу.

Передача вектора состояния осуществляется по протоколу HTTP. Полный вектор состояния представляет собой HTML страницу.

Для защиты мобильного измерительного комплекса от несанкционированного доступа, с учетом индивидуальных особенностей составных частей МИП, предлагаются следующие средства защиты:

1) ОС специального назначения «Astra Linux Special Edition».

Операционная система предназначена для построения автоматизированных систем в защищенном исполнении, обрабатывающих информацию, содержащую сведения, составляющие государственную тайну с грифом не выше «Совершенно секретно».

1.1) FTP-сервер.

File Transfer Protocol (FTP) – это TCP протокол для передачи файлов между ПЭВМ составных частей МИП и удаленными клиентами. Он работает на основе модели клиент/сервер. При получении запроса протокол передачи данных управляет входом и установкой соединения.

1.2) Web-сервер.

Web-сервер – сервер, обеспечивающий предоставление информации о работе МИП и информационной справки. Web-сервер обрабатывает запросы клиентов и отвечает за исполнение CGI и других приложений.

2) Модуль доверенной загрузки.

Программное обеспечение МДЗ осуществляет аутентификацию операторов и руководителя работ МИП, доверенную загрузку операционных систем и контроль целостности локальных ресурсов.

3) Антивирус Kaspersky Endpoint Security 8 для Linux.

Программа Kaspersky Endpoint Security 8 для Linux предназначена для антивирусной защиты рабочих станций, работающих под управлением операционных систем Linux.

4) Защищенная операционная система реального времени «Нейтрино».

ЗОСРВ «Нейтрино» предназначена для отказоустойчивого управления ресурсами вычислительных комплексов МИП.

5) Программный комплекс антивирусной защиты.

Программный комплекс антивирусной защиты предназначен для функционирования в автоматизированных системах, конфигурации которых задаются на этапе проектирования и не должны изменяться на этапе эксплуатации во избежание ухудшения характеристик реального времени, надежности и других критических показателей. При подключении внешних сетевых ресурсов или отчуждаемых физических носителей администратор автоматизированной системы должен выполнить проверку подключаемых ресурсов на отсутствие вирусов. Допускается автоматизация запуска проверки с помощью средств операционной системы.

**Сетевые настройки ПЭВМ и межсетевого экрана.**

С целью минимизации рисков от внешних атак стоит минимизировать число сетевых сервисов, отказаться от DHCP в пользу использования стационарных IP адресов. Необходимо произвести закрытие всех, кроме разрешенных портов, при этом оставить ICMP Echo запрос-ответ. Также следует использовать:

- Общие папки или FTP сервер/клиент;
- Сервер и клиент синхронизации времени;

- Порты для передачи ТМИ по существующим протоколам;
- SSH доступ для удаленного администрирования.

Криптографические системы.

Криптография в узком смысле понимается как тайная переписка. Но современная криптография это наборы протоколов направленные на устранение всевозможных угроз: от попыток подделки информации, перехвата информации, внедрения в канал, навязывания ложной информации, подбор пароля унификации и т.д.

Основной вид информации это команды операторов МИП, содержащие данные ограниченной информации.

Для защиты информации применяются стандартные механизмы ОС. Так же возможна организация защищенного туннеля путем использования криптошлюза или VPN сети при помощи двух программно-аппаратных комплексов.

Криптошлюз осуществляет симметричное шифрование, что обеспечивает стойкую защиту. Существует возможность обезопасить доступ к Web-серверам и FTP-серверами при помощи крипто протоколов SSL. Протокол SSL представляет собой систему, построенную на обмене сертификатами, позволяющими наладить защищенный канал связи между клиентом и сервером.

В систему SSL входит множество криптографических протоколов, начиная от RSA, SHA и заканчивая GOST.

В МИП должны применяться обновления баз вирусных сигнатур системы антивирусной защиты (САВЗ).

При окончании срока действия лицензии на использование САВЗ необходимо использовать лицензию (ключевой файл), входящую в состав эталонного диска с САВЗ.

После обновления баз вирусных сигнатур САВЗ в МИП повторная проверка бесконфликтности функционирования САВЗ со средствами защиты информации и специальным программным обеспечением изделия не требуется.

В режиме хранения МИП обновления не производятся.

В режиме применения МИП обновление баз вирусных сигнатур САВЗ в МИП должно осуществляться не реже одного раза в неделю должностными лицами подразделения обеспечения безопасности информации.

При эксплуатации МИП защиту информации должны осуществлять следующие должностные лица:

- руководитель подразделения эксплуатирующей организации, отвечающей за эксплуатацию МИП, как объект информатизации;
- администратор безопасности;
- системный администратор;

#### **Описание генерации паролей и периодичность их смены**

Генерация паролей должна производиться в эксплуатирующей организации в соответствии с организационно-распорядительной документацией. Должны применяться сертифицированные средства генерации в соответствующие классу АС.

При вводе МИП в эксплуатацию должна быть произведена смена паролей по умолчанию на сгенерированные пароли.



Для генерации паролей в ОС Astra Linux имеется генератор паролей arg (Automated Password Generator), который позволяет решить задачу по генерации паролей. Для использования arg необходимо его установить, в соответствии с рисунками 1, 2, 3:

Arg использует два алгоритма генерации паролей: произносимые (0, по умолчанию) и непроизносимые (1). Следует использовать непроизносимый (1) алгоритм генерации паролей. Записать на листе бумаги сгенерированный пароль. Необходимо удостовериться, что пароль записан верно и исключен доступ посторонних лиц к нему. Сгенерированный пароль следует хранить в надёжном месте исключая доступ к нему посторонних лиц. При смене пароля уничтожить все его копии.

Обращение с паролями надо вести в соответствии с организационно распорядительной документацией принятой в эксплуатирующей организации.

Открыть командную строку: Утилиты – Терминал Fly

Перед генерацией паролей следует очистить командную строку командой – «clear».

Команда – arg –a 1 – n 10 –m 10 –x 10 –MNC для генерации паролей с алфавитом 36 знаков.

Команда – arg –a 1 – n 10 –m 10 –x 10 –MSNC для генерации более сложных паролей, со спецсимволами.

#### *Литература*

1. Артющенко В.М., Аббасова Т.С., Стреналюк Ю.В., Васильев Н.А., Белюченко И.М., Самаров К.Л., Зиновьев В.Н., Посеренин С.П., Вокин Г.Г., Мороз А.П., Шайдуров В.С., Шаврин С.С. Системный анализ в области управления и обработки информации; [под науч. ред. В.М. Артющенко] // Королев МО: МГОТУ. 2015. 168 с.
2. Артющенко В.М., Аббасова Т.С., Белюченко И.М., и др. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации; [под науч. ред. В. М. Артющенко] // Королев МО: ГБОУ ВПО МО ФТА. 2014. 318 с.
3. Назаров А.В., Козырев Г.И., Щитов И.В., Обрученков В.П., Древин А.В., Краскин В.Б., Кудряков С.Г., Петров А.И., Соколов С.М., Якимов В.Л., Лоскутов А.И. Современная телеметрия в теории и на практике // Санкт-Петербург: Наука и техника. 2007. 627 с.
4. Татарин А.И. Анализ структуры мобильных измерительных пунктов ракетно-космической техники // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации: сб. статей VI международной заочной научно-технической конференции. Тольятти: ПВГУС. 2016. С. 246–251.

УДК 629.7

## **Создание информационной модели объекта многомерной визуализации**

**А.Э. Аббасов**, аспирант,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Проведен анализ характеристик и методов информационной обработки объектов многомерной визуализации; исследованы характеристики объектов визуализации и способы сбора сведений об исследуемом объекте и преобразования данных; использована многомерная визуализация для системного исследования и прогнозирования эксплуатационных параметров, характеризующих все этапы обработки информации о состоянии устройств системы рециркуляции; построены модели параметров исследуемой системы, определены особенности эксплуатации и выбраны оптимальные режимы работы на стадии проектирования и отработки.*

Обработка информации, эталонная модель, информационная модель, специализированный интерфейс, оптимизация параметров, визуализация параметров.

## **Creation of the information model of the multidimensional visualization object**

**A.E. Abbasov**, graduate student,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*The analysis of characteristics and methods of information processing of objects of multidimensional visualization is carried out; The characteristics of objects of visualization and ways of gathering information about the object under investigation and data transformation are investigated; a multidimensional visualization was used for system research and forecasting of operational parameters characterizing all stages of processing information on the status of devices of the recirculation system; models of the parameters of the system under investigation are constructed, operation features are determined and optimal operating modes are selected at the design and development stage.*

Information processing, reference model, information model, specialized interface, optimization of parameters, visualization of parameters.

### **Введение**

На современном этапе развития компьютерных систем стали актуальными исследования в области компьютерной визуализации [1...6].

Ставится задача формирования визуальной компьютерной модели, кото-

рая содержит исходные сведения в простой и удобной для восприятия и познания форме, имеет возможности интерактивного диалогового взаимодействия пользователя с визуально представленными в различных измерениях моделями.

### **Анализ характеристик и методов информационной обработки объектов многомерной визуализации**

Визуализация как предмет исследования выходит за пределы представления презентационных материалов и приобретает технико-информационное содержание, в рамках которого основное внимание акцентируется на технологической стороне разработки визуального восприятия и оценке параметров проектируемых систем и устройств с помощью средств визуализации для компьютерных методов обработки информации [7...10].

Основная цель процесса компьютерной визуализации – формирование визуальной компьютерной модели, которая содержит исходные сведения в простой и удобной для восприятия и познания форме. При этом важно обеспечить целостную подачу совокупности данных, отражающих важнейшие параметры объекта исследования и их взаимосвязи, и правильную интерпретацию этих данных с учетом целей визуализации и характеристик наблюдателей.

Подобная информационная модель проблемной области строится на основе ментальной модели данной сущности в сознании разработчика и дальнейшего формирования компьютерной модели некоторого визуального представления [5 – 10].

Визуальная модель проблемной области для восприятия представлена посредством определённого вида отображения (зрительно воспринимаемых стимулов). При использовании компьютерных технологий визуальное проектирование как процесс включает исследование модельных объектов (их атрибутов, событий, изменений состояний, отношений), адекватную разработку информационной модели и создание видов отображения, их передачу, восприятие, понимание и правильную интерпретацию информационной модели.

Рассмотрим процесс формирования информационной модели, опираясь на «эталонную модель визуализации», которая представлена на рисунке 1 [11], в контексте взаимодействия технологической и экологической среды.



Рисунок 1 – Эталонная модель визуализации [11]

Процесс визуализации согласно указанной модели включает следующие стадии:

1) Характеристика объектов визуализации.

Объект визуализации служит для описания проблемной области, сведения о которой будут представлены в виде некоторой информационной модели и соответствующих средств визуальной наглядности. Объект визуализации содержит важные сведения о проблемной области, которые извлекаются путем поисковых или полевых исследований. При этом важно определить, какие именно состояния и особенности данного объекта визуализации наиболее актуальны для данной проблемной области [9].

Выделим следующие этапы выявления модельной сущности проблемной области [12]:

- определение характеристик исследуемой области на основании анализа имеющихся данных;
- качественный анализ моделируемой области и ее свойств;
- характеристика семантических (смысловых) атрибутов исследуемой области (устройства, изделия).

2) Сбор сведений и преобразование данных. Данные содержат сведения, зафиксированные на материальном объекте в определённой форме. Форма представления – это характеристика самих данных независимо от того, какую информацию они несут.

Сбор сведений о проблемной области предполагает получение данных из различных источников информации или в результате проведения специально запланированных исследований. Данные становятся основой для извлечения из них информации с учетом заинтересованности и подготовленности предполагаемого зрителя. В связи с этим, по окончании сбора сведений об объекте визуализации возникает необходимость их систематизации и обработки, т.е. приведения к виду, пригодному для визуального отображения.

В целях визуализации используются следующие методы информационной обработки: индексирование, классификация, кластеризация.

Индексирование сведений характеризует смысл и содержание, т.е. формирует некий образ объекта визуализации. Индексирование можно рассматривать как один из способов аналитико-синтетической обработки и свертывания информации. В общем смысле, индексирование предполагает выражение содержания документа при помощи информационно-поискового языка [6].

Классификация и кластеризация наиболее часто используются при анализе информации, собранной для создания информационной модели объекта визуализации. Алгоритм классификации берет некоторое количество данных и пытается определить то, к какому классу принадлежит новый элемент данных, т.е. он группирует объекты в соответствии с определенным основанием (критерием). Алгоритм кластеризации разбивает объекты с образованием групп путем вычисления некоторой меры сходства между ними. В итоге формируются матрицы, которые характеризуют объекты и связи между ними и их группами [6]. Примеры алгоритмов интеллектуального анализа: «*k*-means» (создает *k* количество групп из набора объектов на основе их схожести); *Apriori* (осуществляет поиск ассоциативных правил и применяет их к набору данных, включающих большое количество

транзакций); Page Rank (алгоритмом ссылочного ранжирования, используемый для определения относительной «важности» какого-либо объекта в сети объектов) и др. [20].

### 3) Визуальное (графическое) проектирование.

Проектирование вида отображения предполагает формирование визуальной структуры графических элементов, отображающих данные в полной мере и задающие характеристики обзора: фокус (центр внимания), направление считывания информации, темп.

Важным аспектом создания вида отображения является адекватный выбор визуальной схематической модели (или средств визуальной наглядности) данных согласно типу данных, относящихся к объекту визуализации. Допустим с позиции количества переменных можно назвать следующие типы данных:

а) одномерная визуализация, которая использует одномерные данные, которые содержат только один признак для объекта (в данном случае можно использовать такие визуальные схемы, как графики и гистограммы);

б) двумерная визуализация, которая использует двумерные данные, содержащие два признака для объекта или два набора одномерных данных о разных объектах, демонстрирующих связь между двумя переменными (здесь множество визуальных схем: точечная диаграмма, топографическая карта, полутоновое изображение и пр.);

в) многомерная визуализация, использующая многомерные данные, которые содержат три и более признаков объекта, демонстрируют разнообразные зависимости между этими признаками, позволяют предсказывать значение одной переменной на основании значений остальных (визуально многомерные данные можно представить с помощью поверхностей, карт объема, векторных диаграмм и пр.).

С учетом возможности отражения связей, взаимозависимостей и изменчивости данных можно назвать следующие подходы: сетевой древо-видный, временной, алгоритмический.

Визуальное проектирование опирается на идею о том, что в итоге восприятия в сознании наблюдателя формируется ментальная модель, «визуальные атрибуты которой представляют атрибуты данных определенным способом» [9]. Иными словами, восприятие средств визуальной наглядности (графических изображений) может иметь один из двух вариантов реализации когнитивных (познавательных) целей.

В первом случае, визуализация преследует цель сообщения определенных сведений в определенном месте и время, используя понятные, очевидные для всех реципиентов графические образы. Существуют даже системы подобных графических образов (например, дорожные знаки, знаки ориентирования на местности или в аэропорту и др.). Визуальные системы подобного типа характеризуются следующими признаками:

- вербальные сообщения оформляются в упрощенном, сжатом виде с помощью знакомых образов;
- визуальные сообщения должны восприниматься быстро, однозначно и правильно всеми реципиентами (без языковых барьеров).

Во втором случае, визуализация способствует формированию новых зна-

ний, поскольку для восприятия и понимания графических образов необходимо задействовать различные мыслительные операции.

И наконец, визуальное проектирование предполагает соблюдение принципов комфортного восприятия, т.е. аспектов эргономичного человеко-машинного взаимодействия. Зная особенности работы зрительного анализатора человека, можно проектировать средства визуальной наглядности, которые будут восприниматься правильно и быстро, передавая содержание объекта визуализации и не отвлекая внимания на ненужные детали.

Таким образом, основная задача различных методов компьютерной визуализации на современном этапе развития средств вычислительной техники – это поиск и проектирование форм и способов отображения данных, адекватных проблеме и ментальным особенностям реципиентов. Создание систем визуализации включает следующие необходимые аспекты: 1) определение замысла и характеристика проблемной области (цель и содержание построения информационной модели); 2) определение вида отображения и выбор средств визуальной наглядности; 3) способ реализации графического отображения; 4) выбор средств и методов генерации изображения.

Автор будет использовать многомерную визуализацию для системного исследования и прогнозирования эксплуатационных параметров, характеризующих все этапы обработки информации о состоянии устройств системы рециркуляции. На основе этого анализа будут построены модели параметров системы, определены особенности эксплуатации исследуемого объекта и выбраны оптимальные режимы работы на стадии проектирования и отработки (проверки работы).

Общие случаи решения задач построения геометрических моделей, к которым относится большинство инженерных задач (и в том числе поставленная задача), требуют применения современных методов построения 3D-моделей [13]. Современные методы позволяют проводить исследования на виртуальных интерактивных 3D моделях без проведения натуральных экспериментов и построения дорогостоящих макетов. При этом на текущем уровне развития технологий можно обеспечить высокую достоверность виртуального моделирования как в части визуальных, так и динамических характеристик.

Любые линейные задачи с многомерными моделями сводятся к решению систем линейных уравнений. Нелинейные задачи требуют предварительной локальной аппроксимации гиперповерхности многомерных моделей. Результаты могут быть использованы при обработке и визуализации экспериментальных данных для получения математической модели многофакторной зависимости оптимальной структуры, для прогнозирования свойств многокомпонентных систем. Таким образом, для систем визуализации можно найти более широкое применение.

Все многообразие визуальных стимулов ныне может быть моментально зафиксировано с помощью цифровых средств телекоммуникации и «выложено в сеть». В виду этого человек неограничен в многообразии визуальных стимулов. Визуальные ощущения человека, хоть и не подкрепленные иными ощущениями, могут быть максимально удовлетворены и эффективно использованы.

Наиболее распространены следующие инструментальные средства визуализации: Компас-3D, Pro/ENGINEER, Corel DRAW, Auto CAD, Solid Works. Фор-

маты обмена данными между этими средствами: igs, sat и др. Как правило, средства визуализации позволяют анализировать 2D и 3D модели, но также возможно провести анализ  $N$ -мерных моделей [8]. Информационное обеспечение деятельности различных промышленных предприятий должно развиваться с учетом внедрения методов обработки информации с использованием технологий визуализации [1-11].

Виртуальные 3D модели создаются в системах трехмерного моделирования на основе чертежей, сборок, фото и видео материалов, результатов бесконтактного процесса перевода физической формы реального объекта в цифровую форму с помощью трехмерного сканирования, а также других документов с тем, чтобы визуально такие модели были максимально приближены к реальным прототипам. В большинстве исследований ставится задача с высокой точностью фиксировать (моделировать) перемещения исследуемого объекта, отобразить процесс преобразования объекта в результате различных операций, детально описать технологию разработки трехмерной модели. Создаваемые модели также служат для поддержки принятия решений при выборе тех или иных процессов обработки объектов (устройств, изделий).

#### **Построение информационной модели управления рециркуляцией вредных веществ в двигательных агрегатах**

Существующие методики расчета устройств системы рециркуляции в различных компьютерных средах трудоемки.

При создании информационной модели управления рециркуляцией будем рассматривать устройства системы рециркуляции с их массогабаритными и электротехническими параметрами как объект многомерной визуализации. В соответствии с этапами создания информационной модели определим ее характеристики.

1 этап. Определение замысла и характеристика проблемной области (цель и содержание построения информационной модели): провести специальные исследования для выявления параметров устройств системы рециркуляции, изменяя которые можно минимизировать объем выбрасываемых автотранспортным средством (АТС) вредных веществ. Использовать эти параметры для построения алгоритма управления рециркуляцией и на его основе методики расчета и формирования управляющей зависимости, определяющей режим эксплуатации для минимизации вредных веществ. Документы, в которых указаны требования к допустимому объему вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу АТС: ГОСТ Р 52033, стандарты Евро-5, Евро-6. Интерпретированные результаты расчета передаются в постоянное запоминающее устройство бортового компьютера АТС.

2 этап. Определение вида отображения и выбор средств визуальной наглядности (как это должно выглядеть): в специализированных графических компьютерных средах с трехмерной и двумерной визуализацией результатов анализа и расчета. 3D модели для визуализации массогабаритных параметров устройств системы рециркуляции, конвертированные в специализированную расчетную среду 3D модели для определения и визуализации параметров устройств системы рециркуляции в соответствии с заданным критерием оптимизации, 2D графики для визуализации расчетных параметров.

3 этап. Решение того, как реализовать графическое отображение: графическое отображение будет реализовано с помощью широко распространённого оте-

качественного инструментального средства 3D Компас.

4 этап. Выбор средств и методов генерации изображения: графическое изображение (3D модель) формируется в компьютерной специализированной графической среде (3D Компас) на основе чертежей и сборок и не может быть получено методом 3D сканирования, так как устройства системы рециркуляции имеют сложные соединения сборки и электромагнитное оборудование в своем составе.

На основе проведенного качественного анализа моделируемой области и ее свойств автором разработан алгоритм управления рециркуляцией вредных веществ в двигательных агрегатах (рисунок 2) [14].

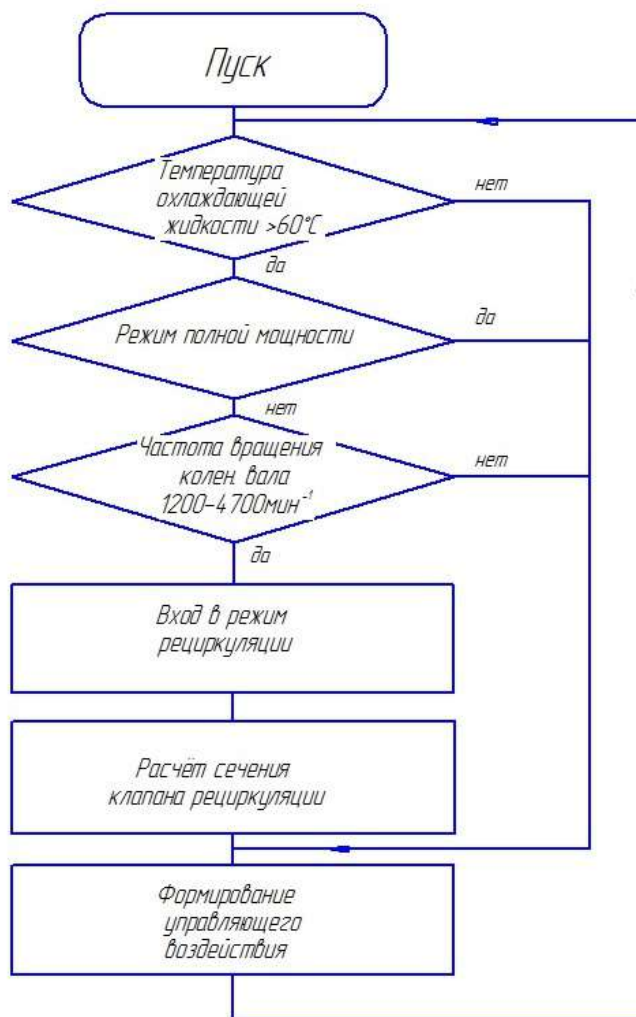


Рисунок 2 – Алгоритм управления рециркуляцией вредных веществ (сделано автором)

Работа алгоритма зависит от трех условий:

1. оборотов двигателя,



2. температуры охлаждающей жидкости,
3. нагрузки на двигатель

Информационная модель управления рециркуляцией вредных веществ, разработанная в соответствии с описанными этапами, изображена на рисунке 3. С помощью разработанной информационной модели осуществляется системный анализ параметров устройств системы рециркуляции. Эти параметры являются исходными данными для расчета управляющей зависимости по методике, в которой предлагается использование конвертированных 3D моделей в специализированные пакеты [14].

На рисунках 4, 5 и 6 приведены разработанные автором 3D модели устройств системы рециркуляции [14], на рисунке 7 – полученная управляющая зависимость [15]. На рисунке 6 показана индексация (левая часть диалогового окна) моделей в расчетной среде.



Рисунок 3 – Информационная модель управления рециркуляцией вредных веществ (сделано автором)

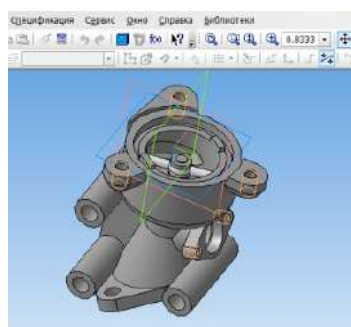


Рисунок 4 – Визуализация 3D модели клапана рециркуляции в среде 3D Компас (сделано автором)

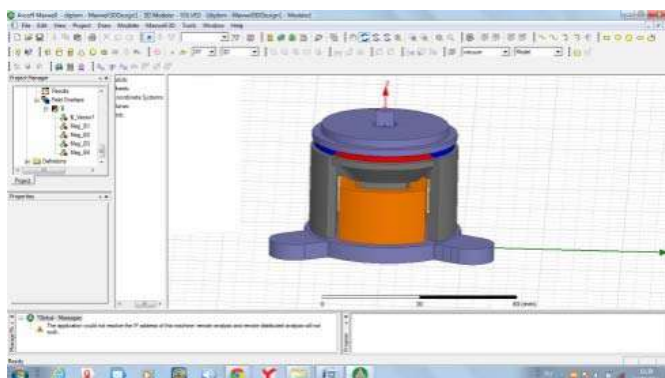


Рисунок 5 – Визуализация конвертированной 3D модели клапана рециркуляции в среде Maxwell (сделано автором)

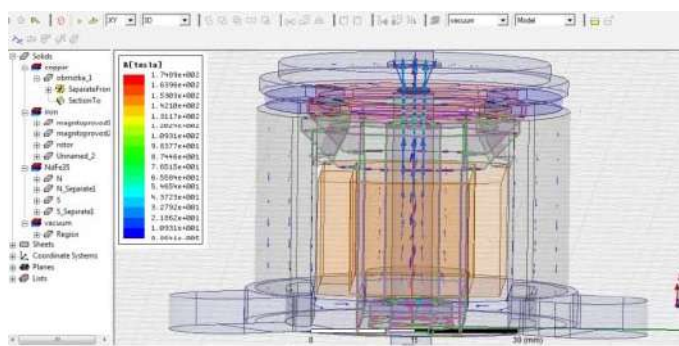


Рисунок 6 – Визуализация расчетной 3D модели клапана рециркуляции в среде Maxwell (сделано автором)

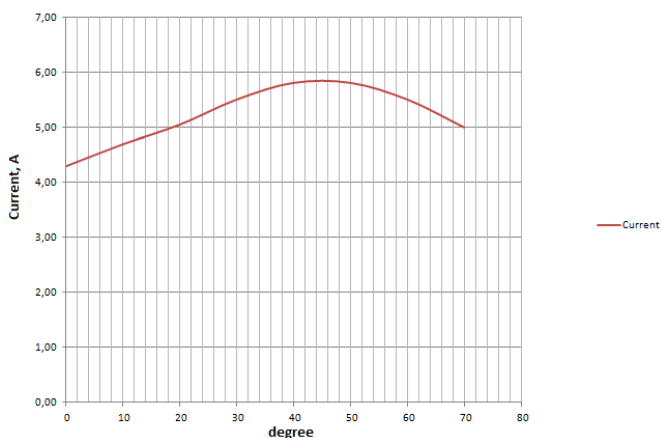


Рисунок 7 – Зависимость угла поворота ротора электропривода от тока управления электродвигателем электропривода клапана рециркуляции (7D модель)

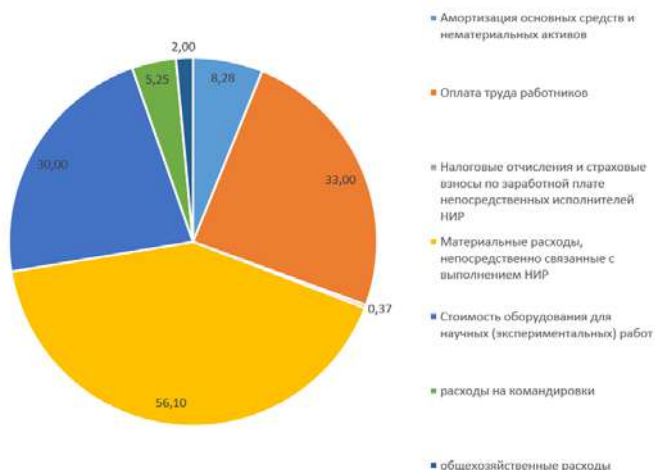
В настоящее время в качестве основного требования к поставщику высокотехнологической техники выступает наличие трехмерной модели, а в перспек-

тиве – очевидна необходимость 4D, 5D и 6D-моделей. 4D модель, как правило, отражает организационные затраты на решение поставленной задачи, например, диаграмма Ганта. На рисунке 8 приведена диаграмма Ганта, построенная для визуализации задач научных исследований по повышению эффективности устройств системы рециркуляции.



**Рисунок 8 – 4D модель организационных затрат на научные исследования (сделано автором)**

5D-модель – это модель изделия, включающая стоимостные показатели всех затрат, необходимых на любом этапе жизненного цикла. На рисунке 9 приведена круговая диаграмма, отражающая наименования статей расходов на научно-исследовательскую работу по повышению эффективности рециркуляции исследуемого объекта и стоимость. Данную диаграмму можно использовать в качестве 5D модели.



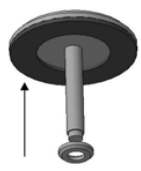

**Рисунок 9 – 5D модель стоимостных затрат на проведение научных исследований (сделано автором)**

Сегодня уже рассматриваются 6D, 7D, 8D модели. Если 6D – это управление состоянием (диагностика, техническое обслуживание объекта), то 7D – это управление объектом, 8D – управление несоответствиями (на основных этапах

жизненного цикла изделия происходит сбор и регистрация информации о несоответствиях по материалам, комплектующим, оборудованию, операций технологического процесса, выявленных потребителем при сборке конечного продукта, возникающие в период гарантийной и послегарантийной эксплуатации изделия). С помощью различных инструментов для обработки статистики инцидентов производится анализ данных и принятие корректирующих действий.

В качестве модели 6D можно привести визуально-наглядную инструкцию по техническом обслуживанию клапана рециркуляции с использованием разработанных автором 3D моделей устройств рециркуляции [16]. Фрагмент инструкции приведен в таблице 1.

**Таблица 1 – 6D модель для визуализации эксплуатационных и диагностических работ (сделано автором)**

№ операции	Наименование операции и описание	Оборудование	Приспособления, инструмент	Эскиз
050	<u>Монтажная</u> Надеть на ротор упорное кольцо фаской наружи.	Стол монтажный	Перчатки х/б ТУ-205, спецтара, спецоправка	
055	<u>Монтажная</u> Вставить ротор в корпус сверху.	Стол монтажный	Перчатки х/б ТУ-205, спецоправка, спецтара	

В качестве модели 7D можно рассматривать графическую зависимость угла поворота ротора электропривода в зависимости от тока управления (рисунок 7). Компьютерные модели, графики и инструкции позволяют реализовать интерактивное взаимодействие с пользователем. При одновременном анализе моделей 3D, характеризующих массогабаритные характеристики совместно с моделями 4D, 5D, 6D, 7D имеем объект многомерной визуализации.

Информационная модель существует в течение всего жизненного цикла изделия, содержащаяся в ней информация может изменяться, дополняться, заменяться, отражая текущее состояние изделия (и его моделей).

### **Заключение**

Построена информационная модель управления рециркуляцией вредных веществ в двигательных агрегатах АТС, на основании которой строятся геометрические модели, формируемые специализированным графическим 3D-интерфейсом. С помощью современных методов компьютерной обработки информации и разработанных информационных моделей можно реализовать такие методики расчета устройств сложных технических систем, которые обеспечивают оптимизацию параметров устройств сложных технических систем по заданному

критерию, получение управляющих зависимостей, выбор параметров материала устройств для улучшения его технических характеристик, прогнозирование технических характеристик и оценку эффективности устройств. Создание многомерных моделей позволяет оценить организационные, финансовые и технические затраты на реализацию виртуальных конструкций и их техническое и эксплуатационное обслуживание.

*Литература*

1. Белов М.П. Компьютерные методы исследования с визуализацией динамических процессов в автоматизированных электромеханических комплексах // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. 2012. № 4. С. 67–74.
2. Рыбалко А.Я., Мещеряков Л.И., Уланова Н.П., Руссу А.Ю. Компьютерная визуализация технологий сборки электрических машин в условиях дистанционного обучения // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка. 2011. № 1. С. 49–54.
3. Фирсова И.Д., Яхонтова И.М. Компьютерные технологии оформления результатов научных исследований: визуализация в научных исследованиях // В сборнике: информационное общество: современное состояние и перспективы развития: сборник материалов VIII международного форума. 2017. С. 225–227.
4. Лапицкий К.М., Лапицкая И.А. Применение средств компьютерной визуализации при изучении электростатических полей // В сборнике: Информатизация инженерного образования Труды Международной научно-практической конференции ИНФОРИНО-2016. 2016. С. 523–524.
5. Авербух В.Л. К теории компьютерной визуализации // Вычислительные технологии. 2005. Т. 10, № 6. С. 21–51.
6. Авербух В.Л. Компьютерная визуализация как самостоятельная дисциплина // SCVRT'2011 Труды международных научных конференций «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i (SC-IAS4i-2011). – 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://data.lact.ru/fl/s/0/299/basic/1605/909/Компьютерная\\_vizualizatsiya\\_kak\\_samostoyatel'naya\\_distiplina.pdf](http://data.lact.ru/fl/s/0/299/basic/1605/909/Компьютерная_vizualizatsiya_kak_samostoyatel'naya_distiplina.pdf) (дата обращения: 9.09.2015).
7. Авербух В.Л. Разработка средств компьютерной визуализации для научных исследований // Труды Первой международной конференции «Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования». Ижевск. 2009. С. 8–11.
8. Аббасова Т.С. Подходы к моделированию и проектированию телекоммуникационных сетей на основе N-мерных технологий // Информационно-технологический Вестник. 2015. № 2(04). С. 39–54.
9. Ткаченко О.Н. Компьютерная визуализация как сфера реализации специалиста по информационным технологиям // Россия молодая: передовые технологии в промышленность: материалы VI Всеросс. науч.-технич. конф. Омск. 2015. С.108–111.
10. Пескова О.В. О визуализации информации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. Сер. «Приборостроение». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://engjournal.ru/articles/24/24.pdf/> (дата обращения: 19.08.2016).

11. Ware C. Information Visualization Perception for Design. Morgan Kaufmann Publishers. Elsevier Inc. 2004.
12. Аббасов А.Э. Математическая модель управления рециркуляцией двигательных агрегатов // Информационно-технологический Вестник. 2017. Т. 12. №2. С. 25–35.
13. Козырев Д.Б., Абакумов Е.М. Типизация 3D-моделей деталей в соответствии с целями использования моделей // В сборнике: Информационные технологии и системы Труды Четвертой Международной научной конференции. 2015. С. 155–157.
14. Аббасов А.Э., Аббасова Т.С. Разработка методики 3D-моделирования оборудования системы управления рециркуляцией выхлопных газов автомобиля // Информационно-технологический вестник. 2014. №1(01). С. 3–12.
15. Аббасов А.Э. Конвертирование трехмерных компьютерных геометрических моделей для оптимизации параметров моделируемых устройств // Компьютерные исследования и моделирование. 2015. Т. 7. № 1. С. 81–91.
16. Аббасов А.Э. Исследование технологических процессов сборки сложных технических устройств с использованием современных методов обработки информации // Информационно-технологический Вестник. 2015. № 2(04). С. 3–13.

УДК 629.7

## **Структуризация и визуализация показателей в многомерных кубах данных**

**Э.Э. Акимкина**, аспирант,

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

*Проанализированы проблемы структуризации показателей в многомерных кубах данных с их последующей обработкой с помощью средств конечного пользователя, обеспечивающих многомерную визуализацию и управление данными; показаны возможности технологий многомерной обработки данных для управления и поддержки принятия решений на конструкторско-технологическом предприятии; даны практические рекомендации по использованию отечественных компьютерных сред для структуризации и визуализации показателей многомерных кубов данных.*

Многомерные хранилища, многомерный куб данных, обработка данных, запросы, показатели.

### **Structuring and visualization of indicators in multidimensional data cubes**

**E.E. Akimkina**, graduate student,

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

*The problems of structuring of indicators in multidimensional data cubes with their subsequent processing with the help of end-user tools providing multidimensional visualization and data management are analyzed; the possibilities of multidimensional data processing technologies for managing and supporting decision making at a design and technological enterprise are shown; practical recommendations on the use of domestic computer environments for the structuring and visualization of multidimensional data cubes are given.*

Multidimensional repositories, multidimensional cube of data, data processing, queries, indicators.

#### **Введение**

Использование многомерных хранилищ данных (МХД) уменьшает время поиска данных и выполнения аналитических запросов и позволяет использовать широко распространенные компьютерные среды, например Microsoft®Excel [1...3]. При построении кубов данных для МХД важно не только осуществить удобное структурирование, но и реализовать эффективную визуализацию информации об анализируемых показателях. Актуальна разработка методов и алгоритмов структуризации показателей с их последующей обработкой с помощью

средств конечного пользователя, обеспечивающих многомерную визуализацию и управление данными.

### **Результаты исследования**

Методы структуризации являются основой любой методики системного анализа, любого сложного алгоритма организации проектирования или принятия управленческого решения. МХД являются центральным звеном систем поддержки принятия решений (СППР), все шире входящих в информационный процесс управления на всех уровнях иерархии общества. В России МХД применяются в организациях и на предприятиях, имеющих большой объем данных: в государственных структурах (налоговая, таможня, МВД) в министерствах, на крупных машиностроительных производствах. Также многомерные хранилища применяются в интернет-магазинах для управления большим количеством запросов и товаров.

Для обработки данных в многомерных хранилищах применяется обработка транзакций в режиме онлайн, обычно называемая OLTP (от англ. On-Line Transaction Processing – оперативная обработка транзакций). OLTP состоит из систем на основе транзакций, которые часто используют реляционную БД в качестве хранилища данных на задней панели. Системы OLTP обычно ориентированы на быстрое реагирование и немедленное обслуживание. Хорошим примером OLTP-системы является системы учета на предприятиях, системы заказов оборудования и различных услуг, банкоматы. С технологией OLTP тесно связана технология комплексного многомерного анализа данных OLAP (от англ. On-Line Analytical Processing – интерактивная аналитическая обработка). Подход OLAP ориентирован на анализ данных, и, как правило, данные берутся из OLTP-систем. Это не значит, что технология OLAP «медленнее», чем технология OLTP. Но они сосредоточены на совершенно разных вещах. Технология OLTP ориентирована на «выполнение задания». Технология OLAP ориентирована на «анализ результатов работы» [5,6].

При переходе от реляционных БД к МХД существует довольно много парадигм. Для конкретного примера проанализируем систему обработки запросов, входящей в состав СППР машиностроительного предприятия. В течение всего дня эта система хранит и обрабатывает информацию о запросах, а также информацию, необходимую для выполнения операции подготовки и транспортировки изделий.

В кубе OLAP обычно присутствует латентность данных (для таких данных характерна задержка, которая увеличивает реальное время отклика по сравнению с ожидаемым временем). Другими словами, данные, как правило, происходят с некоторого момента времени, например, моментального снимка данных из прошлого. Но с аналитической точки зрения эта латентность данных, как правило, очень удобна, потому что пользователи проводят анализ, сравнивая тенденции развития различных процессов.

Причина, по которой термин «OLAP-куб» используется при описании БД, объясняется тем, как хранятся данные. С концептуальной точки зрения мы можем думать о данных, хранящихся в МХД, как хранимых в многомерных массивах, где мы обычно имеем дело с более чем двумя измерениями. Это сильно отличается от реляционной БД, потому что в таблице реляционных БД мы действительно работаем только в двух измерениях, а именно в строке и столбце. Поэтому, если имеется таблица, называемая реляционной БД, а столбцы в этой таблице – это деск-



риптор (описание формулировки запроса) и рейтинг (оценка параметра), то столбцы дескриптора и рейтинга представляют собой одно измерение, а фактические строки данных в таблице представляют собой один единственный размер, как показано на рисунке 1.

	Дескриптор	Оценка
размер строки	Изделие	21
	Ведомость на изделие	130

Рисунок 1 – Таблица с визуализацией двумерных данных в реляционной базе данных

Когда мы используем для хранения данных кубы, мы обычно имеем дело со многими измерениями, а не с двумя. Когда мы создаем куб, одна из первых вещей, которую мы должны сделать, это определить размеры, которые хотим задать в кубе. Очень важно потратить время на размышление над дизайном куба перед его внедрением, потому что, если не выберем свои измерения с умом, это может привести к тому, что куб будет работать плохо и, что еще хуже, не будут удовлетворяться потребности предприятия в аналитике. Важно понимать, что размеры куба данных определяют его архитектурный план.

Структуризация данных куба зависит от предметной области, в соответствии с которой строится информационная система предприятия. При анализе предметной области один и тот же объект этой области может быть отнесен как к одному, так и к другому измерению куба OLAP. Рассмотрим изображенную на рисунке 2 структуру OLAP-куба, характерную для машиностроительного предприятия, представленную суперклассом из тройки «Изделие – Процесс – Ресурс».



Рисунок 2 – OLAP-куб с измерениями «Изделие – Процесс – Ресурс»

Под термином «Изделие» подразумевается любое изделие, изготавливаемое предприятием. В классификации раздела «Изделие», приведенной на рисунке 3, показано, что с появлением САД-систем (от англ. англ. computer-aided design – компьютерная поддержка проектирования) понятие модели изделия стало ассоциироваться с его пространственной геометрической 3D моделью.

Изделие											
Изделие						Конструкторская документация					
Проект основного изделия	Проект изделия	Комплекс	Комплект	Сборочная единица	Деталь	Ведомости	Спецификаци и	3D-модели	Чертежи	Извещения об изменениях	Инструкции

Рисунок 3 – Классификация раздела «Изделие»

Под термином «Процесс» подразумевается последовательность действий, связанных с изготовлением изделия. Под термином «Ресурс» подразумеваются различные виды обеспечения, используемые для изготовления изделия. Такими ресурсами являются: кадровый, обеспечивающий, производственный, информационный, материальный ресурсы. Ось измерения ресурсов на более низких уровнях иерархии отображают более детальную информацию. Для детализации кадрового ресурса отображаются сведения об отделах, службах и цехах предприятия, в которых изготавливаются изделия. Для детализации обеспечивающего ресурса отображаются сведения об архивах конструкторской документации (КД) и технологической документации (ТД). Для детализации производственного ресурса отображаются сведения об используемом технологическом оборудовании, различных видах оснастки и инструмента. Для детализации информационного ресурса отображаются сведения о массивах документов в БД. Для детализации материального ресурса отображаются сведения об используемых материалах, стандартных и покупных изделиях.

Возможна постановка задачи построения куба с измерением времени, размером сценариев (Scenarios) и измерением мер (по горизонтальной оси), как показано на рисунке 4. В параметре Scenarios могут содержаться данные для плана и фактического значения, которые соответствуют запланированным (то есть бюджетным) значениям и фактическим (то есть реальным) значениям соответственно. В нашем измерении могут содержаться данные для таких показателей, как количество выполненных запросов; количество запросов, которые были отправлены или отменены; а также скорость выполнения запросов. Измерение времени будет содержать данные, представляющие время выполнения запросов; время выполнения осуществляемых по запросам работ, например, номер недели, месяц года, квартал и т.д.

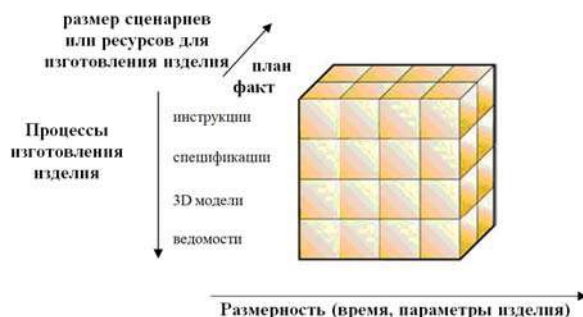
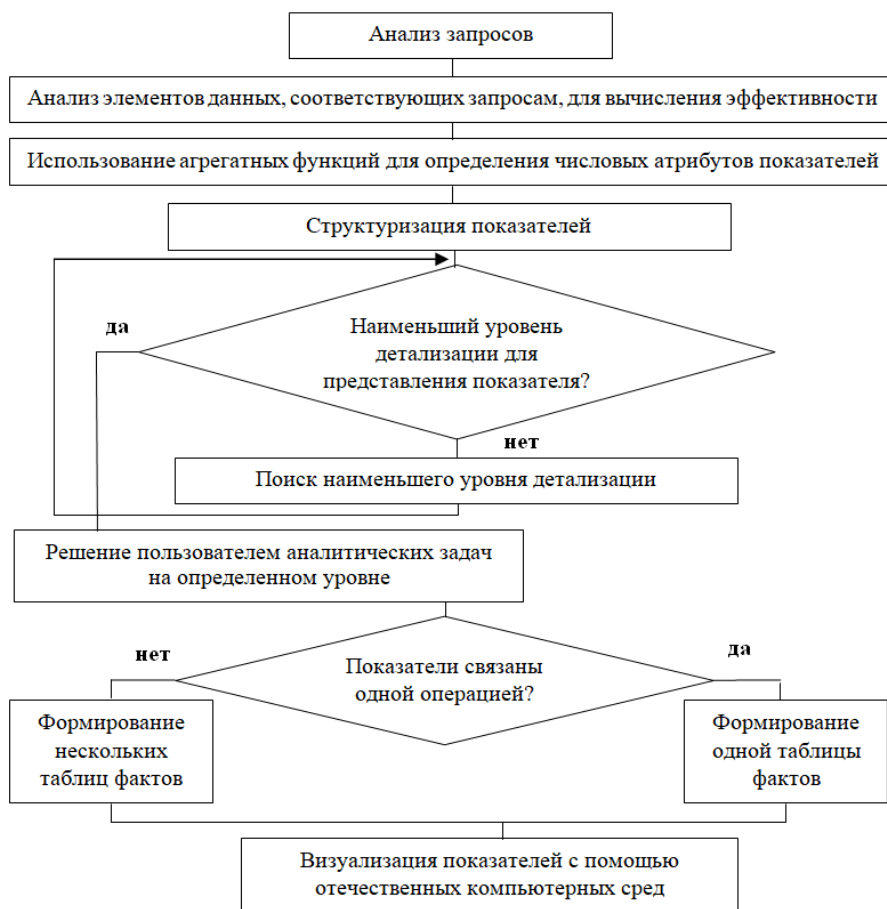


Рисунок 4 – 3-х мерный куб данных

Измерения могут иметь иерархическую структуру, в которой интервалы находятся на различных уровнях иерархии, и интервалы более низкого уровня объединяются группирующим интервалом более высокого уровня.

Переход от БД КД реляционной структуры к многомерному моделированию OLAP открывает более богатые возможности анализа, чем реляционные системы управления базами данных (СУБД), которые обременены ограничениями в SQL (от англ. Structured Query Language – язык структурированных запросов). Кубы OLAP обычно поддерживают сложные рваные иерархии неопределенной глубины: организационные диаграммы или спецификации материалов. Они используют родной синтаксис запроса, который превосходит методы, применяемые для реляционных СУБД. Размерная OLAP-модель содержит ту же информацию, что и нормированная модель, но упаковка данных происходит в формате, который обеспечивает пользователю большую понятность, производительность запросов и устойчивость к изменению. Большинство поставщиков МХД в качестве инструментов взаимодействия с кубом предлагают Microsoft®Excel (стандартное приложение широко распространенной на отечественных предприятиях операционной системы Windows).

Для того чтобы определить показатели, которые будут представлены в отчетах различного вида для поддержки принятия решений, необходимо проанализировать запросы и определить уровень структуризации показателей многомерных кубов по предложенному на рисунке 5 алгоритму, основанному на методе пошаговой детализации и методе графического представления данных.



**Рисунок 5 – Алгоритм структуризации и визуализации показателей многомерных кубов данных**

Алгоритм структуризации показателей многомерных кубов позволяет определять поля данных и создавать другие поля в виде измерений с уровнями, что облегчает создание отчетов. Таблица фактов является основной таблицей МХД и содержит сведения об объектах или событиях, совокупность которых подлежит анализу.

Предложенный на рисунке 5 алгоритм показывает: для визуализации показателей, которые вычисляются с помощью многомерного куба данных, можно использовать не только дорогостоящие решения типа Business Intelligence и табличный процессор Excel, применяемый в последнее время. С помощью инструментальных средств Excel имеется возможность управлять параметрами разрабатываемых на основе базовых или вновь создаваемых 3D моделей изделий с помощью таблицы параметров. Таблица параметров позволяет создавать несколько конфигураций деталей (изделий, устройств) или сборок в отечественной среде Компас 3D путем задания параметров во встроенной таблице Excel. Использование электронных таблиц Excel на платформе отечественной разработки «1С» применяется для управления процессами разработки изделия.

На рисунке 6 показано извлечение данных в MS Excel из другого источника, представленного сторонней программой.

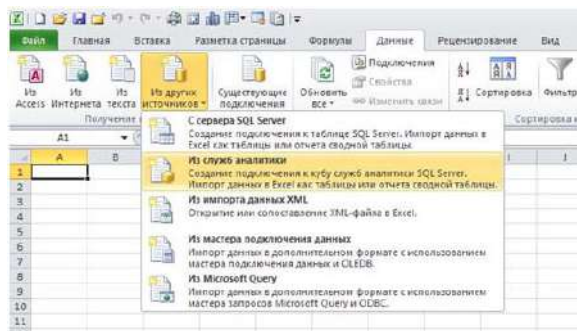


Рисунок 6 – Извлечение данных в MS EXCEL из сторонней программы

Реализация правил, разработанных Коддом Э. для технологий OLAP [6], в среде MS Excel представлена в таблице 1. В таблице 1 принято сокращение: MDX (от англ. Multidimensional Expressions – язык многомерных выражений). Язык MDX осуществляет более простой и эффективный доступ к многомерным структурам данных (по сравнению с языком запросов SQL).

На рисунке 7 приведено описание фрагмента алгоритма конвертирования таблицы с параметрами данных об изделиях из MS Excel в среду 1C.

```

Функция ФайлExcel_Импортировать.Лист(ИмяФайла, ИмяЛистНомер.Листа = 1,
ИспользоватьЗаголовок = .Ложь)
adFalse = 0;
// формируем строку подключения к OLE DB источнику данных с именем
"Microsoft.ACE.OLEDB.12.0"
HDR = ?(ИспользоватьЗаголовок, "Yes", "No");
СтрокаСоединения = ФорматСтроки("Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data
Source=%1; Extended Properties='\"Excel 12.0;HDR=%2\"'", ИмяФайла, HDR);
// если лист задан не именем, а номером, требуется сначала найти имя листа
Если ТипЗнч(ИмяЛистНомер.Листа) = Тип("Число") Тогда
// проверяем, чтобы номер листа был не меньше единицы
Если ИмяЛистНомер.Листа < 1 Тогда
Сообщить("Ошибка в параметре. Номер листа не может быть меньше единицы");
Возврат Неопределено;
КонецЕсли;
// получаем массив всех листов в книге Excel
    
```

Рисунок 7 – Фрагмент алгоритма извлечения данных из MS EXCEL в среду 1C

**Таблица 1 – Реализация правил OLAP в среде MS Excel**

Правило Кода	Реализация правила в MS Excel
Концептуальное многомерное представление	Многомерная обработка данных на основе Pivot Tables (версии Excel 2010 и выше)
Прозрачность	Внутренние связи и некоторая информация об объекте доступны внешним по отношению к объекту субъектам
Доступность	Необходимы процедуры извлечения данных из различных источников
Постоянная производительность при разработке отчетов	Структурированные ссылки, связи между листами и книгами, сокращение используемого диапазона, поддержка дополнительных данных, процедуры поиска данных и решений, функции
Клиент-серверная архитектура	Поддержка клиент-серверной архитектуры
Общая многомерность	Многомерное представление графических данных (до 20 измерений)
Язык формулирования запросов SQL	Язык формулирования многомерных запросов MDX
Адаптация физической схемы OLAP-инструмента к аналитической модели	Адаптация с помощью инструментального средства Pivot Tables, импорт 100 млн. строк в таблицы PowerPivot рабочей книги
Многопользовательская поддержка	Многопользовательская среда для совместной работы
Неограниченные перекрестные операции	Вычисление полей и элементов с помощью надстройки PowerPivot (Excel 2013 и выше). Плохо реализована сортировка
Динамическое управление разреженными матрицами	Управление матрицами
Интуитивная манипуляция данными	Присутствует
Гибкие возможности генерации отчетов	Создание отчета Excel на основе запроса рабочих элементов с помощью командного обозревателя или сконструированных запросов
Неограниченная размерность и число уровней агрегации	Аналитический инструмент способен одновременно предоставить как минимум 15 измерений, а также 20 измерений

К количественным критериям эффективности схем баз и хранилищ данных относятся: время отклика на запрос; стоимость обновления; стоимость памяти; время, затраченное на создание; стоимость реорганизации. Сравнительный анализ показывает, что стоимость обновления и стоимость памяти у отечественных компьютерных сред меньше. Над временем, затраченным на создание, предстоит еще поработать.

Для оценки эффективности предлагаемого алгоритма, в соответствии с исследованием, проведенным автором в [7,8], предложено соотношение

$$T = AVE.CONT + AVE.TIME + AVE.(-0) + MEAN + STD.DEV + POTERI,OTKAZ + SR_DL_OCH + SUMMA, [c] \quad (1)$$

где *AVE.CONT* – средняя длина каждой очереди при обработке запроса МХД; *AVE.TIME* – среднее время нахождения запросов в каждой из очередей; *AVE.(-0)* – среднее время нахождения запросов в каждой из очередей без учета тех запросов, которые присоединились к очереди и сразу ее покинули, т.е. время ожидания для них равно нулю; *MEAN* – среднее время нахождения запросов в системе; *STD.DEV* – среднее квадратичное отклонение; *POTERI,OTKAZ* – число и

процент потерянных (получивших отказ в обслуживании) запросов; SR\_DL\_OCH – средняя суммарная длина очереди, в которой обслуживаются запросы МХД; *SUMMA* – среднее число задействованных (используемых) элементов обслуживания (под элементами обслуживания подразумеваются лица, принимающие решения).

Запросы являются основными инструментами МХД. Соотношение (1) позволяет определить время отклика на запрос, с учетом предложенного алгоритма структуризации и визуализации обрабатываемых показателей.

### **Выводы**

Проанализированы особенности управления подготовкой изделий на машиностроительном предприятии с помощью многомерных кубов данных в условиях импортозамещения. На основе метода пошаговой детализации и метода графического представления данных разработан алгоритм структуризации и визуализации показателей многомерных кубов данных, отличающийся от существующих методов и способов представления многомерных данных тем, что показывает возможности обработки и визуализация показателей с помощью отечественных компьютерных сред. Для управления параметрами 3D моделей изделий предлагается использовать Компас 3D; для управления процессами разработки изделия – среду 1С. Предложены соотношения для оценки эффективности предлагаемого алгоритма.

### *Литература*

1. Орешков В.И., Паклин Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям // Учебное пособие. 2-е издание Издательство: Питер. 2013. 704 с.
2. Пучков Е.В., Пономарева Е.И. Разработка информационно-аналитической системы на основе многомерного хранилища данных // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-1 (22). С. 152-155.
3. Сравнение табличных и многомерных решений – MSDN – Microsoft. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/hh212940\(v=sql.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/hh212940(v=sql.120).aspx). (Дата обращения: 22.01.2016).
4. Акимкина Э.Э. Инструментальный подход к организации сбора данных в хранилище систем поддержки принятия решений // Информационные технологии. 2017. № 6. С.424-430.
5. Федоров А.А. Введение в OLAP // [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://kek.ksu.ru/eos/DW/OLAP\\_Microsoft.pdf](http://kek.ksu.ru/eos/DW/OLAP_Microsoft.pdf) (дата обращения 21.04.2018).
6. Codd E.F., Codd S.B., Salley C.T.. Providing OLAP (on-line analytical processing) to user-analysts // An IT mandate. Technical report. 1993. 230 p.
7. Акимкина Э.Э. Оптимизация обработки данных в системах поддержки принятия решений с элементами обслуживания // Вестник ВГУ. серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 2. С. 79-85.
8. Артюшенко В.М., Акимкина Э.Э. Имитационная модель адаптивной системы поддержки принятия решений // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 2. С. 46-54.

УДК 004.94, 004.89

### **Информационная технология поддержки управления социально-экономической безопасностью**

**А.В. Маслобоев**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,  
Институт информатики и математического моделирования  
Федерального исследовательского центра  
«Кольский научный центр Российской академии наук» (ИИММ КНЦ РАН),  
г. Апатиты

*Рассматриваются вопросы создания средств информационной поддержки регионального управления в сфере обеспечения безопасности развития региона. Разработана новая информационная технология поддержки жизненного цикла управления социально-экономической безопасностью. Технология реализована с применением методов теории управления сложными системами, концептуального моделирования, системной динамики и проектного менеджмента. Это позволило синтезировать имитационные модели для исследования возможного негативного эффекта от реализации проектов на состояние социально-экономической безопасности и на основе результатов имитации сформировать аналитическую информацию для разработки комплекса мер по противодействию выявленным угрозам региональной безопасности.*

Информационная технология, управление, социально-экономическая безопасность, компьютерное моделирование, проектный менеджмент.

### **Information technology for management support of socio-economic security**

**A.V. Masloboev**, Dr. Sci. Tech., Leading research fellow,  
Institute for Informatics and Mathematical Modeling  
of the Federal Research Center «Kola Science Center of Russian Academy of Sciences»  
(IIMM KSC RAS), Apatity

*The issues related to computer aids development for management information support in the field of regional security are discussed. A modern information technology for management life-cycle support of socio-economic security has been developed. The technology is based on complex system control theory, conceptual modeling, system dynamics and project management methods implementation. That provides simulation models automated synthesis to the aim of possible negative effects analysis of project implementation influencing on the state of socio-economic security, and on the basis of simulation results analytical information generation for a set of counteraction measures development corresponding to identified regional security threats.*

Information technology, control, socio-economic security, simulation, project management.



## **Введение**

Принятие обоснованных решений в области обеспечения региональной безопасности является сложной и трудоемкой задачей. В настоящее время решение подобного рода задач осуществляется с применением методов обработки и анализа разнородной многомерной информации, построения прогнозов для различных сценариев развития региона, а также с привлечением экспертов из разных областей знаний. Разрабатываемые информационные технологии и системы поддержки принятия решений в сфере региональной безопасности ориентированы на снижение сложности и ресурсопотребления задач управления, а также на повышение качества принимаемых решений. В последние десятилетия данное направление исследований продолжает активно развиваться и по-прежнему остается актуальным и востребованным.

Одним из вариантов создания средств информационной поддержки принятия решений в сфере управления региональной безопасностью является использование имитационного моделирования. Комплексы разнообразных имитационных моделей применяются для прогнозирования возможных вариантов развития ситуации в регионе в зависимости от установленных сценарных условий. Полученные прогнозы являются аналитической информацией, предназначенной для выработки рекомендаций и реализации управленческих решений.

Современные средства информационной поддержки управления безопасностью социально-экономических систем зачастую являются функционально ограниченными и не всегда обеспечивают субъектов управления полной и аналитически обоснованной информацией о состоянии развития этих систем для принятия эффективных управленческих решений, особенно в условиях кризисных ситуаций в социально-экономической сфере. Это обуславливают необходимость проработки широкого круга вопросов, связанных с моделированием данной предметной области и с автоматизацией систем управления региональной безопасностью. Работа посвящена разработке и развитию информационных технологий для управления безопасностью региона.

### **Структура и этапы информационной технологии**

Особенностью предлагаемой технологии является рассмотрение всех процессов, протекающих в социально-экономических системах региона, с точки зрения проектного подхода. Предлагается каждое мероприятие, планируемое и реализуемое в рамках решения тех или иных задач управления, рассматривать как совокупность проектов. При этом формировать управляющие воздействия для управления ходом реализации мероприятия на основе методов управления жизненным циклом проекта. Такой подход возможен, так как любое мероприятие, ориентированное на минимизацию ущерба от негативных последствий реализации угроз региональной безопасности, обладает характерными признаками проекта – нацеленностью на определенный результат, конечностью продолжительности выполнения и необходимостью создания специальной организационной структуры управления.

На рисунке 1 приведена структура информационной технологии поддержки жизненного цикла управления проектами по обеспечению социально-экономической безопасности (СЭБ) региона.



**Рисунок 1 – Структура и этапы информационной технологии**

Информационная технология включает пять основных стадий:

- сбор и обработка информации;
- формирование многоуровневой концептуальной модели;
- создание прикладной онтологии;
- разработка комплекса имитационных моделей;
- выработка рекомендаций лицу, принимающему решения (ЛПР).

Переход между разными стадиями технологии осуществляется в автоматизированном режиме. Результаты, получаемые на каждом этапе реализации технологии, используются соответствующими элементами системы поддержки принятия решений в кризисных ситуациях [1].

Рассмотрим этапы реализации информационной технологии.

Основной задачей на стадии сбора и анализа информации является формирование полного набора данных об объектах и субъектах управления, о процессах, протекающих в социально-экономических системах региона, их параметрах функционирования, о потенциальных угрозах и влияющих факторах. Данная информация используется для построения формальной концептуальной модели предметной области, а также прикладной онтологии региональной безопасности. Информация о текущих и планируемых показателях социально-экономического развития региона используется для настройки имитационных моделей и анализа результатов симуляции, а также в последующих процедурах выработки рекомендаций для ЛПР.

На рисунке 2 схематично представлены основные источники и типы входных данных, а также информационные потоки, используемые при реализации технологии. В качестве объекта исследования, на котором проводилась апробация предлагаемых решений, выступала Мурманская область. В связи с этим были проанализированы официальные документы, содержащие стратегии и программы социально-экономического развития отдельных муниципалитетов и области, а также индикаторные системы оценки эффективности их реализации. Для формирования системы показателей, отражающих состояние СЭБ, рассмотрены используемая Минэкономразвития региона система сбора и обработки официальной ста-

тики «Прогноз», и системы индикаторов регионального развития, предложенные в работах [2, 3].



Рисунок 2 – Сбор и анализ информации

### Концептуальная модель жизненного цикла проекта

На стадии моделирования формируется концептуальная модель исследуемой предметной области (КМПО), которая имеет многоуровневую структуру и представляет собой разновидность неоднородной семантической сети. Модель задана в виде теоретико-множественных отношений. Схема и состав концептуальной модели:

$$RS = \{C_i^{RS}\}, RS = \langle Econ, Soc \rangle, \quad (1)$$

$$C_i^{RS} = \overline{P_i}, \overline{P_i} = \{p_{i,j}\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, K_i},$$

где  $i = \overline{1, N}$ ,  $N$  – количество составляющих региональной безопасности; *Econ* – экономическая безопасность; *Soc* – социальная безопасность;  $K_i$  – количество параметров  $i$ -го компонента региональной безопасности.

В работе используется матричный подход к формированию оценки состояния СЭБ. Мера оценки СЭБ представляет собой матрицу региональной безопасности, которая формируется на основе оригинальной системы индикаторов безопасности [4]. Индикаторная система включает в себя как частные, так и агрегированные показатели для каждой составляющей безопасности. Введение подобной матрицы позволяет разработать формальные процедуры сравнения различных сценариев развития социально-экономической системы региона.

$$M_{RS} = \{m_{ij}\}, m_{ij} = p_{ij}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, K}, K = \max_i(K_i), \quad (2)$$

где  $M_{RS}$  – матрица безопасности,  $p_{ij}$  –  $j$ -й показатель  $i$ -го компонента региональной безопасности;  $N$  – количество компонентов региональной безопасности, участвующих в рассмотрении;  $K_i$  и  $K$  – количество показателей  $i$ -го компонента и

количество показателей в строке матрицы региональной безопасности соответственно.

Состояние региональной безопасности считается безопасным по каждому показателю, если значение этого показателя находится в пределах интервала допустимых значений:

$$\min_{ij} \leq m_{ij} \leq \max_{ij} \quad (3)$$

Предельно допустимые нижние  $\min_{ij}$  и верхние  $\max_{ij}$  значения каждого параметра региональной безопасности определяется из регламентирующей документации, а при ее отсутствии - с помощью экспертных оценок. Таким образом, в матричном виде условие нахождения региона в безопасном состоянии следующим образом:

$$M_{\min} \leq M_{RS} \leq M_{\max} \quad (4)$$

Матричное условие (4) используется для определения состояний региональной безопасности, при которых появляются проблемы (угрозы), требующие принятия определенных мер, направленных на их устранение или снижение негативных последствий.

Проект в сфере обеспечения региональной безопасности – комплекс антикризисных мероприятий, проводимых субъектами регионального управления с целью получения определенных результатов требуемого качества, непосредственно или опосредованно влияющих на состояние социально-экономического развития региона с учетом ограничений на использование различного типа ресурсов (временных, финансовых, кадровых, материальных и др.). Цели определяются на основе анализа принятой стратегии социально-экономического развития региона и текущих региональных проблем.

Примерами проектов в сфере СЭБ Мурманской области являются формирование эффективных инновационных структур, ориентированных на создание социально значимых объектов на территории региона, а также сети малых инновационных предприятий и научно-образовательных структур для поддержки устойчивого развития моногородов Севера России.

В общем случае мероприятие по противодействию угрозам СЭБ является программой, состоящей из совокупности отдельных проектов:

$$\text{Prog} = \{\text{Pr}_i\}, i = \overline{1, N_{\text{Pr}}} \quad (5)$$

где  $N_{\text{Pr}}$  – количество проектов в программе.

В общепринятом представлении проект можно рассматривать как последовательность фаз, которые проходит проект в ходе своего жизненного цикла, и формально описывается в виде кортежа:

$$\text{Pr} = \langle LF, G^{\text{Pr}}, \text{Type}, Rs, Rk, T_{LF} \rangle, \quad (6)$$

где  $LF$  – жизненный цикл проекта;  $G^{\text{Pr}}$  – целевые установки проекта;  $\text{Type}$  – тип проекта (инвестиционный, некоммерческий, оперативный, стратегический и др.);  $Rs$  – ресурсы, необходимые для реализации проекта;  $Rk$  – риски реализации проекта;  $T_{LF}$  – продолжительность жизненного цикла проекта.

Жизненный цикл проекта формально описывается в виде:

$$LF = \langle Ph, Lk \rangle, \quad (7)$$

где  $Ph$  – множество фаз жизненного цикла,  $Lk$  – множество связей между фазами жизненного цикла.

Согласно международному стандарту ISO 21500:2014 по управлению проектами выделяется пять основных фаз проекта: инициализация, планирование, исполнение, управление, завершение.

Сетевая модель представления жизненного цикла проекта позволяет формулировать и решать разнообразные задачи управления. Основной задачей управления является первоначальное определение параметров каждой из фаз проекта и последующая коррекция хода выполнения проекта в зависимости от результатов реализации конкретной фазы. Формальное описание фазы проекта представляется в виде следующего кортежа:

$$Ph_l = \langle Op^l, Gr^l, St^l, G^l, RS^l, T_0^l, T_g^l, T_{LF}^l, Res^l \rangle, \quad (8)$$

где  $Op^l = \{o_j^l\}, j = \overline{1, N_{Op}^l}$  – множество операций, которые можно/нужно выполнить на  $l$ -ой фазе проекта;  $N_{Op}^l$  – количество операций на  $l$ -ой фазе проекта;  $Gr^l$  – календарный график выполнения  $l$ -ой фазы проекта;  $St^l$  – множество стейкхолдеров (заинтересованных лиц) на  $l$ -ой фазе проекта;  $G^l$  – цели и задачи  $l$ -ой фазы проекта;  $RS^l$  – множество ресурсов, требуемых для выполнения  $l$ -фазы;  $T_0^l$  и  $T_g^l$  – начальное и конечное время выполнения  $l$ -ой фазы проекта;  $T_{LF}^l$  – продолжительность  $l$ -ой фазы проекта;  $Res^l$  – результаты выполнения  $l$ -ой фазы проекта.

Результаты выполнения фазы проекта влияют на состояние СЭБ региона. Поэтому при оценке результатов реализации фазы предложено формировать ее в виде изменения показателей безопасности региона, то есть каждой фазе проекта будет ставиться в соответствие  $\Delta M_{RS}$ .

### **Прикладная онтология региональной безопасности**

Программная реализация КМПО выполнена в виде прикладной онтологии региональной безопасности, которая предназначена для обеспечения семантической интероперабельности информационно-управляющих систем региональных ситуационных центров в процессе интеграции компонентов этих систем в единую информационную среду и их совместного использования. Онтология создана средствами языка онтологического моделирования OWL (Web Ontology Language) в инструментальной среде разработки онтологий Protégé. Созданная прикладная онтология региональной безопасности содержит 7 уровней таксономии и включает в себя более 500 классов, более 150 атрибутов, более 30 иерархических отношений, более 40 ассоциативных отношений, более 30 функциональных ограничений. Онтология имеет достаточную степень детализации, что обеспечивает целостное формальное описание разнородных кризисных ситуаций и связанных с ними задач управления безопасностью на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности и на всех уровнях принятия решений (стратегическом, тактическом и оперативном).

### **Комплекс имитационных моделей безопасности региона**

На основе КМПО разработан полимодельный комплекс, представляющий собой совокупность взаимосвязанных компьютерных моделей, каждая из которых описывает одну из составляющих СЭБ. Особенностью комплекса является совме-

стное использование агентного моделирования, позволяющего оперировать частными показателями, и метода системной динамики, работающего в основном с агрегированными и макроэкономическими показателями, для получения интегрированных индикаторов, отражающих состояние как региональной безопасности в целом, так и отдельных ее составляющих.

Синтез имитационных моделей осуществлялся двумя способами:

1) в автоматизированном режиме, когда генерация моделей проводилась с помощью процедур синтеза имитационных моделей на основе концептуальных шаблонов, онтологических описаний, а также когнитивных карт и средств распределенного формирования моделей.

2) в ручном режиме в тех случаях, когда по разным причинам было затруднено применение первого способа.

Полимоделный комплекс имеет структуру, схожую с КМПО, и включает два блока взаимосвязанных имитационных моделей:

- 1) блок «экономика региона»;
- 2) блок «социальные процессы региона».

Каждый блок имеет иерархическую структуру и включает свой набор имитационных моделей. В блоке «экономика региона» задана следующая иерархия моделей: *Региональная экономика – Отрасль экономики – Хозяйствующий субъект – Мероприятие*. Каждая из приведенных сущностей программно реализуется в виде отдельного класса-агента, который обладает своим набором параметров и поведением. Поведение агента задается как с помощью системно-динамических конструкций, так и с помощью диаграмм состояния. Таким образом, получается иерархическая структура, в которой один агент является составной частью другого вышестоящего агента. Например, региональная экономическая система состоит из различных отраслей экономики. Каждая отрасль экономики представлена в виде системы предприятий и организаций, каждый из которых представляется в виде агента типа «хозяйствующий субъект». В тоже время все изменения на предприятии рассматриваются как реализация отдельных мероприятий, которые также являются экземплярами определенного типа агентов. Иерархическая конструкция агентных моделей позволяет гибко масштабировать полимоделный комплекс СЭБ посредством изменения количества экземпляров соответствующих типов агентов. По такому же принципу иерархии агентов построен блок «социальные процессы региона». Подробное описание полимоделного комплекса и особенности его реализации изложены в работе [4].

Проект обладает определенным набором параметров и поведением. Этот факт обуславливает возможность применения агентного подхода для компьютерного моделирования таких сущностей, поскольку проект можно представить как набор взаимосвязанных фаз, управляющих параметров и динамических переменных, что, по сути, и является определением агента (рис. 3).

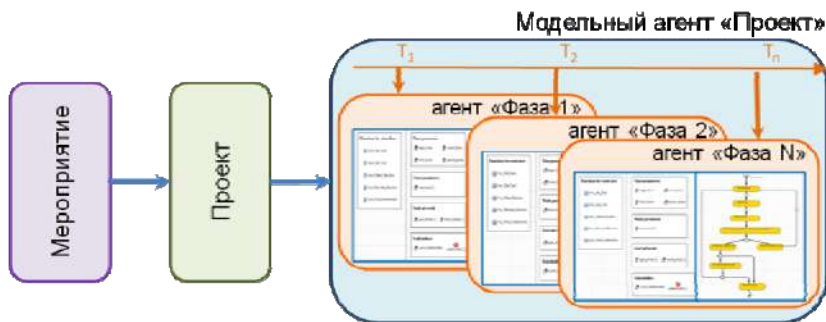


Рисунок 3 – Представление сущности «Проект» в виде агента

Структура модельного агента типа «Проект» и набор его параметров представлены на рисунке 4. В соответствии с проектным менеджментом агент типа «Проект» обладает своим собственным жизненным циклом, который включает в себя пять фаз: инициализация проекта, планирование, реализация проекта, управление, завершение.

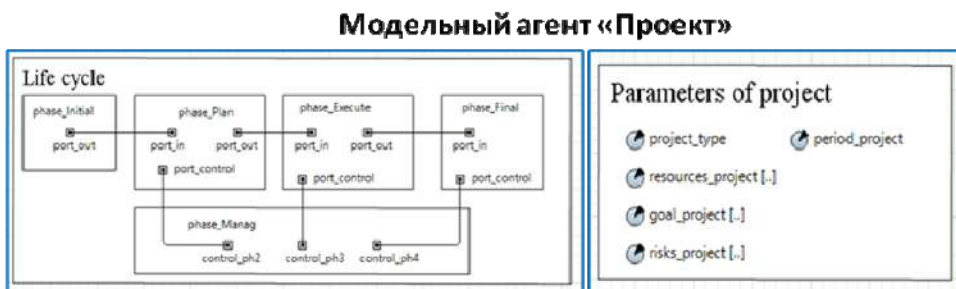


Рисунок 4 – Реализация агента «Проект» в среде Anylogic

Исследованы два способа программной реализации всех фаз жизненного цикла проекта. Первый – использование одного класса-агента, в котором определяется набор характеристик, однотипных для разных фаз. Такой подход оказался трудноосуществимым, так как, несмотря на наличие общих параметров у разных фаз проекта, все же есть значительные отличия в части состава и последовательности операций, выполняемых на каждой стадии. Второй - реализация каждой из пяти фаз в виде отдельных агентов. Этот способ является более ресурсозатратным, но выполнимым в плане реализации.

В качестве примера на рисунке 5 приводится иллюстрация описания агента типа «Фаза инициализации» в среде моделирования Anylogic.

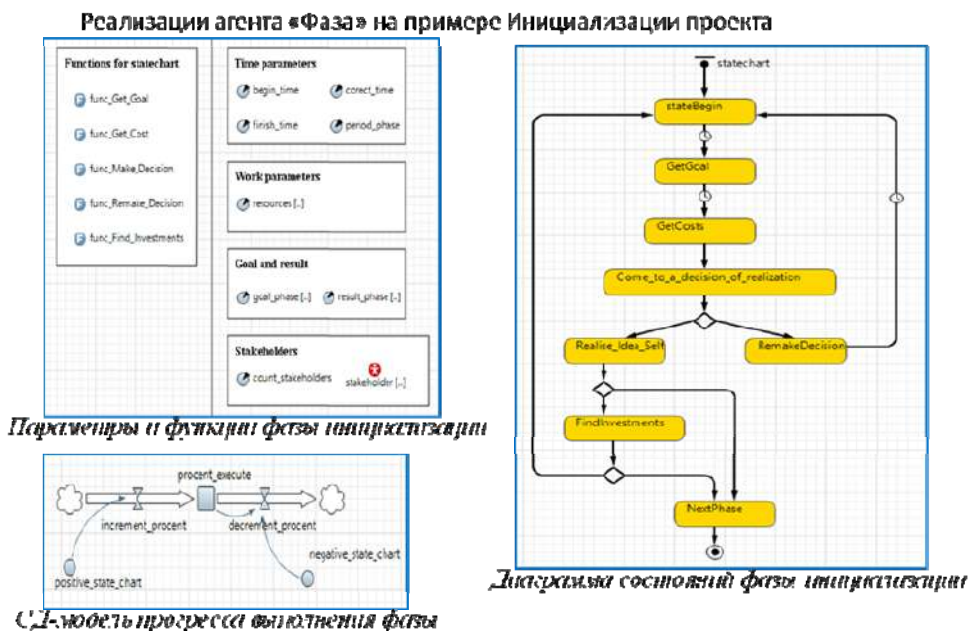


Рисунок 5 – Реализация агента «Фаза проекта» в среде Anylogic

При моделировании поведения всей региональной социально-экономической системы с ростом числа агентов в полимодельном комплексе на практике возникают проблемы, связанные с вычислительной мощностью аппаратных средств. Для решения такого рода проблем используются средства распределенного моделирования на базе GRID или агентной сервис-ориентированной архитектуры.

#### Выработка рекомендаций

На данной стадии информационной технологии реализуются процедуры формирования рекомендаций на основе анализа результатов имитационного моделирования и сравнения их со статистическими данными и мнениями экспертов различных предметных областей. Этот процесс трудно поддается автоматизации, поэтому было предложено использовать зарекомендовавший себя на практике сценарный подход к исследованию сложных систем. Путем задания значений управляющих параметров комплекса имитационных моделей определяется сценарная ситуация. Проводится вычислительный эксперимент. Результаты моделирования обрабатываются и на их основе происходит расчет показателей СЭБ региона, сведенных в единую матрицу региональной безопасности. На основе значений, содержащихся в матрице региональной безопасности, делаются выводы о состоянии СЭБ в заданных сценарных условиях. По результатам моделирования также проводится диагностика разнообразных угроз СЭБ региона. Общая схема процесса формирования рекомендаций для ЛПП в рамках созданной технологии приведена на рисунке 6.





Рисунок 6 – Процесс формирования рекомендаций

Технология прошла апробацию на задачах диверсификации экономики монопрофильных муниципальных образований Мурманской области (моногородов) на примере г. Кировска. Существуют различные подходы к развитию экономического разнообразия в городе, но в рамках данного исследования были рассмотрены три сценария проведения такой политики муниципальной власти:

- 1) развитие и поддержка малого бизнеса;
- 2) развитие туристического кластера;
- 3) развитие горно-химического кластера.

Для каждого из выделенных сценариев были определен набор проектов и их параметров, а также значения управляющих параметров, задающих определенные сценарные условия. В качестве оценки успешности проведения политики диверсификации был выбран один из общепринятых показателей, а именно интегральный коэффициент диверсификации экономики. Коэффициент диверсификации экономики моногорода вычислялся по следующей формуле:

$$K_{ДЭ} = 1 - \frac{100}{\sum_{i=1}^n \text{ДОЛ}_{ВЭД_i} * (2N_i - 1)}, \quad (9)$$

где  $\text{ДОЛ}_{ВЭД_i}$  – доля вклада  $i$ -го вида экономической деятельности (ВЭД) в прибыль экономики города;  $N_i$  – место  $i$ -го вида экономической деятельности в ранжированном списке по возрастанию вклада  $i$ -го ВЭД в общую прибыль города;  $n$  – количество видов экономической деятельности.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что большую эффективность (исходя из анализа коэффициента диверсификации экономики моногорода) в рамках существующих планов и программ социально-экономического развития г. Кировска обеспечит реализация проектов, связанных с созданием и совершенствованием туристического кластера.

### Заключение

Созданная информационная технология поддержки управления социально-экономической безопасностью реализует формализованные модели предметной области и исполнительной среды, комплекс имитационных моделей и программные средства сценарного анализа и прогнозирования региональных кризисных ситуаций. Формальное описание исследуемой задачи представлено в виде концептуальной модели, обладающей многоуровневой структурой и отражающей специфику регионального управления и реализуемых антикризисных мероприятий, оказывающих воздействие на состояние безопасности региона. Предложенная концептуальная модель обеспечивает переход от формальных конструкций к

онтологическим описаниям задачи и последующей автоматизированной генерации имитационных моделей.

Результаты использованы при создании средств поддержки принятия решений по обеспечению региональной безопасности. Эти средства позволяют ЛПР получать агрегированную аналитическую информацию о возможных последствиях реализации того или иного регионального проекта еще на стадии планирования, а также оценивать и принимать решения в фазе оперативного управления проектом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 18-07-00167-а, 18-29-03022-мк, 17-47-510298-р\_а).

*Литература*

1. Маслобоев А.В. Система поддержки принятия решений в условиях региональных кризисных ситуаций // Информационные ресурсы России. 2017. № 4(158). С.25-32.
2. Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В. Управление региональной безопасностью на основе сценарного подхода // М.: ИПУ РАН. 2014. 163 с.
3. Цыгичко В.Н. Прогнозирование социально-экономических процессов. Изд.3-е. перераб. и доп. // М.: Либроком. 2009. 240 с.
4. Bystrov V.V., Malygina S.N., Khaliullina D.N. The Information Technology of Multi-model Forecasting of the Regional Comprehensive Security // Automation Control Theory Perspectives in Intelligent Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 466. Springer. 2016. pp. 475-482.

УДК 629.7

**Синтез конструкции симметричных кабелей для инфокоммуникационных систем с улучшенными характеристиками помехозащищённости**

**А.Б. Семенов**, доктор технических наук, профессор,  
НИУ Московский государственный строительный университет,  
МГСУ, г. Москва,

**Т.С. Аббасова**, кандидат технических наук, доцент,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Проведен синтез конструкции кабелей категории ба для инфокоммуникационных систем с улучшенными характеристиками помехозащищённости. Рассчитаны параметры переходных наводок и суммарных переходных наводок для предлагаемой конструкции кабеля, а также проведена оценка диаметра кабеля исходной и предложенной конструкций. Проведена оценка улучшения массогабаритных показателей кабеля предлагаемой конструкции. Показано, что за счет камерного (группового) незаземленного экранирования можно существенно уменьшить характеристики влияния и массогабаритные параметры кабеля.*

Инфокоммуникационная система, витая пара, помехозащищенность, массогабаритные характеристики.

**Synthesis of symmetrical cables for infocommunication systems with improved noise immunity characteristics**

**A.B. Semenov**, Doctor of Engineering Science, professor,  
Moscow State University of Civil Engineering, MGSU, Moscow,

**T.S. Abbasova**, Ph.D., assistant professor,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*A synthesis of construction of cables of category ба for infocommunication systems with improved characteristics of noise immunity is carried out. The parameters of transient pickups and total transient pickups for the proposed cable design are calculated, and the cable diameter of the initial and proposed designs is estimated. The estimation of improvement of mass-dimension parameters of a cable of a proposed design is carried out. It is shown that due to chamber (group) unearthed screening, it is possible to significantly reduce the influence characteristics and the mass-dimensional parameters of the cable.*

Infocommunication system, twisted pair, noise immunity, weight and size characteristics.

## Введение

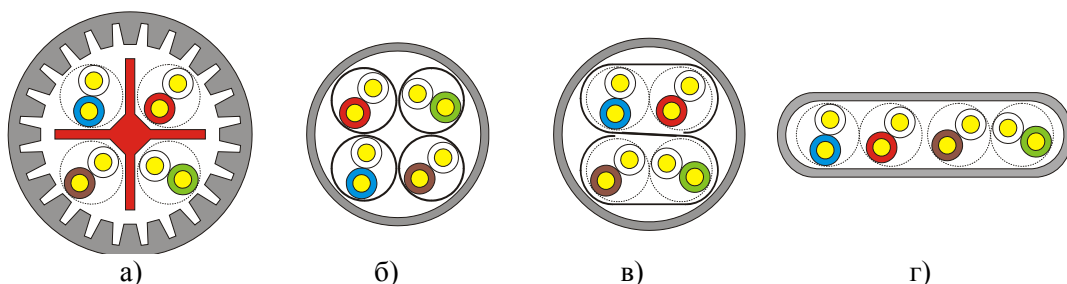
Физический уровень современных инфокоммуникационных систем (ИС) в основной массе случаев реализуется на основе проводных каналов связи. Наиболее емкая по части требуемых затрат на реализацию и последующая часть ИС, которая обслуживает нижний уровень и используется для подключения различных терминальных приборов, в реалиях сегодняшнего дня выполняется на основе кабелей из витых пар. Эти изделия должны отвечать нормативным требованиям и, в частности, обеспечивать требуемый стандартами уровень защищенности от переходных помех различной природы [1 – 7].

## Результаты исследования

Большинство кабелей из витых пар имеют структуру U/UTP. Экранированные изделия в различных вариантах исполнения до последнего времени были популярны только в немецкоязычных странах и Финляндии, а также, частично, в Англии и Франции. Ситуация в пользу экранированной техники в вариантах F/UTP или U/FTP начала меняться только в середине первого десятилетия нового века в связи с внедрением технологии 10G Ethernet. Главным стимулирующим фактором увеличения популярности экранированных кабелей стала хорошая защищенность этих изделий от межкабельной переходной помехи, которая

- должна обязательно учитываться на частотах 200 МГц и более;
- в отличие от внутрикабельной не может быть подавлена обработкой принимаемого сигнала в DSP-процессоре приемника сетевого интерфейса.

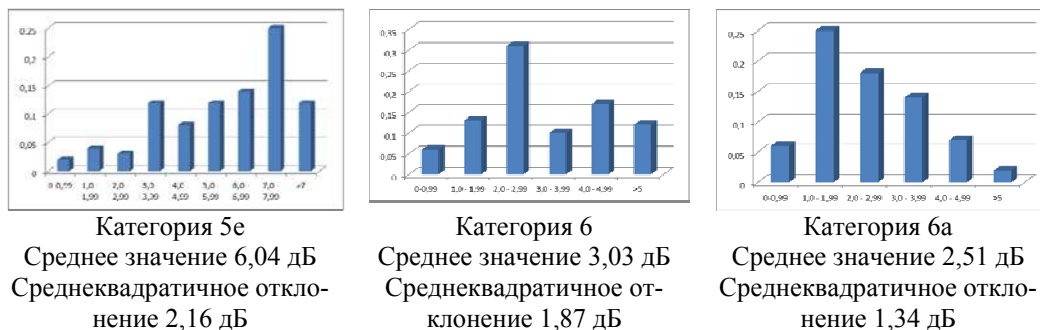
Немаловажное значение имеет также улучшение массогабаритных характеристик. Наличие экрана позволяет отказаться как от сепаратора [8], так и от оболочки с увеличенной эффективной толщиной, что значительно сказывается на диаметре и, соответственно, массе изделия, рисунок 1.



**Рисунок 1 – Варианты исполнения горизонтальных кабелей из витых пар категории 6а: а) U/UTP-конструкция с сепаратором и оболочкой увеличенной толщины с внутренним поверхностным структурированием; б) традиционной U/FTP-конструкция; в) камерное исполнение с S-образным незаземленным экраном; г) плоская конструкция**

Применение экранов классической конструкции затруднено из-за высоких требований к качеству телекоммуникационного заземления и сложности монтажа. U/UTP-кабели традиционной структуры отличаются увеличенным диаметром и малыми запасами по параметрам влияния. Важно то, что по мере роста категории величина запасов падает фактически до уровня, лишь ненамного превышающего

порог точности полевого кабельного сканера [9]. Это наглядно демонстрируют гистограммы рисунка 2. Плоские кабели с рядным расположением отдельных пар (рисунок 1 з), которое также обеспечивает определенные улучшения параметров влияния, очень неудобны в прокладке и имеют исчезающе малое значение для практики.



**Рисунок 2 – Гистограммы типовых запасов по параметру NEXT горизонтальных кабелей из витых пар различных категорий**

Далее рассмотрена конструкция кабеля категории 6a, которая объединяет в себе преимущества отдельных конструкций: хорошие массогабаритные характеристики и запасы по защищенности от переходных влияний экранированных изделий в сочетании с простотой монтажа неэкранированных.

Обращение к категории 6a обусловлено существенным ростом популярности этой техники в последние годы в связи с ростом скоростей обмена данными в ИС. Кроме того, в некоторых областях (ЦОД, лечебные учреждения) стандарты запрещают использовать электропроводные кабельные изделия меньшего уровня.

Функции численной меры эффективности предлагаемых нововведений в части защиты от переходных помех выполняют величины переходного затухания на ближнем конце в обычном и суммарном вариантах: NEXT и PS-NEXT.

Выигрыш по массогабаритным показателям оценивается по внешнему диаметру кабеля.

В качестве прототипа использован круглый в сечении U/UTP-кабель с диаметром токопроводящей жилы (ТПЖ) 0,57 мм, типичными для достигнутого уровня техники параметрами влияния, указанными в таблице 1 и таблице 2, и расчетным внешним диаметром 8,5 мм.

Предлагаемая конструкция изображена на рисунке 1 в и имеет следующие отличия от известных:

- содержит односторонний незаземленный экран разрывного типа;
- реализует камерную схему с двумя групповыми камерами на две витых пары каждая;
- пленочное экранирующее покрытие сформировано по S-образной схеме.

Экран как средство защиты от электромагнитных влияний вне зависимости от формы своего исполнения в общем случае задействует два механизма подавления падающей на него волны: ее отражения и отвода на землю, рисунок 3.

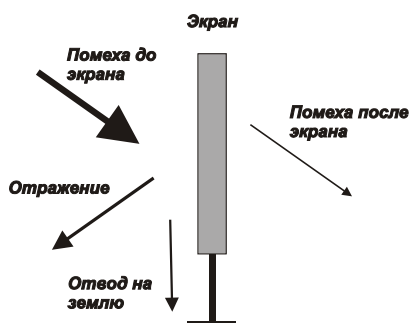


Рисунок 3 – Механизмы защитного действия экрана

Особенностью указанных механизмов является их независимость друг от друга близкая эффективность: помеха подавляется примерно на 20 дБ каждым во всем рабочем частотном диапазоне техники категории ба.

С учетом данных рисунка 2 переход на незаземленные экраны обеспечивает достаточные запасы по параметрам влияния и позволяет отказаться от сложного в реализации отвода на землю тока помехи, наводимого в экране падающей волной.

Известно исполнение незаземленного экрана в форме обычного непрерывного покрытия (компания RiT Technologies). Недостатком такой структуры является то, что он может использоваться только в пространствах с хорошо контролируемой электромагнитной обстановкой, например, в аппаратных залах ЦОД. Это связано с тем, что в общем случае существует конечная вероятность того, что экран за счет образования токовых петель превращается в антенну, собирающей внешнее излучение и транслирующей его на виту пару.

От этого недостатка свободны экраны разрывного типа, представляющие собой совокупность изолированных сегментов относительно небольших размеров. Ограничение сегментов по габаритам используется как средство блокировки токовых петель. Формирование сегментов выполняется по-разному, рисунок 4.

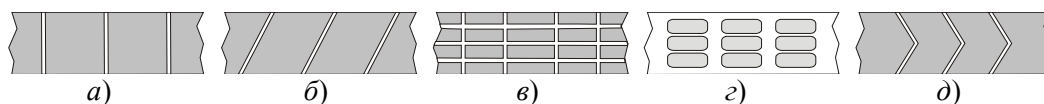


Рисунок 4 – Варианты исполнения разрывных незаземленных экранов: а) линейный (компания Reichle&De-Massari); б) наклонный (компания Draka); в) – з) матричный (компания Panduit); д) шевронный (компания Leviton)

Вне зависимости от формы исполнения сегментов эффективность подавления помехи экраном оказывается примерно одинаковой.

Экранирующая пленка, из которой формируется камерная структура, может иметь одностороннюю и двухстороннюю металлизацию. В данном случае использована односторонняя металлизация. Это оправдано тем, что подобное исполнение пленки

- позволяет добиться требуемого результата с большим запасом;
- дает возможность формировать сердечник в едином технологическом цикле;

- гарантированно обеспечивает отсутствие шунтирования разрывов проводящего слоя пленки без применения дополнительных мер;

- несколько уменьшает внешний диаметр сердечника и кабеля в целом.

S-образная структура экрана с индивидуальными камерами под отдельные витые пары впервые была использована в серийной продукции компанией Draka в самом начале 2000-х гг. в кабеле VasyNet. Разработчик этой конструкции не указал в известной документации конкретные величин параметров влияния, ограничившись только упоминанием о возможности использования изделия при построении домашних сетей.

**Разработка кабельной конструкции с помощью алгоритма распределения отдельных пар по камерам**

Частотная характеристика параметров NEXT и PS-NEXT известна, что позволяет в дальнейшем ограничиться оценкой на единственной частоте  $f = 1$  МГц.

Параметр PS-NEXT согласно стандартам является вычисляемым и находится как

$$PS - NEXT = 10 \cdot \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^4 10^{-\frac{NEXT_{ij}}{10}} \tag{1}$$

В соответствии с требованиями стандартов [10], в основу которых положен принцип «слабого звена», в качестве конечного значения NEXT и PS-NEXT принимаются величины

$$NEXT = \min_{\substack{i,j=1-4 \\ i \neq j}} NEXT_{ij} \tag{2}$$

$$PS - NEXT = \min_{i=1...4} PS - NEXT_i \tag{3}$$

Влияние на дальний конец отдельно не рассматривается. Физика возникновения помехи на ближнем и дальнем концах идентична. Потому следует ожидать, что результаты, полученные для ближнего конца, без изменений транслируются на дальний конец.

Для улучшения параметров влияния задействуется два независимых механизма:

- увеличение расстояния между влияющими парами;
- введение экрана с эффективностью 20 дБ.

При изменении расстояния между парами принималось

$$NEXT' = NEXT + 20 \lg(l'/l)$$

где  $NEXT'$  и  $NEXT$  – величины переходного затухания при расстояниях между парами  $l'$  и  $l$ , соответственно

Нумерация пар кабелей представлена на рисунке 5.

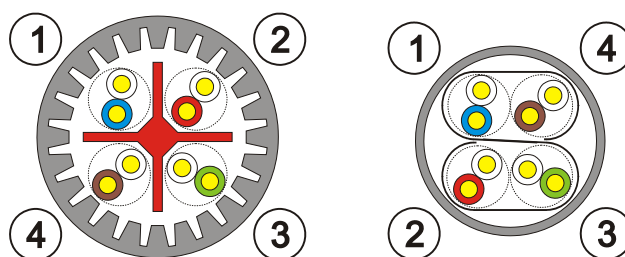


Рисунок 5 – Нумерация пар кабелей

Алгоритм распределения отдельных пар по камерам достаточно прост. В каждую из камер помещаются те пары, у которых у прототипа имеется максимальный NEXT. Далее по диагонали в разных камерах располагаются те пары, NEXT которых имеет меньшее значение.

Сравнительно небольшое количество вариантов комбинаций пар позволяет в процессе выбора мест их расположения в сердечнике обратиться к наглядному методу многоугольных диаграмм, которые сразу же задают пары, распределяемые по разным камерам. Шестиугольная диаграмма межпарных NEXT показана на рисунке 6 а, а четырехугольная параметров PS-NEXT – на рисунке 6 б.

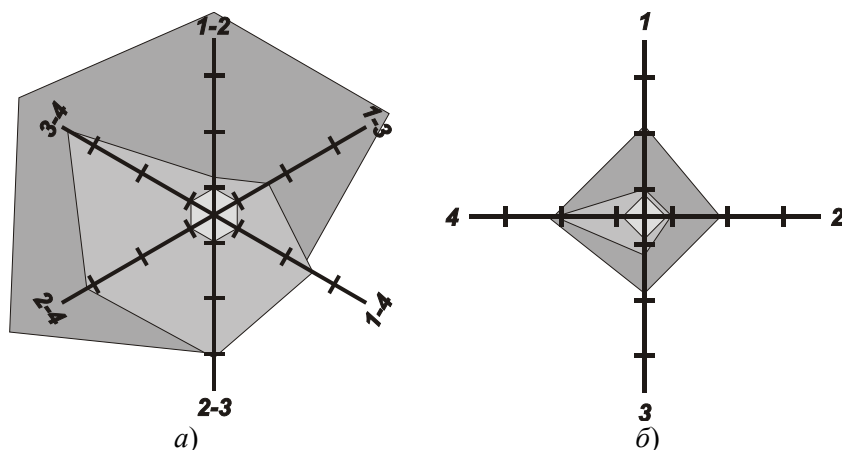


Рисунок 6 – Многоугольные диаграммы параметров влияния:  
а) шестиугольная диаграмма междупарных NEXT; б) четырехугольная диаграмма суммарных переходных затуханий PS-NEXT

На диаграммах рисунка 6 внутренний правильный шестиугольник (ромб) отражает требования стандартов, средний неправильный шестиугольник (четыреугольник) определяет параметры прототипа, а внешний – предлагаемого кабеля. В таблицах 1 и 2 проведен анализ параметров NEXT и PS-NEXT.



**Таблица 1 – Величины NEXT**

Сочетание пар	Значение NEXT, дБ			
	Исходная конструкция	Предлагаемая конструкция	Норма стандарта	Запас/Выигрыш
1 – 2	76,5	95,4	75,3	4,4/3,2
1 – 3	78,8	97,8		
1 – 4	83,7	82,6		
2 – 3	80,8	79,7		
2 – 4	86,7	105,7		
3 – 4	89,7	108,6		

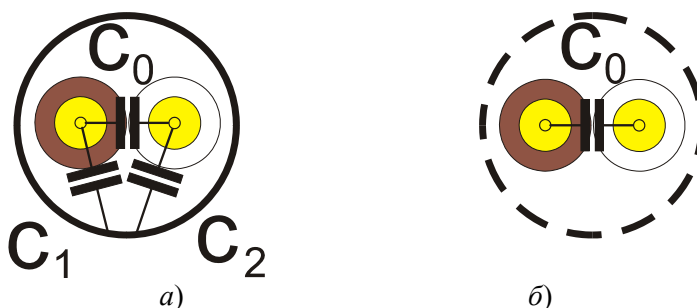
**Таблица 2 – Величины PS-NEXT**

Пара	Значение PS-NEXT, дБ			
	Исходная конструкция	Предлагаемая конструкция	Норма стандарта	Запас/Выигрыш
1	74,1	82,3	72,3	7,3/5,5
2	74,8	79,6		
3	76,5	79,6		
4	81,8	82,6		

**Оценка внешнего диаметра кабеля разработанной конструкции**

Введение экрана оказывает влияние на первичные параметры витой пары как направляющей системы электромагнитных колебаний. Наиболее сильно это влияние проявляется в отношении емкости  $C$ . В качественной форме механизм увеличения емкости демонстрирует рисунок 7, согласно которому для экранированной витой пары классической конструкции имеем:

$$C_{\text{экр}} = C_0 + \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \tag{4}$$



**Рисунок 7 – Отдельные составляющие погонной емкости витых пар:  
а) экранированная; б) неэкранированная**

Из представленного выражения (4) следует, что для получения 100-омного волнового сопротивления, фиксируемого стандартами СКС, спецификациями сетевых интерфейсов, а также стандартами на симметричный кабель из витых пар,

необходимо снизить  $C_0$ . При неизменном сечении медной жилы на основании соотношения

$$C_0 = \frac{0,885\gamma\pi\varepsilon}{\ln \frac{a-r}{r}}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – коэффициент укрутки,

вытекает, что требуемый эффект достигается наращиванием диаметра изолированного провода. С учетом фактической величины диэлектрической проницаемости полиэтилена  $\varepsilon = 2,1$  как наиболее популярного изоляционного материала и величин емкостей  $C_1$  и  $C_2$  диаметр изоляции увеличивается фактически на 10 %.

Дополнительно отметим, что столь малое увеличение диаметра не оказывает влияния на величины NEXT [11].

Геометрические параметры витой пары жестко связаны с ее волновым сопротивлением. Известен ряд аналитических соотношений для расчета этой связи. Из их множества воспользуемся выражением

$$z_\varepsilon = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon}} \ln\left(\frac{a}{d} + \sqrt{\left(\frac{a}{d}\right)^2 - 1}\right), \quad (6)$$

где  $d$  – радиус ТПЖ;  $a$  – расстояние между осями ТПЖ, численно равное диаметру изолированного провода.

Сильной стороной соотношения (6) является то, что оно дает результаты, наиболее близкие к фактическим, достигаемым на практике.

При расчете диаметра кабеля структура сердечника считалась регулярной и плотной, возможные внутренние пустоты отсутствуют. Такие предположения позволяют использовать соотношение:

$$D = d_1(\sqrt{2} + 1) + \sqrt{2}\delta + 2\xi, \quad (7)$$

где  $d_1$  – диаметр витой пары;  $\delta$  – толщина луча звездообразного сепаратора (учитывается при его наличии);  $\xi$  – толщина оболочки.

Результаты расчетов геометрических параметров кабельных структур рисунков 1 а – 1 в сведены в таблицу 3.

**Таблица 3 – Геометрические параметры различных вариантов построения кабелей категории 6а**

Параметр	Вариант исполнения		
	U/UTP	U/FTP	Камерный вариант
Структура	<b>Ошибка! Источник ссылки не найден.а</b>	<b>Ошибка! Источник ссылки не найден.б</b>	<b>Ошибка! Источник ссылки не найден.в</b>
Диаметр ТПЖ, мм	0,57	0,57	0,57
Диаметр по изоляции, мм	1,04	1,15	1,15
Диаметр витых пар, мм	2,1	2,3	2,3
Толщина пленочного экрана, мм	-	0,1	0,1
Диаметр изолированной пары, мм	-	2,4	-
Толщина лучей сепаратора, мм	0,5	-	-
Расстояние между центрами пар, мм	2,6 и 3,7 мм	2,4 и 3,4	2,3; 2,4 и 3,3 *
Диаметр кабельного сердечника, мм	6,3	5,8	5,6 × 5,7*
Толщина оболочки, мм	1,1	0,5	0,5
Общий диаметр, мм	8,5	6,8	6,7

\* учитывается формирование камер структуры из одной пленки, что приводит к некоторой эллиптичности сердечника

### **Заключение**

1. Использование группового незаземленного разрывного экрана с S-образной структурой обеспечивает значимое улучшение параметров влияния 4-парных кабелей из витых пар с сохранением монтажных характеристик U/UTP-конструкций, позволяя добиться существенных запасов.

2. Внедрение незаземленного экрана обеспечивает наибольший выигрыш по параметру суммарного переходного затухания; это имеет особое значение в фокусной области применения изделий, которой является поддержка функционирования высокоскоростных сетевых интерфейсов с параллельной передачей информации по отдельным витым парам.

3. Переход на групповое экранирование позволяет добиться заметного (примерно на четверть) уменьшения внешнего диаметра кабеля, что обеспечивает снижение нагрузки на кабельные трассы, позволяет увеличить степень их заполняемости и т.д.

### *Литература*

1. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы // ДМК-Пресс. 2017. 640 с.
2. Семенов А.Б. Улучшение массогабаритных характеристик типовых горизонтальных кабелей СКС // Информационно-технологический Вестник. № 6(08). 2015. С. 46-59.

3. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Белюченко И.М., Васильев Н.А., Зиновьев В.Н., Стреналюк Ю.В., Вокин Г.Г., Самаров К.Л., Ставровский М.Е., Посерегин С.П., Разумовский И.М., Фоминский В.Ю. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации: монография / под науч. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко // Королев. ГБОУ ВПО ФТА. 2014. 174 с.
4. Умудумов О.Ф., Аббасова Т.С. Технические средства для сервисного обслуживания высокоскоростных электрических трактов СКС // Вестник МГУС. Научный журнал. 2008. № 1(4). С. 77-85.
5. Семёнов А. Б. Классические структурированные кабельные системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. 462 с., ил.
6. Аббасова Т.С., Умудумов О.Ф. Выбор структуры комплекса технических средств для сервисного обслуживания высокоскоростных электрических трактов структурированных кабельных систем // Электротехнические и информационные комплексы и системы». 2007. № 4, т. 3. С. 21-27.
7. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Эффективность защиты от внешних помех электропроводных каналов структурированных кабельных систем для передачи высокоскоростных информационных приложений // Информационные технологии. 2014. № 5. С. 52-57.
8. Семенов А.Б., Фомичев Б.Н. Сепараторы витых пар LAN-кабелей // Вестник связи. 2014. № 9. С. 39-41.
9. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы. 5-е изд. // М.: Компания АйТи; ДМК Пресс. 2004. 640 с.
10. ГОСТ Р 54429-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия // Москва, Стандартинформ. 2012. Дата введения. 2012. 07. 01.
11. Семенов А.Б. Целесообразность введения нового подкласса симметричных горизонтальных кабелей // Кабель-news. 2013. № 1. С. 54-57.

УДК 004.67

## **Концепция и основные требования к ядру территориальной информационной телекоммуникационной сети**

**Ю.В. Стреналюк**, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационных технологий и управляющих систем»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Рассматриваются вопросы формулировки особенностей концепции и ряда требований к перспективному ядру телекоммуникационной сети.*

Информационная телекоммуникационная сеть, концепция, требования.

## **The concept and basic requirements for the core of a territorial information telecommunication network**

**Y.V. Strenalyuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Information Technologies and Control Systems»,  
State budget educational institution higher education of the Moscow region  
«Technological University», Korolev, Moscow region

*The questions of the formulation of features of the concept and a number of requirements for the prospective core of a telecommunication network are considered.*

Information telecommunication network, concept, requirements.

Телекоммуникационная сеть (ТКС) включает в себя:

- *Сети доступа (access network)*, которые объединяют информационные потоки от каналов связи пользователей в немногочисленных узлах магистральной сети;
- *Магистраль (backbone или core network)* связывает сети доступа и соответствующего трафика между ними по высокоскоростным каналам;
- *Ядро сети* с центром (-ами) управления сервисами (*services control point*) и информационными центрами (*data centers*), в котором осуществляется управление и концентрируются информационные ресурсы сети для обслуживания пользователей (рис. 1) [1].

Однако, если сети доступа и ЦОДы имеют значительный уровень стандартизации и развития, то функционал, концепция и требования к ядру ТКС требует актуализации.

### **Цели и задачи ядра информационной телекоммуникационной сети (ТКС)**

Концепция построения ядра информационной телекоммуникационной сети (далее – «ЯТКС») определяет цели и задачи его построения; требования, предъявляемые к нему; и предоставляемые ему ресурсы.

Целью построения ядра является создание информационной среды, обеспечивающей пользователям защищенный, непрерывный доступ к ресурсам и сети Интернет.

Задачами построения ядра являются:

- предоставление всем пользователям доступа к ресурсам ТКС;
- предоставление пользователям доступа к ресурсам глобальной сети Интернет;
- обеспечение защиты и целостности информации, обрабатываемой в сети.

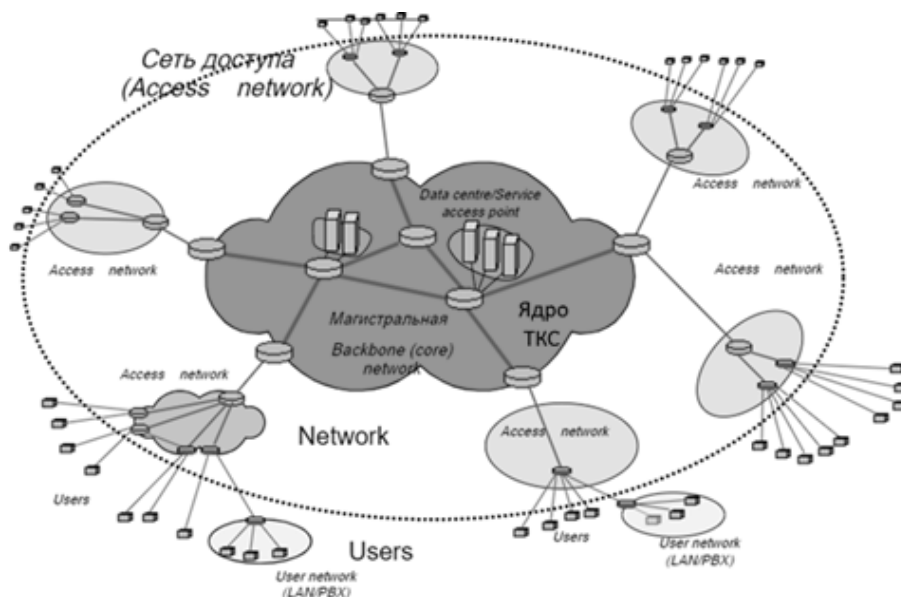


Рисунок 1 – Ядро – сердцевина ТКС

### Построение ядра

Ядро ТКС должно представлять собой совокупность аппаратных, программных, организационных и технологических ресурсов и средств передачи, обработки и хранения информации в рамках выделенной организационной системы (рис. 2).

Составными его частями являются:

- Оборудование, предоставляющее сервисы и ресурсы ЯТКС;
- Коммутационные узлы;
- Сеть передачи данных, состоящая из линий связи и коммутационных узлов.

Комплексное построение ядра ТКС есть значимый проект создания фундамента, определяющего долгосрочное развитие системы информатизации предприятия (территории).

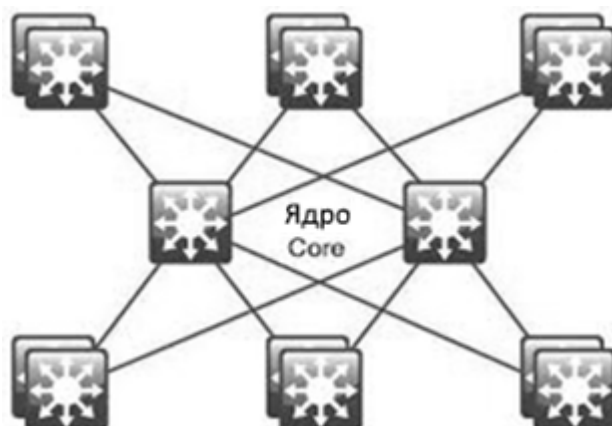


Рисунок 2 – Резервированная структура ядра ТКС

## Основные целесообразные принципы построения ядра ТКС

### 1 Принцип модульности

Принцип модульности ядра ТКС подразумевает под собой внедрение модульной структуры, в которой каждая группа пользователей представляется в виде отдельной компоненты (выделенной сети), в составе которых находятся оконечные устройства доступа (абонентские пункты, потребители услуг). При этом, ядро представляет собой транспортный шлюз между удаленными сетями, для передачи данных как между своими и удаленными модулями, так и между глобальной сетью Интернет и внутренними пользователями (абонентскими пунктами). В таком случае, четко обозначается роль ядра как транспортного канала передачи данных как внутри его, так и с внешними узлами.

### 2 Принцип безопасности и защищенности процессов в ТКС

Безопасность и защищенность процессов, происходящих в ядре ТКС определяет подход к выбору средств защиты и управления сетью с возможностью предупреждения нежелательных ситуаций в работе и мониторинга политики качества обслуживания.

Функцию обеспечения безопасности, надежности и доступности ядра в целом необходимо реализовать на системном уровне. Необходимо разработать методы и средства достижения данной цели отдельно от задач обеспечения безопасности отдельных модулей, которые, в свою очередь, могут иметь собственные средства обеспечения безопасности, не влияющие на систему в целом. Реализация такого подхода обеспечит защищенность всей системы при выходе из строя или нарушении безопасности одного из модулей.

### 3 Принцип построения ядра ТКС обеспечивает:

- единое управление и контроль ресурсов и сервисов ТКС;
- динамическую увязку сетевых адресов и профилей пользователей, а также приложений и информации в каталогах;
- задействование политик качества сервисов, правил доступа к ресурсам и сетевой безопасности;

- обеспечение сетевых администраторов инструментарием распределения ресурсов сети между приложениями и группами пользователей (абонентскими пунктами) и управления этими ресурсами.

#### 4 Принцип многоуровневой логической структуры ядра

Логическая структура ядра ТКС должна позволять распределять решаемые им задачи между оборудованием.

Уровень распределения (см. рис. 3) служит для разделения крупных сетей на отдельные сегменты. На этом уровне осуществляется маршрутизация пакетов между виртуальными сетями. Наличие этого уровня позволяет:

- повысить надежность сети – сегменты сети не зависят друг от друга, отключение одного из них не повлияет на функционирование остальных;
- снизить нагрузку на основной коммутационный узел – трафик между сетями в одном сегменте сети не проходит через основной коммутационный узел;
- увеличить возможности по масштабированию сети – порты в оборудовании коммутационных узлов не используются для подключения оборудования доступа и могут использоваться для подключения новых сегментов сети, которые добавляются в виде независимых блоков.

На уровне ядра обеспечивается маршрутизация пакетов между сегментами сети. Данный уровень является наиболее важной частью ядра и к нему предъявляются наиболее жесткие требования по надежности, производительности, а также по плотности высокоскоростных портов. Оборудование ядра и каналы связи обязательно резервируют для повышения надежности и производительности (за счет распределения нагрузки между оборудованием).

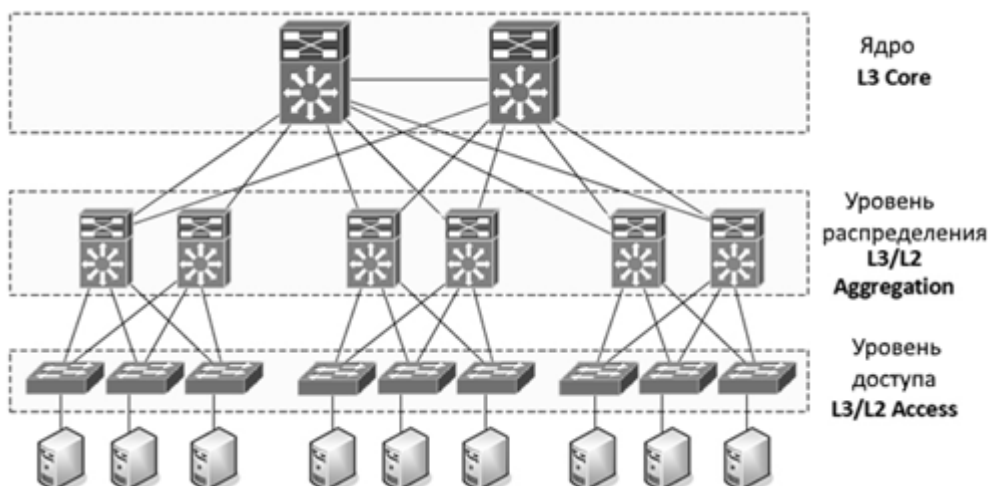


Рисунок 3 – Обобщенные уровни перспективных ТКС

#### 5 Принцип высокой доступности сети

Высокая доступность сети обеспечивается использованием передовых технологий отказоустойчивости. Целесообразно проектировать эту сеть в отказоустойчивом варианте, когда основные и резервные устройства (соединения) одновременно задействованы и осуществляют балансировку нагрузки. В случае же



отказа элементов сети (коммутаторов, соединений) механизмы отказоустойчивости в совокупности с избыточной топологией сети позволят восстановить связь за незначительный промежуток времени.

#### *6 Принцип области публикации внешних сервисов*

Выделение области публикации внешних сервисов определяет необходимость организации общей «демилитаризованной» зоны (DMZ) в ядре ТКС как отдельного виртуального сегмента в сети. На публичных серверах должна быть настроена частная адресация, а публичные адреса из сети внешней адресации должны использоваться на межсетевом экране для статической трансляции в частные адреса (адресный пул для статической трансляции адресов).

#### *7 Принципы организации инженерно-технических средств поддержки бесперебойного функционирования коммутационных узлов*

Главный коммутационный узел соединяется основными магистралями со связующими коммутационными узлами, и считается средством обеспечения ядра, предназначенным для исполнения функций телекоммуникации.

Параметрами построения, необходимыми для непрерывной работы связующих коммутационных узлов являются бесперебойное питание и температурный режим.

#### Бесперебойное питание

Система и источники бесперебойного питания (ИБП) обеспечивают непрерывную работу подключенных к сети устройств в штатном режиме и автономном режиме (за счет аккумуляторных батарей). Используемые ИБП должны иметь модульную архитектуру, обладать потенциалом для быстрого и беспрепятственного расширения. Система ИБП должна функционировать как единый комплекс бесперебойного питания, поддерживать единый стандарт управления и иметь установленную и сконфигурированную систему управления.

#### Температурный режим

Необходимо обеспечивать централизованное охлаждение всего помещения коммутационного узла. Оборудование размещается в стойках, а охлаждение обеспечивает кондиционер. Для охлаждения помещений связующих коммутационных узлов необходимо и достаточно использование в данных помещениях прецизионных кондиционеров. Кондиционеры должны позволять производить регулировку не только температуры воздуха, но и его влажности, с возможностью отдельной регулировки данных параметров.

#### **Центр Обработки Данных (ЦОД)**

Общая идея создания и функционирования ЦОД имеет в виду централизованное использование всех приложений, данных и сервисов в специализированной системе. Это гарантирует единство и целостность информации при выполнении высочайших требований к безопасности, целостности и доступности данных.

ЦОД проектируется как вычислительная инфраструктура, имеющая набор связанных программных и аппаратных компонентов, организационных процедур, мест локации и персонала, которая предназначена для безопасной централизованной обработки, хранения и предоставления данных для сервисов и приложений.

Построение ЦОД ядра сети согласуется с общей стратегией построения ТКС, при этом обеспечивается рациональное использование как вычислительных ресурсов, так и баз данных, входящих в состав информационной поддержки при-

кладных и системных сервисов. ЦОД обеспечит решение текущих и перспективных задач, возникающих при решении задач передачи данных.

### **Главные задачи ЦОД**

#### Общее хранение и обработка данных

При построении ЦОД ЯТКС необходимо предусмотреть возможность предоставления пользователям ядра пространства для хранения информации и вычислительных мощностей для ее обработки с долгосрочной перспективой функционирования.

#### Обеспечение функционирования прикладных сервисов

Необходимо заложить в ЦОД функциональную возможность поддержки WEB-сервисов.

#### Обеспечение функционирования системных сервисов

Для увеличения пропускной способности ядра, а также для снижения нагрузки на коммутационное оборудование, в ЦОД необходимо включить DNS-сервер с возможностью автоматического обновления зон с серверов включенных сетей.

Для наиболее эффективного управления ресурсами ядра, а также снижения сроков реагирования на возникающие инциденты, в ЦОД необходимо включить программно-аппаратный комплекс для размещения сетевой программной инфраструктуры управления и мониторинга ядра ТКС.

Для повышения скорости загрузки WEB-страниц из сети Интернет, в ЦОД необходимо предусмотреть возможность использования технологий кешируемых прокси-серверов.

### **Конфигурация верхних уровней ТКС**

За основу проекта по изменению конфигурации ТКС целесообразно принять *программно-конфигурируемую сеть* (ПКС). Для достижения целей ТКС данная технология позволит построить на динамическую сеть, сделает её удобной в управлении, а также сократит время реакции персонала на критические ситуации в сети.

«Программно-конфигурируемая сеть (SDN от англ. *Software-defined Networking*) – сеть передачи данных, в которой уровень управления сетью отделён от устройств передачи данных и реализуется программно» [2].

Иными словами, программно-конфигурируемая сеть может управлять сетью отдельно от сетевых устройств продвижения информации в каналах связи, или может программироваться. Такое изменение места управления от конкретных сетевых устройств к новым и доступным устройствам позволяет сетевым сервисам и приложениям отмежеваться от физического оборудования и рассматривать сеть иную виртуальный и логический объект.

На рисунке 4 представлен вариант логической структуры архитектуры ПКС.

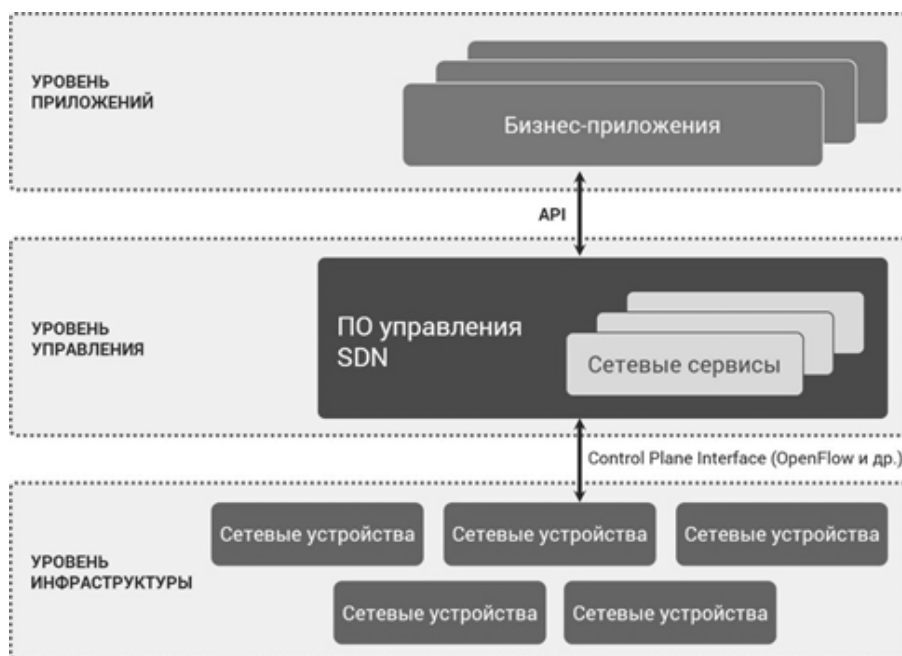


Рисунок 4 – Логическая структура программно–конфигурируемой сети (SDN)

Современные сетевые устройства (коммутаторы, маршрутизаторы) логически состоит из трех компонентов (см. рис. 5).



Рисунок 5 – Компоненты современных сетевых устройств SDN

Это:

1. Уровень управления – это интерфейс командной строки (*Command line interface, CLI*), или встроенный веб-сервер, или интерфейс программирования приложений *Application Programming Interface, API* и протоколы управления. Задача данного уровня обеспечить управляемость устройством;
2. Уровень управления трафиком – это «разум» устройства – т.е. алгоритмы и функционал для автоматической реакции на изменения трафика.
3. Передача трафика – функционал обеспечения физической передачи данных (т.е. уровень микросхем и сетевых пакетов).

Технология программно-конфигурируемых сетей на сегодняшний день используется такими компаниями как «Google», «Яндекс» и многими другими. В настоящее время можно определить профили типичных пользователей сетей SDN, и определить критерии оценки, на которые они ориентируются в своем развитии.

### **Результаты реализации концепции и требований**

Построение ядра ТКС направлено на реализацию принципов открытости и доступности ресурсов сети и внедрения соответствующих механизмов управления, мониторинга и защиты системы.

Концепция построения ядра предполагает создание его программно-технологической базы с целью качественного и эффективного функционирования сети.

Учитывая масштабность и сложность задач, связанных с построением ядра ТКС, эти задачи целесообразно решать в рамках единого проекта.

В результате можно ожидать:

- создание эффективно действующего программно-аппаратного базиса для поддержки и развития информационно-коммуникационных технологий в деятельности абонентской базы сети;
- обеспечение качества процессов ядра ТКС, простоты администрирования, отказоустойчивости, централизованный контроля ресурсов ТКС;
- обеспечение безопасности и защищенности процессов, происходящих в ТКС;
- обеспечение высокой пропускной способности ТКС.

### *Литература*

1. Аббасова Т.С., Мороз А.П., Белюченко И.М., Стреналюк Ю.В. Разработка требований к программно-техническим средствам информационно-телеметрических систем // Информационно-технологический вестник. Королев МО: МГОТУ. № 1(11). 2017. с.55-67.
2. Информационные технологии и управляющие системы: монография. Под науч. ред. Докт. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко // М: Издательство «Научный консультант». 2015. 185 с.
3. Олифер В., Олифер Н. 0-54 Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. // СПб.: Питер. 2016. 992 с.: ил.
4. Смелянский Р.Л. Проблемы современных компьютерных сетей // Труды XIX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика 2012» // СПб: СПбГУ ИТМО. 2012. Т. 1.
5. Современные информационные технологии. Под науч. ред. Докт. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко // М.: Издательство «Научный консультант». 2015. 190 с.
6. Стреналюк Ю.В., Копылов О.А., Штрафина Е.Д. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Часть 1 Вычислительные системы и ЭВМ. Учебник для студентов высших учебных заведений // Королевский ИУЭС. 2011. 318с.
7. Стреналюк Ю.В. Сети ЭВМ: Учебное пособие // Ярославль-Королев МО: Изд-во «Канцлер». 2009. 134 с.

УДК 004.896

**Современные тенденции развития искусственного интеллекта:  
накопленный опыт, проблемные вопросы и перспективы**

**А.И. Сухотерин**, кандидат военных наук, доцент кафедры информационной безопасности,

**Е.В. Ерёмкина**, специалист в сфере информационных технологий,

**С.А. Кручинина**, магистрант 2 курса кафедры информационной безопасности,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В данной статье рассматриваются современные тенденции развития искусственного интеллекта: проанализированы результаты научно-исследовательской деятельности в данной сфере за последние несколько лет; выявлены проблемные вопросы, решение которых позволит достичь значительных успехов в развитии данной технологии; сформулированы перспективы дальнейшего развития искусственного интеллекта как науки и технологии.*

Искусственный интеллект, накопленный опыт, проблемные вопросы, перспективы развития.

**Modern trends in the development of artificial intelligence:  
accumulated experience, problematic issues and prospects**

**A.I. Sukhoterin**, c.m.s, docent of the Department of information security,

**E.V. Eremina**, specialist in the field of information technology,

**S.A. Kruchinina**, MSC 2<sup>nd</sup> courses of the Department of information security,

State Educational Institution of Higher Education

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

*This article deals with the modern trends in the development of artificial intelligence: were analyzed the results of research activities in this area over the past few years; identified problematic issues, the solution of which will allow achieving significant success in the development of this technology; were formulated the prospects of further development of artificial intelligence as a science and technology.*

Artificial intelligence, accumulated experience, problematic issues, prospects of development.

Интеллект – это психическая составляющая человека, обладающая определенными способностями (рис. 1).

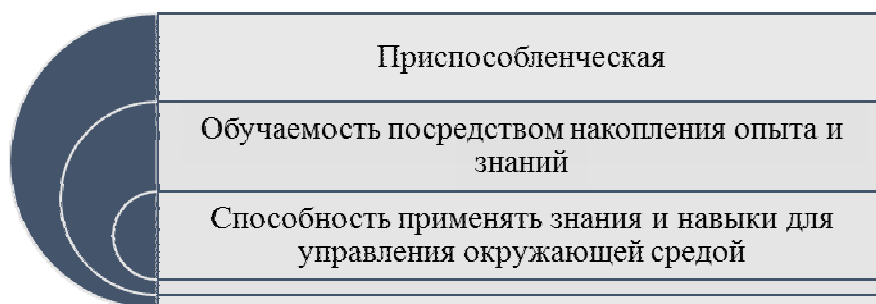


Рисунок 1 – Интеллектуальные способности человека

Интеллект сочетает в себе способности человека к познанию действительности, позволяет человеку мыслить, запоминать новую информацию, воспринимать окружающую среду и т.д.

Искусственный интеллект (далее – ИИ) – это направление научной мысли, а также технология создания интеллектуальных машин (в том числе компьютерных программ). Данный термин впервые использовал Джон Маккарти в 1956 году на конференции в Стэнфордском университете. Целью конференции, на которой присутствовали Тьюринг, Шеннон и другие известные исследователи того времени, являлось обсуждение возможности реализации ИИ. На текущий момент работы над ИИ производятся путем создания новых программ и алгоритмов, решающих задачи также, как это сделал бы человек.

Так сложилось, что понимание ИИ, его конечных функций и рисков у каждого свое. Эксперты тоже не могут предложить однозначных трактовок. Понятие «искусственный» является достаточно конкретным – подобный человеческому (естественному, натуральному). В то время как понятие «интеллект» трактуется как «умственное начало» или «умственная способность», что дает возможность интерпретировать его по-разному.

Исходя из данного аспекта, возникает актуальный и один из принципиальных вопросов понимания ИИ. Существующий тренд исследований в ИИ направлен исключительно на решение технологических задач, в то время как человеческий интеллект преимущественно ориентирован на решение личных, общественных и социальных проблем. Совершенствуясь технологически, мы пропорционально умножаем социальные риски, такие как кризисы, конфликты и т.д. Исходя из этого, логичной целью создания ИИ можно считать инструмент решающий исключительно социальные проблемы. Это связано с тем, что вопрос социального характера «Что будет, если...?» для человека гораздо важнее технологического вопроса «Сколько будет...?». На данном этапе становления и развития общества кибернетики успешно справляются с созданием любых приложений и траекторий математического порядка. Однако описать на языке программирования различные социальные процессы и явления и тем самым предвосхитить в будущем частное или государственное потрясение и т.д. (его амплитуду, фазу и частоту), на любом временном этапе не представляется возможным. Это означает, что имеющиеся сейчас «умные» изобретениями (устройства, дома, роботы и т.п.), на самом деле таковыми не являются, ввиду того, что они не способны проанализировать

зирать опыт прошлого и текущую ситуацию (настоящее) для стратегического прогнозирования будущего.

Проблеме ИИ уже более 70 лет. Успешно решен целый ряд задач: термоядерный синтез, исследование кода ДНК, космические программы, и прочие. Эти вопросы решались в основном на уровне государств. В современном же мире данные вопросы подлежат рассмотрению и детальному изучению не только на уровне государств, но и на уровне отдельных компаний, корпораций (рис. 2).



Рисунок 2 – Сферы применения ИИ

Объемы инвестиций в данную проблему достигают гигантских размеров и превышают суммарные затраты всех предыдущих научных открытий (рис. 3). И это далеко не предел.



Рисунок 3 – Объем мирового рынка ИИ

По данным международной компании PwC, в первые три месяца 2018 года был поставлен рекорд по финансированию в области искусственного интеллекта – общий объем инвестиций превысил 1,9 млрд. долларов. Рост по сравнению с аналогичным периодом 2017 года составил 69%. В области искусственного интеллекта PwC выделяет два направления – автоматизация рутинных задач интеллект-

туальной деятельности и развитие беспилотников на базе технологии компьютерного зрения. По первому из направлений инвестиции на ранней стадии привлекли компании Mabl (автоматизация процесса тестирования в разработке ПО – 10 млн. долларов), AllyO (ассистент-рекрутер для поиска и найма сотрудников – 14 млн. долларов), Astound.ai (автоматизация рутинных процессов компании – 11,5 млн. долларов) [2].

Тем не менее, существенного скачка в изучении и развитии ИИ совершить не удалось, поскольку все доклады о достижениях в данной сфере, по сути, являются мифом. Речь в них, как правило, идет о банальной комбинаторике – о все более совершенных продуктах-калькуляторах, направленных на решение технологических задач сомнительной значимости. Сомнительной, из-за отсутствия технологии «стендовых испытаний» на предмет их безопасности в будущем. Поскольку отсутствуют тестирующие алгоритмы причинно-следственных связей. Наблюдается парадокс корпоративной этики. Соискатели осваивают инвестиции, рапортуют об очередном «прорыве», но при этом все, кроме инвестора, знают, что он ИИ не является. В чем причины такого положения дел? Их много, но особого внимания заслуживают следующие. Во-первых, отсутствует четкое определение понятия искусственный интеллект. Во-вторых, однозначное понимание о том, что такое интеллект также отсутствует. В-третьих, нет главного – фундаментальной теории ИИ. В итоге, отсутствует четкая архитектура цели. Есть только версии, не работающая парадигма ИИ, шаблонность эволюции проблемы, т.е. только в технологической плоскости. Как результат, разработчики не имеют четкого представления о конечных характеристиках и функциях инструмента. Соискатели ИИ, в свою очередь, с готовностью обещают реализовать нечто, не имеющее научного описания. И это достаточно печальный факт.

Почему же сейчас понятие ИИ рассматривается только как «интеллектуальные приложения» для техники? Все началось с легендарного взломщика «Энигмы» А. Тьюринга, который заложил основы кибернетики, но что имеет более глубокие последствия, дал «ложный след»: «тест Тьюринга» и понимание ИИ. Тест Тьюринга – эмпирический тест, идея которого была предложена Аланом Тьюрингом в статье «Вычислительные машины и разум», опубликованной в 1950 году в философском журнале *Mind*. Тьюринг задался целью определить, может ли машина мыслить.

Однако не стоит забывать, что были и противоположные подходы к пониманию возможностей ИИ. Одной из таких идей была так называемая китайская комната. Китайская комната – мысленный эксперимент в области философии сознания и философии искусственного интеллекта, впервые опубликованный Джоном Сёрлом в 1980 году. Основная цель данного эксперимента заключается в опровержении утверждения, что машина, обладающая «искусственным интеллектом», запрограммированная особым образом, способна обладать сознанием в том же смысле, в котором им обладает человек. Иначе говоря, ключевая цель – опровержение гипотезы «сильного» искусственного интеллекта и критика теста Тьюринга [5].

Такие противоречия ставят под сомнение достижение 2014 года, когда компьютерной программе («Юджин Густман», Евгений Густман, Eugene Goostman), созданной командой российских программистов удалось успешно



пройти тест Тьюринга в Королевском обществе в Лондоне. Кроме того, они привели к тому, что многие годы вводные параметры ИИ были не преодолимы для соискателей и тогда понятие ИИ просто расширили. Заманчивые перспективы ИИ решили проблему инвестиций, а сложность темы для обывателя сделала из кибернетиков фактических монополистов так называемого ИИ. В результате, на конвейер поставлены так называемые «интеллектуальные приложения», но ИИ нет.

Таким образом, можно сделать небольшой вывод – кибернетики успешно работают в системе «да-нет», но осмыслить, понять и принять то, что заключено между этими символами (смыслы, сущности, аллегии, абстракции и т.д.) они не могут по определению. Глубина темы ИИ позволяет маневрировать соискателям фигурами речи, но не смысловым содержанием. Ведь речь идет о создании инструмента эквивалентного и превышающего аналитические возможности человека. Другими словами, ИИ – это командная работа социологов, философов, психологов, историков и т.д. Только они могут наполнить ИИ смысловым содержанием, то есть сделать из «высокотехнологичного калькулятора» искомый ИИ. Кибернетика – это лишь операционная база «одевающая» мысль в цифру.

Возникает вопрос порядочности в исследовательской среде. Да, достижения кибернетики высоки. Ими созданы боеголовки, компьютеры, приложения, умные дома, светофоры и т.д. Но к ИИ это не имеет никакого отношения. По сути, все новое в разработках ИИ обречено функционировать по принципу калькулятора. Другими словами, справедливое название их темы – искусственная комбинаторика.

Тем не менее, стоит отметить, что уже многие годы исследователи и разработчики ИИ пытаются создать искусственный интеллект, который мог бы воспринимать, изучать и рассуждать как человек. Общий интеллект – это их основная цель. Под общим интеллектом имеется ввиду включение в робототехнику таких аспектов, которыми обладают только люди, как: социальный интеллект (способность правильно понимать людей), рассудительность, здравый смысл, творческое мышление, мудрость, умение чувствовать.

Стоит сказать, что создатели ИИ добились неких результатов, и уже в настоящее время существуют программы, имеющие некий интеллект. Примером является программа Deep Blue компании IBM, которая смогла победить чемпиона мира по шахматам.

Нужно или нет создавать машину, способную мыслить? С давних пор человек проявлял интерес в создании двойника, способного мыслить и рассуждать. Однако отвечая на этот вопрос мнения людей расхожи. Одни считают, что без применения ИИ прогресс невозможен, другие же, что ИИ может только навредить. При решении данного вопроса следует понимать, что ИИ имеет как ряд преимуществ, так и ряд недостатков. Все риски должны быть тщательно взвешены, прежде чем применять ИИ в помощи человеку [1].

Далее на рисунке 4 отображено мнение авторов о плюсах и минусах внедрения ИИ.

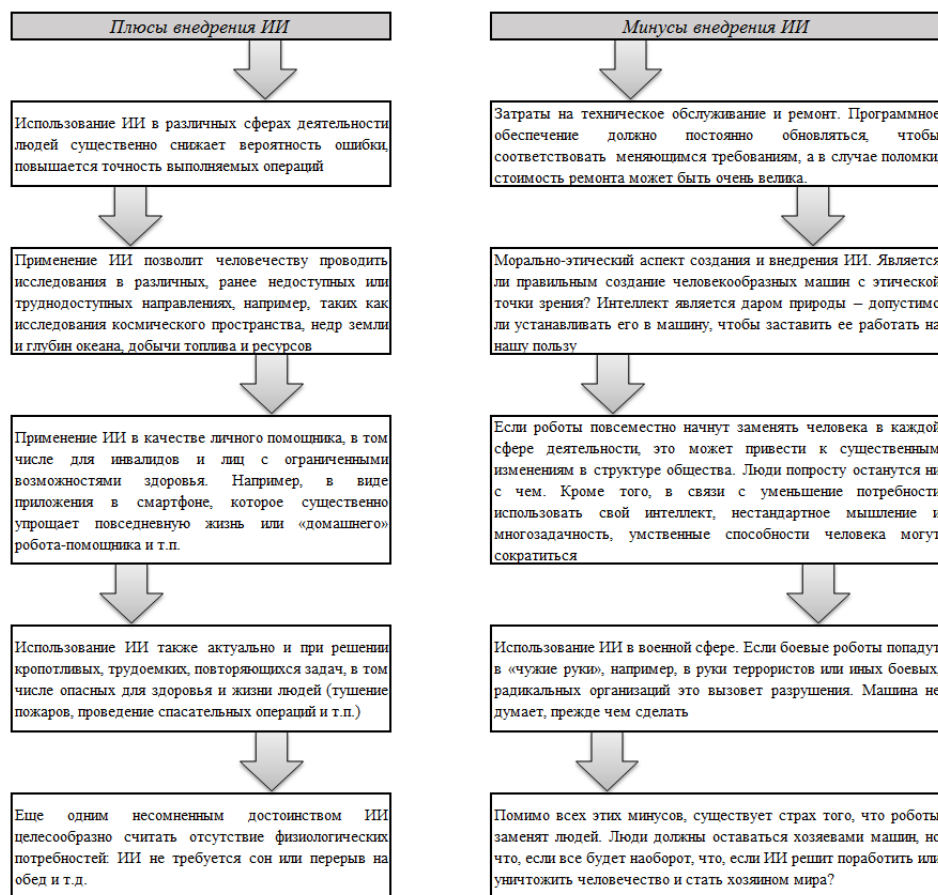


Рисунок 4 – Положительные и отрицательные аспекты внедрения ИИ

Таким образом, на основе вышеизложенных положительных и отрицательных аспектов внедрения ИИ, можно сформировать определенные перспективы развития данной сферы как науки и технологии.

По мнению авторов, основными перспективами целесообразно считать следующие ключевые аспекты развития сферы ИИ как науки и технологии:

1. ИИ способен обманывать: такое поведение, характерно не только человеку, но и животным (к примеру, белки или птицы, прибегают к ней ради выживания);

2. ИИ изменят существующую структуру общества: существуют опасения, что роботы с ИИ сотрут человечество с лица земли, но ученые утверждают – человечеству следует опасаться другого – машины захватят рабочие места. Многие эксперты полагают, что достижения в сфере ИИ и автоматизации могут привести к потере людьми своих рабочих мест – их заберут машины. Тоже касается, например, налоговой системы (ведь роботы не платят налоги) и изменений существующей структуры общества (решение проблемы безработицы и т.п.);

3. ИИ станут умнее хакеров-людей: в августе 2016 года семь команд приняли участие в Cyber Grand Challenge, проводимом DARPA. Ключевая цель и за-

дача конкурса – создание разумного ИИ для взлома, способного поражать уязвимости врагов и одновременно находить собственные слабые места в интересах защиты собственной производительности и функциональности [4]. Несмотря на то, что хакеры-ИИ разрабатываются в интересах общего блага всех людей, стоит отметить, что в «чужих руках» их сверхразумные системы будут сеять хаос и разрушения;

4. ИИ начинают понимать поведение людей: являясь одной из самых влиятельных и мощных социальных медиаплатформ современности, Facebook, во главе с Марком Цукербергом разрабатывает ИИ способный понимать наше поведение. На основе анализа действий пользователей при посещении Facebook, ИИ выдает рекомендации о том, что могло бы соответствовать их индивидуальным предпочтениям;

5. ИИ становится все более похожим на человека: внешний вид ИИ все более становится похожим на человека (тон кожи, волосы, взгляд и т.п.). ИИ с легкостью справляется с элементарными действиями людей – приветствие, зрительный контакт, поддержание беседы (в том числе и на основе результатов предыдущих бесед);

6. ИИ способны испытывать чувства: интеллект или внешний вид уже не являются отличительными особенностями человека. На данном этапе развития информационных технологий учеными уже разработан ИИ все более похожий на человека. Единственным отличием остается пока что способность испытывать чувства, эмоции. Но и эта особенность вскоре может стать присуща не только человеку;

7. ИИ может проникнуть в наше сознание: возможность выучить иностранный язык за секунды или получить информацию, просто загрузив ее в мозг, представляется прекрасной возможностью. И данное утверждение вполне может стать возможным уже в ближайшем будущем. Рэй Курцвейл, футуролог, изобретатель и технический директор Google, предсказывает, что к 2030 году «наноботы, имплантированные в наши мозги, сделают нас богоподобными» [4]. Создание подобного рода технологий позволит получать, запоминать и хранить информацию больших объемов непосредственно в голове, а также «загружать» в считанные секунды любую другую информацию, в том числе фото, видео, письма и т.д.;

8. ИИ становится оружием: применение ИИ в боевых действиях (в военных целях) позволит сохранить сотни тысяч жизней, но оружие, обладающее разумом и выступающее самостоятельно, представляет угрозу даже для своих создателей;

9. ИИ начнет «учиться не тому»: обучение ИИ человеческим ценностям представляет серьезную опасность, поскольку, вспоминая историю, можно найти факты того, что, даже изучая примеры «правильного» и «неправильного» поведения, поступков людей и т.п., человечество по-прежнему способно творить зло. Если люди способны на такое зло, что мешает мощному ИИ делать то же самое?

Таким образом, исходя из вышеизложенного, стоит отметить, что, несмотря на все достижения в области ИИ как науки и технологии, существующие отрицательные аспекты не должны оставаться без внимания. Развивая данную технологию необходимо тщательно подойти к исследованию всех рисков, связанных с ней, особенно к социальным проблемам, которые по сравнению с технической

составляющей данной сферы, изучены недостаточно. Главной из таких проблем следует считать развитие человеческого интеллекта. Повсеместное применение ИИ приводит к тому, что наши интеллектуальные способности снижаются, ввиду того, что ИИ выполняет всю работу за нас. Человеческий мозг перестает выполнять сложные операции, как следствие перестает учиться. Известный советский и российский ученый в области нейронауки и психолингвистики, а также теории сознания Т.В. Черниговская, сказала: «Мозгу должно быть трудно, только тогда он улучшается» [3].

Что же касается технической составляющей ИИ как науки и технологии, важно отметить, что, невозможно совершить прорыв в данной сфере, называя все автоматизированные технологические процессы и инновации ИИ. Происходящее в современном мире можно назвать лишь вступлением в ИИ. Проблематика ИИ носит глобальный характер и несомненно может привести к изменениям статуса человека – предполагает его трансформацию. Каждый ее сегмент обязывает иметь фундаментальную теорию. Например, пресловутая «красная кнопка», база которой – теория «баланса» (активного равновесия). На выходе у человечества продукт, в разы превышающий по мощности, последствиям и рискам все известное. Армия инвестируемых соискателей рвется открыть «ящик Пандоры» не имея ни малейшего представления о его содержимом.

#### *Литература*

1. Емцев Д.И. Искусственный интеллект, плюсы и минусы // Журнал «Экономика и социум». № 8(27). 2016.
2. Кузнецова Н. Инвестиции в искусственный интеллект бьют рекорды // Инвест-Форсайт – федеральный деловой интернет-журнал об инвестициях, инновациях и финансах. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.if24.ru/investitsii-v-iskusstvennyj-intellekt-byut-rekordy/> (дата обращения 09.09.2018).
3. Черниговская Т.В. Что мы будем делать с искусственным интеллектом, у которого есть свои планы? // Публикация на VI Санкт-Петербургском международном культурном форуме. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://econet.ru/articles/179711-tatyana-chernigovskaya-chto-my-budem-delat-s-iskusstvennym-intellektom-u-kotorogo-est-svoi-plany> (дата обращения 09.09.2018).
4. Хель И. 10 важных, но пугающих успехов в развитии искусственного интеллекта. //Hi-News. Новости высоких технологий. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hi-news.ru/technology/10-vazhnyx-no-pugayushhix-uspexov-v-razvitii-iskusstvennogo-intellekta.html> (дата обращения 09.09.2018).
5. Дэвид К. «The Chinese Room Argument» //Стэнфордская философская энциклопедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://plato.stanford.edu/entries/chinese-room/> (дата обращения 09.09.2018).

УДК 539.234

**Сравнение вакуумных методов напыления для получения жаропрочных слоистых композиционных материалов типа оболочечных конструкций**

**Т.Н. Антипова**, доктор технических наук, профессор,

**А.А. Лабутин**, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В работе рассмотрены основные методы формирования слоистых композиционных материалов (СКМ). Оценены достоинства и недостатки этих методов. Проведены эксперименты по получению лабораторных образцов СКМ на основе тугоплавких металлов Nb-Mo. Проведено исследование микроструктуры образцов.*

Слоистый композиционный материал, тугоплавкие металлы, металлокомпозит, ионно-плазменное напыление, технологический процесс.

**Comparison of vacuum deposition techniques to obtain high-temperature scm type shell structures**

**T.N. Antipova**, Doctor Technical Science, Professor,

**A.A. Labutin**, a graduate student,

State Educational Institution of Higher Education

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

*The paper considers the main methods of formation of layered composite materials (SCM). The advantages and disadvantages of these methods are presented. Experiments were carried out to obtain laboratory samples of SCM based on refractory metals Nb-Mo. A study of the microstructure of samples was carried out.*

Layered composite material, refractory metals, metal composite, ion-plasma spraying, technological process.

На протяжении долгих лет ведутся разработки и изучение новых материалов, взаимодействия их с металлами и между собой, которые можно применить для получения новых, более прочных, конструкционных материалов для достижения требуемых свойств в современной космической отрасли. Одним из направлений получения такого материала является формирование слоистого композиционного материала (СКМ) вакуумным осаждением. Разработка и производство изделий новой техники все в большей степени ориентируется на использование композиционных материалов, которые позволяют реализовать комплекс необходимых эксплуатационных свойств, недоступный при использовании традиционных конструкционных материалов. Композиционные покрытия могут состоять из

двух или более отдельных покрывающих материалов, нанесенных послойно. Преимущество таких покрытий в том, что их можно получить из тугоплавких, труднообрабатываемых металлов и на их основе изготовить различные малогабаритные детали, типа тел вращений с диаметром критической части от 0.8мм до 2.5мм, которые применяются в двигательных установках (ДУ). Учитывая огромную важность работоспособности любого элемента в ДУ, при изготовлении каждой такой детали необходимо контролировать, соблюдать и совершенствовать процессы их получения.

В настоящее время разработаны различные способы получения слоистых композиционных материалов [1], в том числе с использованием в качестве компонентов тугоплавких металлов (Nb, Mo, W). Некоторые из этих слоистых материалов находят применение в изделиях ракетно-космической техники (РКТ) с рабочей температурой свыше 1200 °С.

В практике металлургического производства для получения слоистых композиционных материалов применяется литейное плакирование, совместная пластическая деформация металлов в горячем и холодном состоянии, в том числе в вакууме и контролируемых средах путем пакетной прокатки и сварки взрывом, сварки трением, диффузионной сварки и др.

Металлургические методы получения многослойных конструкционных композиционных материалов основаны на использовании готовых слоев из разнородных материалов, например, в виде фольг, наименьшая толщина которых составляет десятки микрон. Слои собирают в пакет и соединяют их между собой тем или иным способом, при этом толщина слоев в готовом композиционном материале либо остается неизменной, либо может уменьшиться (например, при прокатке пакета из слоев пластичных металлов), оставаясь при этом, как правило, в микрометровом диапазоне.

Для формирования СКМ подходят известные методы получения многослойных жаростойких, износостойких и др. покрытий путем газофазного осаждения (напыления) материалов на подложку.

Композиционный материал может быть сформирован любым методом, при котором структура каждого слоя формируется на подложке посредством выстраивания атома за атомом с относительно низкой скоростью нанесения. Поэтому получение композиционных материалов – длительный процесс.

Наиболее универсальными с точки зрения возможности осаждения тугоплавких металлов и соединений являются методы высокотемпературного распыления, в основе которых лежат процессы нагрева и диспергирования (распыления) материала тем или иным способом, при этом поток частиц направляется в сторону напыляемой поверхности.

В состав этой группы методов входят методы газотермического напыления, среди которых наибольшее распространение получило плазменное напыление в силу своей высокой производительности и универсальности по напыляемым материалам, обусловленной высокой температурой газового потока, обеспечивающей расплавление практически любых материалов [2].

Нагрев плазмообразующего газа (используются аргон, азот, водород, гелий и их смеси) происходит в столбе дуги, которая возбуждается в дуговом плазмотроне между вольфрамовым катодом и медным анодом (соплом). Под срез со-

пла плазмотрона в высокотемпературный газовый поток подается напыляемый материал в виде проволоки или порошка. Расплавленные частицы материала разгоняются до высоких скоростей в потоке газа, направленном на напыляемую поверхность, ударяются об нее и кристаллизуются.

Метод плазменного напыления достаточно широко используется как для нанесения защитных покрытий на поверхность теплонапряженных деталей, так и для получения теплонапряженных деталей из тугоплавких металлов.

В последнем случае напыление материала производится на оправку, повторяющую форму детали, затем оправка удаляется тем или иным способом.

Например, подобным образом изготавливают вольфрамовые сопла ракетных двигателей.

Вместе с тем, технологическая схема получения деталей напылением тугоплавких материалов на технологическую оправку может служить прототипом для разработки технологических процессов получения слоистых композиционных материалов, а также в виде защитных покрытий на их поверхности.

Технологическая оправка в подобном технологическом процессе требует особого внимания, прежде всего с точки зрения возможности ее отделения от готового изделия после напыления.

Что касается метода напыления тугоплавких компонентов слоистых композиционных материалов, то для этой цели применяются в основном методы вакуумного напыления (вакуумной конденсации). Это группа методов, в основе которых лежат физические процессы испарения и распыления материалов в вакууме, получение потока микрочастиц (атомы, молекулы, ионы) с заданной плотностью, энергией и составом и осаждение (конденсация) их на подложке. Природа и размеры осаждаемых микрочастиц позволяют создавать слои напыляемых материалов толщиной, лежащей в нано-размерном диапазоне. Формирование покрытий из пара обуславливается рядом элементарных процедур, основными из которых являются адсорбция, поверхностная диффузия, образование зародышей и их рост до образования непрерывного слоя.

В настоящее время слоистые композиционные материалы на основе тугоплавких компонентов представлены жаростойкими и износостойкими покрытиями, содержащими слои твердых соединений. В качестве примера на рисунке 1 схематически показана структура подобных покрытий.

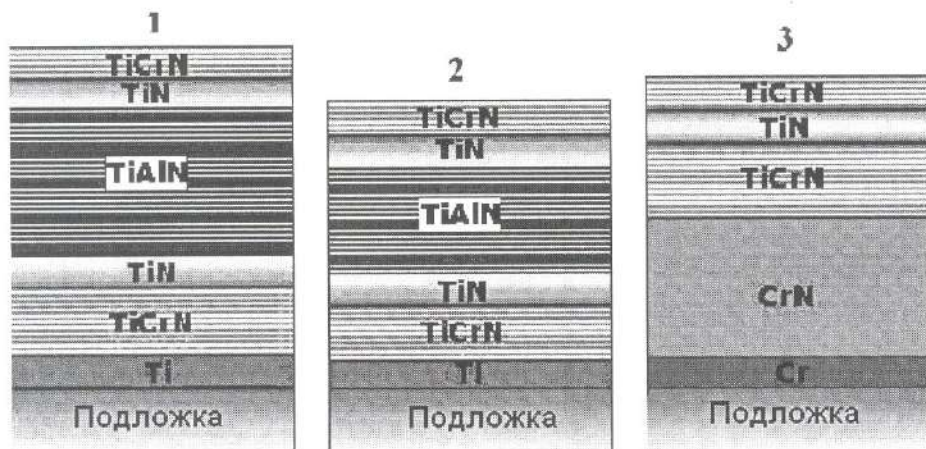


Рисунок 1 – Схематическое строение композиционных покрытий

- 1 – покрытие на режущий инструмент, обрабатывающий сталь  
 2 – покрытие на режущий инструмент, обрабатывающий сплавы алюминия  
 3 – покрытия на штампы для горячей деформации сталей

Функциональный слой TiAlN, обеспечивающий износ- и жаростойкость, содержит от 100 до 1000 нанослоев.

Получение таких покрытий осуществляют методами вакуумного напыления (вакуумного конденсационного нанесения) [3,4].

К преимуществам вакуумного напыления относят:

- высокую плотность и механические свойства напыленного материала;
- чистоту процесса;
- широкий класс напыляемых материалов;
- возможность получения в покрытиях соединений - карбидов, нитридов, окислов и др.;
- нанесение тонких достаточно равномерных покрытий.

Недостатком считается сложность применяемого оборудования.

Вакуумное напыление проводится в рабочей камере, в которой путем откачки обеспечивается остаточное давление газов, как правило, не выше  $10^{-4}$  Па. Благодаря этому достигается необходимая длина свободного пробега напыляемых частиц (ионов, атомов, молекул) и удаление атмосферных газов, взаимодействующих с напыляемыми материалами. Рабочая камера оснащена испарителями, в которые помещаются напыляемые материалы и приспособлением для установки напыляемых изделий.

Введение в камеру активных газов (азот, кислород и др.) позволяет реализовать вариант реакционного нанесения (реактивного осаждения) соответствующих соединений (нитридов, оксидов и др.) путем химического взаимодействия напыляемых частиц с активными газами.



По сути, технологические процессы получения слоистых композиционных материалов методами вакуумного напыления отличаются между собой способом перевода напыляемого материала в парообразное состояние и энергетическим состоянием частиц (нейтральные, ионизированные, ионизированные ускоренные). По этим признакам выделяют три основных метода вакуумного напыления: термовакуумное напыление, ионное распыление, дуговое осаждение.

Процессы **термовакuumного напыления** основаны на разогреве напыляемого источника в вакуумной среде до максимальной температуры, когда происходит испарения и конденсации паров на поверхности подложки. Особенно предельная сила испарения происходит при разогреве источника плавления.

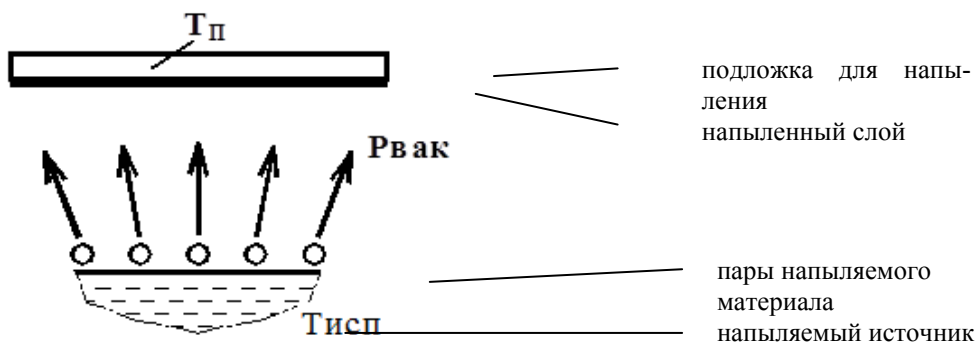


Рисунок 2 – Принципиальная схема процесса термовакuumного напыления

Характеристики процесса

Остаточное давление в рабочей камере  $p_{\text{вак}}=10^{-4}\text{-}10^{-8}$  Па;

Температура подложки  $T_{\text{п}}=373\text{-}973$  К;

Энергия осаждающихся частиц  $E=0,1\text{-}0,3$  эВ;

Доля ионизированных частиц  $K_{\text{и}} = 0$

Разновидности метода в значительной мере определяются способом нагрева материала и конструкцией испарителя.

Выбор испарителя зависит от напыляемого источника и его начальной формы (проволока, порошок, гранулы), заданной скорости распыления и др. факторов.

Особенностью технологических процессов термовакuumного напыления, независимо от вида испарителя, является то, что осаждаемые слои формируются переносом нейтральных частиц – испаренных атомов (рисунок 2). Частицы имеют низкую энергию, что исключает возможность воздействия на процессы, протекающие на напыляемой поверхности при зарождении и росте слоев и, в частности, проведение активации поверхности.

Сущность метода осаждения тонких пленок в вакууме **ионным распылением** состоит в бомбардировке, положительно заряженных ионов рабочего газа (как правило, аргон), молекул из верхних слоев напыляемого материала, с после-

дующим осаждением распыленных из катода атомов на поверхности технологической подложки (рисунок 3).

Ионы образуются в тлеющем разряде при давлении рабочего газа  $1-5 \cdot 10^{-2}$  Па и ускоряются до энергии 0,7-5 кэВ вследствие приложения к мишени отрицательного потенциала в 0,7-5 кВ. При распылении диэлектриков их располагают на токопроводящем электроде.

Продуктом распыления являются нейтральные атомы (молекулы). Доля заряженных частиц составляет около 1%.

При использовании в качестве рабочего газа смеси из Ar и химически активного газа ( $O_2$ ,  $N_2$  и т.п.) реализуется реактивный метод осаждения оксидов, нитридов и т.п.

Распыленные атомы (молекулы) обладают большой кинетической энергией, превышающей в 50-100 раз энергию термически испаренных атомов. Распыление сопровождается эмиссией вторичных электронов, которые ускоряются в электрическом поле, вызывая дополнительную ионизацию рабочего газа.

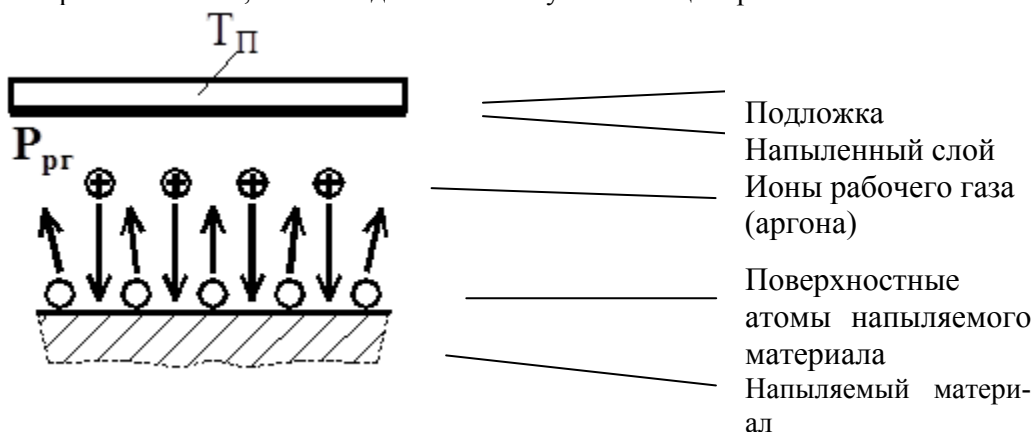


Рисунок 3 – Схема процесса ионного распыления

#### Характеристики процесса

Давление рабочего газа (аргона) в камере  $p_{p.r.} = 10-5 \cdot 10^{-2}$  Па;

Температура подложки  $T_{П} = 293-693$  К;

Энергия осаждающихся частиц  $E = 3-5$  эВ;

Доля ионизированных частиц  $K_{и} \approx 0,01$

На практике существует несколько основных схем ионного распыления, получившие явное преимущество в вакуумных технологиях, которые отличаются по условиям формирования плазмы тлеющего разряда:

- диодная;
- триодная;
- магнетронная.

Диодная схема характеризуется низкой степенью ионизации молекул рабочего газа и применяется в основном при нанесении тонких пленочных слоев при производстве изделий радиоэлектронной техники.

Триодная схема обеспечивает повышение степени ионизации рабочего газа за счет применения термоэлектронного катода и магнитной катушки. Электро-

ны в магнитном поле создают особенно непростые перемещения по окружности магнитных линий. Увеличивается продуктивный размер прохода электронов, а значит и повышается показатели ионизации рабочего газа.

Дальнейшее повышение плотности ионного потока и соответственно скорости распыления мишени обеспечивают магнетронные системы.

Известно, что более радикальным методом увеличения плотности ионного потока на распыляемой мишени является использование магнитного поля, где силовые линии параллельны распыляемой поверхности материала и перпендикулярны силовым линиям электрического поля.

В установках магнетронного напыления основными частями являются катод, анод и магнитная система, которая находится под распыляемым материалом (катод). Замыкаясь между полюсами постоянных магнитов, силовые линии образуют магнитное поле (рисунок 4). Между анодом и катодом, при подаче напряжения равного 300-1000 В. в плазме рабочего газа, возникает аномальный тлеющий разряд. Наличие магнитного поля позволяет локализовать плазму разряда у мишени. Эмитированные с катода под действием бомбардировки ионами рабочего газа электроны захватываются магнитным полем, им сообщается сложное циклоидальное движение по замкнутым траекториям у поверхности мишени.

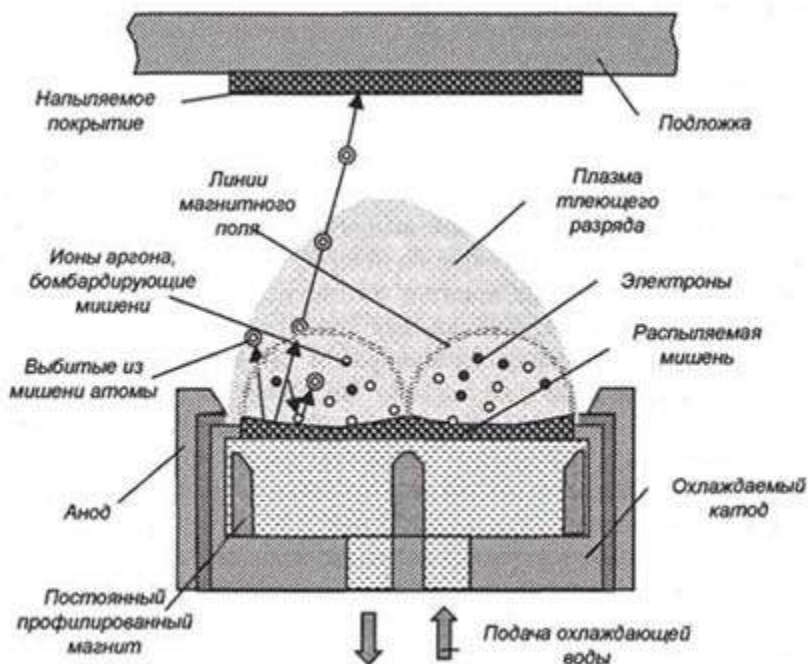


Рисунок 4 – Магнетронная схема напыления

Такое движение значительно увеличивает длину траектории электронов, что в свою очередь повышает вероятность их столкновения с молекулами рабочего газа и возможность ионизации последних.

Возрастает концентрация бомбардирующих ионов вблизи распыляемого материала. Кольцевой анод, на который попадают потерявшие энергию электроны, практически исключает бомбардировку электронами поверхности напыления.

Наибольшую популярность получили магнетроны с плоскими катодами дисковой или прямоугольной формы. Материалом катода могут служить, металлы, в том числе тугоплавкие Mo, W и др. и химические соединения, получаемые спеканием порошков.

Магнетронные системы с различными пространственными формами мишени позволяют наносить покрытия на сложные поверхности.

Развитием методов магнетронного распыления является появление несбалансированных магнетронов. Расположение магнитного поля у несбалансированного магнетрона позволяет ионизировать рабочей газ и распыленные частицы не только у поверхности катода, но и на всем расстоянии, вплоть до напыляемого материала.

Преимуществом метода осаждения тонких пленок магнетронным распылением являются универсальность, высокие значения коэффициента использования материала, к недостаткам относят невысокую степень ионизации потока распыленных частиц.

Процессы **дугового испарения-распыления** материала осуществляется при подаче на него отрицательного потенциала источника питания в дуговом разряде.

Формирование покрытий дуговым разрядом в вакуумной среде происходит за счет эрозии вещества в сильноточных дуговых разрядах, образования ионизированной паровой фазы (20-100% ионов), переносе ее с большой скоростью (энергия частиц  $E$  – до 10 эВ) и конденсации на поверхности подложки.

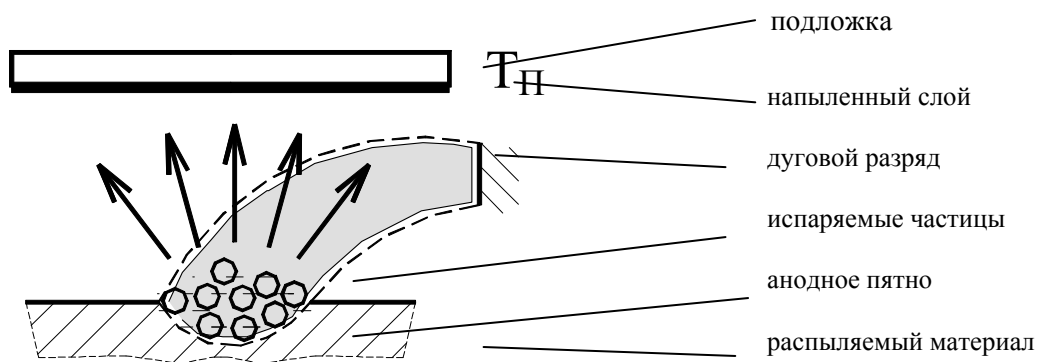


Рисунок 5 – Схема вакуумного осаждения дуговым испарением.

Характеристики процесса

Давление рабочего газа (аргона) в камере  $p_{p.r.}=10\cdot 10^{-2}$  Па;

Температура подложки  $T_{П}=293\text{-}693$  К;

Энергия осаждающихся частиц  $E = 0,1-10$  эВ;

Доля ионизированных частиц  $K_u = 0,2-1$

Процесс ведется следующим образом (рисунок 5).

Камера вакуумируется до остаточного давления  $10-10^{-1}$  Па. Между катодом и анодом (анодом также может служить стенка камеры) возбуждается дуговой разряд с помощью силовых источников питания постоянного тока. Дуговой разряд происходит в парах материала катода. Разряд на аноде является диффузным. Разряд на катоде существует в форме катодных пятен, хаотично перемещающихся по интегрально холодной поверхности катода. Для удержания катодного пятна в пределах площади испаряемого материала предусмотрена электромагнитная катушка.

В области катодных пятен ввиду высокой локальной плотности энергии (около  $100$  Вт/см<sup>2</sup>) с высокой скоростью происходит эрозия (испарение) материала катода. Продукты эрозии, проходя через дуговой разряд в виде катодных струй, ионизируются. Таким образом, формируется плотный плазменный поток осаждаемого материала с высокой степенью ионизации и высокой энергией частиц, который конденсируется на поверхности подложки и исключает ее дополнительный нагрев.

Активация поверхности и процессов, протекающих при зарождении и росте покрытия, достигается с помощью бомбардировки ионами, ускоренными в электрическом поле подложки.

Преимущества метода: универсальность по испаряемым материалам и покрытиям, возможность получения тонких пленок сплавов, окислов, нитритов, карбидов и т.п., причем, как путем использования мишеней из этих материалов, так и реактивным методом, высокое качество покрытий, повышенное количество регулируемых параметров процесса.

К недостаткам метода дугового испарения относят в основном наличие в потоке осаждаемого вещества значительного количества конденсированной (капельной) фазы, которая осаждаясь на поверхности, снижает качество покрытия.

К недостаткам термовакuumного метода напыления относится неуправляемая скорость осаждения, низкая, непостоянная и нерегулируемая энергия осаждаемых частиц. В связи с этим эксперименты по получению СКМ были проведены методами вакуумно-дуговым и магнетронным напылением.

Были изготовлены образцы из стали 20, диаметром  $\varnothing 10$  мм в количестве 2 шт. (рисунок 6) для последующего нанесения на них слоев систем Nb-Mo. Образец № 1 поместили в установку вакуумно-дугового напыления ННВ-6.6-И1[5].



**Рисунок 6 – Оправки для нанесения СКМ**

Формирование слоистого композиционного материала проводилось по оптимальным режимам выявленных в одной из прошлых работ [6].

Образец № 2 был размещен в установку магнетронного напыления МРМ 1, которая была разработана по специальной схеме напыления, где катод выполняется в виде кольца, внутри которого по оси располагается деталь. При напылении, материал катода частично осаждается на деталь в виде покрытия, остальной распыляемый материал вновь попадает на внутреннюю поверхность катода, обеспечивая высокий коэффициент использования. Для реализации этой схемы спроектирована и изготовлена экспериментальная установка. Конструкция установки содержит механизм перемещения покрываемой детали по оси катода. Магнетронный узел представляет собой кольцевую магнитную систему с водоохлажденным катодом (рисунок 7). Одной из важных преимуществ данной установки является полное отсутствие капельной фазы.

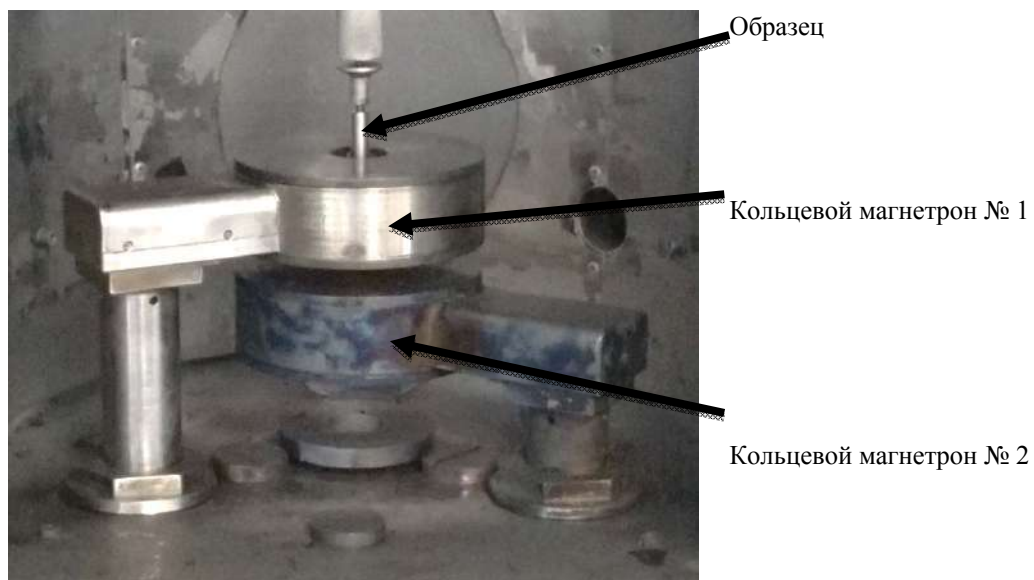


Рисунок 7 – Установка магнетронного напыления с кольцевыми магнетронами

В кольцевой магнетрон № 1 устанавливали катод из молибдена, а в магнетрон № 2 ниобий. Образец обезжировали нефрасом и устанавливали в вертикальный механизм перемещения. Камеру установки вакуумировали до остаточного давления  $10^{-5}$  мм. рт. ст. Затем проводили ионную очистку в тлеющем разряде, путем напуска аргона при давлении  $5 \times 10^{-2}$  мм. рт. ст. и подачи напряжения на образец 900 В. Ионную очистку проводили в течение 30 мин. Для получения слоистой структуры, оправку поочередно перемещали в зону магнетрона № 1, а потом в зону магнетрона № 2, при необходимости повторяли процесс до получения определенного количества слоев.

После нанесения слоистого композиционного материала образцы подвергали визуальному осмотру, который показал однородную структуру покрытий, отсутствие трещин, сколов и отслоений. Затем каждый образец резали на половину и изготавливали торцевые шлифы путем установки образцов в обойму. Далее заполняли обойму сплавом Вуда и проводили полировку для изучения микроструктуры (Рисунок 8).

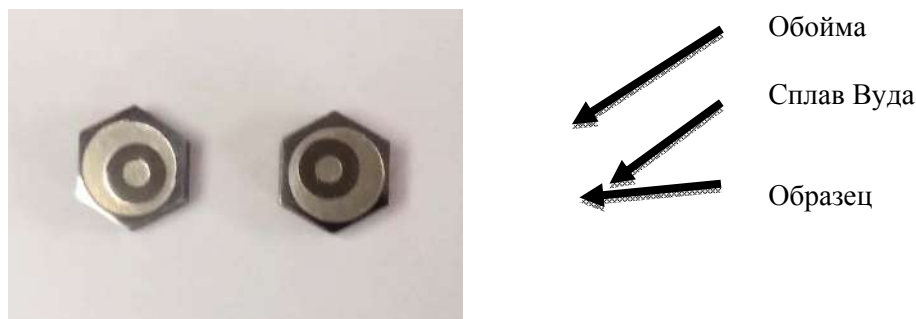


Рисунок 8 – Шлифы с образцами

Далее с помощью оптического микроскопа Axio Vert.A1 оценивали микроструктуру. На микроструктуре образца № 1, полученного вакуумно-дуговым методом (рисунок 9 а) видны четкие слои ниобия и молибдена без отслоений и трещин. При увеличении в 500 раз (рисунок 9 б) можно увидеть макрочастицу (капельная фаза) в слоистом композите, которая с последующими слоями сглаживается, но все же имеет место быть, а значит, может сказаться на качестве СКМ, который в дальнейшем может применяться в любых деталях двигательных установок и т.п. Также видны сколы покрытия, образованные при полировке шлифа.

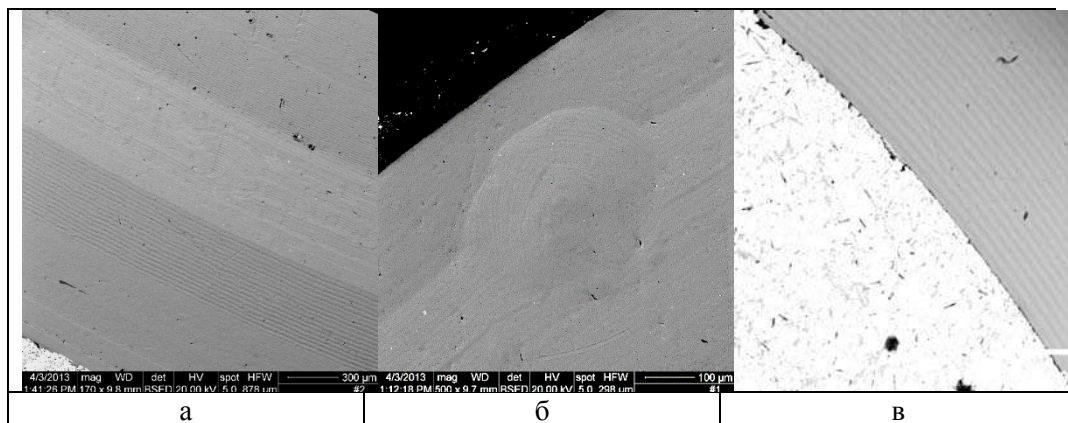


Рисунок 9 – Микроструктура образцов №1 (а, б), № 2 (в)

При исследовании образца № 2, полученного методом магнетронного напыления, видно, что слои лежат четко последовательно, образуя слоистый композиционный материал, где дефекты в виде пор, расслоений и трещин отсутствуют. Используя метод магнетронного напыления присутствие капельной фазы исключено, т.к. принцип магнетронного напыления основан на физическом распылении материала катода ускоренными ионами рабочего газа, возникающие в плазме аномально тлеющего разряда, которые бомбардируют поверхность катода, с последующим осаждением распыленного материала на подложке.

При анализе и сравнении микроструктур образцов, изготовленных при использовании различных методов формирования слоистого композиционного материала, можно сделать вывод, что образец № 2 является более качественным. Требуемые свойства изготовленных образцов предлагается оценивать комплексом качественных показателей – наличием капельной фазы, наличием расслоений, наличие трещин.

Проведенный анализ методов нанесения многослойных композиционных покрытий показал, что образцы изготовленные методом магнетронного напыления отвечают всем требованиям качества, т.е. отсутствием капельной фазы, расслоений и трещин. Следовательно, данный метод рекомендуется для получения жаропрочных слоистых композиционных материалов типа оболочечных конструкций.



*Литература*

1. Кобелев А.Г., Лысак В.И., Чернышев В.Н. и др. Производство металлических слоистых композиционных материалов // М. Интернет инжиниринг. 2002. С. 101-102.
2. Хасуй А., Техника напыления // М. Машиностроение. 1975. С. 89-91.
3. Бобров Г.В., Ильин А.А. Нанесение неорганических покрытий // М. Интернет инжиниринг. 2004. С. 93-95.
4. Бобров Г.В., Митин Б.С., Никитин М.М., Шехов В.Б. Защитные покрытия, получаемые высокотемпературным распылением // М. изд. МФТИ. 1983. С. 201.
5. Лабутин А.А., Ленковец А.С. Получение и контроль качества изделий типа малогабаритных конструкций из жаропрочных слоистых композиционных материалов // Конструкции из композиционных материалов. № 3. 2017. С. 19-27.
6. Лабутин А.А., Антипова Т.Н. Совершенствование управления качеством в процессе получения слоистого металлокомпозита на основе тугоплавких металлов методом вакуумно-дугового осаждения», сборник материалов научно-практической конференции «инновационные аспекты социально-экономического развития региона // Королев 2014. С.298-306.

УДК 669.162.24

**Совершенствование системы управления распределением материалов в доменной печи с применением бесконусного загрузочного устройства**

**А.А. Копытов**, магистрант кафедры «АСУ»,  
**М.Ю. Рябчиков**, кандидат технических наук, доцент кафедры «АСУ»,  
**Е.С. Рябчикова**, кандидат технических наук, доцент кафедры «АСУ»,  
Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

*В статье рассмотрена задача организации автоматической подачи материалов в доменную печь при необходимости обеспечить требуемую схему распределения материалов по радиусу, а также устранить перепады уровней между секторами. Рассмотрены особенности радарных уровнемеров. Показано, что существующие схемы установки датчиков уровня не ориентированы на контроль распределения материалов по радиусу печи. Предложен алгоритм управления, обеспечивающий реализацию программы распределения материалов по радиусу и компенсацию неравномерности уровней по секторам в едином цикле выгрузки материалов.*

Бесконусное загрузочное устройство, управление загрузкой материалов, доменная печь, радарный уровнемер.

**Improving the management system for the distribution of materials in a blast furnace using a conical charging device**

**A.A. Kopytov**, master student of the Department «ACS»,  
**M.Yu. Ryabchikov**, candidate of engineering sciences,  
associate professor at the Department «ACS»,  
**E.S. Ryabchikova**, candidate of engineering sciences,  
associate professor at the Department «ACS»,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

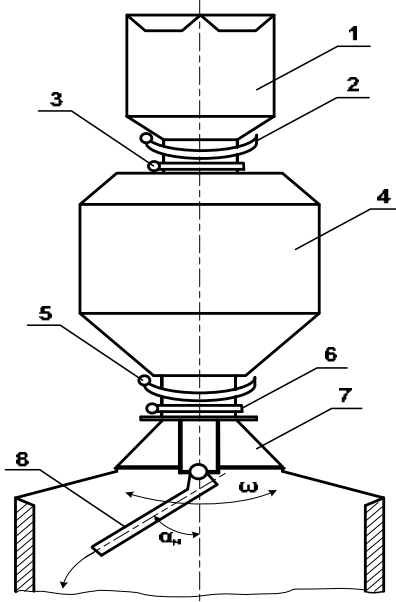
*В статье рассмотрена задача организации автоматической подачи материалов в доменную печь при необходимости обеспечить требуемую схему распределения материалов по радиусу, а также устранить перепады уровней между секторами. Рассмотрены особенности радарных уровнемеров. Показано, что существующие схемы установки датчиков уровня не ориентированы на контроль распределения материалов по радиусу печи. Предложен алгоритм управления, обеспечивающий реализацию программы распределения материалов по радиусу и компенсацию неравномерности уровней по секторам в едином цикле выгрузки материалов.*

Бесконусное загрузочное устройство, управление загрузкой материалов, доменная печь, радарный уровнемер.

**Введение**

Загрузка шихтовых материалов в доменную печь осуществляется с помощью засыпных аппаратов – конусных и бесконусных. Опыт эксплуатации доменных печей свидетельствует о том, что конусные загрузочные устройства не удовлетворяют в полной мере требованиям технологии распределения шихтовых материалов. Бесконусное загрузочное устройство (БЗУ) предназначено для обеспечения загрузки шихтовых материалов, подаваемых скипами, в доменную печь с управляемым распределением по площади колошника. Совершенствование приемов распределения шихтовых материалов в печи является важным направлением повышения эффективности доменных печей [1].

В настоящее время из восьми работающих доменных печей на ПАО «ММК» БЗУ оснащены пять доменных печей. На доменной печи № 10 ПАО «ММК» установлено одностраковое БЗУ фирмы «PaulWurth», схема расположения конструктивных элементов которого представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Конструктивные элементы БЗУ (1,4 – приемный и шихтовый бункера; 2,3 – верхние шихтовый затвор и уплотнительный клапан; 5,6 – нижние шихтовый затвор и уплотнительный клапан; 7 – редуктор; 8 – лоток)**

Железорудная руда и кокс поступают из восточного и западного скипа скипового подъёмника в приемную воронку. Затем при открытом верхнем шихтовом затворе материал поступает в шихтовый бункер, в котором накапливается подача. После того, как заданная подача набрана, закрываются верхний шихтовый затвор и верхний уплотнительный клапан, а в шихтовый бункер нагнетается давление, равное давлению в печи. При опускании материала в печи до требуемого уровня от системы управления формируется команда на выгрузку, после чего открываются нижние уплотнительный клапан и шихтовый затвор. Шихта из бункера выгружается со скоростью, определяемой степенью раскрытия шихтового затвора, движется по наклонной направляющей в центральную точку, расположен-

ную на оси печи внутри планетарного редуктора привода лотка. Затем материал попадает на вращающийся лоток и сыпается по нему в печь компактной струей. С помощью планетарного редуктора и двух электродвигателей во время загрузки шихтовых материалов осуществляется вращение лотка с постоянной угловой скоростью  $\omega$  вокруг вертикальной оси печи и изменение по заданной программе угла его наклона ( $\alpha_n$ ) относительно той же оси.

БЗУ позволяет реализовать различные виды распределения материалов, загружаемых в печь:

- Кольцо – равномерное распределение материалов по окружности колошника при неизменном угле наклона лотка;
- спираль – отличается от кольцевой загрузки изменением угла наклона во время загрузки;
- сектор – распределение материалов производится колебаниями лотка в заданном секторе колошника;
- точка – лоток позиционируется в заданное положение, после чего производится загрузка материала.

В основном непрерывная загрузка шихтовых материалов в доменную печь осуществляется с помощью работы лотка с распределением шихтовых материалов по спирали. По этой программе задаются углы открытия нижнего шихтового затвора в зависимости от выгружаемого материала и фиксированные углы наклона лотка (станции), на каждый из которых должны подаваться равные весовые доли подачи (устанавливается определенное количество оборотов лотка на каждой станции при выгрузке). Угол наклона лотка относительно оси печи может изменяться от  $15^\circ$  до  $48^\circ$  по 11 фиксированным позициям, причем шаг углов между позициями увеличивается по мере уменьшения угла наклона лотка так, чтобы обеспечить расположение вершин гребней посередине колец равной площади на поверхности засыпи. Результат такой работы системы по такому принципу представлен на рисунке 2. На нём изображен уровень засыпи шихты двух датчиков уровня, расположенных противоположно друг к другу.

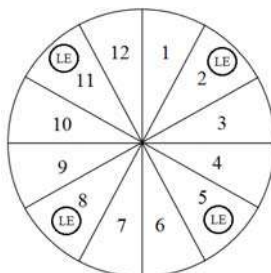


Рисунок 2 – Уровень засыпи в контрольных точках доменной печи № 10 «ММК»

Из рисунка 2 видно, что распределение шихтовых материалов по спирали не всегда позволяет обеспечить равномерность уровня по сечению печи. Перепад уровней между двумя контрольными точками составляет около 30-40 см. Причи-

ной является возможная неравномерность схода шихтовых материалов по сечению печи.

Для обеспечения более равномерного уровня шихты по сечению печи при управлении подачей материалов целесообразно использовать данные с датчиков уровня. На рисунке 3 показана текущая схема установки датчиков по сечению печи, условно разделенному на двенадцать секторов.



**Рисунок 3 – Текущее расположение датчиков уровня по сечению доменной печи № 10 ПАО «ММК»**

Необходимо отметить, что, несмотря на наличие датчиков уровня, существующие алгоритмы автоматического управления распределением материалов используют статичные схемы распределения. Такие схемы часто формируются персоналом экспериментально под условия работы конкретных доменных печей. Так в [2] указывается, что порции шихтовых материалов традиционно распределяют практически по всему радиусу колошника и с различной цикличностью выгружают кокс в центральную зону колошника для формирования зоны повышенной газопроницаемости. По рабочим угловым положениям лотка шихтовые материалы принято распределять, как правило, с заданной неравномерностью, что позволяет без изменения структуры программы загрузки оперативно изменять рудные нагрузки и объемы материалов в зонах. При таком формировании программ загрузки обеспечивается укладка материалов с минимальным перераспределением шихты вдоль радиуса. В то же время, пример на рисунке 2 показывает недостаток такого подхода.

В [2] предлагается корректировка программ загрузок на основе данных термомониторов. При этом данные оперативного контроля уровня не вовлекаются в алгоритм оперативного управления. Для разработки системы автоматического управления, использующей данные с датчиков уровня, необходимо получить оценки неравномерности распределения уровня шихтовых материалов по сечению печи.

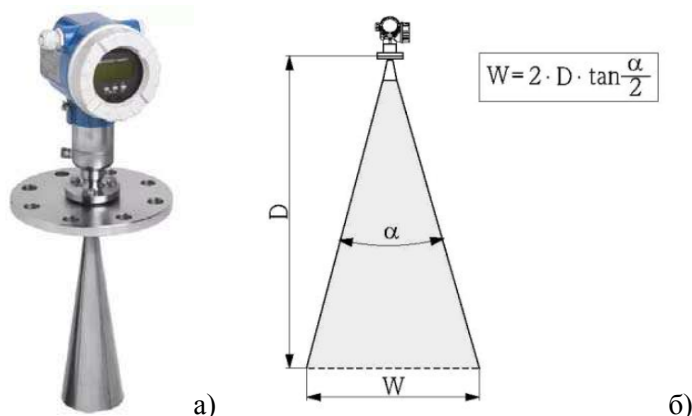
### ***Оценка неравномерности распределения уровня шихтовых материалов по сечению печи***

Простейший способ приближенной оценки уровня шихты в различных секторах по сечению доменной печи заключается в линейной интерполяции данных с датчиков. То есть, например, уровни в секторах № 6,7 (рис. 3) рассчитываем по результатам контроля уровня в секторах № 5 и 8.

В то же время отсутствует информация о распределении уровня материалов в направлении от кожуха к центру печи (по радиусу печи). Данные об уровнях в противоположных относительно центра секторах сложно использовать для получе-

ния достоверной информации о перепадах уровней по радиусу печи. Причиной является большая удаленность точек контроля друг от друга. В таком случае представляет интерес оценка возможности использования данных с отдельного датчика уровня для оценки изменения уровня по радиусу печи.

На доменной печи № 10 для контроля уровня засыпи шихты используется датчик уровня Micropilot M FMR57 [3]. Датчик является радарной системой, работающей по принципу измерения времени прохождения сигнала. Прибор измеряет расстояние от начала точки измерения до поверхности шихты. Отраженные импульсы принимаются антенной и передаются в электронный блок. Микропроцессор рассчитывает и идентифицирует эхо-сигнал, возникающий при отражении радарного импульса от поверхности шихты. Общий вид датчика показан на рисунке 4,а.



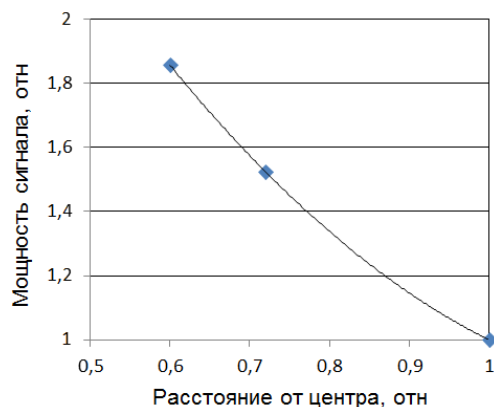
**Рисунок 4 – Общий вид датчика уровня Micropilot M FMR57 (а), а также зависимость между углом  $\alpha$ , расстоянием  $D$  и диаметром луча  $W$**

Из рисунка 4,б видно, что датчик формирует обобщенную оценку уровня для области шихты, определяемой шириной луча  $W$ . Для датчика FMR57 угол  $\alpha$  достигает  $10^\circ$ . Из данных на рисунке 2 следует, что область  $W$  датчика уровня охватывает значительную часть радиуса печи, поскольку наблюдается рост уровня практически в течение всего периода подачи материалов.

Тогда, теоретически, по динамике изменения уровня при равномерной подаче материалов путем выгрузки по спирали можно получить оценки распределения уровня по радиусу в области  $W$ . Для этого необходима информация о влиянии степени удаленности точки отражения от центра области  $W$  на мощность регистрируемого сигнала. Изучение технических инструкций датчиков разных производителей, включая FMR57, показало отсутствие подобной информации.

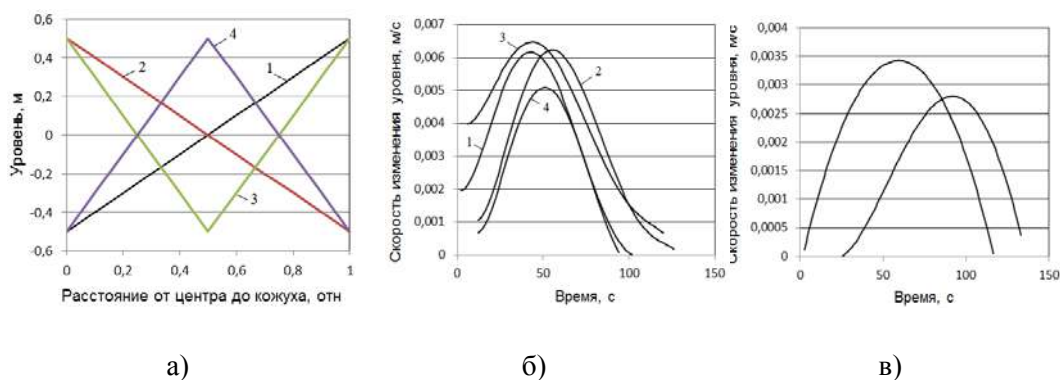
Неточную приближенную зависимость можно получить путем сопоставления данных об угле  $\alpha$  и допустимых расстояниях до контролируемой среды при использовании различных типов антенн. Так, для датчика Rosemount серии 5600 [4] при использовании конических антенн можно получить зависимость (рис. 5). Предположили, что мощность сигнала можно поставить в соответствие среднему расстоянию точек области  $W$  от центра области  $W$ . Учитывая, что для окружности среднее расстояние точек от центра составляет  $(2/3)R$ , где  $R = 0,5W$ , то есть пропорционально  $W$ , можно получить приближенную качественную зависимость мощности сигнала, по-

лученного путем отражения от точки, удаленной от центра области W. При получении зависимости приняли минимальную мощность сигнала и максимальное расстояние от центра для трех различных антенн за условную единицу.



**Рисунок 5 – Качественная зависимость мощности сигнала, полученного путем отражения от точки, удаленной на расстояние от центра области W**

Предполагая наличие тенденции, представленной на рисунке 5, возможно сопоставление динамик изменения уровня при различных начальных распределениях уровня по радиусу печи. На рисунках 6,а-б показаны различные варианты начального распределения по относительному радиусу печи и соответствующие качественные зависимости скорости изменения уровня от времени при моделировании подачи материалов путем их распределения по спирали. На рисунке 6,в показаны примеры фактических зависимостей по данным доменной печи № 10.

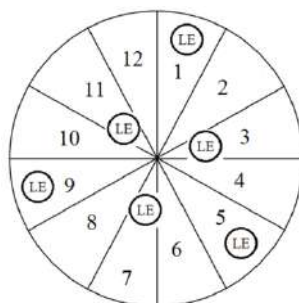


**Рисунок 6 – Результаты моделирования (б) измерения уровня при разных начальных распределениях уровня по радиусу печи (а) и примеры реальных (сглаженных) изменений уровня (в) при подаче материала путем распределения по спирали**

Из полученных результатов (рис. 6,б) следует относительно слабое влияние начального распределения уровня материала в области W на динамику изменения контролируемого уровня. Непостоянство скорости изменения уровня вследствие хода процесса в доменной печи препятствует применению результатов моделирования при

оценке параметров распределения уровня по радиусу печи по данным отдельного датчика уровня.

Таким образом, для контроля распределения уровня материала по радиусу печи, необходима установка дополнительных датчиков. Вариант такого размещения датчиков показан на рисунке 7. Нужно учитывать, что контроль уровня с использованием датчиков в секторах № 3,7,11 может быть затруднен при определенных программах управления лотком, вследствие перекрытия луча датчика конструктивными элементами лотка.



**Рисунок 7 – Вариант расположения датчиков уровня по сечению доменной печи**

При отсутствии контроля распределения уровней по радиусу печи сложно одновременно обеспечить требуемое распределение материалов по радиусу печи с сохранением высокой степени равномерности уровней по секторам, вследствие отсутствия необходимой исходной информации. Для частичного решения проблемы необходима разработка алгоритма управления.

***Алгоритм управления распределением материалов***

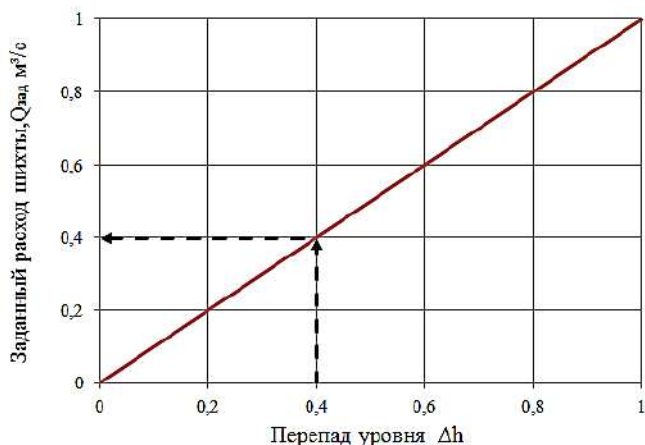
Предлагаемый алгоритм управления распределением материалов основан на управлении лотком БЗУ и положением нижнего шихтового затвора (НШЗ). Схема алгоритма представлена на рисунке 8.





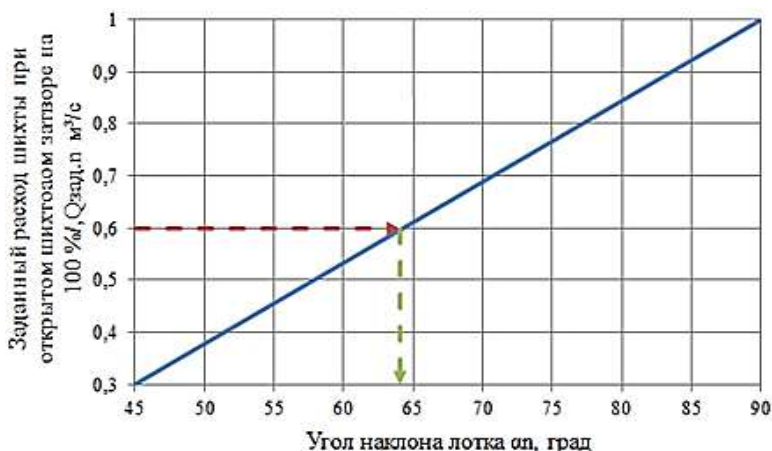
**Рисунок 8 – Блок-схема алгоритма управления углом наклона и положением затвора:  
 $\alpha$ ,  $\alpha_{\min}$ ,  $\alpha_{\max}$  - текущий, минимальный и максимальный угол наклона лотка**

По полученным на основе линейной интерполяции данным четырех датчиков определяются значения уровня в каждом секторе. Далее для каждого сектора формируется желаемый расход шихты на основе статической характеристики (рис. 9).



**Рисунок 9 – Статическая характеристика зависимости заданного расхода шихты от перепада уровня**

По полученному желаемому расходу шихты определяется желаемый угол наклона лотка в каждом секторе. Для этого используем статическую зависимость на рисунке 10. Зависимость на рисунке 10 динамически подстраивается согласно алгоритму, рассмотренному в [5], путем сопоставления расчетного и фактического времени выгрузки.



**Рисунок 10 – Статическая характеристика зависимости угла наклона лотка от заданного расхода шихты при открытии НШЗ на 100%**

Зависимость расхода от угла наклона лотка и положения НШЗ определим в виде:

$$Q = \frac{Y}{100}(\alpha \cdot a + b), \quad (1)$$

где  $Y$  – положение НШЗ;  $a, b$  – коэффициенты линейной зависимости на рис. 10 ( $a = 0,0156$ ;  $b = -0,4$ ).

Тогда желаемый угол наклона лотка в секторе:

$$\alpha = \frac{100Q - Y_b}{Y_a}. \quad (2)$$

В зависимости от заданного значения угла наклона его фактическое значение стремится к заданию, тем самым происходит его опускание или поднятие в каждом из секторов:

$$\alpha(\tau) = \alpha(\tau - \Delta\tau) \pm V_1 \Delta\tau, \quad (3)$$

где  $V_1$  – скорость наклона лотка (5,6 град./с),  $\Delta\tau$  – шаг по времени.

Пока текущий угол наклона лотка не достигнет заданных крайних положений, положение нижнего шихтового затвора не будет изменяться. Когда угол наклона лотка достигнет максимума, шихтовый затвор начнет открываться. Когда угол наклона достигнет минимума, шихтовый затвор будет закрываться. Время полного хода (0-100%) затвора 20 с. При моделировании использовали угол  $\alpha = 90 - \alpha_n$ , где  $\alpha_n$  – угол наклона относительно оси печи согласно рисунку 1. Упрощенно приняли, что предельные значения угла наклона лотка  $\alpha$  составляют 45 и 90°.

Применение рассмотренного алгоритма ориентировано на компенсацию неравномерности уровня с применением датчиков контроля уровня. Однако этот алгоритм не решает задачу обеспечения заданного распределения материалов по радиусу печи. На рисунке 11 показаны примеры [2] типовых вариантов распределений подач по радиусу.

Для организации распределения материалов согласно программе зададим траектории изменения граничных предельно допустимых углов наклона лотка  $\alpha_{min}$  и  $\alpha_{max}$ . Такие зависимости целесообразно определить с использованием в качестве аргумента относительной доли поданного материала.

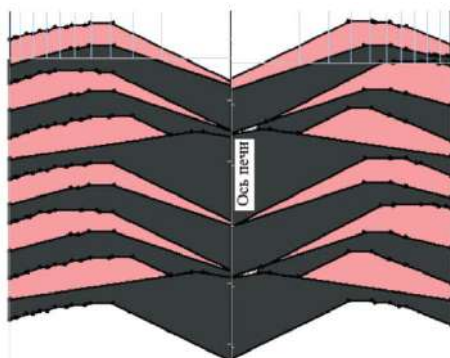


Рисунок 11 – Примеры распределения материалов при подаче (темным показан кокс) согласно [2]

При моделировании подачи материалов учитывали распределение материалов по радиусу печи, а также использовали разработанную модель контроля уровня. Принято, что в период подачи материалы в печи равномерно опускаются с постоянной скоростью 0,005 м/с (это возмущение превышает типовое в 2-3 раза). Моделируется перемещение материала между сегментами секторов, которое возникает вследствие пересыпания. При этом угол естественного откоса кокса принят равным  $42^\circ$  [6].

Начальное распределение материалов по радиусу показано на рисунке 12,а для секторов, где предусмотрен контроль уровня. Модель датчиков контроля уровня предполагает охват части относительного радиуса печи от 0,428 до 0,857. При численном моделировании каждый сектор разбили на семь сегментов.

Принятые зависимости для  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$  показаны на рисунке 12,е. Они подобраны, исходя из предположения о необходимости выполнить выгрузку кокса в центральную зону колошника для формирования зоны повышенной газопроницаемости.

На рисунке 12,д представлены переходные процессы по контролируемым перепадам уровней в противоположащих восьмом и втором секторах. Видно, что системе управления удалось обеспечить равенство измеренных уровней.

Итоговое распределение уровней по радиусу секторов с датчиками показано на рисунке 12,б. Расхождение уровней увеличивается по мере отклонения от областей контроля  $W$ . Программа подачи кокса, предусматривающая постепенное снижение итогового уровня засыпи от центра печи к кожуху, была успешно реализована. На практике такая корректировка может потребовать соответствующего увеличения рудной нагрузки в секторах, куда было подано больше кокса. Поэтому корректировка уровней при возникновении значительных отклонений может носить постепенный характер, предусматривая устранение отклонений за несколько подач материалов.

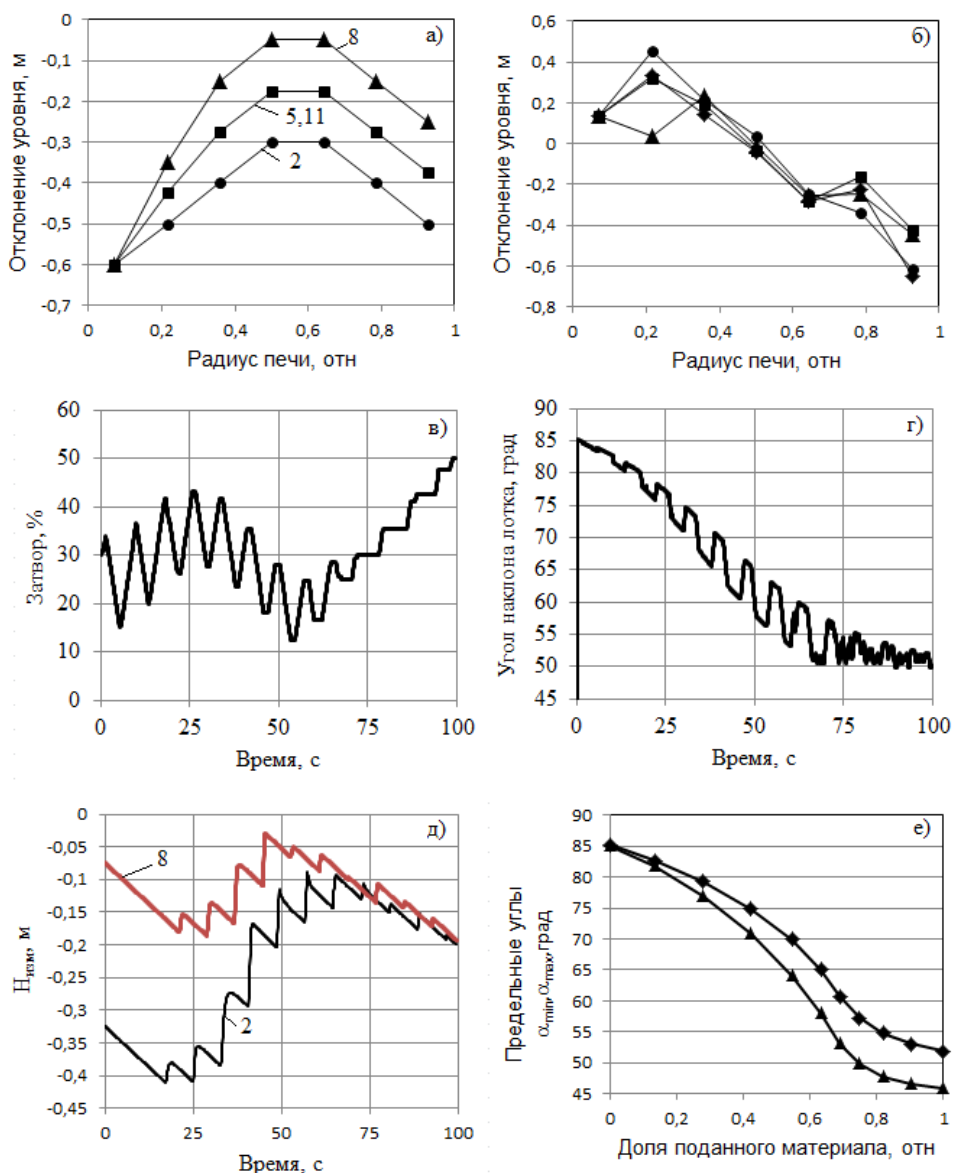


Рисунок 12 – Пример моделирования работы алгоритма управления распределением материала по сечению печи (цифрами отмечены номера секторов)

На рисунке 12,в,г показана динамика изменения степени открытия затвора и угла наклона лотка. Изучение различных вариантов ограничений на предельные углы наклона  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$  показало возможность воздействия на нагрузку на исполнительные устройства. При возможности вариации угла наклона в широких пределах частота перемещения затвора может быть существенно снижена.

Входящий в состав БЗУ шихтовый затвор рассчитан на дозированную подачу в колошник доменной печи. Данный ресурс управления целесообразно использовать, вследствие того, что входящий в состав распределительного устройства планетарный

редуктор, ориентирован на вращение вокруг вертикальной оси с постоянной скоростью. Необходимо отметить, что применение рассмотренного алгоритма управления накладывает повышенные требования на мощность электропривода наклона лотка. Учитывая, что максимальный статический момент на электродвигателе соответствует углу наклона  $\alpha_n = 48^\circ$ , при отсутствии резервов по мощности электропривода с ростом  $\alpha_n$  (или уменьшением  $\alpha$ ) возможно сужение интервала между предельными углами наклона  $\alpha_{\min}$  и  $\alpha_{\max}$  с целью компенсации неравномерностей уровня с использованием одного только затвора.

### Заключение

Рассмотренная система автоматического управления подачей шихтовых материалов позволит распределять загрузки шихтовых материалов с учетом контроля уровня засыпи. С увеличением числа датчиков уровня засыпи шихты на колошнике можно снизить степень неравномерности уровня засыпи по сечению печи. Это в итоге поможет увеличить производительность доменной печи и улучшить параметры газового потока.

Предложенная система автоматического управления подачей материалов может использоваться при различных схемах установки датчиков. Рассмотренный в примере вариант предполагает контроль уровня в четырех секторах без возможности измерения распределения неравномерности по радиусу. При установке дополнительных датчиков, например, согласно схеме на рис. 7, применяемое в алгоритме отклонение уровня от задания в каждом секторе будет определяться как взвешенное среднее по данным разных датчиков с учетом текущего угла наклона лотка.

### Литература

1. Большаков В.И., Семенов Ю.С., Иванча Н.Г., Вишняков В.И., Шумельчик Е.И. Исследования параметров потока шихтовых материалов и их распределения на колошнике современной доменной печи // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2012. № 3. С. 87-92.
2. Семенов Ю.С., Шумельчик Е.И., Горпуха В.В. Эффективное управление загрузкой доменной печи и использование современных средств контроля в изменяющихся технологических условиях // *Металлург*. 2017. № 11. С. 33-39.
3. Micropilot FMR56, FMR57. Радарный уровнемер. Измерение уровня сыпучих продуктов. Инструкция по эксплуатации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://data2.lact.ru/f1/s/16/557/basic/1503/801/FMR\\_56\\_\\_FMR57\\_\\_Radarnyy\\_urovner Izmerenie\\_urovnya\\_syipuchih\\_produkto.pdf](http://data2.lact.ru/f1/s/16/557/basic/1503/801/FMR_56__FMR57__Radarnyy_urovner Izmerenie_urovnya_syipuchih_produkto.pdf).
4. Радарный датчик уровня Rosemount серии 5600 с протоколом HART и Foundation fieldbus. Справочное руководство. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docplayer.ru/31229931-Radarnyy-datchik-urovnya-rosemount-serii-5600-s-protokolom-hart-i-foundation-tm-fieldbus.html>.
5. Рябчиков М.Ю., Трофимов Л.М. Повышение эффективности управления бесконусным загрузочным устройством в доменном цехе ОАО «ММК» // *Авто-*

матизация технологических и производственных процессов в металлургии. 2009. № 3. С. 118-124.

6. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса. Учебное пособие // Магнитогорск: МГТУ. 2009. 257 с.

Адрес редакции:  
141070, Королев,  
Ул. Октябрьская, 10а  
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),  
E-mail : rio-kimes@mail.ru,  
Site:www. unitech-mo.ru

Подписано в печать 20.12.2018  
Формат В5  
Печать офсетная. Усл.печ.л. 9,5  
Тираж 500 экз.  
Заказ № 74-15  
Отпечатано  
в типографии  
ООО «Научный консультант»  
г. Москва  
Хорошевское шоссе, 35, корп.2  
Тел.: +7 (926) 609-32-93,  
+7 (499) 195-60-77  
E-mail :keyneslab@gmail.com  
Site:www.n-ko.ru