

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

ISSN 2409-1650

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

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

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

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

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

Материалы авторам не возвращаются  
Подписано в печать  
26.09.2016

Отпечатано  
в типографии

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

Тираж 300 экз.

## СОДЕРЖАНИЕ

### *МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ*

А.П. Евдокимов  
**ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕСУРС РЕЗИНОКОРДНЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ.....3**

### *АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА*

О.И. Баранчикова, В.Я. Вилисов  
**МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СБОЯХ В АЭРОПОРТУ.....12**

М.Ю. Ерофеев, В.В. Гончаров  
**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ....19**

П.А. Филоненко, В.В. Гончаров, М.Н. Турчин  
**АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....25**

### *РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ*

В.М. Артюшенко, В.И. Воловач  
**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ.....30**

А.И. Сухотерин, С.А. Кручинина  
**РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....47**

### *ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ*

О.В. Морозов, А.И. Сухотерин  
**ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....57**

В.В. Нефедьев  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....65**

*РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ*

1. *Разумовский Игорь Михайлович, д.ф.-м.н., профессор*
2. *Райков Александр Николаевич, д.т.н., профессор*
3. *Фоминский Вячеслав Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор*

*РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ*

1. *Дубинин Владимир Сергеевич, к.т.н.*
2. *Аббасова Татьяна Сергеевна, к.т.н., доцент*
3. *Посеренин Сергей Петрович, д.т.н., профессор*
4. *Васильев Николай Александрович, д.т.н., профессор*
5. *Логачева Алла Игоревна, к.т.н.*
6. *Матвиенко Юрий Григорьевич, д.т.н., профессор*
7. *Вокин Григорий Григорьевич, д.т.н., профессор*
8. *Самаров Ким Леонидович, д.ф.-м.н., профессор*
9. *Стрэналюк Юрий Вениаминович, д.т.н., профессор*
10. *Щурин Константин Владимирович, д.т.н., профессор*
11. *Воловач Владимир Иванович, д.т.н., доцент*
12. *Ставровский Михаил Евгеньевич, д.т.н., профессор*
13. *Тимофеев Анатолий Николаевич, д.т.н.*

Н.П. Сидорова  
**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ.....74**

А.И. Сухотерин, Д.С. Комиссаров  
**КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОНИТОРИНГОВОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СУБЪЕКТА СТРАН БРИКС.....82**

А.И. Сухотерин, К.А. Руденко, О.В. Якушев  
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 4G-СЕТЕЙ.....87**

Е.С. Харламова, Ю.А. Шмелёва  
**ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРАВООХРАНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРИ РАСКРЫТИИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ.....94**

***МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ***

Т.Н. Антипова, А.А. Лабутин, А.С.Ленковец  
**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖАРОПРОЧНОГО КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ТА-МО ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....99**

Т.Н. Антипова, А.Ю. Олешко  
**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА БОРАЛЮМИНИЕВЫХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....108**

В.Г. Исаев, А.Г. Костылев  
**НАПЫЛЕНИЕ В ДИНАМИЧЕСКОМ ВАКУУМЕ – ДАЛЬНЕЙШИЙ ПУТЬ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ.....114**

С.Е. Сабо  
**ДИСЛОКАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРИМЕСИ В ГЛУБЬ МАТЕРИАЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА «ЭФФЕКТА ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ» ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПОЛИЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПУЧКАМИ ИОНОВ.....119**

П.А. Щеглов  
**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ...133**

УДК 621.825

## **Интегральные характеристики и ресурс резинокордных оболочек вращения силовых приводов**

**А.П. Евдокимов**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки,  
Институт машиноведения им. А. А. Благодного Российской академии наук  
(ИМАШ РАН), г. Москва

*В статье приведены основные расчётные зависимости ресурса многослойных упругих оболочек на основе полученных результатов экспериментальных исследований интегральных характеристик с учётом квазиупругой, неупругой и суммарной деформации. Построены графики зависимости долговечности оболочек от угла закручивания и указанных видов деформации. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании силовых приводов железнодорожного и водного транспорта, а также буровых установках нефтяной промышленности.*

Силовые приводы, интегральные характеристики, петли гистерезиса, упругая податливость, ресурс.

## **Integral characteristics and the resource of rubber-cord shells of revolution actuators**

**A.P. Evdokimov**, Dr.Sci.Tech., Conducting scientific employee,  
Federal state budgetary establishment of a science,  
Institute theoretical engineering him. A. A. Blagonravova,  
the Russian academy of sciences (IMASH the Russian Academy of Science),  
Moscow

*The article describes the main design resource dependencies multilayered elastic shells based on the results of experimental studies of integral characteristics taking into account the quasi-elastic, inelastic and total strain. Plots of the durability of the shells from the angle of twist and the above-mentioned types of deformation. The research results can be used in the design of actuators, rail and water transport, as well as drilling rigs of the oil industry.*

Force drives, integrated characteristics, loops of a hysteresis, an elastic pliability, a resource.

Резинокордные оболочки (РКО) с соответствующими физико-механическими характеристиками, определяющими их демпфирующую способность, являются упругими элементами соединительных устройств силовых приводов подвижного железнодорожного состава, морского и речного транспорта, буровых установок нефтяного оборудования.

Использование таких устройств позволило в значительной степени сни-

зять уровень крутильных колебаний в силовых и вспомогательных приводах. Демпфирующую способность РКО определяют по результатам экспериментальных исследований интегральных характеристик.

Наглядное представление о нелинейной связи нагрузка-деформация дают гистерезисные петли, получаемые при испытаниях высокоэластичных материалов. Как известно, площадь петли гистерезиса измеряет ту часть энергии, которая необратимо поглощается при деформации таких материалов и переходит преимущественно в тепло. В общем виде функция источника тепла, определяемая усреднённой за цикл суммарной величиной рассеиваемой энергии, можно представить в виде [1, С. 32, 2, С. 28]

$$W = \frac{G_0 \omega \psi A^2}{2 \pi} f(x, y, z), \quad 1)$$

где  $f(x, y, z)$  – функция зависимости нагружение – деформация,  $\psi$  – коэффициент поглощения энергии,  $\omega$  – собственная частота колебаний,  $A$  – амплитуда затухающих колебаний.

Это является основанием для предварительного выяснения характера крутильных колебаний системы с РКО. Вначале допускают, что эти колебания вызывают в оболочках настолько малые деформации, что податливость их может быть оценена как первая производная от деформации  $e$  по вызывающему её скручивающему моменту  $M$ : [3, С. 62]

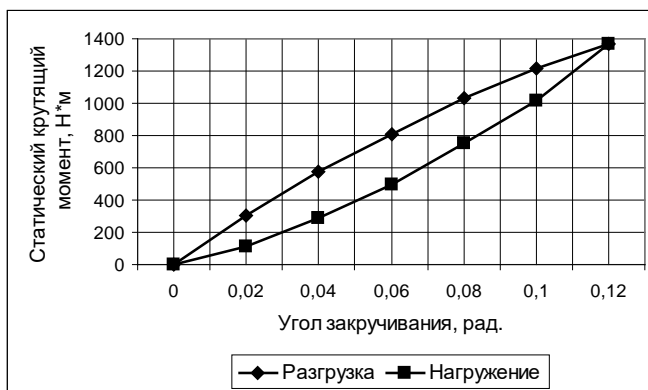
$$e \approx (e)_{F \rightarrow 0} = \frac{d\varphi}{dM}, \quad 2)$$

где  $F$  – амплитуда эластического момента.

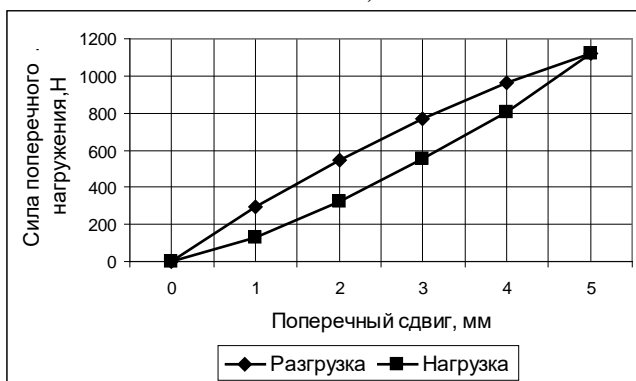
РКО в большинстве случаев передают, кроме крутильных колебаний, также некоторый средний крутящий момент  $M^{cp}$ , вызывающий в муфтах противодействующий ему средний эластический момент  $U^{cp}$ . Величина этого момента часто непостоянна и зависит от условий эксплуатации. Это обстоятельство обуславливает также и в случае малых колебаний непостоянство податливости РКО: с увеличением частоты вращения повышается средний крутящий момент, а с ним перемещается и та точка на кривой  $U = f(\varphi)$ , наклон касательной, в которой по отношению к оси ординат определяет исследуемую податливость.

Таким образом, для определения податливости РКО необходимо располагать так называемой характеристикой зависимости между её деформацией и передаваемым скручивающим (эластическим) моментом. Принято в данном случае осуществлять статическое нагружение оболочек, которое предполагает скорость приложения нагрузки, превышающей скорости протекания релаксационных процессов в полимерах. Такие режимы нагружения позволяют определить зависимости упруго-демпфирующих свойств оболочек от температуры и времени приложения нагрузки.

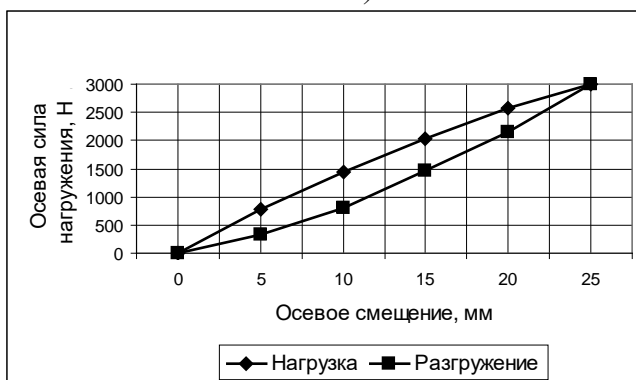
По результатам экспериментов с оболочкой ЭМ320×80 были построены петли гистерезиса, полученные при испытаниях на кручение (рис. 1, а), на сдвиг (рис. 1, б) и на сжатие (рис. 1, в).



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Петли гистерезиса при испытаниях: а – на кручение, б – на сдвиг, в – на сжатие

При нагружении статическим крутящим моментом  $M_{кр}^{ст} = 1370 \text{ Н} \cdot \text{м}$  площадь петли гистерезиса имела сравнительно высокую величину. Максимальный угол закручивания оболочки достигал 0,12 рад. Крутильная жёсткость составила 16000 Н·м/рад.

В случае поперечного сдвига ( $S = 5$  мм) при усилии 1120 Н относительная ширина петли гистерезиса в этом случае имела меньшее значение  $\left( \Delta \bar{S} = \frac{3-2}{5} = 0,2 \right)$  по сравнению с кручением  $\left( \Delta \bar{\varphi} = \frac{0,076-0,05}{0,12} = 0,216 \right)$ , что давало и меньшую площадь петли. Радиальная жёсткость оболочки была равна 32 Н/м.

При осевом нагружении  $P = 3000$  Н оболочка имела смещение 25 мм. Осевая жёсткость при этом составила 10,3 Н/м. Относительная ширина  $l = \frac{15-10}{25} = 0,2$  и площадь петли гистерезиса принимали такое же значение, как и при поперечном сдвиге.

Этот вид испытаний позволил также определить при кручении демпфирующую способность испытуемых узлов, которая оценивалась коэффициентом поглощения энергии  $\psi$ , равным отношению потерянной за цикл энергии  $\Psi$  к наибольшему значению потенциальной энергии  $\Pi$  оболочки [4, С. 38]:

$$\psi = \Psi / \Pi, \quad 3)$$

$$\text{где } \Psi = \int_0^T b_2 \dot{\varphi}^2(t) dt = b_2 (\varphi \dot{\omega})^2 \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \pi \varphi^2 \omega b_2, \quad \Pi =$$

$c \varphi^2 / 2$ ,  $T = 2\pi / \omega$  – период демпфирования,  $b_2$  – константа,  $c = \text{tg } \alpha$  – угол наклона петли гистерезиса, который характеризует жёсткость РКО.

В результате вычислений получен коэффициент поглощения  $\psi = 0,47$ .

Данные по сопротивлению статическим деформациям при однократном нагружении указывает на существенную нелинейность интегральных характеристик, определяющих связь между крутящими моментами и угловыми перемещениями. В свою очередь эти усилия и перемещения порождают радиальные и осевые смещения, а их общая комбинация определяет зоны накопления повреждений и разрушений. Реальные условия нагружения РКО требуют перехода к анализу не только циклических, но и термоциклических процессов деформирования и разрушения.

Принято, подбор РКО осуществлять из имеющейся номенклатуры их типоразмеров по номинальному крутящему моменту. При этом используются расчётные зависимости крутильных колебаний с учётом крутильной жёсткости оболочек, полученных в результате экспериментальных исследований, представленных в виде петель гистерезиса, при нагружении статическим крутящим моментом.

Однако такая методика расчёта не позволяет определить ресурс оболочек. Долговечность РКО в значительной степени определяется углом закручивания. Нормативные значения крутящих моментов и статистические данные экспериментальных исследований при статическом нагружении позволили определить номинальные и максимальные значения углов закручивания оболочек.

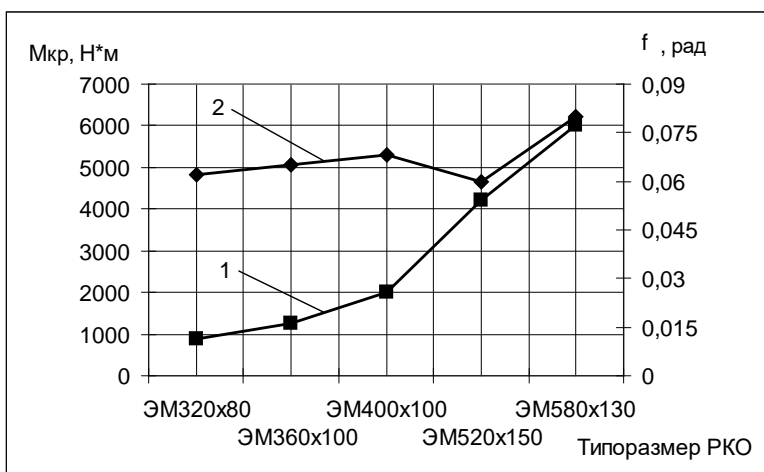


Рисунок 2 – Зависимость угла закручивания (1) РКО от номинального крутящего момента (2)

С увеличением типоразмера РКО угол закручивания возрастает (рис. 2). Снижение значения угла закручивания происходит на оболочке ЭМ520×150 в связи с её конструктивными особенностями (наличие М – образной формы наружной поверхности и дополнительного слоя корда в виде кольца в зоне экватора оболочки).

Используя статистические данные выхода из строя РКО, можно в первом приближении определить их ресурс в зависимости от угла закручивания по степенному уравнению долговечности,

$$\varphi N^m = c, \quad 4)$$

где  $\varphi$  – угол закручивания оболочки,

$N$  – долговечность оболочки.

$m, c$  – параметры оболочки.

Для их определения используются условия разрушения в крайних точках:

при  $N = 1$  максимальный угол закручивания РКО ЭМ320×80  $\varphi = 0,18$ ;

при  $N = 10^6$  предельный угол закручивания РКО ЭМ320×80  $\varphi = 0,062$ .

Тогда расчётная долговечность будет

$$N = \left( \frac{c}{\varphi} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad 5)$$

Испытания показали, что ресурс РКО отличается от расчётного по (5). Это отличие для различных вариантов использования оболочек показано на рисунке 3. Заметное снижение долговечности происходит в диапазонах от  $10^2$  до  $10^4$  циклов.

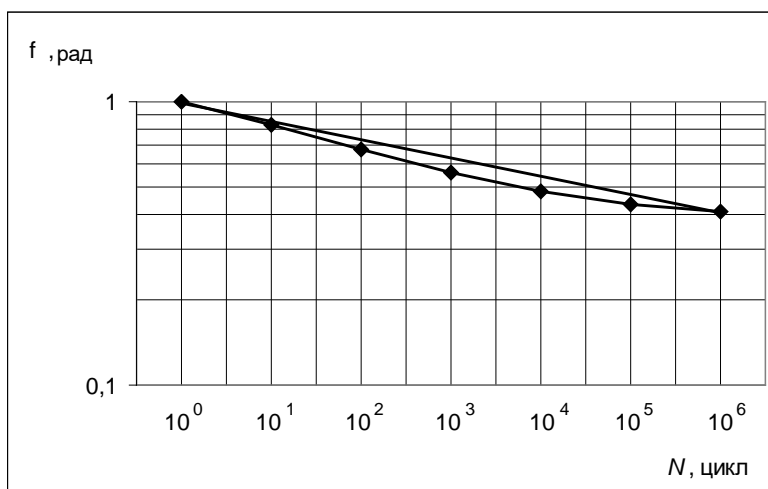


Рисунок 3 – Зависимости ресурса от угла закручивания РКО по числу возникновения дефектов

При статическом и циклическом нагружении оболочек возникают петли гистерезиса (*a*, рис. 4), связывающие усилия (моменты или продольные силы) с деформациями (углы закручивания или осевые смещения). Эти деформации можно разделить на квазиупругие (линия *b*) с размахом  $\Delta\varphi_{ку}$  и неупругие с размахом  $\Delta\varphi_{н}$ . Эти размахи соответствуют удвоенной амплитудам  $\varphi_{куа}$  и  $\varphi_{на}$ .

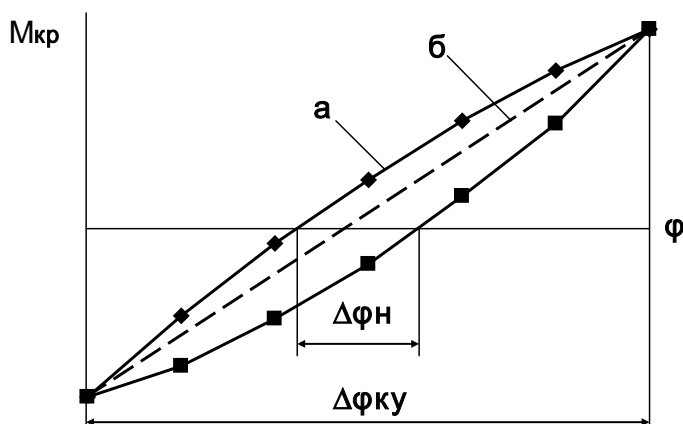


Рисунок 4 – Интегральные характеристики РКО: *a* – петля гистерезиса; *b* – квазиупругая деформация;  $\Delta\varphi_{ку}$  – размах квазиупругой деформации;  $\Delta\varphi_{н}$  – размах неупругой деформации

Принимая по аналогии с металлическими материалами справедливой степенную зависимость (4) для каждой из составляющих от этой деформации, можно установить зависимость ресурса РКО от величины квазиупругой и неупругой деформации. Определение этих величин осуществлялось на основе (4) и (5) по зависимостям Коффина-Мэнсона, модифицированным в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН [5, С. 126]:

амплитуда квазиупругой деформации



$$\varphi_{куа} = \frac{C_{ку}}{2 N^{m_{ку}}}, \quad (6)$$

амплитуда неупругой деформации

$$\varphi_{на} = \frac{C_n}{2 N^{m_n}}, \quad (7)$$

суммарная амплитуда деформации

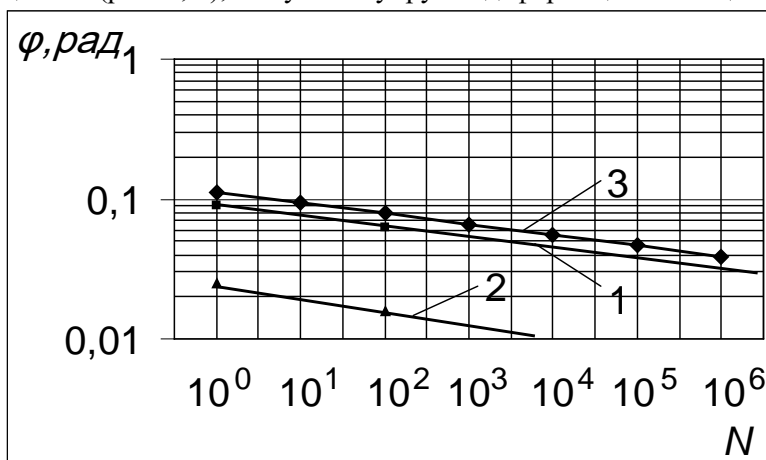
$$\varphi_a = \frac{C_{ку}}{2 N^{m_{ку}}} + \frac{C_n}{2 N^{m_n}}. \quad (8)$$

Расчётные параметры выражений (6) – (8) приведены в таблице 1.

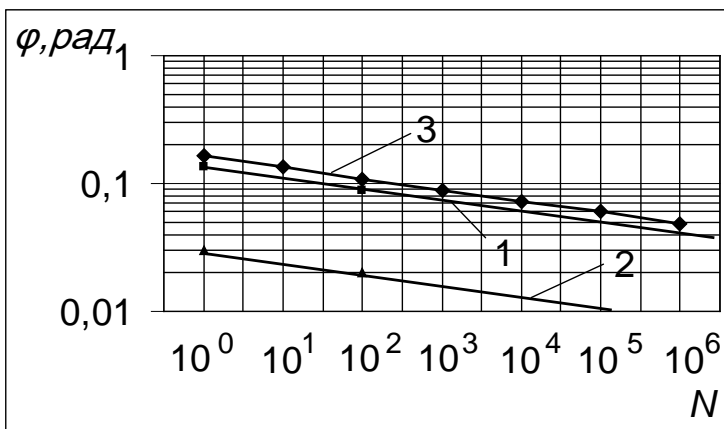
**Таблица 1 – Расчётные параметры резинокордных оболочек**

Параметры	Типоразмер оболочки				
	ЭМ320×80	ЭМ360×100	ЭМ400×100	ЭМ520×150	ЭМ580×130
$C_{ку}$	0,18	0,21	0,22	0,14	0,27
$C_n$	0,045	0,048	0,052	0,03	0,065
$m_{ку}$	0,564	0,489	0,464	0,811	0,38
$m_n$	1,877	1,768	1,565	3,071	1,513

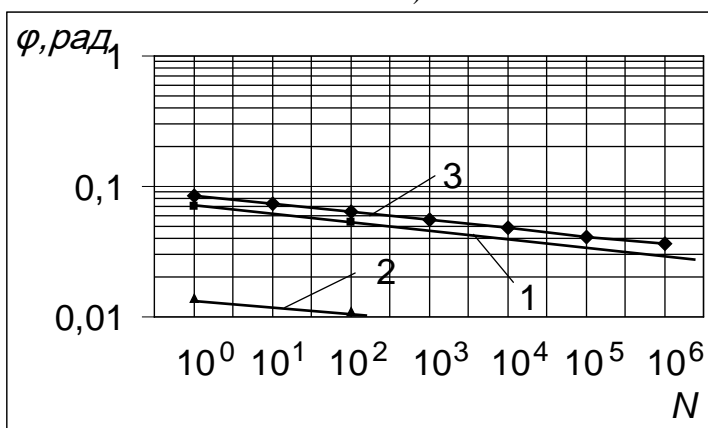
Результаты вычислений по (6) – (8) также приведены на рисунке 5: при квазиупругой деформации резинокордная оболочка ЭМ320×80 имеет долговечность  $10^7$  циклов (рис. 5, а); в случае неупругой деформации –  $10^5$  циклов.



а)



б)



в)

Рисунок 5 – Зависимость долговечности РКО от величины квазиупругой (1), неупругой (2) и суммарной (3) деформации РКО: а – ЭМ320×80; б – ЭМ580×130; в – ЭМ520×150

Долговечность РКО ЭМ580×130 определяется квазиупругой деформацией  $10^7$  циклов, неупругой деформацией –  $10^5$  циклов (рис. 5, б).

Для оболочки ЭМ520×150 (рис. 5, в) долговечность имеет  $10^8$  циклов в случае квазиупругой деформации,  $10^2$  циклов при неупругой деформации, порядка 0,01.

#### Выводы

1. Данные по сопротивлению статическим деформациям при однократном нагружении указывает на существенную нелинейность интегральных характеристик, определяющих связь между крутящими моментами и угловыми перемещениями. В свою очередь эти усилия и перемещения порождают радиальные и осевые смещения. Реальные условия нагружения РКО требуют перехода к анализу не только циклических, но и термоциклических процессов деформирования и разрушения.

2. Выведенные уравнения позволят определить ресурс РКО с позиции квазиупругой, неупругой и суммарной деформации. При этом необходимо рас-

полагать статистическими данными выхода из строя оболочек и интегральными характеристиками. Данный метод расчёта может быть использован и на другие виды упругих элементов, находящиеся в различных условиях эксплуатации.

*Литература*

1. Вейц, В. Л. Колебательные системы машинных агрегатов // Л.: Машиностроение. – 1979. – 256 с.
2. Вейц, В. Л. Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания // Л.: М.: Машиностроение. – 1976. – 336 с.
3. Пановко, Г. Я. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем // М.: Физматгиз. – 1960. – 312 с.
4. Поляков, В. С., Барбаш, И. Д., Ряховский, О. А. Справочник по муфтам // Л.: Машиностроение. – 1979. – 343 с.
5. Махутов, Н. А. Деформационные критерии разрушения и расчёт элементов конструкций на прочность // М.: Машиностроение, – 1981. – 272 с.

УДК 620.92

## Модели поддержки принятия решений при сбоях в аэропорту

**О.И. Баранчикова**, аспирант,

**В.Я. Вилисов**, д.э.н., к.т.н.,

Государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Рассматривается задача управления отправкой авиарейсов в условиях сбоев поставки авиатоплива. Решение и моделирование выполнено для данных, максимально приближенным к реальным, на основе информации о рейсах и типах самолетов Домодедовского авиаузла. По данным о работе аэропорта в условиях сбоя была решена и обратная задача, позволяющая получить оценки параметров обобщенной целевой функции, учитывающей, в том числе и потери, связанные с априори трудно формализуемыми издержками пассажиров. Сформулирована и решена задача оптимального управления страховыми запасами авиатоплива в хранилищах аэропорта. Рассмотренные задачи представляют собой единый комплекс, направленный на оптимизацию работы аэропорта в условиях сбоя.*

Оптимальное планирование, линейное программирование, авиатопливо, сбой в поставках, обратная задача.

## Models for decision support fail at the airport

**O.I. Baranchikova**, Graduate Student,

**V.Ya. Vilisov**, D.Sc., Ph.D.,

State Educational Institution of Higher Education

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

*The problem sending the flight management in the aviation fuel supply disruptions. The decision and the simulation is performed for the data, as close as possible to the real, based on information about flights and types of aircraft of Domodedovo air hub. According to the data of the failure conditions of the airport has been solved and the inverse problem, allowing us to obtain estimates of the parameters of the generalized objective function that takes into account, including the loss associated with a priori difficult to formalize passenger costs. Formulated and solved the problem of optimal control of insurance stocks of jet fuel in the airport stores. The above tasks are a single complex, aimed at optimization of the airport in terms of failure.*

Optimal planning, linear programming, jet fuel, failure of supply, the inverse problem.

### Введение

В отличие от сбойных ситуаций, вызванных неблагоприятными для выполнения полетов метеоусловиями, для сбоев, связанных с несвоевременным

подвозом авиатоплива (далее – топлива), существует возможность с большой степенью достоверности прогнозировать момент начала сбойной ситуации (момент окончания текущего запаса топлива) и момент поступления новой партии топлива. Задача управления в подобной ситуации заключается в распределении имеющегося запаса авиатоплива между рейсами таким образом, чтобы минимизировать возможные негативные последствия сбоя [1, 2].

Актуальность решения такой задачи существует уже достаточно давно и время от времени свидетельства тому появляются в прессе.

В ситуации сбоя в поставках авиатоплива возможны две стратегии поведения:

1. ждать, когда сбой наступит; все рейсы, попавшие на интервал сбоя задержать, а по истечении интервала сбоя решать обычную задачу «рассасывания затора», которая возникает при сбоях по метеоусловиям;
2. не ждать, когда наступит момент начала сбоя, а заблаговременно в момент, когда неизбежность сбоя станет очевидной, начать предпринимать меры по минимизации потерь от будущего сбоя.

Для рассматриваемой задачи важными представляются следующие две группы критериев:

1. Потери, связанные с заемом топлива в запасном аэропорту (ЗАП). В общем виде целевая функция и соответствующий критерий для этих потерь имеют вид, обычный для задач линейного программирования.
2. Потери, связанные с запаздыванием прибытия в аэропорт назначения (НАП). Этот вид потерь сложно задать нормативно (априори) т.к. он содержит, в основном, издержки, связанные с неудобствами, доставляемыми пассажирам в связи с задержками вылета самолетов.

### **Постановка задачи**

Математическая постановка прямой задачи управления рейсами в условиях сбоя поставки авиатоплива (далее – сбоя) без потери общности рассмотрена в контексте следующего примера.

Пусть факт начала сбоя зафиксирован. Имеются 4 рейса, которые необходимо отправить и ограниченное количество ( $M$ ) оставшегося в хранилищах аэропорта топлива, которого не хватает для отправки всех 4-х рейсов. Варианты управления в данной ситуации следующие:

1. отправлять рейсы пока не кончится топливо (а остальные будут отложены до поступления очередной партии топлива);
2. рассмотреть варианты отправки некоторых или всех рейсов через промежуточные аэропорты с дозаправкой в них. Тогда остатки топлива  $M$  распределить не только между прямыми рейсами до аэропорта назначения, но и между теми, которые могут быть отправлены через промежуточные (запасные) аэропорты (ЗАПы), предоставившие некоторые объемы своего топлива ( $M_j$ ) для дальнейшего перелета.

В качестве аэропорта, в котором произошел сбой (САП), будем рассматривать Домодедово.

Аэропорты назначения (НАПы) 4-х рейсов, попавших в интервал сбоя, пусть находятся в городах: Хабаровск, Якутск, Владивосток, Петропавловск-Камчатский.

Аэропорты дозаправки пусть находятся в городах: Омск, Ханты-Мансийск, Тюмень, Иркутск, Красноярск.

Выбор оптимального решения основан на минимизации двух целевых функций [3-7]. Первая отражает потери, связанные с заемом топлива в ЗАП:

$$L_B = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m C_{ij}^B B_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{x_{ij}} \quad (1)$$

где  $C_{ij}^B$  – некоторый платеж (штраф)  $j$ -му ЗАПу за единицу топлива, купленного у него САПом для  $i$ -го рейса ( $C_{i0}^B = 0$ );  $B_{ij}$  – объем топлива, необходимый  $i$ -му рейсу, следующему через  $j$ -й САП;  $x_{ij}$  – искомые бинарные переменные. Вторая целевая функция отражает потери, связанные с запаздыванием прибытия рейса в НАП:

$$L_\theta = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m C_{ij}^\theta \theta_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{x_{ij}} \quad (2)$$

где  $C_{ij}^\theta$  – обобщенный ущерб от запаздывания  $i$ -го рейса прибытием в НАП, следующего через  $j$ -й ЗАП; этот ущерб может быть обусловлен поздним прибытием пассажиров (что приводит к жалобам и претензиям), запаздыванием доставки грузов и т.п.;  $\theta_{ij}$  – величина запаздывания  $i$ -го рейса, вылетающего из САПа в соответствии с расписанием, и следующего через  $j$ -й ЗАП; в общем виде запаздывание можно представить следующим образом:

$$\theta_{ij} = \alpha_i (A_{ij} + B_{ij} - A_{i0}) + T_{ij} + T_{i0}, \quad (3)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент пропорциональности, ставящий в соответствие величину запаздывания количеству использованного топлива;  $A_{ij}$  – объем топлива, необходимый  $i$ -му рейсу для перелета из САПа до  $j$ -го ЗАПа.

Для моделирования в работе была использована аддитивная свертка двух критериев с соответствующими весовыми коэффициентами:

$$L_{\text{общ}} = \alpha_B L_B + \alpha_\theta L_\theta. \quad (4)$$

В задаче необходимо найти бинарные переменные  $x_{ij}$ , отражающие необходимость отправки  $i$ -го рейса в  $j$ -й аэропорт назначения или запасной аэропорт.

### Решение задачи планирования отправки рейсов

В работе вычислены реальные потребности и затраты топлива с учетом типов самолетов и расхода топлива в полете.

В процессе моделирования решения задачи с помощью надстройки MS Excel «Поиск решения» найдены оптимально решения для различных значений (57 вариантов) остатка топлива на момент начала сбоя. Так для варианта, в котором остаток топлива составляет 80 тонн, согласно найденному решению следует отправить три рейса: в Якутск, Владивосток и Петропавловск-Камчатский. Причем во Владивосток отправить через Иркутск, а остальные два рейса – напрямую в пункт назначения. При этом общие издержки по обобщенному критерию составят 36500 у.е.

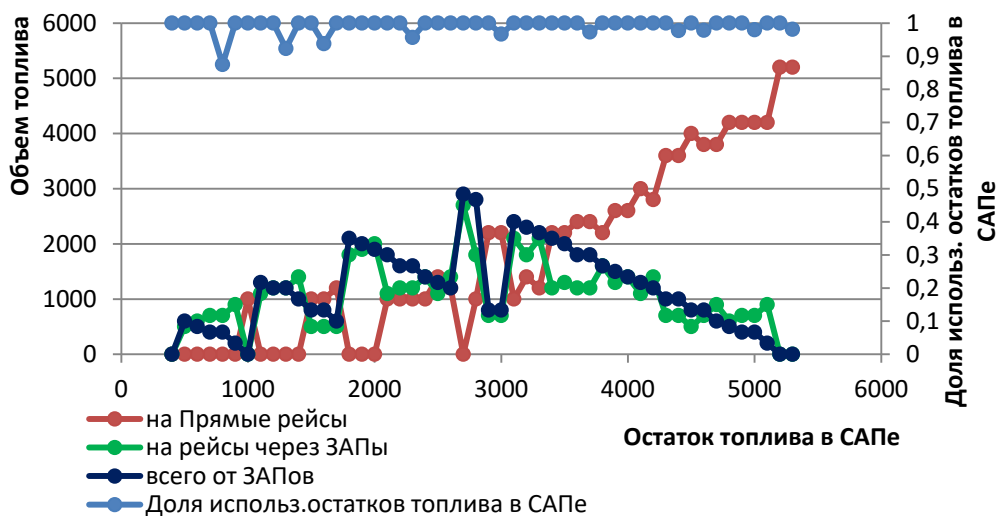


Рисунок 1 – Объемы топлива, распределяемого между рейсами

Графики упомянутых вариантов решения задачи приведены на рисунке 1, где отражены зависимости объемов топлива, распределяемых между прямыми рейсами и рейсами через ЗАПы от количества остатков топлива в САПе.

Из графиков видно, что алгоритм планирования пытается максимально отправлять рейсы напрямую (непосредственно в аэропорты назначения) чтобы не нести дополнительные издержки на покупку топлива в ЗАПе. А не распределяемые на прямые рейсы остатки топлива предоставляются для отправки оставшиеся рейсы через ЗАПы, чтобы минимизировать возможный ущерб от отмены рейса.

Вторая группа графиков (рис. 2) отражает поведение целевых функций в зависимости от количества остатков топлива в САПе.

В работе представлено и решение обратной задачи [8-10], цель которой – в получении оценок обобщенной целевой функции по наблюдениям за хорошими решениями, принятыми опытными менеджерами в возникавших ранее сбойных ситуациях.

#### Задача оптимального управления запасами топлива

В комплекс задач управления отправкой рейсов входит и задача управления запасами [4] топлива в хранилищах аэропорта. Она основана на данных о потребных объемах заправки самолетов различных типов. При этом учитывается, что кроме номинального объема топлива  $v_0$ , необходим и запасной объем  $v_3$  на случай увеличения продолжительности полета, например, при встречном или попутный ветре и т.п. Кроме того учтено, что при заправке прилетевший самолет имеет некоторый остаток топлива в баке  $v_H$ . Поэтому при заправке самолету потребуется объем топлива  $v_T = v_0 + v_3 - v_H$ . А так как величина  $v_H$  случайная, то и текущий объем топлива в хранилище аэропорта тоже случаен.

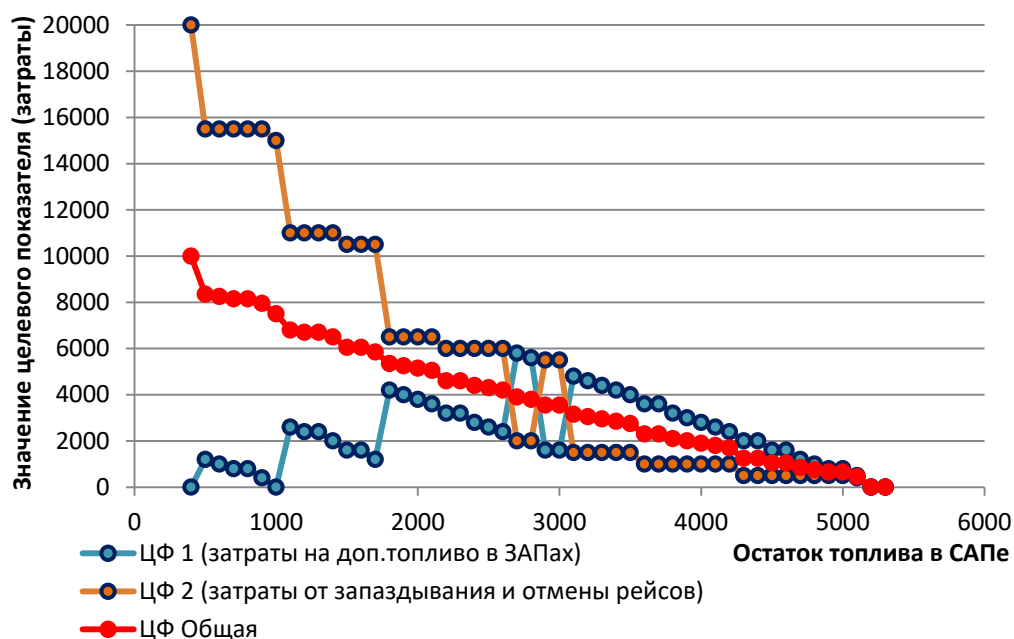


Рисунок 2 – Значения частных и общего целевых показателей

Для ритмичной работы аэропорта в хранилище должен быть страховой запас, компенсирующий случайные колебания реального спроса. Однако, объем этого запаса не должен быть слишком большим – чтобы не нести излишние потери от замороженных активов. Он не может быть и очень маленьким, что может привести к дефициту даже при регулярных (бессбойных) поставках топлива. Задача управления запасами и состоит в определении такого компромиссного объема страхового запаса, который позволит минимизировать общие издержки.

На основе данных аэропорта Домодедово, где в день выполняется около 300 рейсов, с учетом типов самолетов, их расхода топлива, определено количество  $v_0$ , необходимое самолету, чтобы долететь до пункта назначения.

На основе этого в режиме имитационного моделирования сгенерированы данные по остаткам топлива в баках самолетов перед заправкой ( $v_H$ ). Расчеты выполнены для количества рейсов - около 300 и для 100 дней наблюдений в аэропорту Домодедово. С учетом этого оптимальный страховой объем хранилища составил 30000 тонн в предположении ежедневного пополнения запасов.

В данных расчетах в качестве составляющей издержек, отражающей дефицит топлива (приводящий к сбою) были использованы данные по ЦФ1 из прямой задачи управления рейсами, причем не сама ЦФ1, а ее аппроксимация в виде логарифмического тренда. Результаты расчетов приведены на рисунке 3.



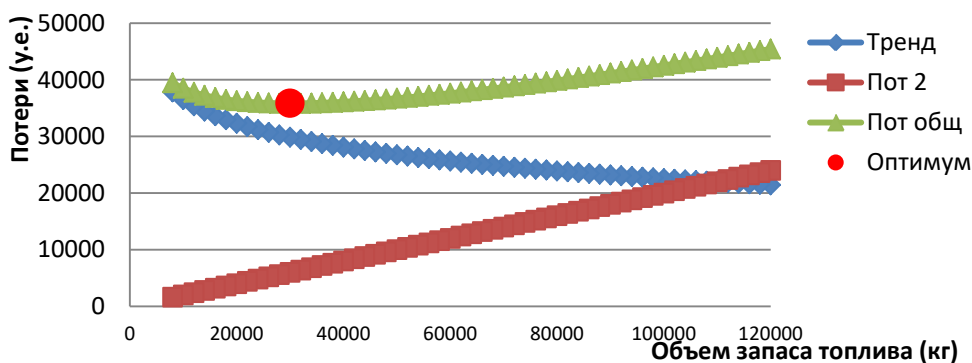


Рисунок 3 – Выбор оптимального запаса топлива в хранилищах

### Выводы

1. Комплекс моделей поддержки принятия решений при управлении рейсами в условиях сбоев в поставках авиатоплива, показал свою работоспособность в режиме имитационного моделирования на основе реальных и близких к реальным исходных данных.

2. Применение рассмотренных моделей на практике позволит существенно снизить не только материальные, но и социальные издержки т.к. в критериях управления учтены обобщенные потери пассажиров, обусловленные задержками отправки рейсов. Обобщенные издержки оцениваются с помощью решения обратной задачи.

3. Предложенные модели планирования пассажирских авиаперевозок в условиях сбоев, конечно, не исчерпывают всего разнообразия возможных ситуаций, однако, могут служить основой для создания комплекса моделей для системы поддержки принятия решений диспетчерскими службами аэропортов.

### Литература

1. Волкова, Л. П. Управление деятельностью аэропорта / Л. П. Волкова. – М.: МГТУ ГА. – 2007. – 104 с.
2. Бажов, Л. Б. Основы аэропортовой деятельности и обеспечении полетов / Л. Б. Бажов. – Ульяновск: УВАУ ГА(И). – 2011. – 80 с.
3. Вилисов, В. Я. Адаптивные модели исследования операций в экономике / В. Я. Вилисов. – М.: Энит. – 2007. – 286 с.
4. Вилисов, В. Я. Адаптивный выбор управленческих решений. Модели исследования операций как средство хранения знаний ЛПП / В. Я. Вилисов. – Саарбрюккен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2011. – 376 с.
5. Вилисов, В. Я. Адаптивный подход к распределению ограниченных материальных ресурсов в производственных системах / В. Я. Вилисов // Менеджмент в России и за рубежом. – 2007. – № 5. – С. 10-19.
6. Вилисов, В. Я. Транспортная модель, аппроксимирующая предпочтения ЛПП / В. Я. Вилисов // Прикладная информатика. – 2010. – № 6 (30). – С. 101-110.
7. Вилисов, В. Я. Управление переключениями тарифных планов сотовой связи / В. Я. Вилисов // Управление большими системами. – Выпуск 40. – М.: ИПУ РАН. – 2012. – С. 221-237.

8. Вилисов, В. Я. Анализ динамики обучения робота в условиях нестационарности критериев модель / В. Я. Вилисов // Информационно-технологический вестник. – 2014. – № 2. – С. 34-39.
9. Вилисов, В. Я. Анализ эффективности обучения робота в условиях целевой нестационарности / В. Я. Вилисов // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины. Сборник научных статей по материалам XI Международной научно-технической конференции: в 2 частях. – 2014. – Часть 2. – С. 282-287.
10. Вилисов, В. Я. Марковская модель обучения робота целесообразному поведению / В. Я. Вилисов // Информационно-технологический вестник. – 2015. – № 4. – С. 11-18.

УДК 621-192(035)

**Постановка задачи разработки комплексных показателей  
безопасной эксплуатации опасных производственных объектов  
наземной космической инфраструктуры**

**М.Ю. Ерофеев**, ведущий научный сотрудник,  
**В.В. Гончаров**, начальник комплекса – заместитель начальника НТЦ по научной  
работе, д.т.н., с.н.с.,  
«НИИ КС имени А. А.Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.  
В.Хруничева», г. Королев, Московская обл., Россия

*В статье рассмотрена постановка задачи по определению комплексных показателей безопасной эксплуатации опасных производственных объектов. В качестве опасных производственных объектов рассматриваются объекты космической инфраструктуры такие как, технические и стартовые комплексы. В качестве обобщенного комплексного показателя принят показатель безопасной эксплуатации объекта, который, в общем случае, зависит от технического состояния объекта и влияния человеческого фактора. Данный показатель используется в программном комплексе. Программный комплекс позволяет осуществлять сбор необходимой информации, размещать ее по группам в базе данных, и использовать для проведения требуемых расчетов.*

Комплексные показатели, эксплуатация, наземная космическая инфраструктура, опасные производственные объекты.

**Statement of the problem the development of integrated indicators of safe  
operation of industrial hazardous facilities of the ground space  
infrastructure**

**M.Y. Erofeev**, Leading researcher,  
**V.V. Goncharov**, Head of complex – Deputy head of STC for scientific work, doctor  
of technical Sciences, senior researcher,  
«Scientific research Institute of space systems named after A. A.Maksimov» – branch  
of FSUE «State space research and production center named after M. V.Khrunichev»,  
Korolev, Moscow region, Russia

*The article discusses the statement of the problem according to the definition of complex indices of safe operation of hazardous production facilities. Objects of space infrastructure such as technical and launch complexes are considered as dangerous production objects. The safe operation indicator of the facility is accepted as a generalized complex indicator, which, in general, depends on the technical state of the object and the influence of the human factor. This figure is used in the software package. The software package allows to collect the necessary information to place it in the database, and used to carry out the necessary calculations.*

Integrated indicators, operation, ground space infrastructure, industrial hazardous facil-

ities.

Объектами наземной космической инфраструктуры (НКИ) являются стартовые и технические комплексы, заправочно-нейтрализационные станции и командно-измерительные пункты. Каждый из этих объектов, можно приравнять к среднему по размеру промышленному предприятию [1]. Аварии на объектах НКИ могут привести к человеческим жертвам, масштабным экономическим и репутационным потерям, а также нанести непоправимый вред окружающей природной среде.

Обеспечение безаварийности на опасных производственных объектах (ОПО) НКИ является одной из первостепенных задач при проведении контроля технического состояния.

Каждый объект НКИ состоит из совокупности множества разнородных элементов, состояние которых определяется множеством различных параметров. Это затрудняет определение и прогнозирование его технического состояния. Для более точного определения и прогнозирования технического состояния, оценки безопасной эксплуатации ОПО НКИ необходима разработка комплексного интегрального показателя безопасной эксплуатации.

В составе НКИ используются опасные производственные объекты, на которых:

- получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества (воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные и высокотоксичные вещества, а также вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды);
- используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды более 115 градусов Цельсия;
- используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы;
- ведутся работы в подземных условиях.

Процедуры надзора за ОПО НКИ определяются Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Степень защищенности от аварий на таких объектах и последствий их возникновения является необходимым условием надежной и безопасной эксплуатации ОПО НКИ [2]. Кроме того, регулятором процедур надзора выступает ряд ГОСТов, например, ГОСТ 8.563, который описывает методы и методики проводимых измерений, осуществляемых при надзоре [3].

В процессе надзора проводятся аттестации и экспертизы, выявляющие текущее техническое состояние объекта, при которых устанавливается множество различных параметров. Основными из них являются:

- отклонение от установленных норм, полученных в результате измерений характеристик,
- обеспеченность безопасности обслуживающего персонала.

При этом следует отметить, что существенным недостатком при сборе вышеуказанной информации является отсутствие комплексного подхода к обработке показателей, свидетельствующих о возможности обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов НКИ. Основной упор делается на техническую составляющую способов измерений и хранения полученных данных. Однако важное значение имеет информационное обеспечение, критерий

доступности информации о том или ином объекте.

Безопасная эксплуатация ОПО НКИ характеризуется сведением к минимуму количества отказов и их последствий.

К видам деятельности в области промышленной безопасности относятся проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, техническое перевооружение, консервация и ликвидация опасного производственного объекта; изготовление, монтаж, наладка, обслуживание и ремонт технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте; проведение экспертизы промышленной безопасности; подготовка и переподготовка работников опасного производственного объекта в необразовательных учреждениях [2].

Вероятность безопасной эксплуатации может быть выражена как:

$$P_{бэ} = P_{тс} \cdot P_{чф}, \quad (1)$$

где

$P_{тс}$  – показатель, характеризующий вероятностью безотказной работы технических средств ОПО НКИ,

$P_{чф}$  – показатель, характеризующий вероятностью безошибочной работы обслуживающего персонала.

В свою очередь

$$P_{тс} = f(T, K_n, P_{об}, K_{ср}, K_n), \quad (2)$$

где

$T$  – наработка (продолжительность функционирования технического объекта либо объем работы, выполненный им за некоторый календарный промежуток времени; измеряется в циклах, единицах времени, объема, длины пробега и т. д.),

$K_n$  – показатель интенсивности эксплуатации (отражает влияние режима работы и нагрузки на объект),

$P_{об}$  – вероятность обнаружения дефекта,

$K_{ср}$  – показатель влияния окружающей среды (отражает влияние физического, химического, климатического и биологического факторов, влияющих на объект),

$K_n$  – показатель, характеризующий надежность объекта (комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, а также определенное сочетание этих свойств).

В процессе эксплуатации технических средств ОПО НКИ может наступить их отказ. При этом под отказом понимается «событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния» [4]. Отказ может быть следствием дефектов (повреждений) и неверных параметров эксплуатации (ошибок эксплуатирующего персонала).

Под дефектом понимается «каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям» [4]. В соответствии с нормами государственной стандартизации дефекты подразделяют на:

- малозначительные – дефекты, которые не влияют на использование продукции по назначению и ее долговечность;

- значительные – дефекты, которые существенно влияют на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность, но не является кри-

тическим;

- критические – дефекты, при наличии которых использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо [4].

Таким образом, безопасная эксплуатация ОПО НКИ достигается путем своевременного выявления и устранения дефектов и предупреждения ошибок эксплуатирующего персонала.

Для выявления дефектов и предупреждения отказов проводятся:

- проверки на функционирование,  
 - испытания,  
 - обследования с применением методов и средств неразрушающего контроля.

Понятие «неразрушающий контроль» (НК) подразумевает под собой контроль основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов. Такой вид контроля не требует выведения объекта из работы, а также не требует его демонтажа. НК занимает ключевое место в проблеме безопасности: НК необходим для обеспечения экологической, медицинской, техногенной, оборонной безопасности [5]. Поэтому НК особенно важен при обеспечении безопасности на ОПО НКИ.

Существуют различные виды НК, которые на основании различных физических признаков можно сгруппировать следующим образом: магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический контроль и контроль проникающими веществами [6].

Эффективность выявления дефекта (достоверность контроля) с помощью НК характеризуется вероятностью обнаружения дефекта  $P_{об}$ .

В общем случае вероятность обнаружения дефекта выражается как:

$$P_{об} = f(K_k, K_n, K_m, N, t), \quad (3)$$

где

$K_k$  – показатель контролепригодности объекта контроля,

$K_n$  – показатель квалификации персонала, проводящего контроль,

$K_m$  – показатель применимости конкретного вида (метода) НК для выявления определенного типа дефекта,

$N$  – количество различных примененных видов (методов) контроля,

$t$  – время контроля.

Использование того или иного вида контроля является прерогативой организации, осуществляющей экспертизу. При этом для ОПО НКИ, находящихся за пределами назначенных показателей ресурсов, реализуется принцип «избыточности», что с одной стороны повышает  $P_{об}$ , а с другой стороны требует затрат денежных, материальных, человеческих ресурсов.

Особенностью всех методов НК является то, что все технологические операции, включая выявление дефекта и его типа, выполняются в большинстве случаев человеком-оператором. В связи с этим данные методы являются субъективными, поэтому крайне важную роль играет достоверность контроля. Качество контроля зависит от многих эргономических факторов, непосредственно влияющих на человека. Изучение этих факторов в системе человек–машина в настоящее время стало актуальной проблемой.

Человеческий фактор оказывает существенное влияние на функционирование технических средств и безопасность эксплуатации ОПО НКИ.

Показатель человеческого фактора выражается как

$$P_{\text{чф}} = P_{\text{п}} \cdot P_{\text{м}} \cdot P_{\text{э}} \cdot P_{\text{кон}} \cdot P_{\text{и}} \cdot P_{\text{др}}, \quad (4)$$

где

$P_{\text{п}}$  – поведенческий фактор (личные качества исполнителей: нарушение дисциплины, психофизиологическая неустойчивость);

$P_{\text{м}}$  – медицинский фактор (состояние физического здоровья);

$P_{\text{э}}$  – эксплуатационный фактор (отбор персонала, наличие опыта, знание оборудования);

$P_{\text{кон}}$  – фактор, связанный с конструкцией оборудования (показатель эргономичности);

$P_{\text{и}}$  – информационный фактор (сбор и передача данных, интерпретация устных сообщений, координация действий персонала);

$P_{\text{др}}$  – другие проявления человеческого фактора [7].

Повышение качества управления требует оценки достоверности контроля и параметров процесса. Для обеспечения требований качества и подтверждения параметров контроля применяется статистический подход. Данный подход пригоден для планирования периодичности контроля при эксплуатации. Оценка влияний различных факторов является одним из шагов, ведущих к оптимизации применения неразрушающего контроля. Верная расшифровка результатов является залогом успешного выполнения работы. Ограниченное количество экспериментальных данных, позволяет достичь лишь определенного уровня достоверности [8].

В связи с этим важное значение имеет автоматизированный процесс контроля и автоматическая обработка, анализ, хранение и передача информации. Это позволяет существенно повышать достоверность и эффективность контроля, получать документ о его результатах, сводя к минимуму погрешности системы человек-машина.

В связи с вышеизложенным повышается степень актуальности задачи сбора информации о промышленной безопасности ОПО НКИ и необходимости автоматически размещать ее в базу данных, для проведения последующего ее использования в автоматизированном режиме. Сбор данной информации предполагается осуществлять при помощи программного комплекса, в котором данные группируются в базе данных в соответствующие блоки:

- по организациям, имеющим технические устройства, применяемые на опасных производственных объектах;

- по техническим устройствам, применяемым на опасных производственных объектах;

- по квалификации персонала, обслуживающего технические устройства, применяемые на опасных производственных объектах;

- по организациям, имеющим лицензии на проведение экспертизы промышленной безопасности ОПО НКИ;

- по квалификации персонала, осуществляющего экспертизу промышленной безопасности ОПО НКИ;

- по методам, результатам обследования и экспертизы технических устройств, применяемых на ОПО НКИ.

Введение показателя безопасной эксплуатации  $P_{\text{бэ}}$ , как комплексного показателя безопасной эксплуатации ОПО НКИ, вычисляемого из того ряда пара-

метров, которые были введены в программный комплекс обеспечит рациональное использование полученной информации.

Величина данного показателя, полученная в результате расчета, позволит получить информацию о промышленной безопасности ОПО НКИ.

Использование показателя безопасной эксплуатации в программном комплексе позволит:

- объединить по группам однотипные ОПО НКИ;
- оптимизировать сроки обследования и экспертизы ОПО НКИ;
- оптимизировать состав и последовательность применяемых методов контроля, избегая излишней «избыточности» при обследовании;
- прогнозировать техническое состояние и безопасную эксплуатацию ОПО НКИ.

#### *Литература*

1. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. Книга 1 / Под общ. ред. д.т.н., проф. И. В.Бармина // М. – Полиграфикс РПК. – 2005. – 420 стр.
2. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – 7-е изд., с изм. // М.: Научно-технический центр «Промышленная безопасность». – 2009. – 28 с.
3. ГОСТ Р 8.563-2009 – Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. // М.: Стандартиформ. – 2010. – 15 с.
4. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10т. / Ред. совет: В. С. Авдучевский (пред.) [и др.] // М.: Машиностроение. – 1986. – (В пер.). Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. – 224 с.
5. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В. В. Клюева // М.: Машиностроение. – 2003. – 656с.
6. Основы эксплуатации космических средств / Александров Е. С. [и др.]. СПб.: ВИКУ им. Можайского. – 2000. – 497 с.
7. Воробьев, В. С., Брызгалова, Р. М., Репина, И. Б. Человеческий фактор в системе отказов технических средств железнодорожного транспорта / В. С. Воробьев, Р. М. Брызгалова, И. Б. Репина // Наука и транспорт. – 2012. – № 3.
8. Jiří Běhal. Inspection reliability in the mean of signal amplitude interpretation. Defektoskopie/NDE for Safety 2010, 40th International Conference and Exhibition, Pilsen, Czech Republic. Nov 10-12, 2010.



УДК 629.7

**Актуальные задачи построения систем автоматического расчета надежности изделий ракетно-космической техники**

**П.А. Филоненко**, главный научный сотрудник,

**В.В. Гончаров**, д.т.н., с.н.с., начальник комплекса – заместитель начальника научно-технического центра по научной работе,

**М.Г. Турчин**, с.н.с.,

«Научно-исследовательский институт космических систем имени А. А. Максимова» – филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный космический научно-производственный центр имени М. В. Хруничева», г. Королев, Московская область

*В данной статье предлагается анализ актуальных задач, возникающих в ходе создания систем автоматического расчета надежности изделий ракетно-космической техники. Автоматический расчет предполагается осуществлять с использованием специализированного программного обеспечения, интегрированного в процессы испытаний и эксплуатации изделий ракетно-космической техники. Статья содержит обзор недостатков существующих информационно-аналитических систем, список задач, которые должны быть решены для достижения полной автоматизации расчетов надежности и предполагаемый результат.*

Расчет надежности, автоматизация, унификация, стандартизация.

**Space-rocket technics products automatic reliability calculation systems construction actual problems**

**P.A. Filonenko**, chief researcher,

**V.V. Goncharov**, Head of complex – Deputy head of STC for scientific work, doctor of technical Sciences, senior researcher,

**M.N. Turchin**, senior researcher,

«Scientific research institute of space systems named after A. A. Maksimov» – branch of the Federal state unitary enterprise «State space research-and-production center named after M. V. Khrunichev» Korolev, Moscow region

*This article is offer the analysis of the actual problems arising during creation of systems of automatic space-rocket technics products reliability calculation. Automatic calculation is supposed to be carried out with use of the specialized software integrated into processes of tests and operation of products of space-rocket technics. Article contains review of existing information-analytical systems lacks, the list of problems which should be solved for achievement of full automation of calculations of reliability and prospective result.*

Calculation of reliability, automation, unification, standardization.

Одной из актуальных задач в ходе создания, испытаний и эксплуатации ракетной техники является оценки и контроль показателей технического состояния, надежности и безопасности изделий ракетно-космической техники (РКТ). В настоящее время расчет значений показателей производится с использованием специальных информационно-аналитических систем (ИАС), предназначенных для повышения эффективности эксплуатации и надежности изделий РКТ. Данные ИАС обладают рядом недостатков, которые снижают эффективность процесса управления надежностью:

- в ходе подготовки данных для расчета применяются бумажные источники информации, которые в ручном режиме переносятся в электронные формы. Часть информации поступает в неформализованном виде, например, в виде отчетов о результатах испытаний, эксплуатации или телеметрических измерений, что приводит к многочисленным ошибкам операторов при сборе, обработке, передаче и хранении информации;

- низкая оперативность получения исходных данных и проведения расчета и анализа надежности;

- высокая трудоемкость ручной обработки входного массива информации;

- затруднен контроль достоверности полученных результатов расчета и анализа, так как исходные данные для расчета не подлежат объективному учету и контролю.

Указанные недостатки снижают эффективность процесса управления надежностью.

Многokратно возросшие вычислительные мощности, уменьшившиеся габариты электронно-вычислительных устройств, новые методы обработки неформализованной информации, в том числе применение самообучающихся систем искусственного интеллекта позволяют создать систему автоматического расчета и анализа технического состояния, надежности и безопасности, что ранее было невозможно.

Полная автоматизация расчета и анализа надежности позволит:

- автоматически трансформировать первичную информацию в систему исходных данных, пригодных для машинной обработки;

- исключить ошибки, связанные с человеческим фактором при сборе, обработке, хранении и передаче информации;

- увеличить на 2-3 порядка оперативность получения результатов расчета и анализа;

- в реальном режиме времени производить расчеты показателей надежности, производить оценку технического состояния изделий, ущерба в случае воздействий и т.д. в том числе для территориально распределенных комплексов;

- обеспечить получение показателей надежности космических аппаратов длительного функционирования, в том числе производить учет воздействия факторов космического пространства;

- обеспечить значительное снижение трудоемкости расчета характеристик надежности элементной базы (в 100-1000 раз);

- обеспечить автоматическое ведение баз данных о результатах испытаний и эксплуатации изделий РКТ;

– значительно снизить трудоемкость повседневной служебной деятельности персонала, обслуживающего технику (в 10-30 раз).

Для построения системы автоматического расчета надежности необходимо обеспечить получение в автоматическом режиме следующих видов информации:

– первичные документы о техническом состоянии и надежности (рекламационный акт, сообщение о неисправности, акт исследования, акт удовлетворения рекламации ГОСТ 51030-97);

– априорная информация о результатах предыдущего этапа жизненного цикла изделий РКТ с точки зрения надежности;

– схема деления изделия на составные части;

– результаты испытаний и эксплуатации, телеметрических измерений изделий РКТ, в том числе в виде технических отчетов.

Кроме того, для создания систем автоматического расчета необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать технологию создания машиночитаемых справочников о характеристиках надежности изделий-аналогов ( $\lambda$ -характеристика элементов и пр.)

2. Разработать алгоритмы, адаптированные под состав исходных данных:

– оценки распределения полученной экспериментальной информации на соответствие закону распределения;

– выбор закона распределения в соответствии с критериями законов (Вейбула, нормальный и экспоненциальный законы распределения);

– оценки принадлежности выборок к одной генеральной совокупности;

– реализацию методов объединения выборок.

2. Разработать методы оценки влияния изменения структуры изделий вследствие доработок, ремонтов на уровень их надежности.

Полная автоматизация расчетов надежности и безопасности изделий РКТ достигается за счет совмещения функций сбора, обработки и хранения информации между системой расчета надежности и системой эксплуатации. При этом работы по автоматизации сбора первичной информации на местах эксплуатации техники производятся таким образом, чтобы информация, используемая в ходе повседневной служебной деятельности, была доступна в базах данных ИАС для автоматического анализа.

Для автоматического сбора, обработки, хранения и передачи информации о техническом состоянии и надежности необходимо использовать специальное программное обеспечение (СПО), обрабатывающее информацию по формам, установленным ГОСТ РО 1410-002-2010 системы информации и имеющее возможность автоматического сбора документов в базу данных с автоматическим контролем целостности и непротиворечивости информации. СПО должно быть совместимо с существующими системами электронного документооборота на предприятиях, а также с автоматизированными системами информации о техническом состоянии и надежности изделий РКТ Роскосмоса и Минобороны и другими ИАС.

В процессе создания СПО необходимо решить следующие задачи:

1. Передача данных, содержащихся в формализованных документах с использованием двумерных штрих-кодов, в том числе:

- с помощью сканера штрих-кодов;
- с помощью сканера изображений;
- с помощью видеокамеры.

Передача данных с использованием двумерных штрих-кодов позволит в автоматизированном виде передавать информацию с использованием почтовой связи и факсимильных аппаратов, что позволяет значительно сократить затраты на создание защищенных каналов связи внутри и между ИАС.

Возможны следующие варианты использования этой технологии:

– в случае обмена только бумажными документами, может быть обеспечено автоматическое ведение базы данных об отказах и неисправностях, состоянии рекламационной работе и пр.;

– в случае перехода к безбумажному электронному документообороту в организациях, в которых нецелесообразна организация защищенных линий связи, может осуществляться пересылка бумажных копий электронных документов либо оригиналов установленным порядком. Ввод информации в базу данных осуществляется в автоматизированном виде, при этом отсутствуют искажения информации в процессе пересылки (что обеспечивается специальными алгоритмами кодирования данных).

Ввод данных с использованием меток двумерных штрих-кодов осуществляется с помощью специальных сканеров двумерных штрих-кодов, осуществляющих декодирование информации, либо с использованием сканеров документов, имеющихся в составе автоматизированных рабочих мест (АРМ), либо с помощью видеокамер.

2. Сенсорный ввод данных, в том числе с использованием рукописного ввода (с использованием стилуса).

Использование сенсорного ввода данных позволит использовать СПО для заполнения форм документов непосредственно в цехах и местах эксплуатации изделий. К примеру, ЗАО «РКК «Энергия» им. С. П. Королева» разработала для своих нужд систему электронного документооборота, которая включает в себя ряд АРМ с сенсорным вводом, устанавливаемых непосредственно на участках входного контроля или рядом со станочным оборудованием. В перспективе, СПО может быть использован на подобных АРМ для заполнения первичных документов об отказах и неисправностях.

3. Формирование электронной подписи на документах.

Использование электронной подписи на документах позволит перейти к полностью безбумажному электронному документообороту.

4. Использование универсального формата информационного сообщения для обмена информацией внутри и между ИАС.

Использование универсального формата информационного сообщения позволит многократно снизить затраты на разработку системы сбора информации в базы данных о техническом состоянии и надежности изделий РКТ (приблизительно в 40 раз).

5. Автоматическое составление отчетов по ГОСТ РО 1410-002-2010 (без привязки к конкретному отчету).

Создание унифицированных форм электронного отчета позволит производить автоматическую обработку данных, содержащихся в отчете и значительно снизить трудоемкость создания отчета и его интеграции с существующими

ИАС, т.к. в настоящее время операции по заполнению таблиц и расчету данных производятся вручную. Автоматическое составление таблиц на основе первичной информации позволит повысить оперативность и снизить трудоемкость составления отчета.

Таким образом, представляется актуальным создание системы автоматического расчета надежности в рамках существующих ИАС для полной реализации их функциональных возможностей, а также для получения новой качественной картины технического состояния изделий РКТ в ракетно-космической отрасли.

УДК 681.3

**Оценка погрешности измерения информационных параметров сигнала в условиях воздействия мультипликативных помех**

**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 вопросы, связанные с оценкой погрешности измерения параметров движения протяженных объектов в условиях воздействия мультипликативных помех. Показано, что мультипликативная помеха ведет к смещению оцениваемых параметров движения; учет смещения позволяет перейти к несмещенным оценкам. Получены выражения, описывающих относительную погрешность измерения информационных параметров сигнала при воздействии мультипликативных помех имеющих как независимый, так и коррелированный характер. Показано, что точность измерения параметров движения возрастает с увеличением отличия плотности распределения вероятности оцениваемого параметра и воздействующей мультипликативной помехи от гауссовской.*

Радиолокационный измеритель, протяженный объект, мультипликативная помеха, отношение сигнал/помеха, погрешность измерения.

**The estimate of measurement error information of the signal parameters in terms of the impact of multiplicative noise**

**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

*The issues associated with the assessment of the measurement error parameters of extended objects under the impact of multiplicative noise. The article shows that the multiplicative disturbance leads to a displacement of the estimated motion parameters; the bias allows you to move to unbiased estimates. The obtained expressions, described living relative accuracy of the information parameters of the sig-*

*nal under the influence of multiplicative noise with independent and correlated nature. It is shown that the measurement accuracy of motion parameters increases with increase brand-tion of the differences of probability density function estimated parameter and impact-sponding multiplicative noise from Gaussian.*

Radar meter extended object, multiplicative interference, signal/noise, measurement error.

**Введение.** Вопросы измерения (оценки) параметров сигналов, несущих информацию о движении объектов, в радиолокации являются традиционными и весьма подробно рассмотрены в [18, 21, 28 и др.]. Достаточно хорошо изучены вопросы радиолокационного измерения точечных [17, 20] и отчасти сложных дискретных [19, 27] целей. Вместе с тем многие аспекты, связанные с измерением информационных параметров сигнала, несущих информацию о движении объектов, находящихся на относительно небольших расстояниях от радиолокационных измерителей, являются ещё недостаточно изученными и имеют ряд специфических особенностей как теоретического, так и практического характера [2, 11, 30].

В большинстве работ, посвященных вопросам оценки параметров сигналов, считалось, что на полезный сигнал воздействует только аддитивная помеха, описываемая, как правило, гауссовской плотностью распределения вероятности (ПРВ). Однако, как показывают проведенные исследования [1, 10, 15], принимаемый измерителем сигнал подвержен воздействию не только со стороны аддитивных, но и мультипликативных помех, имеющих ярко выраженный негауссовский характер. Для радиолокации, радионавигации, телеметрии, радиоизмерительной техники представляет значительный интерес оценить влияние мультипликативной помехи на точность измерения параметров движения протяженных объектов.

**Оценка точности измерения информационных параметров в условиях негауссовских мультипликативных помех.**

Задачу оценивания информационных параметров полезного сигнала будем решать в дискретном времени наблюдения. Считаем, что в течение времени  $[0, T]$  наблюдается выборки случайного процесса  $Y_h \equiv Y(t_h)$  ( $h = 1, \dots, H$ ), являющегося смесью полезного сигнала  $S(\tilde{\lambda}, t_h)$  и мультипликативной  $\eta(t_h)$  помехи.

Полезный сигнал содержит совокупность параметров  $\tilde{\lambda} = \{\lambda_1, \dots, \lambda_m\}$ , подлежащих измерению (оцениванию), причем считается, что на интервале наблюдения эти параметры остаются неизменными. Оценку информационных параметров будем осуществлять по методу максимума апостериорной ПРВ (АПРВ).

Для определения количественных оценок измеряемых параметров используем нижние границы неравенства Крамера-Рао [14, 25].

Отметим, что в нашем случае оценке будут подлежать только неэнергетические информационные параметры полезного сигнала. При этом считается, что оценки параметров асимптотически (при  $h \rightarrow \infty$ ) состоятельны, эффективны и нормально распределены [12, 23].

Как известно [3, 7], воздействие мультипликативной помехи на полезный

сигнал приводит, в общем случае, к смещению оценки измеряемых (оцениваемых) параметров. В этом случае математическое ожидание оценки информационного параметра  $\hat{\lambda}$  будет смещено относительно  $\lambda$ :

$$m_1 \{ \hat{\lambda} = b(\lambda) \} = \int_y b(\lambda) W_{\Pi}(\lambda) dy = \lambda + \Delta(\lambda),$$

где  $b(\lambda)$  – оценка неслучайного параметра  $\lambda$ ;  $W_{\Pi}(\lambda)$  – функция правдоподобия, зависящая как от параметра  $\lambda$ , так и от реализации  $y = y_1, \dots, y_n$ ; ( $y \in Y$ ), наблюдаемого случайного процесса;  $\Delta(\lambda)$  – смещение оценки.

Дисперсия смещенной оценки находится как:

$$\sigma_{\hat{\lambda}=b(\lambda)}^2 = m_1 \{ b(\lambda) - \lambda - \Delta(\lambda) \}^2 = m_1 \{ b(\lambda) - m_1 [b(\lambda)] \}^2.$$

Нижняя граница дисперсии смещенной оценки, определяемая неравенством Крамера-Рао, в этом случае будет иметь вид [14, 21]:

$$\sigma_{\hat{\lambda}=b(\lambda)}^2 \geq \frac{\left[ \frac{db(\lambda)}{d\lambda} \right]^2}{m_1 \left\{ \frac{\partial \ln W_{\Pi}(\lambda)}{\partial \lambda} \right\}^2}, \quad (1)$$

где  $b(\lambda) = \lambda + \Delta(\lambda)$ .

Следует отметить, что, как правило, для смещенной оценки информационного параметра ее точность определяется не дисперсией, а среднеквадратическим отклонением (СКО) от оцениваемого параметра  $\lambda$  [14, 21]:

$$\sigma_{\hat{\lambda}=b(\lambda)} = \left[ m_1 \{ (b(\lambda) - \lambda)^2 \} \right]^{0,5}.$$

Данное выражение показывает полную ошибку измерения (оценивания) информационного параметра, учитывающую смещение оценки, вызванное мультипликативной помехой.

В большинстве случаев определить величину смещения достаточно сложно. Обычно для этого применяют метод вариационного исчисления [5, 26].

Сравнительно просто определить смещение лишь в том случае, если само смещение не зависит от оцениваемого параметра  $\Delta(\lambda) \equiv \Delta$ . В этом случае при определении нижних границ неравенства Крамера-Рао можно перейти к несмещенной оценке информационного параметра  $b(\lambda) - \Delta$  [21].

В качестве примера определим величину смещения, вызываемую воздействием на полезный сигнал  $s(\lambda, t_h)$  мультипликативной помехи  $\eta(t_h)$ , описываемой ПРВ Накагами:

$$W(U) = (2/\Gamma(m))(m/\Omega)^m U^{2m-1} \exp\{-mU^2/\Omega\}, \quad U \geq 0, \quad (2)$$

где:  $m = \Omega^2 / \langle (U^2 - \Omega^2)^2 \rangle \geq 0,5$ ,  $\Omega = \langle U^2 \rangle$  – параметры распределения;  $\Gamma(\cdot)$  – гамма-функция.

Считаем, что помеха и оцениваемый параметр между собой независимы. В этом случае величина смещения определяется математическим ожиданием модулирующей помехи и будет зависеть лишь от параметров ее распределения [16,



21]:

$$\Delta = m_1 = \frac{\Gamma(m + 0,5)(\Omega/m)^{0,5}}{\Gamma(m)}. \quad (3)$$

Отметим, что параметр распределения  $m$  в этом случае может служить мерой глубины флуктуаций интенсивности мультипликативной помехи, определяемый как отношение квадрата средней мощности воздействующей помехи  $\Omega = m_1 \{ \eta^2 \} = \langle \eta^2 \rangle$  к ее дисперсии [6, 9]:

$$m = \frac{[m_1 \{ \eta^2 \}]^2}{m_1 \{ \eta^4 \} - [m_1 \{ \eta^2 \}]^2},$$

где  $m_1 \{ \eta^n \}$  – начальный момент  $n$ -го порядка интенсивности мультипликативной помехи.

На рисунке 1 приведены зависимости  $\Delta = f(m, \Omega)$ , характеризующие величину смещения от параметров распределения мультипликативной помехи.

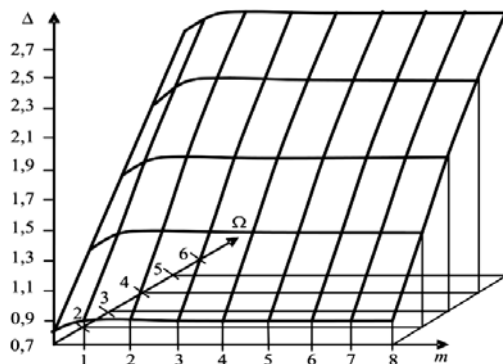


Рисунок 1 - Зависимости  $\Delta = f(m, \Omega)$

Как видно из выражения (3) и приведенных графиков, с увеличением параметра  $\Omega$ , характеризующего среднюю мощность мультипликативной помехи, величина смещения так же возрастает. При изменении глубины флуктуации интенсивности мультипликативной помехи, определяемой значением параметра  $m$ , в диапазоне от 0,5 до 1 смещение практически не меняется. Таким образом, если известны параметры распределения мультипликативной помехи, то можно определить вносимую ею величину смещения, после чего, как это было показано выше, если смещение не зависит от оцениваемого параметра, легко перейти к несмещенной оценке информационного параметра.

**Оценка точности измерения скалярного информационного параметра на фоне мультипликативной помехи с независимыми значениями.**

Конкретизируем оценку точности измерения параметров движения лоцируемого объекта в условиях мультипликативных негауссовских помех, имеющих независимый характер.

Считаем, что на вход радиолокационного измерителя поступает мульти-

пликативная смесь вида  $y_h = \eta_h s(\lambda, t_h)$  полезного сигнала  $s(\lambda, t_h)$  несущего информацию, например, об одном из параметров движения объекта ( $\lambda = \omega, \dot{\omega}, \varphi$ ) и мультипликативной негауссовской помехи  $\eta_h$ . Логарифм функции правдоподобия (ЛФП)  $W_{\eta}(\lambda)$  существует и может быть записан относительно мультипликативной помехи в виде [25]:

$$W_{\eta}(\lambda) = B_{\eta}(\eta) = \ln W_{\eta} \{y(t_h)/s(\lambda, t_h)\} \Big| s^{-1}(\lambda, t_h) \Big|,$$

где  $W_{\eta}\{\cdot\}$  – ПРВ мультипликативной негауссовской помехи с независимыми значениями.

Возьмем вторые производные от ЛФП по информационному параметру:

$$B_{\eta, h, h}^{\lambda \prime \prime} = \eta_h^2 B_{\eta, h, h}^{\eta \prime \prime} \left[ \frac{s_{\lambda}^{\prime}(\lambda, t_h)}{s(\lambda, t_h)} \right]^2 - 2\eta_h B_{\eta, h}^{\eta \prime} \left[ \frac{s_{\lambda}^{\prime}(\lambda, t_h)}{s(\lambda, t_h)} \right]^2 + \eta_h B_{\eta, h}^{\eta \prime} \frac{s_{\lambda}^{\prime}(\lambda, t_h)}{s(\lambda, t_h)} - \frac{s_{\lambda}^{\prime}(\lambda, t_h)}{s(\lambda, t_h)} + \frac{s_{\lambda}^{\prime \prime}(\lambda, t_h)}{s(\lambda, t_h)}.$$

Считаем, что процесс измерения осуществляется в установившемся стационарном режиме. В этом случае для определения стационарной дисперсии необходимо произвести усреднение как по множеству, так и по времени компонентов входящих в данное выражение [14, 22, 25].

Воспользовавшись методикой изложенной в [25], пропуская довольно громоздкие математические преобразования, приведенные подробно в [3], получим:

$$\tilde{B}_{\eta, h, h}^{\lambda \prime \prime} = \sigma_k^2 [I_D^{\eta} - 1],$$

$$\text{где } \sigma_k^2 = \lim_{H \rightarrow \infty} H^{-1} \sum_{h=1}^H \left[ \frac{s_{\lambda}^{\prime}(\hat{\lambda}, t_h)}{s(\hat{\lambda}, t_h)} \right]^2 = k^2 H^{-1}; k - \text{коэффициент, учиты-}$$

вающий форму полезного сигнала;  $I_D^{\eta} = -m_1 \left\{ \eta_h^2 \frac{\partial^2}{\partial \eta_h^2} W_{\eta}(\eta) \right\}$  – Фишеровская дисперсионная информация (динформация) [31], заключенная относительно мультипликативной помехи в одномерной ПРВ  $W_{\eta}(\eta)$ .

Неравенство Крамера-Рао (1) при оценке параметра  $\lambda$  по максимуму апостериорной ПРВ, с учетом выше сказанного, будет определяться:

$$\sigma_{\lambda, \eta}^2 \geq \frac{\{db(\lambda)/d\lambda\}^2}{\left\{ \sigma_k^2 [I_D^{\eta} - 1] + I_{\Phi}^{\lambda} \right\}}, \quad (4)$$

где  $I_{\Phi}^{\lambda}$  – информация по Фишеру, содержащаяся в случайном процессе с одномерной ПРВ

$$W(\lambda): I_{\Phi}^{\lambda} = \left\{ m \left[ \frac{d \ln W(\lambda)}{d\lambda} \right]^2 \right\} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{d \ln W(\lambda)}{d\lambda} \right]^2 W(\lambda) d\lambda.$$

Заметим, что в случае несмещенной оценки информационного параметра  $\lambda$ , при воздействии на полезный сигнал мультипликативной помехи выражение (4) примет вид:

$$\sigma_{\hat{\lambda},\eta}^2 \geq \left\{ \sigma_k^2 [I_D^\eta - 1] + I_\Phi^\lambda \right\}^{-1}. \quad (5)$$

Если оценка информационного параметра осуществляется методом максимального правдоподобия, то (5) запишется:

$$\sigma_{\hat{\lambda},\eta}^2 \geq \left\{ \sigma_k^2 [I_D^\eta - 1] \right\}^{-1}. \quad (6)$$

Осуществим количественную оценку повышения точности измерения информационного параметра за счет учета негауссовского характера распределения, как самого измеряемого процесса, так и воздействующей мультипликативной помехи.

Для удобства оценки получаемого выигрыша построим зависимости для приведенной дисперсии оценки информационного параметра

$$\delta_{\hat{\lambda},M}^2 = \frac{\sigma_{\hat{\lambda},\eta}^2}{\sigma_{\hat{\lambda},\Gamma,\eta}^2},$$

где  $\sigma_{\hat{\lambda},\Gamma,\eta}^2$  – дисперсия погрешности, рассчитанная при измерении (оценки) гауссовского информационного параметра при воздействии мультипликативной помехи с независимыми значениями, описываемой одномерной, односторонней гауссовской ПРВ [3]. Отметим, что для случайного процесса с гауссовской ПРВ  $I_\Phi(W) = 1$ , а  $I_D(W) = 3$  [6].

Для упрощения расчетов с сохранением полученных результатов примем, что  $\sigma_k^2 = 1$ , а оценка измеряемого информационного параметра является несмещенной.

На рисунке 2 приведены графики зависимости  $\delta_{\hat{\lambda},M}^2 = f(I_D^\eta, I_\Phi^\lambda)$ .

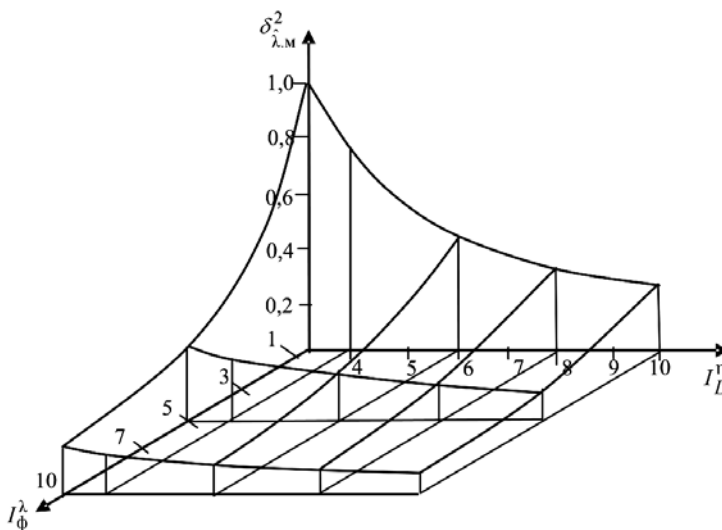


Рисунок 2 – Зависимости  $\delta_{\hat{\lambda},M}^2 = f(I_D^\eta, I_\Phi^\lambda)$

Из представленных графиков и выражения (5) видно, что точность измерения (оценки) информационного параметра возрастает с увеличением отличия ПРВ оцениваемого параметра и воздействующей мультипликативной помехи от гауссовской. При этом выигрыш в точности измерения (оценки) при наличии канала оценки мультипликативной помехи может иметь существенный характер. Так, при  $I_D = 6$  потенциальная точность измерения увеличивается в два раза.

Проанализируем более подробно, как влияет учет негауссовского характера воздействующей мультипликативной помехи на точность измерения информационного параметра.

В качестве примера рассмотрим случай измерения (оценки) фазы фазомодулированного (ФМ) полезного сигнала

$$s(\lambda, t_h) = U_m(t_h) \cos(\omega_0 t_h + M_{\text{фм}} \lambda),$$

при воздействии мультипликативной помехи  $\eta(t_h)$ , описывающейся одномерной ПРВ Накагами (2).

Считаем, что флюктуация амплитуды не зависит от флюктуации фазы, причем флюктуация фазы носит симметричный характер. В этом случае, согласно [26], оценка фазы  $\hat{\Theta}(t_h) = M_{\text{фм}} \lambda$  имеет несмещенный характер. Осуществим оценку фазы методом максимального правдоподобия.

Воспользовавшись результатами, полученными в [3], с учетом (2), после необходимых преобразований, получим выражение Фишеровской дисперсионной информации, которая в этом случае будет иметь вид:

$$I_D^n = m_1 \left\{ \eta^2 \left( \frac{2m-1}{\eta} - \frac{2m}{\Omega} \eta \right)^2 \right\} = 4m+1, \quad (7)$$

где  $m$  и  $\Omega = \langle \eta^2 \rangle$  – параметры распределения Накагами.

Учитывая, что составляющие двойной радиочастоты в измерителе отфильтровываются, проведя усреднение ФМ сигнала, получим:

$$\sigma_k^2 = M_{\text{фм}}^2.$$

Подставив найденное выражение в (6), запишем окончательное выражение для неравенства Крамера-Рао

$$\sigma_{\hat{\varphi}, \eta}^2 \geq \left\{ M_{\text{фм}}^2 (4m) \right\}^{-1}. \quad (7)$$

Заметим, что в данном случае произведение  $M_{\text{фм}}^2 4m = \rho$  играет роль отношения сигнал/помеха (ОСП).

Как видно из представленного неравенства при  $\rho \rightarrow \infty$ ,  $\sigma_{\hat{\varphi}, \eta}^2 \rightarrow 0$ , то есть с увеличением ОСП точность оценки измерения фазы возрастает, что полностью совпадает с известными результатами [4, 25].

На рисунке 3 представлены зависимости  $\delta_{\hat{\varphi}, \eta}^2 = f(m, M_{\text{фм}})$  приведенной погрешности измерения фазы ФМ сигнала  $\delta_{\hat{\varphi}, \eta}^2 = \sigma_{\hat{\varphi}, \eta}^2 / \sigma_{\hat{\varphi}, m=1,0}^2$ .

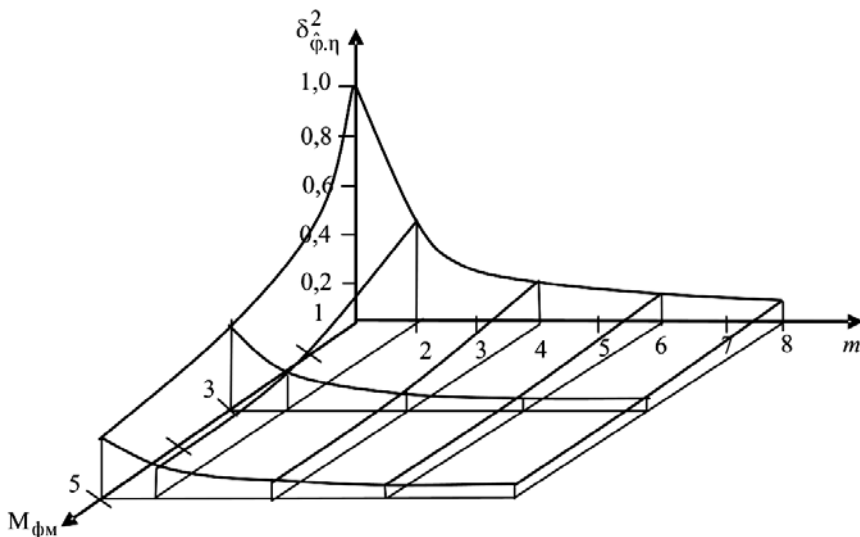


Рисунок 3 – Зависимости  $\delta_{\phi, \eta}^2 = f(m, M_{\phi M})$

Здесь  $\sigma_{\phi, m=1,0}^2$  – нижняя граница погрешности измерения фазы сигнала при воздействии мультипликативной помехи с ПРВ Накагами, когда параметр  $m = 1,0$  (ПРВ Накагами переходит в ПРВ Релея).

Из неравенства (7) и представленных графиков видно, что чем больше ПРВ мультипликативной помехи отличается от Релеевской, тем более точно можно оценить фазу полезного сигнала.

Отметим, что с ростом величины фазовой модуляции  $M_{\phi M}$  точность измерения (оценки) также возрастает.

**Оценка точности измерения векторного информационного параметра на фоне мультипликативной помехи с независимыми значениями.**

Рассмотрим теперь оценку векторного информационного параметра  $\vec{\lambda} = \{\lambda_1, \dots, \lambda_m\}$  полезного сигнала на фоне воздействия мультипликативной помехи с независимыми значениями, воспользовавшись методикой изложенной в [24].

В качестве примера рассмотрим случай измерения  $\omega$ ,  $\dot{\omega}$  и  $\phi$  сигнала

$$s(\vec{\lambda}, t_h) = U_{m,h} \sin[(\omega + 0,5\dot{\omega}t_h)t_h + \phi].$$

Для удобства представим полезный сигнал в виде

$$s(\vec{\lambda}, t_h) = U_{m,h} \sin[\lambda_1 + \lambda_2 t_h + \lambda_3 t_h^2], \quad (8)$$

где  $\lambda_1 = \phi$ ;  $\lambda_2 = \omega$ ;  $\lambda_3 = \dot{\omega}$ .

Заметим, что в нашем случае, при оценке информационных параметров по максимуму АПРВ должны выполняться три уравнения:

$$\left. \frac{dW_y(\vec{\lambda})}{d\lambda_1} \right|_{\lambda_1=\hat{\lambda}_1} = 0; \quad \left. \frac{dW_y(\vec{\lambda})}{d\lambda_2} \right|_{\lambda_2=\hat{\lambda}_2} = 0; \quad \left. \frac{dW_y(\vec{\lambda})}{d\lambda_3} \right|_{\lambda_3=\hat{\lambda}_3} = 0.$$

Выражение нижней границы неравенства Крамера-Рао для оценки сов-

местных параметров полезного сигнала по максимуму апостериорной ПРВ будут иметь вид [22]:

$$\sigma_{\lambda_{ij}}^2 \geq |J_{ij}|/|J|; i, j = 1, 2, 3, \quad (9)$$

где  $|J_{ij}|$  – алгебраическое дополнение элемента  $J_{ij}$  информационной матрицы Фишера  $\|J\|$ , в котором индексы  $ij$  определяют изменяемый информационный параметр сигнала: частоту  $\omega$ , производную частоты  $\dot{\omega}$  и фазу  $\varphi$ ;  $|J|$  – определитель матрицы  $\|J\|$ .

Однако, элементы информационной матрицы Фишера в общем случае с учетом смещения оцениваемых параметров  $b(\lambda_i) = \lambda_i + \Delta(\lambda_i)$ ,  $i = 1, \dots, m$  будут определяться:

$$J_{ij} = \left\{ \frac{db(\lambda_i)}{d\lambda_i} \times \frac{db(\lambda_j)}{d\lambda_j} \right\} \left\{ \sigma_{k,ij}^2 [I_D^n - 1] + I_{F,ij}^\lambda \right\}^{-1}, \quad (10)$$

$$\text{где } \sigma_{k,ij}^2 = \lim_{H \rightarrow \infty} H^{-1} \sum_{h=1}^H \left[ \frac{s'_{\lambda,i}(\bar{\lambda}, t_h) s'_{\lambda,j}(\bar{\lambda}, t_h)}{s^2(\bar{\lambda}, t_h)} \right] = k_i k_j H^{-1}; I_{F,ij}^\lambda - \text{со-}$$

ставляющая информационной матрицы Фишера относительно оцениваемых (измеряемых) информационных параметров, заключенная в ПРВ измеряемых параметров  $W_{\bar{\lambda}}(\bar{\lambda})$ .

Заметим, что если оцениваемые параметры не смещены  $\Delta(\lambda_i) = 0$ , то (10) примет вид:

$$J_{ij} = \left\{ \sigma_{k,ij}^2 [I_D^n - 1] + I_{F,ij}^\lambda \right\}^{-1}. \quad (11)$$

Если информационные параметры  $\bar{\lambda}$  оцениваются по методу максимального правдоподобия, то (11) запишется:

$$J_{ij} = \left\{ \sigma_{k,ij}^2 [I_D^n - 1] \right\}^{-1}. \quad (12)$$

Отметим, что если смещение, вносимое мультипликативной помехой, известно и не зависит от оцениваемых параметров, то, так же как и при оценке одного параметра можно перейти к несмещенным оценкам [1]

$$b(\lambda_i) - \Delta = \hat{\lambda}_i. \quad (13)$$

Так же как и в предыдущем случае будем считать, что на полезный сигнал воздействует мультипликативная помеха, описываемая ПРВ Накагами (2). Оценка параметров осуществляется на интервале наблюдения  $[0, T]$ , начало и конец которого точно известны и совпадают с моментами времени, соответствующими началу и концу полезного сигнала.

Считаем, что на интервале измерения оцениваемые параметры остаются неизвестными, а их величина равна значениям, принимаемым в момент окончания интервала измерения. Число отсчетов на интервале наблюдения велико

$H \simeq T/\Delta_h \gg 1$ , где  $\Delta_h$  – интервал между двумя соседними отсчетами на шагах  $h$  и  $h-1$ .

Тогда можно записать, что  $\sigma_{k,ij}^2 = k_i k_j H^{-1} \simeq \frac{k_i k_j}{T} \Delta_h$ .

Воспользовавшись результатами [3], после необходимых математических преобразований получим выражение для определения элементов информационной матрицы Фишера:

$$J_{ij} = \left\{ \sigma_{k,ij}^2 4m (-1)^{i+j-2} T^{i+j-1} (i+j-1)^{-1} + I_{F,ij}^\lambda \right\}. \quad (14)$$

Информационная матрица Фишера будет иметь вид:

$$\|J\| = \left\{ \sigma_{k,ij}^2 4m \begin{vmatrix} T & -0,5T^2 & \frac{1}{3}T^3 \\ -0,5T^2 & \frac{1}{3}T^3 & -0,25T^4 \\ \frac{1}{3}T^3 & -0,25T^4 & 0,2T^5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} I_{F,11}^\lambda & I_{F,12}^\lambda & I_{F,13}^\lambda \\ I_{F,21}^\lambda & I_{F,22}^\lambda & I_{F,23}^\lambda \\ I_{F,31}^\lambda & I_{F,32}^\lambda & I_{F,33}^\lambda \end{vmatrix} \right\}.$$

Если оценка измеряемых параметров осуществляется методом максимального правдоподобия, то корреляционная матрица ошибок упрощается

$$\|J\| = \sigma_{k,ij}^2 4m \begin{vmatrix} T & -0,5T^2 & \frac{1}{3}T^3 \\ -0,5T^2 & \frac{1}{3}T^3 & -0,25T^4 \\ \frac{1}{3}T^3 & -0,25T^4 & 0,2T^5 \end{vmatrix}. \quad (15)$$

Определитель такой матрицы равен

$$|J| = (\sigma_{k,ij}^2 4m)^3 T^9 / 2160.$$

Подставив (14) и (15) в (9) с учетом известных правил работы с матрицами, получим выражение для нахождения нижних границ неравенства Крамера-Рао информационных параметров сигнала (8) при воздействии мультипликативной помехи, описывающейся одномерной ПРВ Накагами.

Так, для оценки частоты

$$\sigma_{\dot{\omega},\eta}^2 \geq \left\{ \sigma_{k,22}^2 4m T^3 / 192 \right\}^{-1}, \quad (16a)$$

– для производной частоты

$$\sigma_{\dot{\omega},\eta}^2 \geq \left\{ \sigma_{k,33}^2 4m T^5 / 720 \right\}^{-1}, \quad (16б)$$

– для фазы

$$\sigma_{\dot{\varphi},\eta}^2 \geq \left\{ \sigma_{k,11}^2 4m T / 9 \right\}^{-1}. \quad (16в)$$

При движении лоцируемого объекта с постоянной скоростью

$$\sigma_{\dot{\omega},\eta}^2 \geq \left\{ 4m T^3 / 12 \right\}^{-1}, \quad (17a)$$

$$\sigma_{\hat{\omega}, \eta}^2 \geq \{4mT/4\}^{-1}. \quad (17б)$$

Если известна начальная фаза полезного сигнала, а  $\omega = \text{const}$ , то

$$\sigma_{\hat{\omega}, \eta}^2 \geq \{4mT^3/3\}.$$

Если необходимо измерить только фазу обрабатываемого сигнала при известной частоте (лоцируемый объект неподвижен)

$$\sigma_{\hat{\omega}, \eta}^2 \geq \{4mT\}^{-1}.$$

В том случае, если значения  $\omega$ ,  $\hat{\omega}$  и  $\varphi$  принимаются равными в середине интервала измерения, выражение (14) примет вид:

$$J_{ij} = \left\{ \sigma_{k,ij}^2 4m (-1)^{i+j-2} \left[ \frac{(0,5T)^{i+j-1} - (-0,5T)^{i+j-1}}{(i+j-1)} \right] + I_{F,ij}^\lambda \right\}.$$

Информационная матрица Фишера  $\|J\|$  при оценке параметров методом максимального правдоподобия запишется

$$\|J\| = \sigma_{k,ij}^2 4m \begin{vmatrix} T & 0 & T^3/12 \\ 0 & T^3/12 & 0 \\ T^3/12 & 0 & T^5/80 \end{vmatrix}.$$

Тогда  $|J| = (\sigma_{k,ij}^2 4m)^3 T^9 / 2160$ . В этом случае:

$$\sigma_{\hat{\omega}, \eta}^2 \geq \{\sigma_{k,22}^2 4mT^3/12\}^{-1}; \quad (18а)$$

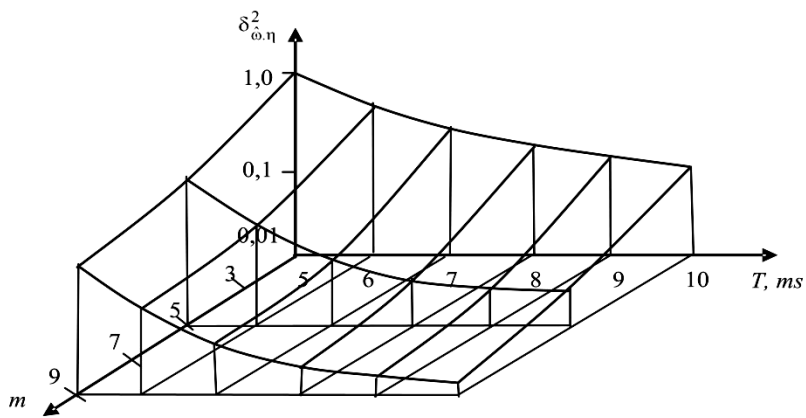
$$\sigma_{\hat{\omega}, \eta}^2 \geq \{\sigma_{k,33}^2 4mT^5/720\}^{-1}; \quad (18б)$$

$$\sigma_{\hat{\varphi}, \eta}^2 \geq \{\sigma_{k,11}^2 4mT/9\}^{-1}. \quad (18в)$$

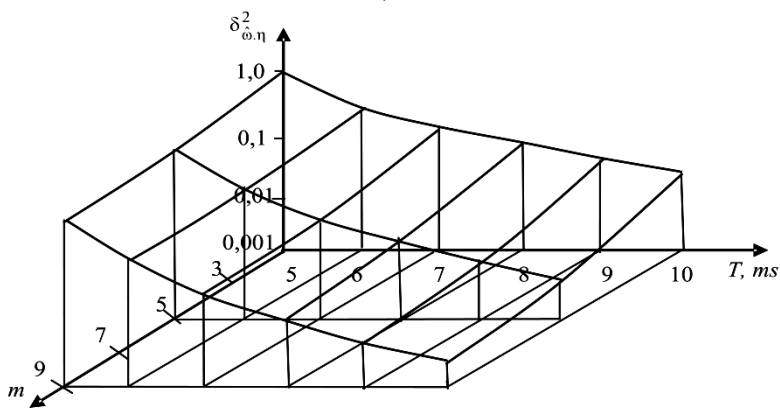
Сравнивая (16) и (18), видно, что, так же как и при оценке информационных параметров сигнала на фоне аддитивных негауссовских помех с независимыми значениями, за счет того, что кроме  $J_{13}$  и  $J_{31}$  недиагональные элементы равны нулю, дисперсия оценок  $\omega$  и  $\varphi$  значительно меньше, если привязка измерения осуществляется к середине интервала наблюдения. Это полностью совпадает с известными ранее результатами [4, 24, 25].

На рисунке 4 показаны зависимости  $\delta_{\hat{\lambda}, \eta}^2 = f(T, m)$  приведенных погрешностей  $\delta_{\hat{\lambda}, \eta}^2 = \sigma_{\hat{\lambda}, \eta}^2 / \sigma_{\hat{\lambda}, m-1}^2$  измерения  $\hat{\lambda} = \omega, \hat{\omega}, \varphi$  обрабатываемого сигнала при воздействии мультипликативной помехи, описывающейся одномерной ПРВ Накагами, для различных значений параметра распределения  $m$  и интервала измерения  $T$ .

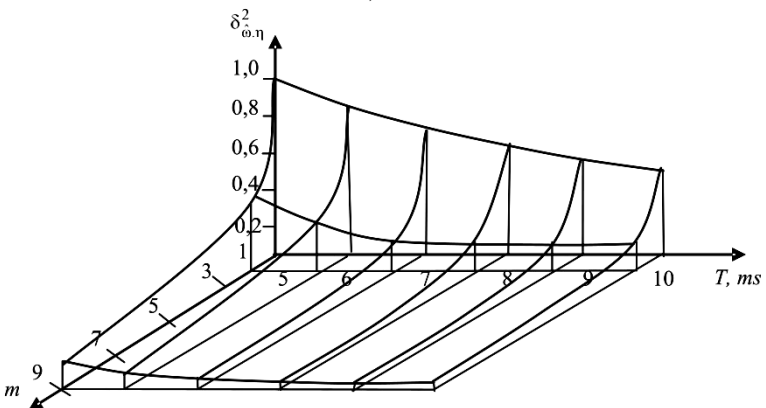




a)



б)



в)

Рисунок 4 – Зависимости  $\delta_{\lambda,\eta}^2 = f(T, m)$ , где: а –  $\hat{\lambda} = \hat{\omega}$ ; б –  $\hat{\lambda} = \hat{\omega}$ ; в –  $\hat{\lambda} = \hat{\phi}$

Из выражений (16) и представленных графиков видно, что с увеличением

$m$  и  $T$  приведенная погрешность уменьшается. Следовательно, точность оценки информационных параметров  $\omega$ ,  $\dot{\omega}$ ,  $\varphi$ , характеризующих параметры движения лоцируемых объектов, увеличивается.

### Оценка точности измерения информационных параметров на фоне коррелированной мультипликативной помехи.

Рассмотрим оценку информационного параметра на фоне коррелированной мультипликативной помехи. Для упрощения расчетов с сохранением получаемых результатов примем, что оценка имеет несмещенный характер. Считаем, что помеха описывается переходной ПРВ  $W_\eta(\eta|\eta_{h-1})$ . Измерение (оценка) информационного параметра на интервале  $[0, T]$  ведется в дискретном времени, причем  $\lambda = \lambda_h = \lambda_{h-1}$ . Логарифм функции правдоподобия существует и определяется выражением:

$$B_\eta(\eta) = \ln W_\eta \left\{ y(t_h)/s(\hat{\lambda}, t_h) \middle| y(t_{h-1})/s(\hat{\lambda}, t_{h-1}) \right\} s^{-1}(\hat{\lambda}, t_h),$$

где  $\frac{y(t_{h-i})}{s(\hat{\lambda}, t_{h-i})} = \eta_{h-i}$ ;  $i = 0, 1$ .

Считаем, что функция правдоподобия удовлетворяет условиям регулярности:

$$\left\langle \frac{d}{d\lambda} B_\eta(\eta) \right\rangle = 0;$$

$$\left\langle \frac{d}{d\lambda} B_\eta(\eta) \right\rangle = \left\langle \left[ \frac{d}{d\lambda} B_\eta(\eta) \right]^2 \right\rangle.$$

Воспользовавшись методикой, подробно рассмотренной при выводе апостериорной погрешности измерения информационных параметров на фоне коррелированных аддитивных негауссовских помех [3], опуская громоздкие математические выкладки, запишем:

$$\tilde{B}_\lambda^{\eta\eta} = \text{tr}[IP] = \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 I_{\alpha\beta} P_{\alpha\beta}; \alpha, \beta = 1, 2, \quad (19)$$

где  $I_{\alpha\beta}$  – составляющие информационной матрицы, элементы которой равны:

при  $\alpha = \beta$ :  $I_{11} = I_{22} = [I_{D,\alpha\beta}^\eta - 1]$ ;

при  $\alpha \neq \beta$ :  $I_{12} = I_{21} = I_{D,\alpha\beta}^\eta$ ;  $\alpha, \beta = 1, 2$ .

Здесь  $I_{D,\alpha\beta}^\eta$  – составляющие матрицы Фишеровской информации относительно мультипликативной помехи, заключенные в переходной ПРВ  $W_\eta(\eta_h|\eta_{h-1})$ ;  $P_{ij}$  – элементы матрицы  $\|P\|$ :

при  $\alpha = \beta$ :  $P_{\alpha\alpha} = \sigma_{k,i}^2 = \tilde{K}_i^2 = H^{-1} \sum_{i=1}^H [s'_\lambda(\hat{\lambda}_{h-i}) s^{-1}(\hat{\lambda}_{h-i})]^2$ ;

при  $\alpha \neq \beta$ :  $P_{\alpha\beta} = \sigma_{k,i}^2 = R_k = \tilde{K}_i \tilde{K}_j = \sum_{i=1}^H s'_\lambda(\hat{\lambda}_h) s^{-1}(\hat{\lambda}_h) s'_\lambda(\hat{\lambda}_{h-1}) s^{-1}(\hat{\lambda}_{h-1})$ .

При оценке по максимуму правдоподобия:

$$\sigma_{\lambda.k\eta}^2 \geq [\text{tr}[\mathbf{IP}]]^{-1}.$$

Так как [4, 22]

$$I_{F,h} \{W_{\Pi}(\Pi_h)\} \leq I_{F,k} \{W_{\Pi}(\Pi_h | \Pi_{h-1})\},$$

где  $I_{F,h}$  и  $I_{F,k}$  – соответственно, количество информации по Фишеру, содержащаяся в одномерной  $W_{\Pi}(\Pi_h)$  и переходной  $W_{\Pi}(\Pi_h | \Pi_{h-1})$  ПРВ помехи, то можно показать, что

$$\left| \tilde{B}_{\lambda.k}^{\Pi''} \right| > \left| \tilde{B}_{\lambda,h}^{\Pi''} \right|.$$

Здесь  $\tilde{B}_{\lambda.k}^{\Pi''}$  и  $\tilde{B}_{\lambda,h}^{\Pi''}$  – соответственно, вторые производные ЛФП по информационному параметру при воздействии коррелированной мультипликативной помехи и помехи с независимыми значениями.

Тогда, с учетом (19) можно записать, что:

$$\sigma_{\lambda.\eta k}^2 < \sigma_{\lambda.\eta}^2. \quad (20)$$

Таким образом, как видно из (20), при учете корреляции мультипликативной помехи апостериорная погрешность измерения информационных параметров уменьшается, что ведет к увеличению точности их оценки, что полностью совпадает с результатами работ [3, 16].

Нетрудно видеть, что, повторив выше изложенные рассуждения для случая одновременной оценки нескольких информационных параметров на фоне коррелированных мультипликативных помех, приходим к одному и тому же выводу, что при наличии в радиолокационном измерительном устройстве канала оценки мультипликативной помехи учет корреляции модулирующей помехи позволяет повысить потенциальную точность измеряемых параметров.

Таким образом, на основании выше изложенного можно сделать очень важный вывод о том, что для повышения точности измерения информационных параметров полезного сигнала необходим учет воздействующей на сигнал мультипликативной помехи. На практике это означает, что в структурной схеме радиотехнического измерителя информационных параметров необходимо создание специального канала по оценке мультипликативной помехи.

Это было учтено при разработке и создании доплеровского многофункционального измерителя (МФИ) параметров движения протяженных объектов, прошедшего успешные испытания в условиях реальной эксплуатации [2]. Для определения эффективности вновь созданного МФИ и существующих измерителей были проведены экспериментальные исследования, предусматривающие проверку их работоспособности в динамическом режиме при измерении скорости движения протяженных объектов с ускорением до  $3 \text{ м/с}^2$  в режиме глубоких замираний амплитуды доплеровского сигнала (до 80% от длительности реализаций) во всем диапазоне частот входного сигнала (100–2500 Гц). В качестве сравнимого радиолокационного измерителя был взят серийно выпускаемый радиолокационный измеритель скорости РИС-ВЗ.

На рисунке 5 в единых системах координат представлены графики нормированных погрешностей измерителей  $\delta_o = f(t_{\text{зам}} T_M^{-1}; F_d)$ , где  $t_{\text{зам}} T_M^{-1}$  – относи-

тельное время замирания обрабатываемого сигнала (ОС);  $T_M = F_M^{-1}$ ,  $F_M$  – частота модулированного по амплитуде сигнала при 100%-ой амплитудной модуляции;  $F_d$  – частота ОС (доплеровская частота) для случаев  $F_M = 0,1F_d$ .

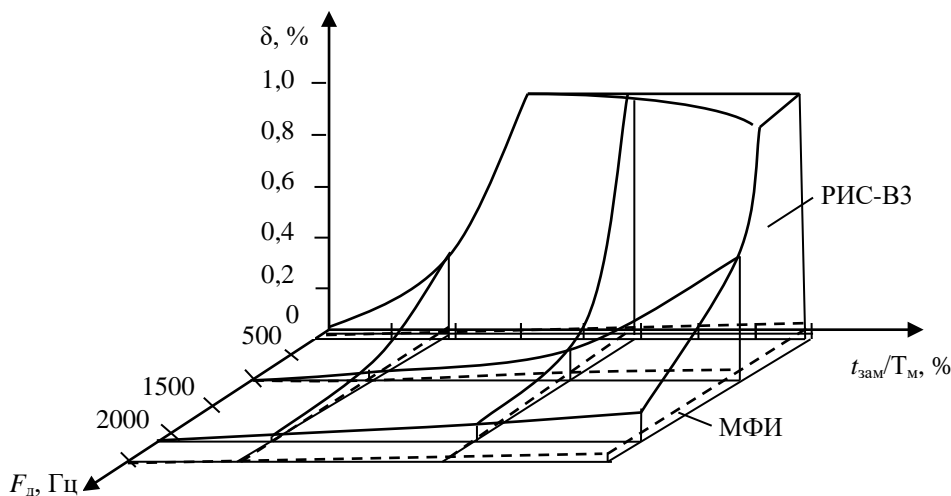


Рисунок 5 – Графики нормированных погрешностей измерителей  $\delta_o = f(t_{\text{зам}}T_M^{-1}; F_d)$

Погрешности приведены к величине погрешности измерителя РИС-ВЗ, то есть

$\delta_o = \delta/\delta_{\text{РИС-ВЗ}}$ , где  $\delta_{\text{РИС-ВЗ}} = 100\%$ ;  $\delta = \left[ \left| F_{d,\text{ф}} - F_{d,\text{и}} \right| / F_{d,\text{ф}} \right] 100\%$ ,  $F_{d,\text{ф}}$  и  $F_{d,\text{и}}$  – фактическая и измеренная частота ОС.

Как видно из представленных зависимостей, при одинаковых условиях измерения ОС величина относительных погрешностей измерителя МФИ на порядок меньше, чем у измерителя РИС-ВЗ.

### Заключение

Таким образом, рассмотрены граничные значения неравенства Крамера-Рао для совместной и раздельной оценки информационных параметров полезного сигнала на фоне мультипликативных помех. Показано, что в общем случае мультипликативная помеха ведет к смещению оцениваемых информационных параметров, причем, чем больше величина смещения, тем точность измерения хуже. Учет смещения, вызванный модулирующей помехой, позволяет перейти к несмещенным оценкам. Показано, что погрешность измерения информационных параметров полезного сигнала может быть существенно уменьшена за счет учета Фишеровской дисперсионной информации (динформации)  $I_D$  о модулирующей помехе.

### Литература

1. Акимов, П. С. Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов, П. А. Бакут, В. А. Богданович и др.; Под ред. П. А. Бакута // М.: Радио и связь, – 1984. – 440 с.
2. Артюшенко, В. М. Оценка погрешности измерения параметров движения протяженных объектов в условиях изменяющейся дальности / В. М. Артюшенко, В. И. Воловач // Радиоэлектроника. – 2015. – Т. 58, № 1. – С. 26–37. – (Известия вузов).

3. Артюшенко, В. М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех / В. М. Артюшенко. – М.: ФГБОУ ВПО ФТА; изд-во «Канцлер», – 2014. – 298 с.
4. Артюшенко, В. М. Анализ влияния негауссовских помех на точность измерения параметров движения в радиосистемах ближнего действия / В. М. Артюшенко, В. И. Воловач // Информационно-технологический вестник – 2015. – № 3(05). – С. 28-47.
5. Бакут, П. А. Методы определения границ точности в задачах оценивания неизвестных параметров / П. А. Бакут, В. П. Логинов, Ю. П. Шумилов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1978. – № 5. – С. 3–36.
6. Билетов, М. В. Обнаружение радиолокационных сигналов при флуктуациях их интенсивности по закону Накагами / М. В. Билетов, И. С. Вассерштейн, В. В. Рыльский // Радиотехника. – 1976. – Т. 31, № 1. – С.16–19.
7. Васильев, К. К. Прием сигналов при мультипликативных помехах / К. К. Васильев // Из-во Саратовского Ун-та, – 1983. – 128 с.
8. Воловач, В. И. Методы и алгоритмы анализа радиотехнических устройств ближнего действия / В. И. Воловач // М.: Радио и связь. – 2013. – 228 с.
9. Долуханов, М. П. Флуктуационные процессы при распространении радиосвязи / М. П. Долуханов // М.: Связь. – 1971. – 360 с.
10. Kassam, S. A. Signal Detection in Non-Gaussian Noise / S. A. Kassam // New York: Springer Verlag, – 1989. – 242 p.
11. Komarov, I. V. Fundamentals of short-range FM radar / I. V. Komarov, S. M. Smolskiy // Norwood: Artech House, – 2003. – 289 p.
12. Крамер, Г. Математические методы статистики: пер. с англ. / Под ред. А. Н. Колмогорова / Г. Кремер // М.: Мир, – 1975. – 648 с.
13. Кремер, И. Я. Модулирующие (мультипликативные) помехи и прием радиосигналов / И. Я. Кремер, В. И. Владимиров, В. И. Карпухин; под ред. И. Я. Кремера // М.: Сов. радио, – 1972. – 480 с.
14. Левин, Б. Р. Теоретические основы статической радиотехники / Б. Р. Левин, 3-е изд., перераб. и доп. // М.: Сов. радио, – 1989. – 656 с.
15. Lu, N. H. Detection of weak signals in non-Gaussian noise / N. H. Lu, Bruce A. Eisenstein // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – Nov. 1981. – Vol. 27, – No. 6. – P. 755–771.
16. Nakagami, M. The m-Distribution, a general formula of intensity of rapid fading / M. Nakagami // In William C. Hoffman, editor, Statistical Methods in Radio Wave Propagation: Proceedings of a Symposium held June 18-20, 1958, pp 3-36. Pergamon Press, 1960.
17. Nebabin, V. G. Methods and Techniques of Radar Recognition / V. G. Nebabin. – Boston–London: Artech House, – 1994. – 273 p.
18. Radar handbook / Ed. by M. I. Skolnik. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill, 1990. – 1199 p.
19. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов / М. Е. Марганов, Ю. С. Зиновьев, Л. Ю. Астанин [и др.]; под ред. Л. Т. Тучкова // М.: Радио и связь, – 1985. – 236 с.
20. Родимов, А. П. Статистическая теория поляризованно-временной обработки сигналов и помех / А. П. Родимов, В. В. Поповских // М.: Радио и связь, – 1984. – 272 с.
21. Сосулин, Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации : учеб. пособие для вузов / Ю. Г. Сосулин // М.: Радио и связь, – 1992. – 304 с.
22. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов; 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Сов. радио, – 1982. – 624 с.
23. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие для вузов / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов // М.: Радио и связь, – 1991. – 608 с.

24. Тузов, Г. И. Выделение и обработка информации в доплеровских системах / Г. И. Тузов // М.: Сов. Радио. – 1967. – 256 с.
25. Тихонов, В. И. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный приём сигналов / В. И. Тихонов, Н. К. Кульман // М.: Сов. радио, – 1975. – 704 с.
26. Tzay, Y. Yong. Error bounds for stochastic estimation of signal parameters / Y. Yong Tzay, R. A. Westerberg // IEEE Trans. on Information Theory. – Sept. 1971. – Vol. 17, – No. 5. – P. 549–557.
27. Фалькович, С. Е. Статистическая теория измерительных радиосистем / С. Е. Фалькович, Э. Н. Хомяков. – М.: Сов. радио, 1981. – 288 с.
28. Финкельштейн, М. И. Основы радиолокации / М. И. Филькенштейн // М.: Радио и связь, – 1983. – 536 с.
29. Hammarstrand, L. Extended object tracking using a radar resolution model / L. Hammarstrand, L. Svensson, F. Sandblom, J. Sorstedt // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – July 2012. – Vol. 48, – No. 3. – P. 2371–2386.
30. Hughes, P. K. A high-resolution radar detection strategy / P. K. Hughes // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – Sept. 1983. – Vol. 19, No. 5. – P. 663–667.
31. Цыпкин, Я. З. Основы информационной теории идентификации / Я. З. Цыпкин // М.: Наука, – 1984. – 320 с.

УДК 004.85

## **Развитие современной электроники в области информационной безопасности**

**А.И. Сухотерин**, к.в.н., доцент кафедры ИБ,  
**С.А. Кручинина**, студентка 3 курса кафедры ИБ,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Развитие электроники является одним из ключевых факторов развития, как мировой, так и российской экономики. От уровня ее развития во многом зависят образ и качество жизни людей. В связи с этим вопрос о том, каковы же тенденции развития современной электроники является актуальным. Проанализированы основные статистические показатели и выявлены тенденции развития электроники, как в России, так и в мире в целом.*

Современная электроника, тенденции развития, российская электроника, мировая электроника.

### **Development of modern electronics in the field of information security**

**A.I. Sukhoterin**, Candidate of Military Sciences, docent of the Department of IS,  
**S.A. Kruchinina**, 3d year student of the Department of IS,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*The development of electronics is one of the key factors of development, both global and Russian economy. From the level of its development depends largely on the image and quality of life. In this regard, the question of what are the trends in the development of modern electronics is relevant. During the analyzed basic statistics and identified development trends of electronics, both in Russia and in the world as a whole.*

Modern electronics, development trends, Russian electronics, world electronics.

Обширное использование электроники во всех областях деятельности оказывает колоссальное влияние на формирование экономики и образ жизни людей, как в отдельной стране, так и в мире в целом. За счет электроники перед нами открывается множество возможностей для коммуникации друг с другом, она способствует повышению качества и доступности образования, здравоохранения. Ее развитие во многом определяет достигаемый уровень защищенности информационных объектов от различных угроз.

Развитие электронной промышленности для России особенно важно в связи с такими позициями, как [1]:

- российский рынок электроники – один из наиболее емких и бурно развивающихся рынков;
- индустрия электроники обладает большими перспективами для последующего развития;
- уровень развития электронной отрасли оказывает существенное влияние на развитие информационного общества в целом;
- ключевой элемент стоимости в электронике – интеллект и высококвалифицированный труд, следовательно, развитие электронной отрасли напрямую связано с переходом к инновационной экономике.

Таким образом, развитие электронной отрасли является одним из важнейших направлений обеспечения информационной и экономической безопасности государства, является актуальной проблемой современности.

Говоря о международной электронной промышленности, важно отметить, что ее объем составляет около 2 трлн. долларов США – это один из крупнейших в мире рынков [1]. Пик развития мировой электроники наблюдался в 60 – 80 годах, затем электронная промышленность вступила в этап зрелости, на что указывает снижение средних темпов роста (рисунок 1).

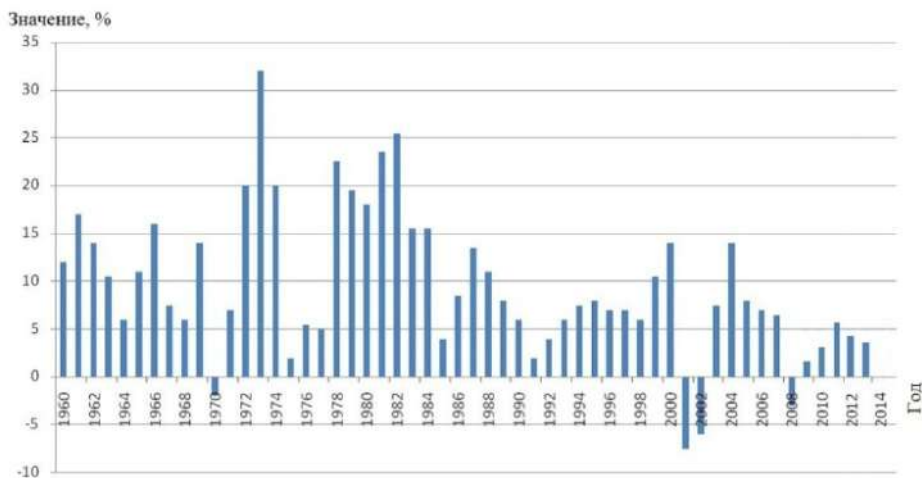


Рисунок 1 – Рост мировой электронной промышленности

Невзирая на это электроника продолжает оставаться одной из наиболее активно развивающихся сфер в международной экономике.

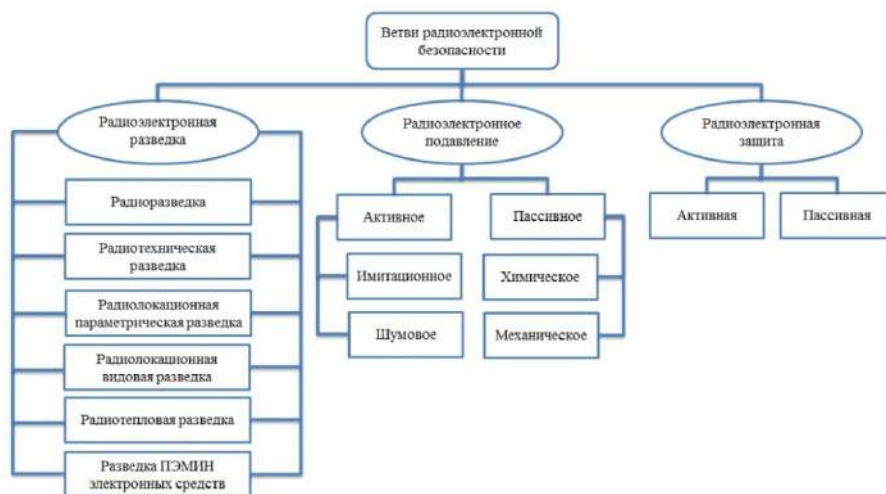
Одним из наиболее перспективных направлений развития электроники с точки зрения информационной безопасности является радиоэлектронная безопасность информационных объектов.

Существуют различные способы воздействия угроз на объекты информационной безопасности (далее – ИБ). Они подразделяются на информационные, программно-математические, физические, радиоэлектронные и организационно-правовые. Однако наиболее опасным является радиоэлектронное воздействие посредством радиоэлектронной разведки (рисунок 2).

Незащищенные средства передачи, приема и обработки информации, работающие от электрического тока, образуют радиоэлектронный канал утечки



информации. В радиоэлектронном канале передачи носителем информации является электрический ток и электрическое поле с частотами колебаний от звукового диапазона до десятков ГГц.



**Рисунок 2 – Ветви радиоэлектронной безопасности**

Радиоэлектронный канал относится к наиболее информативным каналам утечки в силу следующих его особенностей:

- независимость функционирования канала от времени суток и года, существенно меньшая зависимость его параметров по сравнению с другими каналами от метеоусловий;
- высокая достоверность добывания информации, особенно при перехвате ее в функциональных каналах связи (за исключением случаев дезинформации);
- большой объем добываемой информации;
- оперативность получения информации вплоть до реального масштаба времени;
- скрытность перехвата сигналов и радиотеплового наблюдения.

Таким образом, основной задачей радиоэлектронной разведки является: обеспечение добывания разведывательной информации на основе обнаружения, регистрации (приема) и анализа излучаемых и отраженных от объектов разведки радиосигналов, а также других излучений в радиодиапазоне электромагнитных волн, сопутствующих функционированию различных технических устройств.

В целом, можно выделить следующие современные направления развития электроники:

- постепенно осуществляется процесс глобализации;
- усиление специализации фирм и формирование рынка сервисных организаций;
- на развитие отрасли все большее влияние стал оказывать рынок потребительской электроники;

- возникновение новых индустриальных центров в развивающихся странах;
- возрастание влияния общественных потребностей на развитие электронной отрасли;
- циклический характер развития, скачки в развитии чередуются с периодическими кризисами.

Говоря о возникновении новых индустриальных центров, стоит отметить, что за последние годы Китай и Индия стали ключевыми двигателями мирового экономического роста (рисунок 3).

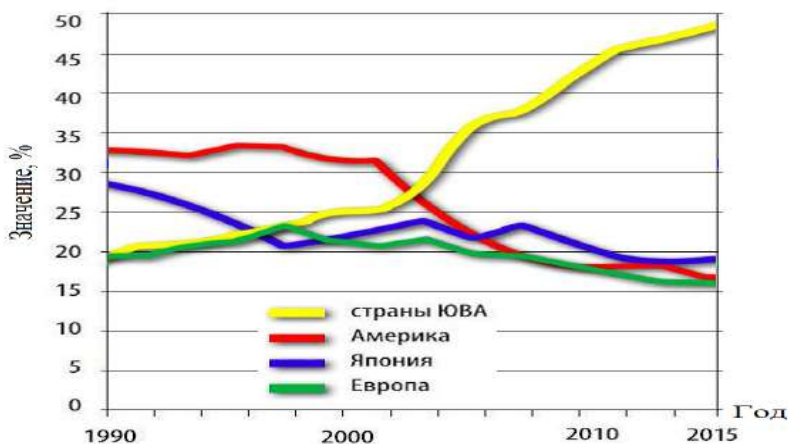


Рисунок 3 – Объемы производства электроники по регионам

Также необходимо выделить, что данные центры обладают следующими характеристиками: высокая численность населения; низкая стоимость труда; благоприятный инвестиционный климат; растущий уровень образования.

Говоря об электронной промышленности России, стоит выделить следующие характерные для нее особенности:

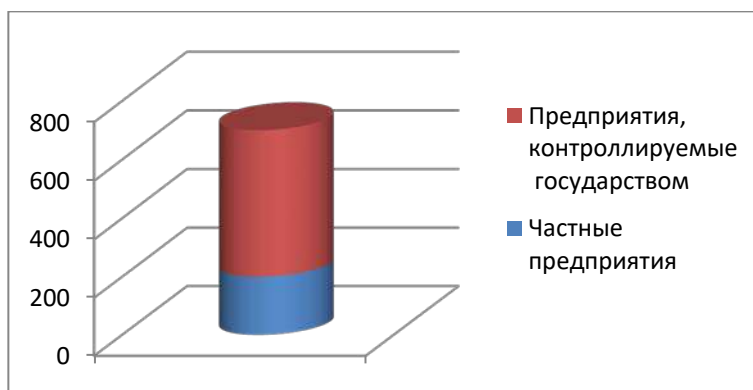
- преобладание государственного сектора над частным, в связи с чем, возникают «тепличные условия» для предприятий (ограниченная конкуренция, минимальное влияние внешних факторов);
- сосредоточение производства на внутреннем рынке;
- низкий уровень интеграции российской электроники с международной ареной.

С точки зрения ИБ развитие отечественной радиоэлектронной промышленности имеет особое значение, так как она (ИБ) связана с использованием различных элементов данной отрасли, необходимых для обеспечения безопасности.

Однако существуют некоторые особенности, которые осложняют процесс развития российского рынка электроники.

С одной стороны, он довольно маленький. С другой, он разделяется на две почти не зависящие друг от друга составляющие: «внутреннюю», связанную с государственным и оборонным заказом, при этом компании данного сектора почти не выходят на открытый рынок; и «внешнюю», где фирмы работают на открытом рынке в условиях высокой конкуренции, вне сферы государственных

закупок (рисунок 4).

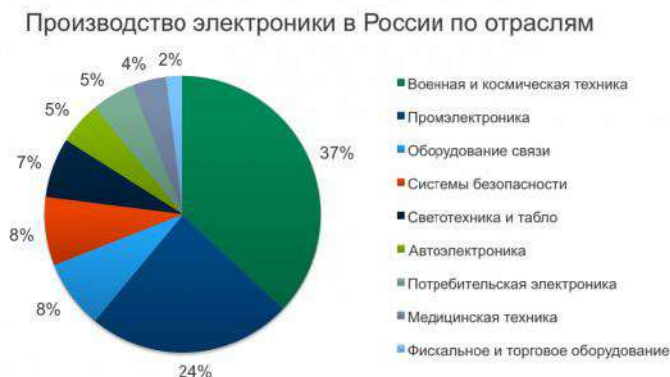


**Рисунок 4 – Соотношение между государственным и частным секторами электронной отрасли России**

Главная задача государства состоит в том, чтобы стимулировать предприятия, работающие с гос- и оборонзаказами выходить за их пределы на открытый рынок, увеличивать обороты и способствовать его развитию, ведь такие предприятия в нашей стране составляют лидирующее большинство [4] (рисунок 5). При отсутствии их участия маловероятно, что рынок сможет выйти на приемлемые темпы развития.

Одним из наиболее перспективных предприятий является созданный в 2009 году Концерн «Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ), который объединяет около полусотни предприятий радиоэлектронной отрасли страны [2]. Его деятельность сконцентрирована в области обеспечения госзаказа радиоэлектронными средствами; повышения операционной эффективности холдинга, выхода на новые рынки. Доля продукции Концерна на российском рынке РЭБ составляет около 94%, на мировом РЭБ – 3% [3].

К сожалению, подобного концерна, специализирующегося на разработке радиоэлектроники, обеспечивающей безопасность информационных объектов гражданского назначения, нет.



**Рисунок 5 – Производство электроники в России по отраслям**

Таким образом, для успешного развития, как на внутреннем рынке, так и на мировой арене, необходимо активное взаимодействие, как государства, так и всех участников, занимающихся производственной деятельностью в данном секторе.

В целях сопоставления уровня развития электронной отрасли России по сравнению с ведущими странами мира, далее представлена таблица, где по вертикали представлены страны мира, а по горизонтали основные показатели их деятельности в электронной отрасли [5] (таблица 1).

**Таблица 1 – Сравнительная характеристика электронной промышленности России с ведущими мировыми странами**

	Объем ВВП, млрд. долларов	Объем производства электронной промышленности, млрд. долларов	Объем внутреннего рынка электроники, млрд. долларов	Доля национальной продукции на внутреннем рынке электроники, %	Доля национальной продукции на мировом рынке электроники, %	Число компаний электронной промышленности
Россия	1861	13	47	22	0,07	2517
США	17419	501	519	45	22	19350
Китай	10360	261	153	51	14	13103
Япония	4601	303	227	57	9	7763
Германия	3853	171	145	42	5	4057
Бразилия	2346	62	69	64	5	691

Анализ представленных статистических данных, позволяет сделать вывод, что Российская электронная промышленность существенно отстает от ведущих мировых держав.

Однако стоит отметить, что Россия обладает достаточным потенциалом и, несмотря на столь значительное отставание, она смогла бы войти в число ведущих стран мира.

Для реализации этих целей требуются поэтапные преобразования, источником которых станет государство, а результатом будет повышение конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности российской электронной отрасли. От того, насколько государству удастся реализовать задуманное, будет зависеть его информационная и экономическая безопасность, обеспеченность отечественной элементной базой средств обработки и защиты информации, радиоэлектронной безопасности.

В целях сокращения отставания была разработана и утверждена «Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 года» (далее – Стратегия).

Направления решения проблемы развития отечественной электронной промышленности могут базироваться в рамках активного сценария на двух стра-

тегических вариантах:

1. государственная монополизация собственности организаций электронной отрасли и централизованное управление отраслью;
2. государственно-частное партнерство в развитии отрасли, расширение всех форм международного кооперационного сотрудничества с учетом ключевых интересов государства.

Выбор того или иного варианта стратегического развития влияет на организационную структуру управления реализацией стратегии и уровень достижения результата.

Наиболее предпочтительным направлением развития российской электроники является второе – государственно-частное партнерство. Однако пока все идет по первому сценарию. Подтверждением этого являются следующие позиции.

В рамках предлагаемой по второму варианту модели развития отрасли государству отводится важнейшая роль решения проблемы безопасности в выстраивании системы государственно-частного партнерства, которую государству не удастся реализовать в полной мере. В России сохраняется тенденция к перетеканию заказов на сборку электроники и, соответственно, поставок электронных компонентов в оборонно-промышленный комплекс (рисунок 6).

Военная электроника вытесняет с рынка гражданскую (рисунок 7). Если в 2009 г., по данным Центра современной электроники, на гражданский сектор в России приходилось примерно 80% поставок электронных компонентов, то в 2014 г. – около 55% [8].

Гражданское производство сокращается. Внутри России основной заказчик гражданской микроэлектроники – государство, инициирующее такие крупные проекты, как универсальная электронная карта, социальные и транспортные карты, биометрические загранпаспорта и другие.

Государство отдает предпочтение технологиям двойного и специального – военного назначения [7] (рисунок 8). Это обуславливает наличие большого числа средств радиоэлектроники военного назначения и крайне малого числа средств радиоэлектроники, обеспечивающей безопасность информационных объектов гражданского назначения.

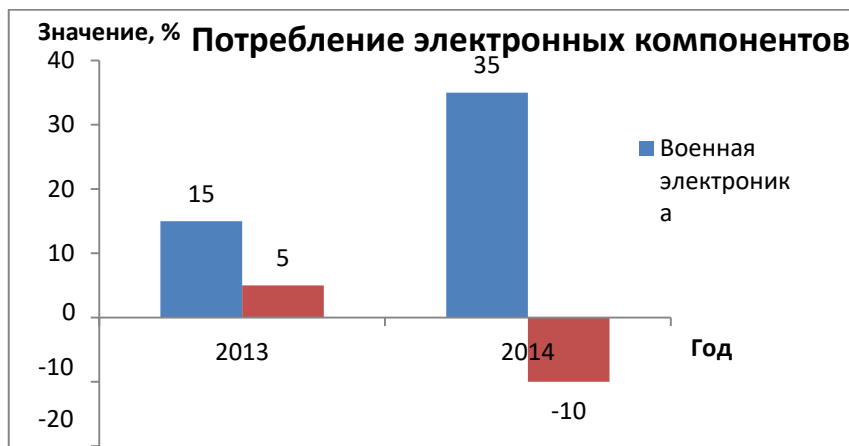


Рисунок 6 – Потребление электронных компонентов

## Поставка электронных компонентов

за 2009 год, в %

за 2014 год, в %

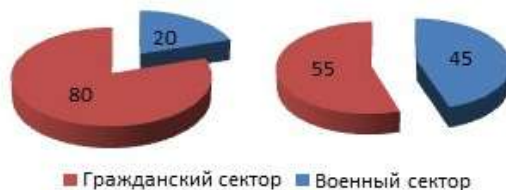


Рисунок 7 – Поставка электронных компонентов по секторам

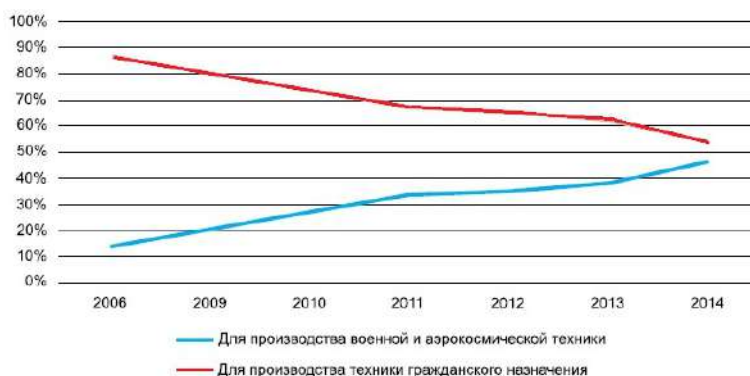
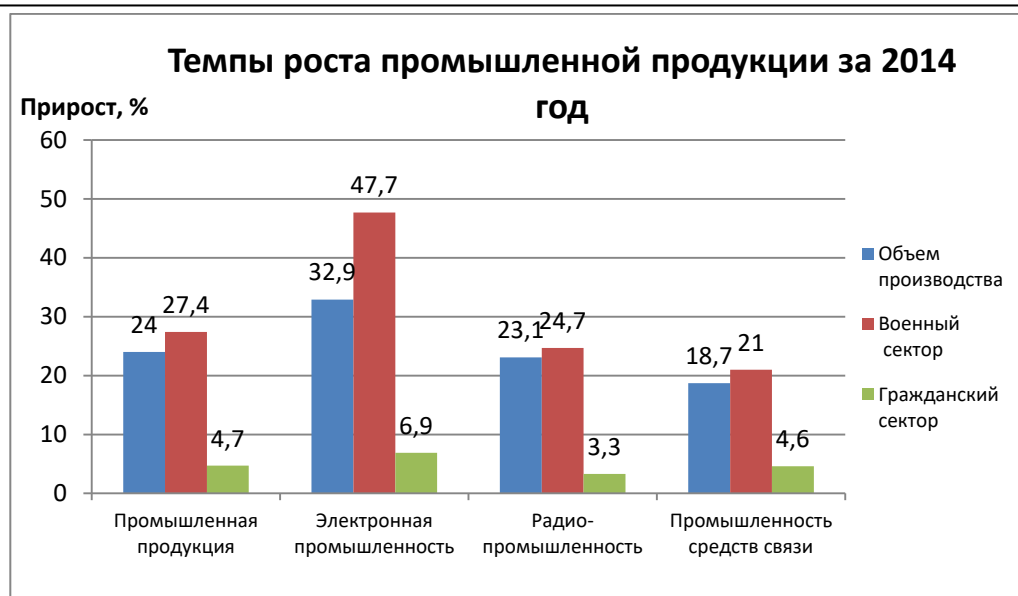


Рисунок 8 – Объемы поставок электронных компонентов для производства оборудования гражданского и специального назначения

Стоит отметить, разработанная Минпромторгом система поддержки электронной промышленности фактически применима только к предприятиям с госучастием. В результате стимулов для создания массовых продуктов гражданского назначения нет – частные компании утрачивают интерес к бизнесу в сфере электроники.

Однако наблюдаются и положительные тенденции. В течение 2014 года шел активный процесс реструктуризации радиоэлектронной отрасли России. По его итогам был осуществлен ввод в эксплуатацию новых, реконструированных и технически перевооруженных производств.

В 2014 году предприятиям и организациям радиоэлектронной промышленности удалось удержать положительные тенденции в развитии промышленного производства и научно-технической деятельности. Вырос объем производства промышленной продукции, увеличилось производство средств связи и радиоэлектронной промышленности [6] (рисунок 9).



**Рисунок 9 – Темпы роста промышленной продукции за 2014 год**

Увеличилась производительность труда и среднегодовая численность работников РЭП. Средний возраст работников предприятий и организаций РЭП в 2014 году составил 48 лет. Улучшилось социально-экономическое положение и средняя заработная работников.

Таким образом, на фоне положительных изменений, сохраняется главное отрицательное – отсутствие четкой системы государственно-частного партнерства; концентрация электронной отрасли в руках государства, перетекание заказов в военную область и спад гражданской, как следствие, потеря интереса частных компаний к бизнесу в отрасли, что существенным образом отражается и на радиоэлектронной составляющей информационной безопасности [1,2,3,4,5,6,7,8,9].

Тенденции развития современной электронной промышленности таковы, что: современный рынок электроники является глобальным и высоко конкурентным, что предъявляет весьма серьезные требования и условия к эффективности и качеству производства.

Основываясь на примерах других государств, можно смело говорить о том, что при грамотном проведении необходимых поэтапных преобразований можно добиться значительного скачка в развитии электронной отрасли. Для этого, в свою очередь, необходимо наличие четкой, скоординированной программы действий, позволяющей в результате осуществить переход на качественно новый этап.

#### *Литература*

1. Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 года от 07.08.2007г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gosbook.ru/system/files/documents/2011/07/12/Strategiya\\_do\\_2025.pdf](http://www.gosbook.ru/system/files/documents/2011/07/12/Strategiya_do_2025.pdf) (дата обращения 27.12.2015).

2. Корпорация «Ростехнологии». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rostec.ru/about/holdings/346> (дата обращения 27.12.2015).
3. Концерн «Радиоэлектронные технологии». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kret.com/news/3235/> (дата обращения 27.12.2015).
4. Статья: Контрактное производство электроники в России в 2015 году. Проблемы, перспективы и импортозамещение. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ixbt.com/editorial/ruselectr2015-overview.shtml> (дата обращения 27.12.2015).
5. The World Bank (Всемирный Банк), – Каталог данных. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://datacatalog.worldbank.org/> (дата обращения 05.12.2015).
6. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minpromtorg.gov.ru/activities/industry/otrasli/radio/#collapseOne> (дата обращения 27.12.15).
7. Отраслевой деловой ежегодник – «Живая электроника России – 2015». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/skachivanie/72418/1/> (дата обращения 27.12.2015).
8. Валерий Кодачигов, – Милитаризация чипов, – ежедневная деловая газета «Ведомости», № 3796, 24.03.2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vedomosti.ru/newspaper/articles/2015/03/24/militarizatsiya-chipov> (дата обращения 27.12.2015).
9. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И, Сиротский, А. А. Организация менеджмента информационной безопасности в финансово-кредитных учреждениях. Информационная безопасность бизнеса и общества. Сборник статей научно-преподавательского состава кафедры информационных систем, сетей и безопасности / Российский Государственный Социальный Университет // М.: Издательство «Перо», – 2016. – 111 с. ISBN 978-5-906851-15-4.



УДК 004.056

## **Информационная безопасность электронного голосования: проблемы и пути их решения**

**О.В. Морозов**, студент 1 курса магистратуры  
кафедры «Информационной безопасности»,

**А.И. Сухотерин**, к.в.н., доцент,  
доцент кафедры «Информационная безопасность»,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье рассмотрены возможные риски и проблемы систем электронного голосования, и в первую очередь – дистанционного. Проведен анализ рисков дистанционного электронного голосования, представлена их классификация, подробно описаны различные группы рисков. Представлена общая классификация подобных систем, описан опыт их использования в разных странах. Описаны проблемы, связанные с организацией электронного голосования, и существующие решения.*

Голосование, информационная безопасность, электронное голосование, удаленное электронное голосование.

## **Information security of electronic voting: problems and solutions**

**O.V. Morozov**, 1rd year graduate student of the Department of  
Information Security,

**A.I. Sukhoterin**, c.m.s., professor, professor of Information Security,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*The possible risks and problems of systems of electronic vote, and first of all – remote, are considered in this article. Risk analysis of remote electronic vote is carried out, their classification is presented, various groups of risks are in detail described. The general classification of similar systems is presented, experience of their use in the different countries is described. It describes the problems related to the organization of electronic voting and the existing solutions.*

Voting, information security, electronic voting, remote e-voting.

Проведение выборов в России, часто заканчиваются скандалами по поводу фальсификации выборов. В связи с этим все более становится актуальным вопрос о применении новых технологий системы голосования и прежде всего электронного голосования, которое разделяется на стационарное и дистанционное.

Термин «стационарное э-голосование» используется для описания систем, при которых избиратель отдает свой голос в самом избирательном участке.

В отличие от него, слово «дистанционное э-голосование» применяется в ситуации, когда гражданин находится за пределами самого избирательного участка. Одной из наиболее перспективных технологий является дистанционные электронные выборы посредством линии сети интернет либо иной информационно – коммуникационной линии передачи информации. В настоящий день осуществление электронного голосования в значительной степени препятствует стереотип о ненадежности результатов информационных систем. Проведённые исследования систем электронного голосования позволило обобщить мировой опыт создания и функционирования подобных систем, обнаружить главные проблемы, появляющиеся при осуществлении электронного голосования, и предложены направления их решения.

### **Зарубежный опыт**

**США.** Для американцев право голосовать является почетным правом. Правительство страны уделяет большое значение, подготовке и проведению выборов, особенно в оснащении техническими системами.

В США отсутствует единая федеральная избирательная система. Хотя самих американцев – привыкших к практике, что каждый штат имеет свои законы – это ничуть не смущает. Что же касается техники на выборах, то ее повсеместное внедрение приветствуется на самом высоком уровне.

В США нет единой федеральной избирательной системы. Для граждан привыкших, что у каждого штата есть свои законодательные особенности, это не беспокоит, внедрение техники на выборах, приветствуется и на высоком уровне.

С целью увеличения степени доверия избирателей к электронному голосованию в ряде штатов были приняты постановления о замене сенсорных машин для голосования сканирующие электронные средства для голосования (избирателям предоставляется возможность удостовериться в собственном электронном выборе при помощи бумажного носителя). В 41 штате используются оптические комплексы, наравне с сенсорными, в том числе в 17 штатах, где они применяются во всех без исключения избирательных местах.

**Швейцария.** Используется полностью автоматизированная система, направляющая избирателя на специализированный сайт. Перед референдумом каждый гражданин может, предъявив паспорт, взять в почтовом отделении карту для электронного голосования, включающую неповторимый номер, который способен совпасть один раз в 5 млрд. избирателей, и секретный код, скрытый под непрозрачным защитным слоем. На специальном сайте для голосования необходимо ввести номер карты, поставить галочки напротив нужных вариантов, ввести секретный PIN-код и информацию своего паспорта и в результате получить электронное подтверждение голоса.

**Канада.** В 2003 году с 5 по 10 ноября прошли первые во всей Северной Америке электронные выборы в графстве Прескотт и Рассел. Каждый гражданин получал специальный номер и пароль, которые позволяли проголосовать через интернет либо через телефон. Внедрение такой системы позволило увеличить число проголосовавших людей на 25-30%. Результатом такой практики было создание совета по модернизации избирательного процесса в Онтарио.

**Швеция.** В Швеции используются специальные карты идентификации избирателей, которые присылают по почте. Однако само голосование проходит с помощью бумажных бюллетеней. Таким образом, был создан комбинированный

вариант «бумажного» и «электронного» голосования, появившийся после критических оценок электронного голосования Шведской избирательной комиссией.

**Эстония.** Осуществление плана электронного голосования пришлось на местные выборы в октябре 2005 года, когда Страна стала первой страной, что законно провела голосование посредством интернета как одно из средств подачи голосов. Концепция выдержала настоящие проверки и была признана эффективной эстонскими чиновниками. Парламентские выборы 2007 года с применением системы Интернет голосований также прошли успешно.

Эстонское правительство реализовало систему цифровой подписи для увеличения активности граждан в участие на выборах. В ее основе лежит использование персонального документа. Чтобы избежать покупки и фальсификации голосов, позволяется голосовать несколько раз, но последний голос является окончательным.

### **Особенности регионального избирательного процесса РФ**

В соответствие с нашим законодательством, электронное голосование – это голосование без использования бумажных бюллетеней и с использованием комплекса средств автоматизации ГАС «Выборы» [1].

В соответствии с Федеральным законом от 10 января 2003 г. «О Государственной автоматизированной системе «Выборы» для автоматизирование избирательного процесса применяется данная информационная система [3], комплексы электронного голосования через сенсорный дисплей (рис.1), а также технические средства подсчета голосов КОИБ (Комплексы обработки избирательных бюллетеней) система автоматически считывает информацию с бюллетеней при помощи оптического сканирования.

В 2013г. были привнесены значительные изменения в программу ускоренного технологического переоснащения избирательной системы Российской Федерации, разработанной ЦИК вместе с Правительством Российской Федерации, которые учитывают оборудование избирательных участков комплексами средств автоматизации участковой избирательной комиссии (КСА УИК). В состав комплекса средств автоматизации участковой избирательной комиссии могут входить сложные комплексы [1,2,3,4,5,6,7,8] обработки избирательных бюллетеней и комплексы электронного голосования, совместимые с автоматизированным рабочим местом участковой избирательной комиссии. АРМ УИК обязан быть оборудован средствами передачи информации протокола о результатах голосования в электронном виде, подписанных электронной подписью, в вышестоящие избирательные комиссии. Участковая комиссия, используя АРМ УИК, подготавливает акт о результатах голосования, осуществляет контроль над этим, определенных законодательством, издает акт о результатах голосования и представляет его сведения в вышестоящую комиссию с дальнейшим вводом данных в ГАС «Выборы» [2].



Рисунок 1 – Комплекс для электронного голосования

### Анализ рисков дистанционного электронного голосования и возможные пути их решения

Несмотря на очевидные преимущества дистанционного голосования перед традиционным, оно имеет свои недостатки, способные серьезным образом повлиять на ход и результаты выборов. Данная форма голосования содержит определенные риски [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11], которые на основе анализа их содержания можно разделить на следующие группы (рис. 2):

Первая группа – риски, связанные с обеспечением важнейших принципов избирательного права.

Вторая группа – риски, связанные с доверием избирателей к электронному голосованию.

Третья группа – риски, связанные с несовершенством технологии электронного голосования в области информационной безопасности.

Четвертая группа – риски, связанные с технической реализацией проекта.

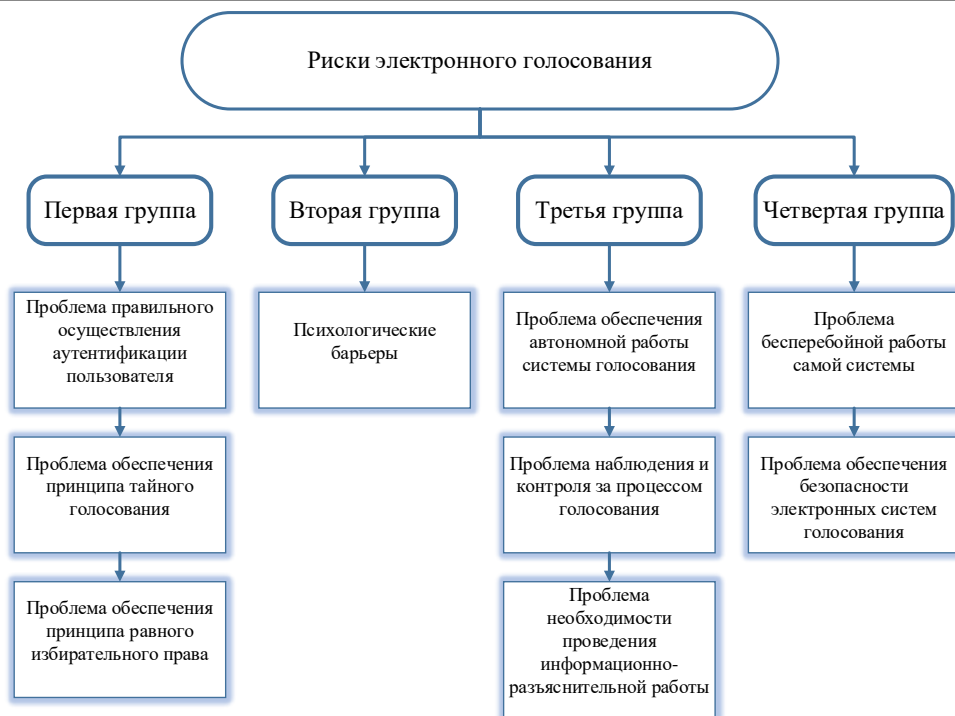


Рисунок 2 – Риски и проблемы электронного голосования

**Риски первой группы.** При голосовании при помощи мобильного телефона возможность идентификации практически отсутствует. При голосовании напрямую посредством сети интернет и с поддержкой социальной электронной карты предлагается найти решение посредством введения концепции электронной цифровой подписи (ЭЦП). Избиратель может предварительно приобрести источник ЭЦП с целью доступа на сервер для голосования на всех последующих выборах, или получить карточку на 1 раз перед самими выборами. В первом случае проблема заключается в том, что длительный период хранения снижает надежность таких ключей. Они могут быть украдены с сервера либо у избирателя, есть вероятность начала торговли такими ключами, и оказывая огромное влияние на ход выборов. При использовании второго варианта теряется главное преимущество дистанционной формы голосования, гражданину нужно будет идти за день до голосования и лично получить ключ доступа. Зарубежной практикой был найден другой выход – использование индивидуальной идентификационной карты (ID-карты), позволяющей ставить электронную цифровую подпись. Преимущество ID-карты по сравнению с указанными выше вариантами в том, что данное решение имеет универсальный характер, несколько степеней защиты, не позволяет голосовать за другого избирателя, т.к. избиратель идентифицирует себя, указав свой секретный код, дату рождения.

**Риски второй группы.** Для людей, которые не знают, как работают дистанционные технологии, будет сложно преодолеть психологические барьеры для использования дистанционных систем.

На октябрь 2014 г. Интернетом в России пользуется приблизительно 66%

наших граждан. Можно предположить, что среди выявленных 34% населения, не пользующегося Интернетом, находятся пенсионеры, инвалиды и малообеспеченные лица. Эту проблему можно решить при помощи создания компании по информированию населения и помощи социальных служб, которые могли бы помогать гражданам с ограниченными возможностями или людей, которые боятся или не могут работать с компьютером. По мере распространения технологий и вхождения их в повседневную жизнь людей она будет снижаться. Таким образом, решение данной проблемы представляется делом времени.

**Риски третьей группы.** При применении систем дистанционного электронного голосования, как и любой электронной системы, остро встает вопрос необходимости защиты данных, который тесно связан с обеспечением возможности избирателя отследить, правильно ли учтен его голос, что в совокупности составляет третью группу рисков. Следует особо отметить, что именно этот вопрос в наибольшей степени волнует потенциальных участников дистанционного электронного голосования. Возможность фальсификации результатов выборов значительно облегчается при нехватке избирательных бюллетеней «материальным» носителем волеизъявления считается только данные, которая как таковые могут быть просто изменены. Если также учесть большую опасность применения хакерских атак, то электронное голосование на выборах при самом неблагоприятном сценарии имеет весьма большие шансы стать мощным инструментом политических манипуляций, одним из действенных способов узурпации власти. В связи с чем перед разработчиками стоит достаточно сложная задача обеспечить автономную работу системы дистанционного голосования, пресекающую каждую попытку вмешательства в его функционирование. В настоящий момент широкое распространение имеет криптографическая защита.

В отношении вопроса правильности учета голоса избирателя существует норма Рекомендации Совета Европы: «дистанционная система электронного голосования не должна позволять избирателю иметь возможность получать доказательство содержания поданного голоса». Данное положение направлено на обеспечение одного из важнейших принципов выборов – тайны голосования, но в то же время она лишает возможности избирателя удостовериться в правильности учета его голоса. Однако эти нормы являются лишь рекомендациями.

Это обстоятельство указывает на еще одну проблему – проблему наблюдения и контроля за процессом голосования. При удаленном электронном голосовании объективно невозможно обеспечить наблюдение и контроль за непосредственным процессом подачи голоса, а также его подсчета. Однако рассмотренными методиками подобный контроль в ограниченной «индивидуальной» форме не реализуется. Барьером является также сложность процедуры голосования и вытекающая из нее проблема необходимости проведения информационно-разъяснительной работы по доведению до избирателей сведений о технологии. Вполне реальной представляется ситуация, когда вследствие либо неправильного использования самими избирателями технических устройств, либо ошибок разъяснительной работы будут иметь место нарушения избирательных прав, заблуждение граждан в вопросе своего волеизъявления.

**Риски четвертой группы.** Кроме проблемы собственно определенных действий, направленных на обеспечение защиты данных, проблема далеко не бесперебойной технической работы самой системы также является актуальной, в

связи с чем представляет собой четвертую группу рисков. Данное обстоятельство вызвано в первую очередь несовершенством самой технологической базы всех электронных систем, а также отсутствием единого подхода и универсальных требований к качеству и безопасности самих систем дистанционного электронного голосования. Примером уязвимости систем для дистанционного голосования стала система SERVE, созданная по заказу Пентагона для голосования через Интернет тех граждан США, которые находятся за пределами своей страны. Результаты экспертизы оказались неудовлетворительными. Новая пентагоновская система, как указано в отчете, «предоставляет злоумышленникам чересчур много возможностей вмешиваться в процесс честного и аккуратного голосования, причем такими способами, которые потенциально невозможно выявить». Отечественный опыт в этом вопросе также является весьма интересным. Так, именно опасения в области безопасности вынудили ЦИК РФ отказаться от дальнейшей работы в отношении такого характерного для ранней отечественной практики способа, как голосование с использованием CD-дисков. Обеспокоенность проблемой обеспечения безопасности электронных систем голосования подтверждается как многими научными исследованиями, так и проведенными социологическими исследованиями. Данные обстоятельства предопределяют необходимость международной сертификации систем электронного голосования, а также введения положения об обязательном проведении предварительного аудита такого оборудования, что нашло свое отражение и в Рекомендациях Совета Европы. Рассмотренные в настоящей главе возможные риски электронного голосования дистанционным способом говорят не о проблемности самого дистанционного электронного голосования как формы выражения волеизъявления избирателей, а лишь об определенных технических и организационных сложностях.

Формирование концепции электронного голосования в Российской Федерации является трудным и многоэтапным процессом, требующим исследования новейших информационных технологий и создания законодательной базы для последующего функционирования. Предоставление принципов избирательного права в ходе электронного голосования, вне зависимости стационарного или дистанционного, будет способствовать к увеличению доверия граждан к избирательной системе Российской Федерации.

#### *Литература*

1. Об основных гарантиях избирательных прав и права на участие в референдуме граждан Российской Федерации: федеральный закон от 12.06.2002.
2. О новой редакции Программы ускоренного технического переоснащения избирательной системы Российской Федерации: Постановление Центральной избирательной комиссии РФ от 22 ноября 2013 г. № 205/1378-6.
3. Федеральный закон о государственной автоматизированной системе российской федерации «Выборы»: Федеральный закон от 10.01.2003 г.
4. Сербин, М. В. Перспективы развития электронного голосования в Российской Федерации. – 2011. – стр. 168-170.
5. Центральная Избирательная Комиссия Российской федерации «Дистанционное электронное голосование: российские и зарубежные исследования» 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.cikrf.ru/actual/electr\\_opros/2glava.pdf](http://www.cikrf.ru/actual/electr_opros/2glava.pdf) (дата обращения: 30.08.2016).

6. Бажуков, С. А. Дистанционное электронное голосование как альтернативная форма голосования на выборах // Вестник избирательной комиссии архангельской области. – 2011. – № 1. – с.3-16.
7. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И. Практика применения инновационного научно-образовательного комплекса по подготовке бакалавров и магистров в области информационной безопасности. Научно-практический журнал №25, том 1 2015г. ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ УГРОЗАМ ТЕРРОРИЗМА. Материалы XIX ПЛЕНУМА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ ПО ОБРАЗОВАНИЮ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «ОПЫТ И ПЕРЕДОВЫЕ ПРАКТИКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОЙ БАЗЫ» г. Таганрог. РОСТ. ОБЛ.: Изд-во ЮЖН. ФЕД.УНИВ. – 2015. – 416 с. ISSN 2219-8792.
8. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И. Выработка коммуникативной компетенции при подготовке профессионалов по информационной безопасности с использованием технологии модерации. «Инновационные технологии в современном образовании» // Сборник трудов по материалам III Международной научно-практической Интернет - конференции 18 декабря 2015 г. // М.: Издательство «Научный консультант». – 2016. – 784 с. – ISBN: 978-5-9907976-9-7.



УДК 62-1/-9

## **Определение и оценка эксплуатационной технологичности сложных технических систем**

**В.В. Нефедьев**, к.т.н., с.н.с.,

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

*Предлагается методика комплексной оценки уровня эксплуатационной технологичности сложных технических систем: уровень качественных характеристик оценивается в баллах на основе экспертизы проектной, рабочей, эксплуатационной документации и опытных образцов; уровень количественных характеристик (показателей) предлагается определять на основе их оценки по результатам испытаний.*

Эксплуатационная технологичность, сохраняемость, определение и оценка характеристик.

## **Identification and assessment of maintainability of complex technical systems**

**V.V. Nefed'ev**, Ph.D., Senior Scientist,

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

*The technique of a complex estimation of the level of maintainability of complex technical systems: the level of quality characteristics were scored on the basis of examination of project, business, operation documentation and prototypes; the level of quantitative characteristics (indicators) proposed to determine on the basis of their evaluation of the test results.*

Maintainability, the keeping, identification and assessment of performance.

Эффективная длительная эксплуатация сложных технических систем, комплексов и т.п., таких, как стационарные и мобильные системы электроснабжения, современные образцы строительной и военной техники и др., во многом зависит от их приспособленности к реальным условиям эксплуатации.

В этой связи актуальными являются вопросы совершенствования принципов, способов и порядка определения и оценки эксплуатационной технологичности подобных систем на этапах их разработки и испытаний.

Эксплуатационная технологичность – комплексное свойство системы, которое характеризует ее приспособленность к выполнению всех видов работ по подготовке системы к применению, ее техническому обслуживанию, применению по назначению с использованием наиболее экономичных технологических эксплуатационных процессов.

В свою очередь, она включает в себя такие свойства, как ремонтпригодность, безотказность, долговечность и сохраняемость.

Ремонтпригодность – свойство системы, заключающееся в ее приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем восстановления ее работоспособности.

Безотказность – свойство системы непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение определенной наработки или некоторого времени. При этом под наработкой следует понимать продолжительность или объем работы системы.

Долговечность – свойство системы сохранять работоспособное состояние до своего предельного состояния, при котором ее дальнейшая эксплуатация нецелесообразна или недопустима, при имеющейся системе ремонта и обслуживания.

Сохраняемость – свойство системы сохранять значение показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Определение и оценка эксплуатационной технологичности сложной технической системы является одной из задач, решаемых в процессе научно-технического сопровождения ее разработки и испытаний. Она оценивается целым рядом качественных характеристик, таких, например, как рациональная компоновка составных частей с точки зрения их обзора, доступность соответствующим инструментом и приспособлениями и др., а также количественных показателей, например, суммарная продолжительность технического обслуживания и т.д.

Достоверность полученных характеристик и показателей во многом зависит от накопленного опыта, квалификации и способностей специалистов, а также от правильной организации проведения испытаний.

Предлагается смешанный метод оценки уровня эксплуатационной технологичности, в котором в известной мере объединяются дифференциальный и комплексный методы.

Уровень качественных характеристик оценивается комплексным методом, который предполагает получение комплексной характеристики системы, полученной на основе экспертизы проектной, рабочей, эксплуатационной документации и опытных образцов.

Уровень количественных характеристик (показателей) эксплуатационной технологичности оценивается дифференциальным методом, который состоит в получении на этапе испытаний единичных показателей.

В свою очередь, требования к качественным характеристикам по степени их влияния на эксплуатационную технологичность системы в целом разделены на три категории.

К первой категории отнесены требования, которые определены соответствующими нормативно-техническими документами, невыполнение или нарушение которых может быть однозначно установлено в процессе экспертизы.

Ко второй категории отнесены требования, не относящиеся к первой категории, но влияющие на продолжительность того или иного вида штатных работ.

К третьей категории отнесены требования, не относящиеся к первой и

второй категории и определяющие удобство выполнения всех штатных работ на системе.

Оценка показателей эксплуатационной технологичности производится пооперационным методом, который базируется на учете и анализе каждой операции технического обслуживания (ТО) с точки зрения периодичности и технологичности ее проведения с одновременной оценкой в результате испытаний затрат времени, труда и средств на их выполнение.

Таким образом, определение и оценка эксплуатационной технологичности сложной технической системы включает в себя:

а) анализ структуры системы и определение состава характеристик ее эксплуатационной технологичности;

б) определение комплексной характеристики качественного уровня эксплуатационной технологичности, которое включает:

- оценку единичных характеристик эксплуатационной технологичности;

- определение коэффициентов весомости характеристик оцениваемой системы;

- определение комплексного показателя качественного уровня эксплуатационной технологичности;

в) получение в результате испытаний исходной информации для расчета количественных показателей эксплуатационной технологичности системы;

г) расчет количественных показателей;

д) анализ полученных результатов и выработка предложений по обеспечению требуемого уровня эксплуатационной технологичности разрабатываемой системы.

Рассмотрим предлагаемую методику более конкретно на примере сохранения.

Сохраняемость сложной технической системы обеспечивается:

1. Отработанностью узлов в структурных схемах.
2. Защитой узлов, блоков и элементов системы от воздействия различных факторов (перегрузок, перегрева, изменения давления и действия других факторов).
3. Стабильностью характеристик элементов и материалов, применяемых в сложных системах.
4. Отсутствием влияния искажения входной информации и нестабильности параметров на безотказность системы.
5. Защитой систем от вредного влияния внешних воздействий.

Поскольку совокупность или различные сочетания вышеуказанных качеств обеспечивает сохраняемость систем, то они могут быть приняты за качественные характеристики любой сложной технической системы. Их содержание приводим в форме таблице 1.

**Таблица 1 – Контрольная карта определения качества выполнения требований к характеристикам сохраняемости системы**

Содержание характеристики и требование к ней	Категория требований	Качественная оценка			Замечания, недостатки
		нет в наличии	удовлетворительно	неудовлетворительно	

1. <u>Степень отработанности узлов и элементов, применяемых в структурных схемах</u>					
1.1 в структурной схеме использованы узлы и блоки, ранее испытанные, проверенные в лабораторных, натуральных и эксплуатационных условиях на сохраняемость и освоенные в производстве	1				
1.2 в структурных схемах использованы элементы, блоки, узлы, по которым имеется положительный опыт применения в системах, с учетом хранения в аналогичных или более тяжелых условиях	1				
1.3 учтена степень отработанности элементов и узлов системы на данном предприятии, опыт проектирования, изготовления, хранения и применения элементов данного типа	1				
2. <u>Обоснованность защиты узлов и блоков от перегрузок, перегрева, воздействия электромагнитных помех и других факторов</u>					
2.1 система защиты узлов и блоков от факторов, возникающих в период хранения (перегрузок, перегрева, изменения давления и действия других факторов), выбрано обосновано	1				
2.2 схемные меры по пассивным мерам защиты от электрических и магнитных помех достаточны и эффективны	2				
2.3 тепловой режим хранения элементов в системе ненапряженный	2				

<p>3. <u>Оценка влияния хранения на искажение входной информации, нестабильность параметров и безотказность системы</u></p>					
<p>3.1 оценены варианты структурной и функциональной схем системы по критерию влияния хранения на опасность искажения и потери входной информации и появления ложных сигналов на выходе при повреждении, нарушении регулировки, изменении параметров и других отказов единичных элементов, узлов, блоков</p>	1				
<p>3.2 оценено возможное влияние на безотказность системы наличие в ее принципиальных схемах блоков и узлов, обладающих невысокой стабильностью во времени, повышенным дрейфом нуля, невысокой температурной стабильностью, относительно малой виброустойчивостью и малым затуханием на резонансных частотах, малой помехоустойчивостью и т.д.</p>	1				
<p>4. <u>Стабильность характеристик элементов и материалов, применяемых в системах, с учетом хранения</u></p>					
<p>4.1 степень отработанности элементов, используемых во вновь разрабатываемых системах, достаточна</p>	2				
<p>4.2 выбор нестандартных, ненормализованных элементов, элементов собственного изготовления, обоснован</p>	2				
<p>4.3 жесткость требований к характеристикам и каче-</p>	3				

<p>ству вспомогательных материалов, применяемых при эксплуатации систем, обеспечена</p> <p>4.4 характеристики однотипных нормализованных элементов, выпускаемых различными предприятиями в различные периоды и принадлежащих к различным технологическим партиям стабильны</p>	2				
<p>5. <u>Достаточность мер по защите систем от вредного влияния внешних воздействий при хранении</u></p>	3				
<p>5.1 меры по защите системы от воздействия повышенной (в отдельных случаях пониженной) влажности, от вредного влияния загрязнений окружающей атмосферы пылью, частицами песка, соли, парами кислот, щелочей и др. и от вредного воздействия веществ, выделяющихся внутри самой системы при ее хранении, а также защищенность от биовредителей, достаточны</p>	2				
<p>5.2 меры по защите системы от вредного воздействия механических нагрузок достаточны</p>	2				
<p>5.3 защищенность системы от вредного воздействия проникающих излучений достаточна</p>	3				

В данной таблице требования к характеристикам сохраняемости разделены на три категории по степени влияния на такие свойства системы, как безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

К первой категории отнесены требования, невыполнение или нарушение которых может привести к ухудшению показателя безотказности системы.

Ко второй категории отнесены требования, невыполнение или нарушение которых не приведет к потере свойства безотказности, но повлияет на свойство долговечности системы.

К третьей категории отнесены требования, из которых одновременное невыполнение двух и более повлияет на свойство долговечности.

Анализ структурного состава требований к характеристикам сохраняемости сложных технических систем позволил определить коэффициенты весомости  $M_{Ci}$  каждой характеристики гипотетической системы, которой присущи все характеристики сохраняемости. Значение коэффициентов весомости характеристик сохраняемости гипотетической системы приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Коэффициенты весомости характеристик сохраняемости  $M_{Ci}$  систем**

Характеристики сохраняемости	Коэффициент весомости
1. Степень отработанности узлов и элементов, применяемых в структурных схемах	0.2
2. Обоснованность защиты узлов, блоков и элементов систем от перегрузок, перегрева, воздействия электромагнитных помех и других факторов	0.3
3. Стабильность характеристик элементов и материалов, применяемых в системах	0.2
4. Оценка влияния искажений входной информации и нестабильности параметров на безотказность систем	0.2
5. Достаточность мер по защите систем от вредного влияния внешних воздействий	0.1

Качественная оценка сохраняемости системы предшествует количественной и проводится на различных этапах ее разработки. Определение и оценка сохраняемости системы на качественном уровне осуществляется путем сопоставления характеристик ее сохраняемости с требуемым их содержанием (с учетом этапов разработки), приведенным в таблице 1. Качественная оценка осуществляется путем экспертизы проектной, рабочей и эксплуатационной документации системы и сохраняемости ее опытных образцов, заполнения контрольной карты и последующей ее обработки.

На этапах макетирования, заводских испытаний опытных образцов систем, их автономных, комплексных, межведомственных испытаний головных (экспериментальных) образцов определение и оценка эксплуатационной сохраняемости осуществляется группами экспертов, выделяемыми из состава комиссий, которые проводят соответствующие испытания. В состав этих групп должны входить как представители разработчиков систем, так и их заказчика.

Результаты определения и оценки эксплуатационной сохраняемости оформляются отдельным разделом в отчете, отражающим результаты проведения соответствующего этапа испытаний системы.

Таким образом, определение показателей сохраняемости испытываемой системы сводится к следующему:

Проводится анализ выполнения требований к каждой характеристике сохраняемости путем анализа соответствующей документации или экспертизы образца системы и заполняется контрольная карта (см. таблица 1).

Дается оценка каждой характеристики в соответствии с таблицей 3.

**Таблица 3 – оценки характеристик сохраняемости систем**

Оценка характеристики	Единичный показатель в баллах $C_i$	Количество невыполненных или нарушенных требований к характеристикам			
		Первой категории	Второй категории	Третьей категории	Второй и третьей категории
Отлично Хорошо	5,0	0	0	0	0 Не более двух третьей категории
	4,0	0	0	Не более двух	
Удовлетворительно	3,0	0	Не более одного	Не более трех	Не более одного второй и одного третьей категории Одно второй категории и два и более третьей категории
Плохо	0	Одно и более	Два и более	Четыре и более	Одно второй категории и два и более третьей категории

В целом определение показателей сохраняемости сложных технических систем производится в следующем порядке:

1. Проводится анализ выполнения требований к каждой характеристике сохраняемости путем заполнения контрольной карты (таблица 1) и дается ей оценка в соответствии с таблицей 3.
2. Определяется единичный показатель каждой характеристики в баллах по полученной оценке  $C_i$  (таблица 3).
3. Определяется комплексный показатель сохраняемости системы по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i M_{ci}$$

Количественная оценка сохраняемости системы осуществляется при помощи ряда характеристик, численные значения которых раскрывают степень удовлетворения требований к сохраняемости систем. Определяются следующие характеристики:

Средний срок сохраняемости,  $T$  (ч, год) определяется как математическое ожидание срока сохраняемости.

Гамма-процентный срок сохраняемости определяется как срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Условия проведения испытаний системы на сохраняемость (естественные и ускоренные), а также номенклатуру испытываемых конструктивных единиц, если систему испытывают не в полном составе, устанавливают в программе ис-



пытаний по согласованию с заказчиком.

Показатели сохраняемости оценивают при контрольных и определительных испытаниях.

По результатам контрольных испытаний, которые проводят в два этапа, оценивают соответствие количественных характеристик требованиям технического задания (ТЗ) и соответствующих ГОСТов.

На первом этапе воспроизводят влияние климатических и механических факторов соответственно заданным условиям хранения и транспортирования. При этом количество годовых климатических циклов должно быть равно заданному числу лет хранения, а длительность механических воздействий – полной дальности транспортировки.

На втором этапе систему подвергают испытаниям на соответствие требованиям, указанным в ТЗ – электрическим, механическим, климатическим, на безотказность и т.д.

#### *Литература*

1. ГОСТ 14.205-83 Технологичность конструкции изделий. Термины и определения // М.: Издательство стандартов. – 1983. – 5с.
2. ГОСТ 20334-81 Система ТО и ремонта автомобильной техники. Эксплуатационная технологичность и ремонтпригодность. Показатели эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности // М.: Издательство стандартов. – 1981. – 7с.
3. ГОСТ 21623-76 Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения // М.: Издательство стандартов. – 1976. – 14с.
4. ГОСТ Р51033-97 Показатели эксплуатационной и ремонтной технологичности строительных машин // М.: Издательство стандартов. – 1997. – 8с.
5. Смирнов, Н. Н. Эксплуатационная технологичность транспортных самолетов / Н. Н. Смирнов // М.: Транспорт. – 1972. – 208с.
6. Смирнов, Н. Н., Чинючин, Ю. И. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов / Н. Н. Смирнов, Ю. И. Чинючин, Учебное пособие для вузов гражданской авиации // М.: Транспорт – 1994. – 256с.
7. Шиловский, В. Н., Кялвийнен, В. А. Оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин / В. Н. Шиловский, В. А. Кялвийнен // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 4. – С. 89-94.

УДК 621.398

С 374

## **Принципы построения корпоративных информационных систем на основе сервис-ориентированной архитектуры**

**Н.П. Сидорова**, к.т.н., доцент кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Архитектура информационных систем во многом определяет такие их важнейшие свойства как масштабируемость, адаптивность, кроссплатформенность. Корпоративные информационные системы, построенные на основе сервис-ориентированной архитектуры, позволяют реализовать эти свойства. Преимущества сервис-ориентированной архитектуры базируются на поддержке слабосвязанной архитектуры системы.*

Информационные системы, сервис-ориентированная архитектура, слабосвязанная система, корпоративная сервисная шина.

## **Principles of corporate information systems based on service-oriented architecture**

**N.P. Sidorova**, Ph.D, Associate Professor, Department of Information Technology and Control Systems,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Architecture of information systems largely determines their important properties such as scalability, adaptability, cross-platform. Corporate information systems based on a service – oriented architecture, allow you to implement these properties. Benefits of service – oriented architecture is based on borrowing loosely coupled system architecture.*

Information system, service - oriented architecture, loosely coupled system, enterprise Service Bus.

### **Введение**

Современные организации являются сложнейшими социально-экономическими системами. Эффективность их работы во многом зависит от возможности оперативно обрабатывать и использовать информацию для принятия обоснованных управленческих решений. Информация становится важным ресурсом предприятия, от эффективности использования которого во многом зависит успешность его работы. Повышение эффективности работы с информацией на всех уровнях деятельности предприятий различного масштаба и сфер дея-

тельности в настоящее время успешно решают корпоративные информационные системы (КИС), которые представляют собой масштабируемый программно-аппаратный комплекс, предназначенный для автоматизации всех видов хозяйственной деятельности и информационной поддержки бизнес-процессов предприятий и организаций. КИС [2,7,10] в настоящее время строятся как распределенные программные системы, компоненты которых располагаются в различных узлах вычислительной сети.

Разработка крупных распределенных программных систем, к которым без сомнения можно отнести корпоративные информационные системы, начинается с выбора базовых принципов её построения, к которым можно отнести архитектуру программной системы. Архитектура программной системы во многом определяет те качества, которыми она будет обладать. Несмотря на различную трактовку понятия архитектуры программной системы, можно опираться на определение, данное в стандарте ANSI/IEEE Std 1471-2000 [1]. В этом стандарте архитектура программной системы определяется как её фундаментальная организация, воплощенная в ее компонентах, их связях друг с другом и окружением, а также принципы, управляющие её построением и развитием. Описание архитектуры определяется, в соответствии с этим стандартом, как набор документов, включающих определение миссии, описание окружающей среды, архитектурные модели и связанные с ними фреймворки. Именно это и определяет важность выбора базовой архитектуры КИС.

В настоящее время существует несколько видов базовых архитектур, к которым можно отнести архитектуру на основе файл-сервера, различные модификации клиент-серверной архитектуры, архитектуру на основе Web-приложений, и сервис-ориентированную архитектуру (СОА).

### **Сервис-ориентированная архитектура**

Основными структурными и функциональными элементами СОА являются бизнес-сервисы. Это позволяет максимально полно отразить в структуре КИС потребности бизнеса и обеспечить необходимую гибкость такой системы. При построении КИС на основе СОА, в полной мере реализуется процессно-ориентированный подход, который в настоящее время является основным при разработке КИС. Это позволяет реализовать единый подход к построению КИС и производственных и управленческих процессов.

Концепция СОА позволяет реализовать такую модель КИС, которая связывает различные бизнес-процессы и бизнес-функции с программными сервисами. При этом программные сервисы определяются с помощью четко описанных интерфейсов и соглашений, которые не зависят от аппаратной платформы, операционной системы и языка программирования, на котором реализован сервис.

СОА является результатом естественного развития хорошо зарекомендовавших себя архитектур на основе клиент-сервера и Web-приложений. СОА развертывается в сетевой среде и также как клиент-серверная архитектура, имеет многоуровневую организацию. Иными словами, при разработке ИС на СОА выделяют различные слои сервисов, каждый из которых реализует свой класс задач. Это можно сопоставить с программным обеспечением среднего слоя (middleware), который выделяется в N-уровневой клиент-серверной архитектуре. Особенность реализации СОА в отличие от клиент-серверной архитектуры в этом случае определяется способом взаимодействия сервисов.

Роль СОА возрастает благодаря развитию КИС класса BPM (Business Process Management – управление бизнес-процессами). Системы класса BPM предназначены для автоматизации процессов управления бизнесом на всех уровнях управления, включая оперативное управление бизнес-процессами, тактическое и стратегического планирования развития бизнеса. При этом ключевым понятием в BPM являются бизнес-процессы, которые обеспечивают стандартизацию решения задач предприятия. Выделение стандартных правил и бизнес-процессов, определенных в BPM, в СОА закрепляется созданием сервисов. Эти сервисы могут использоваться повторно, объединяться для решения более сложных задач. В этом случае говорят о создании транспортной информационной инфраструктуры предприятия на основе СОА. Она обеспечивает организацию работы с информационными потоками на предприятии и фиксирует правила их реализации с помощью сервисов.

К базовым принципам СОА можно отнести следующее:

- архитектура КИС разрабатывается без учета какой-то определённой программно-аппаратной платформы;
- программные компоненты не зависят от используемых языков программирования;
- сервисы описываются интерфейсами, созданными на основе единых правил;
- сервисы реализуют компоненты различных уровней: сервисы, реализующие бизнес-процессы и бизнес-функции, сервисы интеграции, сервисы представления, технические сервисы и др.

Концептуальная схема реализации СОА выглядит достаточно просто (рис. 1).

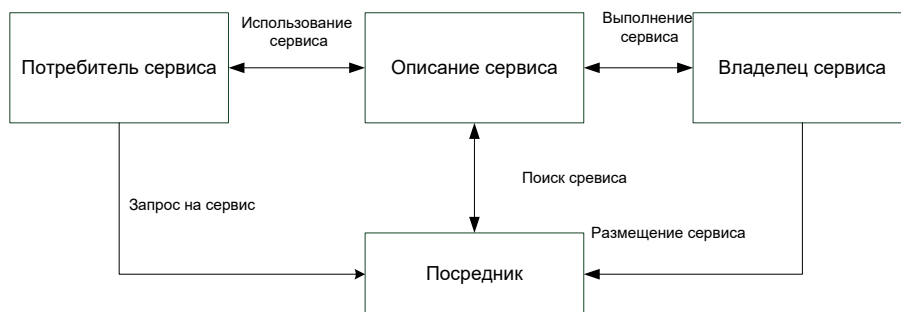


Рисунок 1 – Концептуальная модель СОА

Базовыми понятиями СОА [4,7,12] являются:

- сервисы, реализующие функции различного уровня;
- интерфейсы сервисов, определяющие правила их использования;
- транспортная система, организующая взаимодействия потребителя сервиса и сервиса;
- механизмы регистрации и обнаружения сервисов.

Сервисы представляют собой открытые, самоопределяющиеся программные компоненты, которые используются для построения распределенных программных систем. Взаимодействие сервисов, если они реализованы в виде Web-

сервисов, основывается на обмене сообщениями в формате XML.

С помощью интерфейсов описываются возможности сервиса и способ взаимодействия с ним. Интерфейс сервиса определяет формат сообщений, входные и выходные параметры методов, реализуемых сервисом.

Транспортная система обеспечивает обмен сообщениями между потребителем и владельцем сервиса на основе стандартных транспортных протоколов.

Механизмы регистрации используются для создания реестра сервисов. Механизмы поиска позволяют найти сервис с требуемой функциональностью. Механизмы поиска могут иметь различные способы реализации, использующие статические методы обнаружения и различные динамические методы.

Схема реализации модели SOA выглядит следующим образом. Владелец сервиса описывает сервис в соответствии с принятыми стандартами, публикует его в реестре и обеспечивает его выполнение. Потребитель сервиса может непосредственно использовать сервис, указав его универсальный идентификатор ресурса (URI), или с помощью посредника ищет описание сервиса в специальном реестре. Затем осуществляет динамический вызов найденного сервиса. Посредник формирует реестр сервисов и реализует поиск сервисов в нем.

В настоящее время реализация SOA базируется на применении технологии Web-сервисов. Это требует наличия более развитой, чем имеется сейчас, системы стандартов. Другим подводным камнем реализации SOA является необходимость переосмысления решаемых задач в терминах сервисов и их интерфейсов. При разработке КИС на принципах SOA одним из важных элементов становится проектирование интерфейса. Это определяет необходимость разработки новой идеологии разработки программного обеспечения. Тем не менее, существующие проблемы реализации SOA не являются серьезным препятствием для построения систем на их основе, т.к. их реализация имеет ряд неоспоримых преимуществ.

Построение системы на принципах SOA позволяет обеспечить следующие преимущества для бизнеса:

- реализовать такую архитектуру КИС, которая в полной мере соответствует стратегическим и тактическим целям компании. При этом модель управления в КИС реализуется аналогично системе управления предприятия;
- снизить затраты на интеграцию программного обеспечения за счет многократного использования сервисов, что достигается наличием четко определенных интерфейсов сервиса;
- упростить процессы добавления новых сервисов в случае появления новых бизнес-процессов или бизнес-функций;
- повысить гибкость и адаптивность КИС. При смене условий реализации бизнес-процессов или изменения внешних требований реализация сервиса может быть заменена. При этом его интерфейсы не изменяются;
- упростить интеграцию с внешними информационными системами.

SOA дает преимущества ИТ-специалистам, обеспечивающим поддержку и развитие КИС:

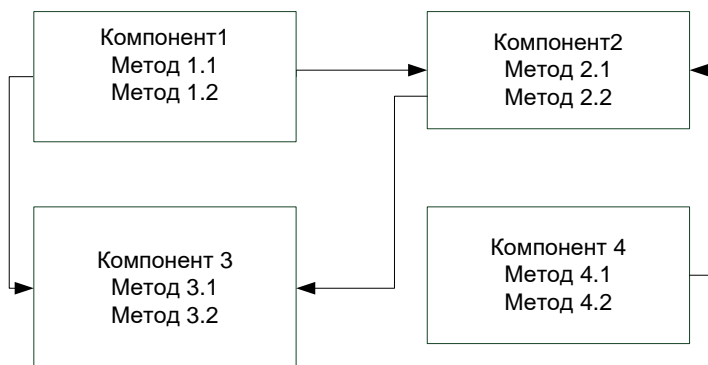
- реализация эволюционного развития КИС, в которой будут сохранены унаследованные приложения;

- упрощение создания сложных приложений на основе взаимодействия сервисов;
- гибкость системы, основанная на реализации принципов слабой связности;
- независимость от программно-аппаратной платформы и языков реализации сервисов.

Указанные преимущества обусловлены тем, что СОА реализует КИС в виде слабосвязанной системы.

### **Слабосвязанная система**

Связанность системы определяет степень независимости её компонентов. В случае применения этой характеристики к программным системам сильная связанность характеризуется тем, что в процессе работы программной системы такие компоненты сильно зависят друг от друга. В сильно связанных системах (strong coupling) логика работы системы рассредоточена между функциональными компонентами системами (рис. 2). Сильная связанность обусловлена тем, что компонент содержит ссылку на другой конкретный компонент, реализующий некоторую функцию. В этом случае распределенные компоненты обращаются напрямую к внутренним объектам друг друга. Способ организации взаимодействия в случае сильной связности характеризуется как синхронное взаимодействие по принципу «точка-точка». Примером реализации такого принципа является связь между программой и вызываемой ею процедурой.



**Рисунок 2 – Сильная связь между компонентами**

Проблемы, связанные с таким подходом, определены в [6] и включают:

- необходимость разработки нескольких интерфейсов для компонента, чтобы обеспечить взаимодействие с несколькими компонентами системы
- отсутствие унификации описания интерфейсов и сложности их модификации; в случае изменения компонента возникает необходимость изменения всех его интерфейсов;
- сложность модификации системы, связанной с расширением числа компонентов; в этом случае приходится отслеживать все возможные взаимодействия нового компонента с уже существующими;
- сложности обнаружения ошибок при большом количестве взаимосвязей.

В отличие от систем с сильной связью, слабая связность компонентов [5,6,8] характеризуется минимальной зависимостью распределенных компонентов между собой (рис. 3). Слабая связанность обусловлена тем, что компонент содержит ссылку на интерфейс, который может быть реализован одним или несколькими конкретными сервисами. Эта связь реализуется на основе единственного интерфейса, определенного для каждого сервиса. Способ организации взаимодействия в случае слабой связности характеризуется как асинхронное взаимодействие через посредника.

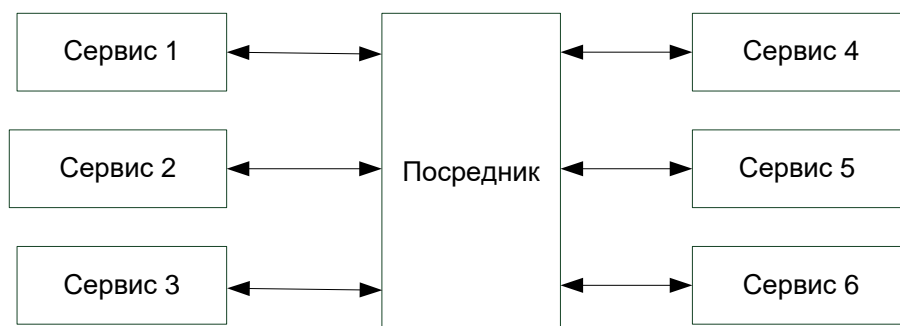


Рисунок 3 – Слабосвязанная система сервисов

Реализация COA предполагает создание корпоративная сервисной шины предприятия (ESB - Enterprise Service Bus). Она реализуется, как правило, в виде программ промежуточного слоя и обеспечивает взаимодействие между различными сервисами. При этом могут быть задействованы по различным протоколам взаимодействия. ESB обеспечивает возможность гибкой настройки правил взаимодействия сервисов и реализует механизмы развертывания, интеграции и управления сервисами в масштабе предприятия.

В архитектуре COA ESB играет одну из ключевых ролей [9,11], обеспечивая транспортную систему для взаимодействия поставщиков и потребителей сервисов, а именно (рис. 4):

- предоставление средств интеграции сервисов на основе принципов COA;
- реализация средств управления инфраструктурой сервисов, в этом случае используется термин «хореография» сервисов;
- организация работы сервисов в распределенной гетерогенной среде на основе асинхронного взаимодействия и стандартных интерфейсов;
- управление распределенной обработкой;
- обеспечение защиты и качества работы сервиса.

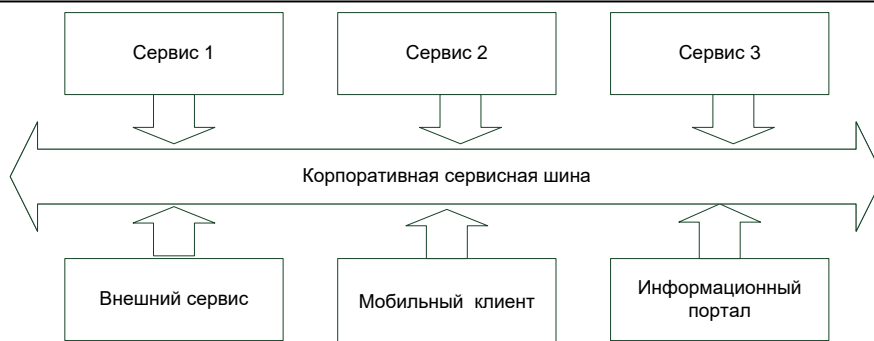


Рисунок 4 – Корпоративная сервисная шина

Ключевыми элементами СОА, определяющими процесс разработки систем на её основе, являются сервисы, потоки и компоненты, реализующие сервисы. Разработка КИС на их основе требует выделения набора сервисов различного уровня и определения способов управления их компоновкой в приложениях. Это говорит о том, что СОА представляет собой не только новый вид технологии разработки крупных распределенных информационных систем, но и новую методологию моделирования таких систем. Предлагая новый подход к интеграции и взаимодействию компонентов-сервисов, СОА представляет собой новую парадигму проектирования и реализации распределенных информационных систем. А это в свою очередь предполагает применение иных, отличных от других способов проектирования, методов моделирования и проектирования систем на основе СОА, которую не обеспечивают современные средства проектирования, ориентированные на классическую клиент-серверную архитектуру. Методологии, используемые при проектировании на основе объектно-ориентированной парадигмы, в данном случае также не могут дать достаточно хороший результат. Поэтому применение СОА требует использования собственных методик, моделей и методов разработки. Следует отметить, что в настоящее время существуют разработанные методики развертывания СОА и технологии их реализации.

#### Литература

1. IEEE Std 1471-2000. IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. [Электронный ресурс]. – <http://cabibbo.dia.uniroma3.it/ids/altrui/ieee1471.pdf>. (дата обращения: 19.05.2016).
2. Арзумян, М. Ю., Сотников, А. Д. Сервис-ориентированная модель описания информационно-функциональных взаимодействий предприятия / М. Ю. Арзумян, А. Д. Сотников / Проблемы современной экономики // 2009. – № 2 (30). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=2625> (дата обращения: 19.05.16).
3. Балдин, А. В., Данчул, А. Н. О реализации сервис-ориентированной архитектуры / А. В. Балдин, А. Н. Данчул // Инженерный вестник. – 2012. – № 07. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/457870.html> (дата обращения 19.05.16).
4. Богданов, А. В., Станкова, Е. Н., Мареев, В. В. Сервис-ориентированная архитектура: новые возможности в свете развития grid технологий. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/457870.html> <http://www.ict.edu.ru/ft/005639/62316e1-st03.pdf> (дата обращения: 25.05.2016).



5. Волкова, В. Н. Системный анализ информационных комплексов / В. Н. Волкова // Санкт-Петербург: Лань. – 2016 г. – 336 с.
6. Крушинский, А. Преимущества слабосвязанных систем в интеграционных проектах / А. Крушинский // Инновационные технологии. Банковские технологии. – № 11. – 2011. – С 55 – 58. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bssys.com/upload/iblock/555/555207a68c48366f573cbf9ba9d82e00.pdf> (дата обращения: 19.05.2016).
7. Исаева, Г. Н. Об индуктивном подходе к приобретению знаний в экспертных системах управления персоналом / Г. Н. Исаева // Вопросы региональной экономики. – 2010. – Т. 5. №5. – С. 100-105.
8. Ньюкомер, Э. Веб-сервисы. XML, WSDL, SOAP и UDDI. Для профессионалов // СПб.: Питер. – 2003. – 256 с.
9. Пелц, К. Оркестровка и хореография Web-сервисов// Открытые системы». – 2004. – № 11. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2004/11/184785/> (дата обращения^ 25.05.2016).
10. Сидорова, Н. П., Логачева, Н. В., Добродеев, В. Ю. Информационные технологии оперативного анализа данных / Н. П. Сидорова, Н. В. Логачева, В. Ю. Добродеев // Информационно-технологический вестник. – 2014. – Т. 01. – № 1. – С. 64-74.
11. Стреналюк, Ю. В., Маржина, Р. А. Облачные технологии в использовании корпоративной почты // Современные информационные технологии под науч. ред. докт.техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // М.: «Научный консультант. – 2015. – С. 33-40.
12. Теодорович, Н. Н., Роганов, А. А. Тенденции развития облачных технологий // Современные информационные технологии под науч. ред. докт. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // М.: «Научный консультант. – 2015. – С. 125-132.

УДК 004.56

## **Концепция построения мониторинговой системы безопасности субъекта стран БРИКС**

**А.И. Сухотерин**, к.в.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой  
«Информационной безопасности»,

**Д.С. Комиссаров**, студент второго года обучения кафедры «Информационной безопасности»,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В данной статье рассмотрена концепция создания мониторинговой системы для защиты субъекта стран БРИКС от неправомερных воздействий. Вниманием выделяется организация автоматизированной системы слежения за субъектами, использующими унифицированную карту.*

Система слежения, информационная безопасность, идентификатор, портативные устройства, безопасность государства.

## **The Concept Creation Security Monitoring Arrangement of the Subject the Countries of BRICS**

**A.I. Sukhoterин**, the candidate of military science, associate professor, assistant manager chair of Information security,

**D.S. Komissarov**, student second year of chair of Information security,  
State Educational Institution of Higher Education

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

*This article deals with the idea of creation monitoring system for protection the subject the countries of BRICS against illegal influences. The author pays attention to the arrangement of automated system of tracking the subjects using the unified card.*

Monitoring system, Information security, ID card, Identifiers, Subjects, Portable devices, Government security.

Данная идея еще никем не воплощена в жизнь и имеет возможность быть *новшеством*, представленным на мировом уровне [1,2,3,4,5,6,7,8,9]. С точки зрения *актуальности*, этот вопрос весьма актуален благодаря своему широкому спектру применения и высоким возможностям реализации, т.е. данная идея может приносить некую пользу в 80% случаев происходящего в реальном мире. Данная система позволит решить проблему контроля за субъектами в режиме реального времени [3,4,5,6]. В настоящее время же система может принести *ощутимую пользу* всем структурам и органам государства. Пока идея не реализована и может требовать больших финансовых затрат на реализацию, но она может заинтересовать государственные структуры, которые способны будут оце-

нить пользу и соотнести ее с затратами [1,2,5,6,9]. В ином случае, идея может служить *стимулом* для создания неких альтернативных систем глобального уровня. Однако правомерное использование таких систем должно сопровождаться соответствующими законами, разрешающими спецслужбам следить за субъектами страны. Один из таких примеров неправомерной слежки, открытый Эдвардом Сноуденом – деятельность АНБ, собирающая данные о пользователях по всему миру [3].

*Практические рекомендации по построению (формированию) системы*

Для наглядности на рисунке 1 показана схема, где ниже приведены этапы для создания системы. Первый уровень системы – самый высокий, государственный уровень, с самой высокой значимостью и степенью защищенности [3, 9].

**1 Уровень** – создание контрольного центра (ЦК) за мониторингом деятельности центров обработки информационных потоков. В контрольном центре создаются запросы и отправляются в центры обработки информации (ЦОИ).

**2 уровень** – ЦОИ. Они располагаются на ведомственном уровне. Они устанавливаются поштучно, в каждой из областей и принимают запросы с области своего охвата от провайдеров, включенных в систему. Данные отправляются на сервер в зависимости от обращения или в ЦК, если оттуда пришел запрос.

**3 уровень** – уровень провайдеров и систем управления счетами. Каждый провайдер может вести контроль за собственным пользователем, и иметь мак адрес всех устройств, подключенных к сети. Самое важное для провайдера, это определение стационарных адресов и портативных, ведя некую статистику, контроль за перемещением пользователя используя определение местоположения по сигналу сотовой связи в портативных устройствах, а также контроль запросов абонентов на поиск запрещенной информации; данные отправляются в ЦОИ, где создаются карты субъектов, а потом передаются в ЦК.

**4 уровень** – уровень АИС и портативных устройств. На этом уровне подключаются все автоматизированные системы, с поддержкой идентификатора. К ним относятся банкоматы, пункты мгновенной оплаты, турникеты в общественном транспорте, точки оплаты мобильной и интернет связи, а также портативные устройства, подключаемые, или обнаруживаемые сетями wi-fi.

**5 уровень** – к нему относятся все вторичные системы, устройства, девайсы, которые могут быть подключены к системе слежения и взаимодействовать с ней.

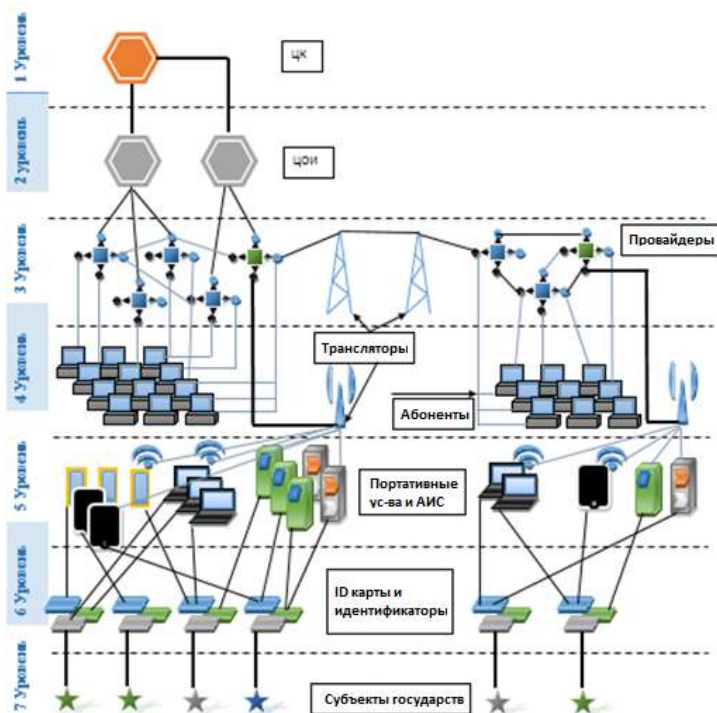


Рисунок 1 – Семиуровневая карта «Системы слежения за субъектами государства»

**6 уровень** – ID карты, или идентификаторы, в системе все идентификаторы уникальны, регистрируются единожды и при утрате не восстанавливаются, а заменяются новым. Идентификатор – это прямой указатель на субъект. На карту не заносятся какие-либо пометки или данные, они просто через карту заливаются на сервер и при использовании карты, права дают команду средству считывания.

**7 уровень** – уровень самих субъектов, то – ради чего была создана вся система. Каждый субъект имеет свою ID карту, она заменяет паспорт, страховку, водительские права, банковскую карту, социальную карту и т.д.

Система относится к государственному уровню, и по своей структуре она очень сложна, что требует тщетного контроля всех ее составляющих.

#### *Идентификатор для «Мониторинговой системы»*

Благодаря всем перечисленным выше системам открывается возможность создать уникальный идентификатор для каждого субъекта стран БРИКС. Данный идентификатор может выглядеть как банковская карта и будет являться уникальным [4,5].

Уникальный идентификатор должен выдаваться каждому субъекту государства при рождении, а по истечению определенного количества лет, идентификатор заменит паспорт. Все, что нужно будет делать, это обновлять свою фотографию на карте, в соответствии с законом об обновлении паспорта. У каждого субъекта должен быть только один идентификатор. Права пользования идентификатором схожи с правами пользования паспортом гражданина РФ [8,9].

Идентификатор способен заменить все документы субъекта, перевести их

в цифровое пространство и обеспечить надежность сохранности, а также совместить в себе доступ для получения услуг в любых регионах страны (например, банковские и социальные карты) – будь то проезд в метро или покупка в магазине. Все данные о субъекте хранятся на государственных, защищаемых серверах, а идентификатор всего лишь обеспечивает к ним доступ для отдельных операций.

Идентификатор уникален и может иметь собственные программные системы защиты. Например, карта может иметь 2 пароля: 1 – настоящий пароль осуществляет транзакции и манипуляции с идентификатором; 2 – пароль для внештатных ситуациях, например, при угрозах субъекту с целью получить доступ к его средствам. После чего карта будет заблокирована и отключена от системы автоматом и возвращена только после прибытия специальных служб. Если субъект попытается взломать собственный или чужой идентификатор, то при коннекте с базой или серверами контроля, карта сообщит о попытке взлома, карта сразу же будет заблокирована и отключена от системы [6,7,8,9].

При утрате, хищении или уничтожении карты, субъект должен незамедлительно сообщить в соответствующие органы, написать заявление и получить временную карту. Субъекту будет предоставлен новый идентификатор, с новым уникальным значением, а новый отключен от системы. Подделка идентификатора невозможна, т.к. все карты связываются с базами при соединении и проверяют свою уникальность.

#### *Методика применений*

Данная система слежения за субъектами государства, в представленной работе именуемая как «система», применяется исключительно на государственном уровне. Все сведения о системе должны быть засекречены и не разглашаться даже после введения системы в действие. Система состоит из блоков (модулей, компонентов) соединенных между собой принципами сетевых технологий и взаимодействий. Для системы могут использоваться только защищенные протоколы обмена информации или созданы новые. Персонал для работы в системе делится по уровням деления системы, т.е. всего 7 уровней. Количество персонала может варьироваться в соответствии с запросами системы (например, расширение сети или сокращение каких-либо узлов). Система может служить не только для контроля пространства государства, но и для помощи сотрудникам правоохранительных органов и иных служб [1,2,3,4]. При тактических атаках на систему, например, выведения головного уровня из строя, система способна функционировать помодульно автономно, до момента создания нового центра или выведения комплекса модулей из системы.

Подводя итог выше сказанному, в настоящее время у каждого из нас есть как минимум 1 портативное устройство, которое всегда сопровождает субъект, примерно у 8 из 10 субъектов данное устройство имеет выход в интернет и способно оставлять интерактивные следы (ссылки, адреса, пароли, логины). Пользуясь такими средствами, необязательно даже портативными, мы не контролируем и даже не задумываемся об их пересечении на уровне глобальных сетей, а ведь практически все современные технические средства имеют однотипный принцип функционирования. Данная система использует как раз эту однотипность и связывает все системы в одну. Скорее всего, система уже имеет множество аналогов

по всему миру, возможно даже представлений функционирования, но еще никто (в том числе и страны запада) не решался создать единую контролируемую систему, по контролю всех портативных устройств на уровне государства.

*Литература*

1. Газета InfoSecurity.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.infosecurity.ru/\\_site/nsd.shtml](http://www.infosecurity.ru/_site/nsd.shtml) (дата обращения 02.03.2015).
2. Практика защиты персональных данных. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/120751/> (дата обращения 05.03.2015).
3. Как АНБ следит за пользователями. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lenta.ru/articles/2014/12/05/positive/> (дата обращения 06.03.2015).
4. Зашифрованное взаимодействие между клиентом и сервером. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/209612/> (дата обращения 09.03.2015).
5. Приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. N 17 Об утверждении требований о защите информации, не составляющие Гос. тайну.
6. Избирательное управление доступом. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Избирательное\\_управление\\_доступом](https://ru.wikipedia.org/wiki/Избирательное_управление_доступом) (дата обращения 11.03.2015).
7. Распоряжение Правительства РФ от 03.11.2011 № 1944-р «О перечне направлений подготовки (специальностей) в образовательных учреждениях высшего профессионального образования, специальностей научных работников, соответствующих приоритетным направлениям модернизации и технологического развития российской экономики» // Собрание законодательства РФ. – 2011. – № 46. – 6584 с.
8. Соляной, В. Н. Выбор и внедрение новых образовательных технологий в учебный процесс) подготовку бакалавров (специалистов) и магистров по информационной безопасности. Современные образовательные технологии, используемые в очном, заочном и дополнительном образовании / Соляной В. Н., Сухотерин А. И., Федоров М. А. // Королев МО: Изд-во «Канцлер». – ФТА. – 2014.
9. Шутова, Т. В. Высокотехнологичный комплекс России – платформа для инновационного прорыва / Т. В. Шутова // Вопросы региональной экономики / Шутова Т. В., Старцева Т. Е // Королев МО: Изд-во «Канцлер». – ФТА – 2012.

УДК 004.056

## Обеспечение информационной безопасности 4G-сетей

**А.И. Сухотерин**, к.в.н., доцент,

**К.А. Руденко**, студент 4 курса кафедры Информационная безопасность,

**О.В. Якушев**, студент 4 курса кафедры Информационная безопасность,

Государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Мобильные операторы активно рекламируют и распространяют дешёвую и быструю 4G-связь, однако о её защищённости известно мало. Раньше считалось, что переход на сети 4G повышает устойчивость телефона к атакам. Каждое поколение мобильной связи предполагало повышение безопасности. В 4G сетях, например, безопасность была усилена за счёт аутентификации и защиты ряда сигнатурных протоколов. На основе анализа материалов по исследованиям защищённости 4G-сетей в данной работе были выделены основные угрозы и предложения по их устранению.*

Мобильные системы связи, мобильные сети, мобильные услуги, LTE, информационная безопасность.

## Ensuring information security 4G-networks

**A.I. Sukhoterin**, Associate Professor candidate of military Sciences,

**K.A. Rudenko**, 4rd year students, Department of information security,

**O.V. Yakushev**, 4rd year students, Department of information security,

State Educational Institution of Higher Education

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

*Mobile operators are actively advertise and distribute cheap and fast 4G-communication, but on the security of its little known. Previously it was thought that the transition to 4G network increases the stability of the phone to the attacks. Each generation mobile communications expected to increase security. In 4G networks, for example, security has been strengthened at the expense of a number of authentication and security protocols signature. Based on the analysis of research materials security of 4G-networks in this study were identified the main threats and suggested remedies.*

Mobile communication systems, mobile networks, mobile services, LTE, information security.

Оказывается, что LTE-сети выдают информацию о местоположении устройства, хотя даже во времена 2G приватность пользователя была в приоритете. Когда устройство подключается к сети, ему присваивается временный идентификатор (TMSI – Temporary Mobile Subscriber Identity). При обмене сигналами между сетью и устройством учитывается только TMSI, а не IMSI

(International Mobile Subscriber Identity) или телефонный номер абонента. Таким образом, потенциальному атакующему будет труднее отследить конкретного пользователя, так как TMSI постоянно меняется при переподключении телефона к новой базовой станции [2].

Несколько лет назад корейские исследователи смогли отследить пользователя в сети 2G путем запросов page request – отправления пустых сообщений или совершения коротких звонков на номер абонента, но такая атака была маловероятна в реальных условиях [1].

Теперь же исследователи обнаружили подобный метод отсылки запросов через мессенджеры соц. сетей. Например, если пользователь Facebook вне списка друзей конкретного человека посылает ему сообщение, Facebook помещает сообщение в папку «Другие», дабы защитить пользователя от спама. Если на LTE-смартфоне установлен мессенджер Facebook, то потенциальный злоумышленник имеет возможность связать идентификатор TMSI с профилем в соц. сети через запрос page request.

Несмотря на «временную» природу идентификатора, TMSI меняется не так часто – например, в городах с большой плотностью населения идентификатор оставался неизменным до трех дней, и для многих хакеров этого будет более чем достаточно, особенно если они используют «подставные» БС.

Протоколы доступа в сетях LTE используют некоторые алгоритмы отчетности, абсолютно необходимые для функционирования LTE, – например, для обеспечения устранения неисправностей при подключении к сети и переподключении абонента между сетями. Если атакующий получит доступ к одному из таких отчетов, которыми устройство обменивается с сетью, то потенциально сможет выявить местоположение смартфона – в некоторых случаях с точностью GPS-координат.

Также, эксперты обнаружили возможность проведения DDoS-атак по LTE. Например, в ситуации, когда абонент находится в роуминговой зоне, а тарифный план не позволяет пользоваться услугами в роуминге, при попытке подключения к сети смартфон получит сообщение вроде «ROAMING NOT ALLOWED». После этого следующий запрос к сети произойдет при перезагрузке устройства. Этот механизм разработан для того, чтобы сократить количество обращений к сети и сэкономить расход батареи. Таким образом, данная особенность LTE позволяет атакующему обеспечить «отказ в обслуживании» при подключении к 3G или 4G, вынудив устройство подключиться к менее защищенным сетям 2G, открытым для уже известных атак [2,7,8,9,10,11].

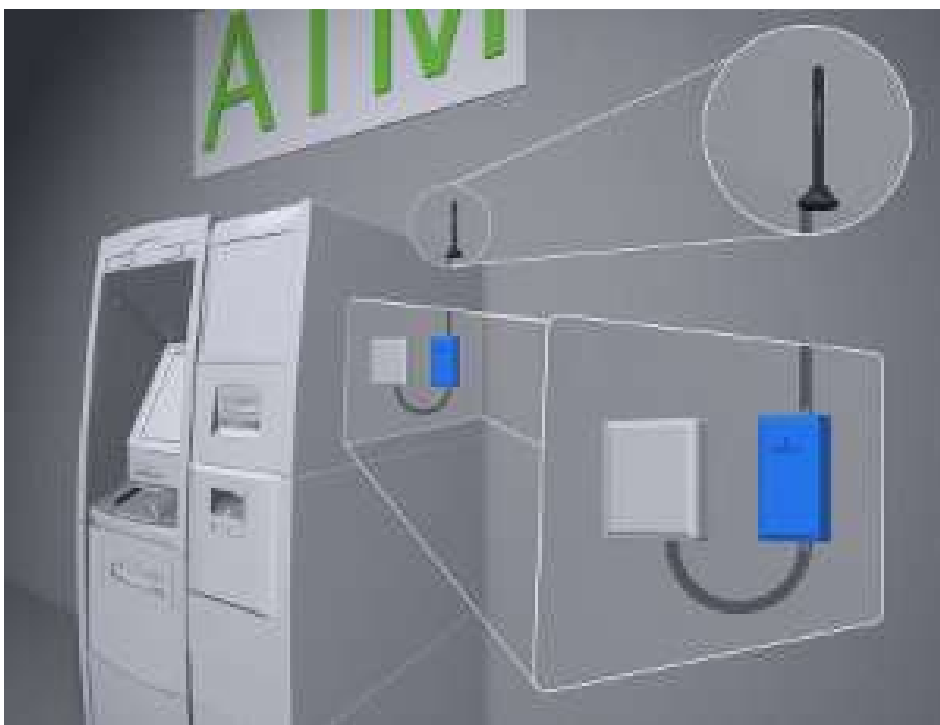
Оборудование, необходимое для осуществления этих атак, состоит из платы USRP и нескольких антенн, снабженных открытым ПО openLTE. Весь пакет обойдется хакеру всего в тысячу евро.

Для устранения выявленных уязвимостей необходим пересмотр сигнатурных протоколов, а также программируемых сетей (SDN). Ряд производителей уже разрабатывают патчи, а также изменения существующих спецификаций LTE (4G-сетей) [5].

Цифровая мобильная связь стандарта GSM используется сейчас во многих критических инфраструктурах, включая промышленные системы управления (SCADA). Другой пример из повседневной жизни, с которым никому не хотелось бы встретиться – это кража денег с банковских счетов. Многие наверняка видели



такие маленькие антенны у банкоматов (рис. 1) – здесь тоже GSM [1].



**Рисунок 1 – Банковский автомат**

Современный модем для беспроводной связи – это компьютер, на который установлена известная операционная система (обычно Linux или Android) и ряд специальных приложений с достаточно широким и возможностями. В этом программном обеспечении и протоколах передачи данных есть уязвимости, которые уже эксплуатировались в последние годы – например, чтобы разлочить модем и отвязать от оператора. Одним из средств защиты от таких взломов стал перенос многих сервисов на Web – однако это дало лишь новые возможности для атак [2].

Для идентификации оборудования нам необходимы документация и поисковая система. В некоторых случаях Google помогает даже больше – можно сразу найти пароль для telnet-доступа (рис. 2).

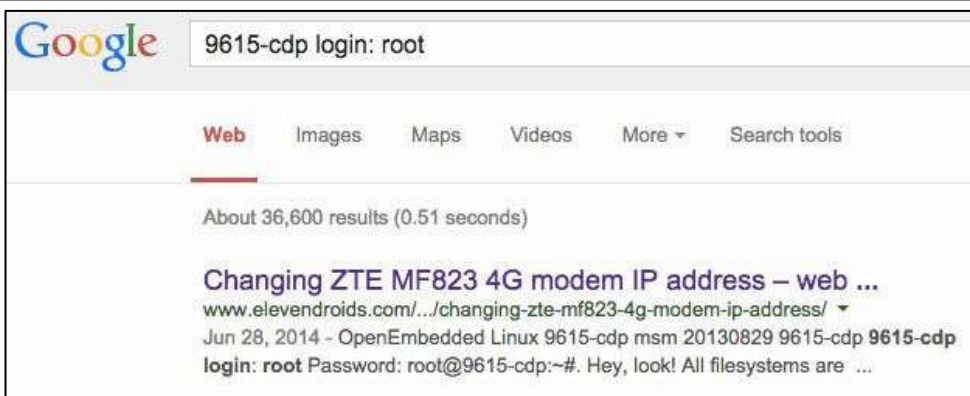


Рисунок 2 – Поиск информации


Однако для внешних коммуникаций нам нужен не telnet, а http. Подключаем модем к компьютеру и изучаем его, как отдельный сетевой узел с веб-приложениями. Находим возможность атаки через браузер (CSRF, XSS, RCE). Таким способом заставляем модем рассказать о себе разные полезные данные (рис. 3) и (рис. 4) [4].



Рисунок 3 – Полученные данные

Помимо раскрытия данных, на атакованном модеме можно выделить следующие уязвимости:

- Смена настройки DNS (что позволяет перехватывать трафик);
- Смена настройки SMS-центра (перехват SMS или манипулирование ими);
- Смена пароля на портале самообслуживания через SMS (что позволяет увести деньги со счета, подписавшись на сторонний сервис);
- Блокировка модема путём набора неверных PIN- и PUK-кодов;
- Удаленно «обновить» прошивку модема.



```
10.0.0.1/status
InterfaceType=lte
3GPP.IMSI=2501[redacted]5
3GPP.UICC-ID=0[redacted]
3GPP.IMEI=3589[redacted]6
3GPP.IMEISV=35[redacted]2600
3GPP.MSISDN=
DeviceName=Wi-Fi [redacted] 4G LTE
RfVersion=0C
AsicVersion=20161
FirmwareVersion=01.00.03.999 (04/3
State=Scanning
WebGuiUrl=http://[redacted]
UpdateState=NotStarted
UpdateProgress=0
SupportsConnectDisabling=0
WifiStatus=On
WifiShareMode=Normal
WifiSecurityMode=Disabled
WifiUsers=0
```

Рисунок 4 – Данные оборудования

Можно развить атаку и дальше – добраться до компьютера, к которому подключён USB-модем. Один из вариантов такой атаки: на захваченный модем устанавливается драйвер USB-клавиатуры, после чего компьютер воспринимает модем как устройство ввода. С этой «мнимой клавиатуры» на компьютер передаётся команда перезагрузки с внешнего диска, роль которого играет всё тот же модем. Таким образом, на «материнский» компьютер можно установить bootkit, позволяющий дистанционно управлять компьютером.

Лучшее, что может сделать пользователь для защиты от подобных атак – не засовывать что попало в свои USB-порты. Понимая при этом, что к выражению «что попало» относятся даже USB-модемы, которые снаружи кажутся всего лишь маленьким и безобидным устройством связи.

Разработчики мобильной технологии LTE все же позаботились о ее защите несколько больше, чем разработчики Интернета. Поэтому можно надеяться, что мобильная сеть будет более надежна и безопасна, чем Всемирная сеть. В LTE используется почти такая же модель безопасности, как и в ранних версиях мобильной связи. Хотя архитектура сети несколько изменилась, общие принципы защиты остались прежними. Если в предыдущих версиях мобильной сети за безопасность отвечал RNC, то теперь его нет, а защита возложена на базовые станции, которые стали более интеллектуальными. Как сообщил Дмитрий Костров, главный эксперт МТС, все функции защиты в LTE объединены стандартом и подразумевают защиту на нескольких уровнях. Предусмотрена защита на уровне доступа к сети, на уровнях сетевого и пользовательского доменов, на уровне приложений и уровне отображения и конфигураций [3].

Каждый из этих уровней предполагает аутентификацию и авторизацию всех устройств, чего нет в Интернете. Хотя каждое устройство в IP-сети имеет свой адрес, а часто еще и уникальный идентификатор MAC, его достаточно легко изменить и подделать. Однако технология LTE предусматривает использование не только IP-адреса, но и системы распространения ключей шифрования для всех устройств, подключенных к сети. В результате для всех взаимодействий в мобильной сети есть возможность безопасного обмена ключевой информацией и установления зашифрованного канала связи между ними.

В LTE сохраняются и методы аутентификации пользователей по привязке к карте USIM, как в традиционной мобильной связи: пользователь может заблокировать доступ к телефону по PIN-коду. Василий Сахаров, руководитель отдела информационной безопасности компании «Демос», отмечает, что в LTE от GSM и UMTS наследуются схемы протокола аутентификации EAP, в которые добавлены новые алгоритмы, более длинные ключи и расширенная иерархия PKI. Предусмотрены и новые функциональные возможности для новых сценариев, включающих межмашинное взаимодействие (M2M) и однократную аутентификацию (SSO). Кроме того, предусмотрена защита от несанкционированных соединений поверх мультимедийной IP-сети IMS. Вполне возможно, что используемая в мобильной связи более жесткая система аутентификации позволит навести порядок и в Интернете [5].

Таким образом, для решения проблемы эффективного обеспечения информационной безопасности 4G-сетей, в рамках проведенного исследования, были предложены следующие рекомендации:

- совершенствование протоколов и методов аутентификации пользователей по привязке к карте USIM (получение доступа по PIN-коду);
- использование жесткой системы аутентификации;
- добавление новых алгоритмов в протокол аутентификации и использование расширенной иерархии PKI;
- ограничение доступа к оборудованию передачи данных, скрытие его технических характеристик и установленного программного обеспечения;
- пересмотр, дополнение и модификация сигнатурных протоколов, а также программируемых сетей (SDN);
- использование только проверенных (безопасных) устройств и специального защитного программного обеспечения.

Комплексная реализация данных рекомендаций позволит уменьшить возможную величину, возможного как для рядовых пользователей, так и для корпоративных сетей.

#### *Литература*

1. Статистика уязвимостей корпоративных информационных систем в 2013 г. Positive technologies, 2014.
2. Уязвимости сетей мобильной связи на основе SS7. Positive technologies, 2014.
3. Статистика уязвимостей мобильной связи на основе SS7. Positive technologies, 2014.
4. Мобильные телефоны и тотальная слежка АНБ: как это работает. Positive technologies, 2014.
5. Безопасность мобильного интернета изнутри и снаружи. Positive technologies, 2013.
6. 4G 'inherently less secure' than 3G. The Telegraph, 2014.
7. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И., Воронов, А. Н. Развитие сотрудничества российских и зарубежных ВУЗОВ по защите информационного ресурса. Научная статья. «Перспективы организационные формы и эффективность развития сотрудничества Российских и зарубежных ВУзов» При поддержке Посольства Туркменистана в Российской Федерации. Сборник материалов III Ежегодная международной научно-практической конференция 6-7 апреля 2015 г.: Королев МО: ФТА // Издательство «Канцлер». – 2015-52 с.

8. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И, Шихнабиева, Т. Ш., Сиротский, А. А. Некоторые элементы ассоциативности в методиках преподавания дисциплин технической направленности. Организация менеджмента информационной безопасности в финансово-кредитных учреждениях. Информационная безопасность бизнеса и общества. Сборник статей научно-преподавательского состава кафедры информационных систем, сетей и безопасности / Российский Государственный Социальный Университет // М.: Издательство «Перо». – 2016. – 111 с. ISBN 978-5-906851-15-4.
9. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И Выработка коммуникативной компетенции при подготовке профессионалов по информационной безопасности с использованием технологии модерации «Инновационные технологии в современном образовании» // Сборник трудов по материалам III Международной научно-практической Интернет-конференции 18 декабря 2015 г. // М.: Издательство «Научный консультант». – 2016. – 784 с. ISBN: 978-5-9907976-9-7.
10. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И, Антоненко, В. И. Проблемно- ориентированная подготовка специалистов по информационной безопасности с использованием имитационного метода (мозговой штурм). «Инновационные технологии в современном образовании» // Сборник трудов по материалам III Международной научно-практической Интернет-конференции 18 декабря 2015 г. // М. Издательство «Научный консультант». – 2016. – 784 с. ISBN: 978-5-9907976-9-7.

УДК 621.385:06

**Проблемы эффективности использования информационных технологий на примере деятельности правоохранительных органов при раскрытии преступлений**

**Е.С. Харламова**, старший преподаватель,  
**Ю.А. Шмелёва**, студентка 2 курса,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Показана роль информационных технологий в борьбе с преступностью. Отмечены перспективные направления применения интернет-технологий. Перечислены причины низкой эффективности использования информационных технологий правоохранительными органами в раскрытии преступлений.*

Информационные технологии, интернет-технологии, эффективность использования в профессиональной деятельности.

**Problemy effektivnosti ispol'zovaniya informatsionnykh tekhnologiy na primere deyatel'nosti pravookhranitel'nykh organov pri raskrytii prestupleniy**

**E.S. Kharlamova**, Senior teacher,  
**Y.A. Shmeleva**, 2nd year student,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Shows the role of information technology in the fight against crime. Noted promising areas of application of Internet technologies. Lists the reasons for the low efficiency in the use of information technologies by law enforcement agencies in solving crimes.*

Information technology, Internet technologies, efficient use in professional activities.

Наркотизация населения, угроза терроризма, укрепление международных криминальных связей – основные яркие штрихи картины современной преступности, масштабы которой постоянно растут, и наше общество вынуждено существовать в таких условиях. На помощь к традиционным методам противодействия преступникам пришли информационные технологии, реализуемые посредством Интернета. К сожалению, уголовникам тоже по силам освоить компьютерную грамоту. Доступность информационных ресурсов Интернета отображена на графике рисунка 1.



Рисунок 1 – Динамика роста числа пользователей Интернета в России

Информационные технологии помогают стражам порядка в оперативно-розыскной деятельности и уголовном процессе. На рисунке 2 схематично представлена роль ИТ в борьбе с преступностью.

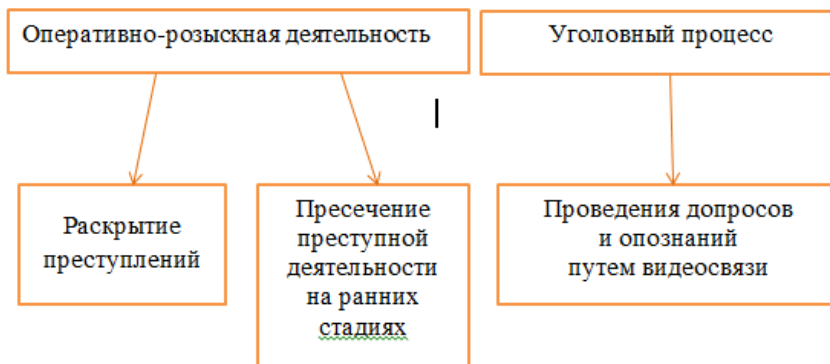


Рисунок 2 – Роль ИТ в борьбе с преступностью

Перспективное направление применения интернет-технологий – правообразовательная и правовоспитательная деятельность, а также профилактика преступлений. Примерные шаги наших правоохранительных органов, которые могут быть сделаны в этом направлении:

1. Проведение тематических телемостов в виде Интернет-конференций «Скажи наркотикам НЕТ!», «Терроризм – угроза обществу»; «Уголовный кодекс писан для всех»;
2. Публикации в Интернете материалов по антикоррупционной тематике, например, списков коррумпированных чиновников и полицейских;
3. Организация в электронных СМИ постоянных рубрик антитеррористической направленности.

Нестандартный ход в борьбе с уголовниками – самих преступивших закон организовать на борьбу с преступностью. Если правоохранительным органам вдруг понадобится информация о темных делах ведущих бизнесменов и государственных чиновников страны, хакеры им в помощь, они сумеют достать из сети разнообразные засекреченные сведения, о которых подозревали и не подозревали блюстители порядка.

Принято считать, что эффективная борьба с преступниками требует солидных денежных затрат, как то:

- установка камер видеонаблюдения в общественных местах;
- оснащение патрульных машин GPS- навигаторами для более оперативно-го реагирования на сообщения о предполагаемых преступлениях, поступающих в дежурную часть;
- использование средств цифровой радиосвязи.

Не всегда это так. Эффективно и недорого для полицейского отделения – завести собственную страницу на YouTube, где регулярно размещать видеоролики о преступниках, находящихся в розыске. Результаты превосходят ожидания. Некоторые нарушители, увидев свои фотографии на таком всеми любимом часто посещаемом сайте, приходят сдаваться сами.

Большую помощь полиции (и контрразведкам всех государств мира) оказывают обычные сотовые телефоны – прекрасное средство для осуществления постоянной слежки за их владельцами, причём приобретаются телефоны на средства самих владельцев.

Персональные проездные билеты – тоже неплохой вариант. Они позволяют отследить все поездки пассажира. Информация о них постоянно поступает в базы данных транспортной системы и может храниться там годами.

В планах правоохранительных органов и более затратные мероприятия:

- создание единых информационно-телекоммуникационной и автоматизированной дактилоскопической систем органов внутренних дел;
- развитие интегрированной мультисервисной телекоммуникационной системы;
- включение информационных ресурсов Интерпола в единое информационное пространство органов внутренних дел.

Но принимаемые меры пока не дают ожидаемого результата. Это объясняется низкой квалификацией сотрудников, которым приходится работать на современном оборудовании. Технические средства используются неэффективно, а бывает, не используются вообще.

Причины низкой эффективности применения оперативной техники в деятельности аппаратов БЭП (по данным анкетирования, %) представлены на рисунке 3.



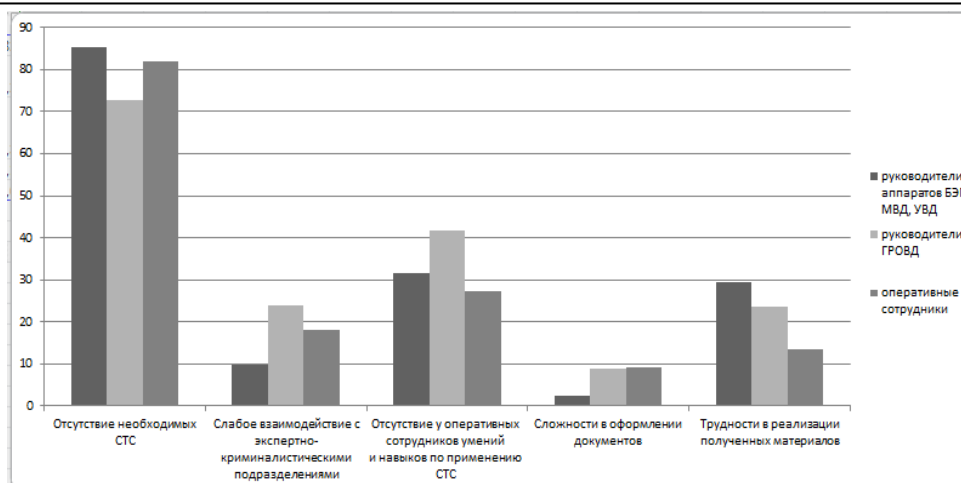


Рисунок 3 – Данные анкетирования, %

Из графика видно, что основные причины – как недостаточность необходимых технических средств, так и отсутствие умений навыков работы с ними у оперативных сотрудников.

С другой стороны, преступники, как и стражи порядка, могут воспользоваться разнообразными техническими средствами: глобальными компьютерными сетями, средствами проводной и радиосвязи, причем не только для координации своих действий, но и для контроля за работой средств связи органов внутренних дел и других правоохранительных органов. Особенно доступны последние достижения НТП организованным криминальным структурам, что без труда объясняется их значительными материальными возможностями. Службы безопасности указанных структур внимательно изучают новейшие технические средства, поступающие в правоохранительные органы. Сотрудники служб постоянно повышают свою квалификацию, посещая выставки последних достижений в области компьютерных технологий.

Таким образом, системе МВД России приходится иметь дело с хорошо обученными и материально обеспеченными преступниками. И выход из создавшейся ситуации только один – противопоставить бандитам своих хорошо обученных людей, что по ряду причин, упомянутых выше, пока невозможно.

И такие проблемы на сегодняшний день имеют не только правоохранительные органы. Можно взять наугад практически любую сферу профессиональной деятельности, картина будет похожая. Информационные технологии, как и солнце, светят всем одинаково, но не все готовы воспользоваться их плодами. Нежелание учиться навыкам работы за компьютером – главная причина для основной массы трудоспособного населения страны. Видимо, ситуация будет меняться к лучшему постепенно, по мере вступления в трудоспособный возраст людей, которые со школьной скамьи, а некоторые и с детского сада, знакомы с компьютерными технологиями.

#### Литература

1. Артюшенко, В. М. Информационные технологии и управляющие системы / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Ю. В. Стреналюк, В. И. Привалов, В. И. Воловач, Е. П.

- Шевченко, В. М. Зимин, Е. С. Харламова, А. Э. Аббасов, Б. А. Кучеров // Монография / Под научной редакцией В. М. Артюшенко // Королев. – 2015. – 186 с.
2. Зайцев, А. А. Электронные средства информационных систем / А. А. Зайцев, Э. И. Исакович, П. П. Мухлынин, Н. Н. Теодорович // Учебное пособие для вузов. Том 2. Часть 3. Устройство приема и обработки информации // Елец. – 2008. – 342 с.

УДК 537.5

**Основные положения технологии получения и контроля качества жаропрочного конструкционного материала Та-Мо для ракетно-космической техники**

**Т.Н. Антипова**, д.т.н., профессор,  
**А.А. Лабутин**, аспирант,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область,  
**А.С. Ленковец**, к.т.н.,  
Открытое Акционерное Общество «Композит»,  
г. Королев, Московская область

*В работе рассмотрены вопросы технологии изготовления жаропрочных слоистых конструкционных материалов (СКМ), применяемых в теплонапряженных узлах в составе двигательных установок ракетно-космической техники. Технология основана на методе ионно-плазменного напыления. Получены лабораторные образцы СКМ на основе тугоплавких металлов Та-Мо. Обоснованы технологические режимы, обеспечивающие наиболее высокое качество образцов конструкционного материала. Предложена система показателей для контроля качества изделий и технологии их получения.*

Слоистый конструкционный материал, тугоплавкие металлы, металлокомпозит, контроль качества, технологический процесс, ионно-плазменное напыление.

**The main provisions of the technology production and quality control of high-temperature structural material Ta-Mo for rocket space technology**

**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  
**A.S. Lenkovec**, Ph.D.,  
Open joint stock company «Kompozit», Korolev, Moscow region

*The paper discusses the technology of manufacturing the layered high-temperature structural materials (SCM) used in the heat-stressed nodes in the propulsion systems of rocket and space technology. The technology is based on the method of ion-plasma sputtering. Laboratory samples of SCM have obtained and based on refractory metals of Ta-Mo. Technological regimes have justified that ensure the highest quality samples of construction material. The system of indicators for quality control of the products and technologies of their production.*

Layered constructional material, refractory metals, metalcomposite, quality control,

technological process, ion-plasma dusting.

Научно-технический прогресс не стоит на месте, и современные технологии развиваются достаточно быстро. А так как достижения в исследовании космоса являются основными уровнями показателями развития страны, то все великие державы постоянно стремятся реализовать перспективные проекты по созданию новых космических аппаратов различного назначения, связанных с разработкой и производством ракетных двигателей, мощность которых на порядки превышает мощность действующих. Для повышения этих параметров необходимо увеличивать ресурсы и технические характеристики ответственных деталей, которые работают в составе двигательных установок ракетно-космической техники и испытывают особые эксплуатационные нагрузки. Одно из основных требований к таким деталям является повышение работоспособности как на воздухе, так и в космосе при высоких температурах без окисления, трещин и разрушений, в том числе при использовании новых малотоксичных видов топлива. Достичь технических характеристик, обусловленных повышением требований к качеству материалов, работающих в агрессивной среде можно с помощью новых конструкционных материалов (КМ), состоящих из многослойных покрытий на основе жаропрочных металлов. Для получения таких материалов необходимо обосновать новые методы и технологии.

Одним из методов получения конструкционных материалов, состоящих из многослойных покрытий на основе жаропрочных металлов, является метод ионно-плазменного напыления, который обеспечивает повышение работоспособности изделия при эксплуатации в различных средах [1].

Поэтому исследование технологий создания слоистых композиционных материалов является актуальной задачей.

Выбор компонентов для КМ производился из группы тугоплавких металлов к которым относятся хром, ванадий, гафний, ниобий, молибден, вольфрам, тантал, рений, цирконий. Наибольшее применение, в качестве жаропрочных конструкционных материалов в авиационной и ракетной техники, находят металлы «большой четверки» (тантал, молибден, вольфрам, ниобий). Ранее проводились эксперименты по получению многослойного металлокомпозиата на основе Nb-Mo. Результаты этих исследований показали перспективность разработанной методики получения жаростойких слоистых металлокомпозиатов на основе тугоплавких металлов [2].

При более детальном изучении микроструктуры, обнаружена капельная фаза в слоях ниобия, которая может привести к разрушению КМ при высоких температурах. Поэтому наличие капельной фазы в слоях ниобия является основной характеристикой качества данного конструкционного материала.

Конструкционный материал (КМ) – многокомпонентный гетерогенный материал, состоящий из матрицы и армирующих элементов.

Матрица является основой конструкционного материала, ее главная роль состоит в обеспечении монолитности материала и передаче внешних напряжений на армирующие элементы. Выбор материала матрицы (керамики, металла или полимера) в значительной степени связан с температурной областью применения КМ.

Основная функция наполнителя – обеспечить прочность и жёсткость кон-

струкционного материала, воспринимая приложенные напряжения. Выбор материала и вида армирующего наполнителя (волокон, слоев, дисперсных частиц, нитевидных кристаллов) зависит от условий эксплуатации конструкции, в первую очередь, от величины и характера действующих нагрузок.

В исследуемом КМ в качестве матрицы использовался тантал марки ТВЧ, а в качестве наполнителя – молибден технический чистый (МЧ1).

Для повышения качества слоистого конструкционного материала на первом этапе исследования необходимо было выявить тенденции изменения свойств двух тугоплавких металлов (Ta и Mo) при модернизации технологических процессов их получения.

Основой технологии получения слоистого конструкционного материала являются следующие процессы: выбор исходных материалов (катодов из тантала и молибдена), сравнительные характеристики качества которых, приведены в таблице 1 и процесс распыления катодов Ta и Mo на технологическую оправку.

Из таблицы 1 видно, что тантал является пластичным тугоплавким металлом. Тантал характеризуется чрезвычайно высокой коррозионной устойчивостью к влиянию большинства кислот: серной, хлорной, азотной, соляной и царской водки. Также Ta и Mo имеют одинаковую кубическую, объёмно-центрированную кристаллическую решетку, что должно способствовать хорошей адгезией (взаимосвязи) при переходе от слоя к слою и напыляемым материалом.

**Таблица 1 – Сравнительные характеристики металлов Ta, Mo**

	Температура плавления, К	Твердость по Бринеллю, МПа	Модуль упругости Юнга, ГПа	Кристаллическая решетка
Ta	3290	800	186	Кубическая объёмно-центрированная
Mo	2890	1500	329	Кубическая объёмно-центрированная

На рисунке 1 представлена диаграмма состояния системы Mo – Ta. Из диаграммы видно, что Mo и Ta неограниченно растворимы в жидком и твердом состоянии. Температура плавления сплавов плавно повышается с увеличением содержания Ta [3]. Это подтверждает возможность использовать данные металлы в композиционных материалах.

Использование молибдена в качестве наполнителя обуславливается его широким применением в ракетно-космической технике за счет его жаропрочности и тугоплавкости.

К его свойствам относятся значительно высокие прочностные характеристики и высокая удельная прочность при температурах до 1450 °С.

В качестве оправки была выбрана трубка длиной 70 мм и диаметром 10 мм из стали 20 за счет отсутствия взаимодействия её с используемыми компонентами.

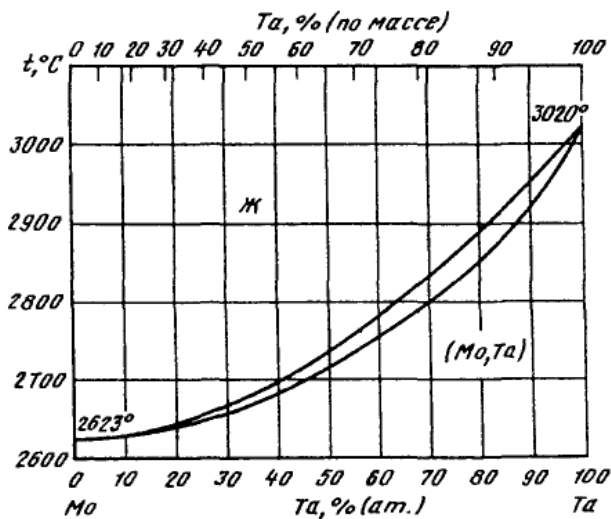
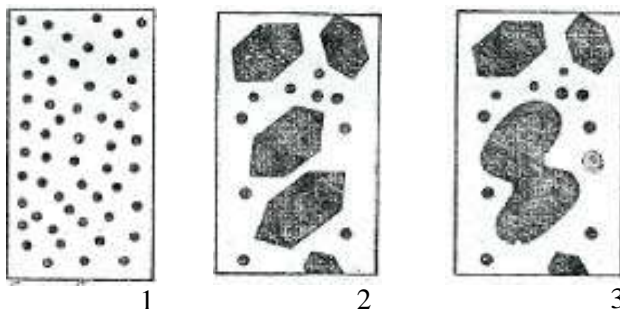


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы Мо - Та

Эксперименты по осаждению многослойного покрытия Та-Мо проводились на модернизированной установке типа БУЛАТ ННВ-6.6-И1, оснащенной современным вакуумным насосом (VRD-65), инфракрасным пирометром (IP 140), комбинированным ионизационно-тепловым вакуумметром (Мерадат-ВИТ19ИТ1), регулятором расхода газа (РРГ-10), трехфазным электродвигателем асинхронным (5АИ) с векторным преобразователем частоты для плавного вращения планетарного механизма. Все эти нынешние приборы позволили нам с высокой точностью отслеживать весь технологический процесс формирования слоистого композиционного материала и вносить корректировки для улучшения его качества.

Получение слоистых конструкционных материалов (СКМ) можно обозначить двумя этапами. На первом этапе производится тщательная подготовка поверхности оснастки для нанесения первого и последующих слоев, так как процесс образования покрытия конденсацией в вакууме представленный на рисунке 2 можно условно разделить на ряд последовательно протекающих стадий: 1 – образование зародышей; 2 – рост и объединение зародышей в островки; 3 – слияние островков при их соприкосновении и образование «сетчатых» пленок-покрытий; 4 – образование сплошного покрытия и зарастание каналов; 5 – дальнейший рост покрытия [4].



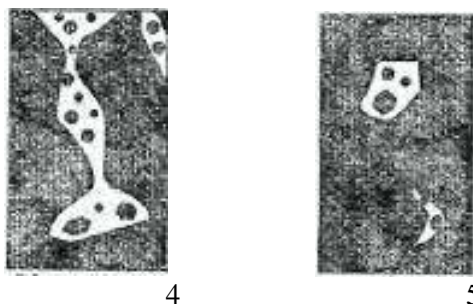


Рисунок 2 – Последовательность стадий роста (1-5) пленки

На втором этапе выполняется ряд технологических операций [5]:

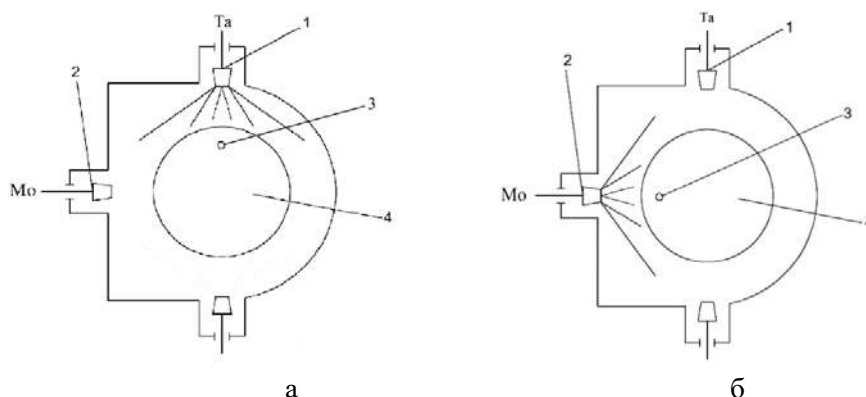
- Предварительная подготовка поверхности напыления.
- Размещение технологических оправок или деталей в рабочей камере установки для вакуумного напыления.
- Герметизация и вакуумирование рабочей камеры установки.
- Очистка и активация поверхности перед напылением физическими методами
- Послойное напыление тугоплавких жаропрочных исходных компонентов.

Ионная очистка – это необходимый процесс, который является одним из основных, влияющих на качество изделия, предварительной обработки поверхности материала перед нанесением покрытий. В этом процессе поверхность напыляемого материала очищается от окисной пленки и адсорбированных атомов воздуха. Происходит это за счет притяжения положительно заряженных ионов газа к подложке с высокой плотностью, после увеличения на ней напряжения. В качестве рабочих газов обычно используют инертные газы (аргон, гелий, водород, ксенон, неон, криптон).

Ионная очистка поверхности требуется для создания хорошей адгезии покрытий с поверхностью обрабатываемого материала. Эффективность очистки определяется типом используемых ионов, их энергией, плотностью тока. Скорость ионной очистки так же зависит от вида обрабатываемого материала, степени его загрязнения и окисленности, вакуумных условий обработки и может быть использована, как один из показателей качества данного технологического процесса.

Далее начинается процесс формирования слоистого конструкционного материала. На рисунке 3 показана схема поочередного напыления исходных материалов Ta, Mo на технологическую подложку из стали 20. Сначала технологическая оправка, при помощи планетарного механизма, перемещается в зону испарителя 1 (рисунок 3а) затем наносится слой тантала в течении 60 минут, выполняющий роль матрицы. Использовались следующие режимы для напыления тантала: ток дуги 160 А, давления аргона в камере

$(5-6) \times 10^{-3}$  мм.рт.ст., скорость вращения 2 об/мин. Затем подложка перемещается в зону 2 испарителя с катодом из Mo и производится напыление на протяжении 30 минут по изменённому режиму: ток дуги 135 А, давления аргона в камере  $(2-3) \times 10^{-3}$  мм.рт.ст., скорость вращения 2 об/мин (рисунок 3б).



**Рисунок 3 – Схема основных этапов формирования металлокомпозита, где 1,2 – катоды из Ta, Mo, 3 – технологическая оправка, 4 – планетарный механизм**

Всего было нанесено 227 слоев, из них 114 слоя тантала и 113 молибдена. Суммарная толщина слоев составляет чуть более 995 мкм.

После экспериментальных работ был получен образец со слоистым конструкционным материалом на основе тугоплавких металлов Ta-Mo. Для анализа микроструктуры его резали на заготовки под шлифы, которые заливали сплавом Вуда и полировали до 10 класса шероховатости поверхности. Исследования проводили на электронном сканирующем микроскопе ASPEX Explorer при ускоряющем напряжении 20 кВ.

На рисунке 4 (а, б) показаны фотографии структуры слоистого композиционного материала, где были выделены участки площадью 400 мкм<sup>2</sup> и проведен сравнительный анализ качества двух конструкционных материалов Nb-Mo и Ta-Mo, результаты которого представлены в таблице 2. Результаты показали, что при получении КМ из тугоплавких металлов Ta-Mo, качество материала существенно улучшилось, за счет уменьшения капельной фазы, отсутствия трещин и количества расслоений. Данные показатели негативно влияют на качество конструкционных материалов.

**Таблица 2 – Сравнительные показатели дефектов в микроструктуре, шт/мкм<sup>2</sup>**

	Nb-Mo	Ta-Mo
Капельная фаза	7	2
Расслоения	2	0
Трещины	есть	нет

На рисунке 4 (б) отчетливо видно, как слои чередуются друг за другом без каких-либо соединений и перемешиваний. Между собой они не взаимодействуют. Так же отчетлива видна граница раздела, что показывает перспективность использования жаропрочных компонентов для получения конструкционных материалов на основе металлокомпозита системы Ta-Mo.

Полученный образец, является более качественным, чем образец, полу-



ченный на основе металлокомпозиата системы Nb-Mo [2].

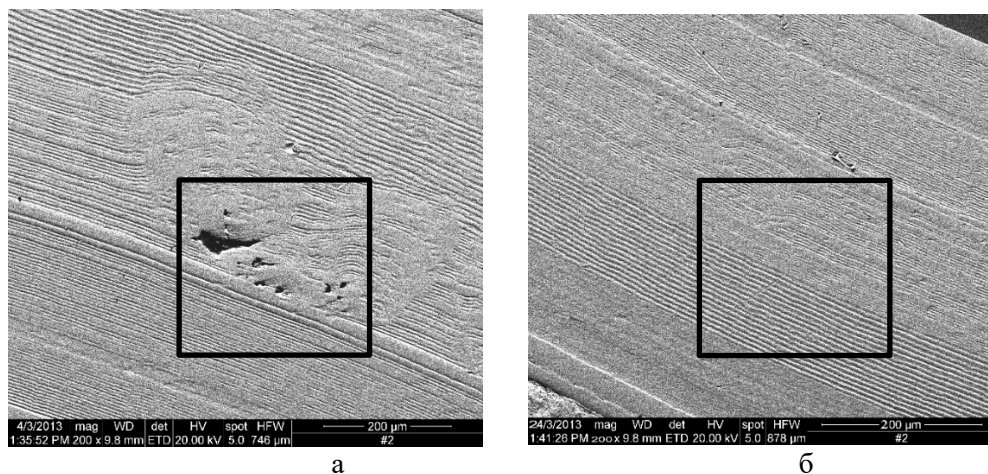


Рисунок 4 – Микроструктура при увеличении  $\times 200$ , а – Nb-Mo, б – Ta-Mo

Разработана схема получения слоистых конструкционных материалов из жаропрочных, тугоплавких металлов на малогабаритную технологическую оснастку. Проведен анализ микроструктуры полученного покрытия, который показал, что при использовании метода ионно – плазменного напыления получается плотный конструкционный материал за счет образования на границе раздела твердых растворов, которые препятствуют расслоению между слоями.

Исследования лабораторных образцов СКМ методами оптической микроскопии показали удовлетворительные результаты; в материале отсутствуют микротрещины, поры и расслоения. Таким образом технология изготовления жаропрочных слоистых конструкционных материалов является актуальным и перспективным направлением.

Такой материал актуально применять в космической, авиационной и других отраслях, предварительно проведя комплексные исследования для получения требуемых режимов технологических процессов.

Для научно обоснованного контроля качества конструкционных материалов необходимо разработать систему соответствующих показателей. Исходя из опыта получения КМ на основе тугоплавких металлов и удовлетворения требования заказчика нами предложена следующая система показателей качества, осуществляющаяся на всех этапах производства и состоящая из количественных и качественных показателей.

Для получения изделия, работающего в теплонапряженных узлах в составе двигательных установок ракетно-космической технике, необходимо проводить контроль на всех этапах его формирования:

- входной контроль исходных материалов;
- контроль технологических процессов;
- контроль готового изделия.

**Входной контроль исходных материалов** Ta-Mo производится по следующим показателям ТУ[6,7]:

- доля тантала в катодах  $\geq 90\%$ ;

- доля молибдена в катодах  $\geq 90\%$ .

Для контроля **технологических процессов** получения КМ нами предлагается следующая система показателей качества, включающая количественные и качественные показатели (таблица 3)

**Таблица 3 – Количественные и качественные показатели технологических процессов получения КМ**

№№ п/п	Качественные	№№ п/п	Количественные	Единицы измерения
1	Наличие капельной фазы	1	Количество трещин	шт.
2	Наличие расслоений	2	Диаметр трещин	мк.
3	Наличие пор	3	Расстояние между трещин	мк.

Контроль готового изделия осуществляется по следующим показателям.

**Прочностные характеристики:**

- прочность при растяжении (МПа);
- прочность на сжатие (МПа);
- жаропрочность ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Характеристики геометрии изделия:**

- диаметр законцовочного элемента (мм);
- высота законцовочного элемента (мм);
- диаметр нижней части оболочечной конструкции (мм);
- высота нижней части оболочечной конструкции (мм).

Для обоснования численных значений показателей качества, прежде всего получения слоистых конструкционных материалов, необходимо выявление математических зависимостей показателей качества готового изделия от качественных и количественных показателей технологических процессов. Данные зависимости могут быть получены путем проведения специальных экспериментальных исследований.

*Литература*

1. Плихунов, В. В., Петров, Л. М. Вакуумные ионно-плазменные покрытия – специальный технологический процесс // Сборник трудов, «Быстрозакаленные материалы и покрытия». Москва – 2012. – С.238-244.
2. Лабутин, А. А., Ленковец, А. С., Моргунов, С. В., Дервук, В. В. Получение слоистого металлокомпозита на основе тугоплавких металлов Nb и Mo методом вакуумно – дугового осаждения // V международная конференция «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества». [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://files.imetran.ru/2014/Program\\_FNM2014.pdf](http://files.imetran.ru/2014/Program_FNM2014.pdf).
3. Лякишев, Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем Том 3 книга 1 / Н. П. Лякишев // Москва: Машиностроение. – 2001. – С.454.
4. Анциферов, В. Н., Бобров, Г. В., Дружинин, Л. К., Кипарисов, С. С., Костиков, В. И., Крупин, А. В., Кудинов, В. В., Либенсон, Г. А., Митин, Б. С., Роман, О. В. Порошковая металлургия и напыленные покрытия // Учебник для вузов. // Москва «Металлургия», – 1987 – С.483.
5. Антипова, Т. Н., Лабутин, А. А., Олешко, А. Ю. Совершенствование управления качеством технологий получения композиционных материалов для ракетно-космической

промышленности // Коллективная монография «Управление качеством технологических процессов». Москва, – «Технологический университет» – 2015. – С.132-148.

6. ТУ 95.234-80 Прутки танталовые, ТВЧ, ТВЧ-1.

7. ТУ 48-19-247-93 Прутки молибденовые диаметром от 16 до 125мм, МЧ.

УДК 669.715.018.8, 546.27

**Концептуальные положения системы управления качеством производства боралюминиевых трубчатых элементов ферменных конструкций космических аппаратов**

**Т.Н. Антипова**, д.т.н., профессор,

**А.Ю. Олешко**, аспирант,

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

*Разработаны концептуальные положения системы управления качеством боралюминиевых трубчатых элементов ферменных конструкций космических аппаратов. Разработана модель причинно-следственной связи технико-экономических показателей качества готового изделия и факторов технологического цикла их изготовления. Обоснована система показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов и технологического цикла их изготовления.*

Показатели качества, технологический процесс, металлокомпозит, боралюминий.

**The conceptual provisions of scientific substantiation of system of indicators of quality boronaluminium the tubular elements**

**T.N. Antipova**, Doctor Technical Sciences, Professor,

**A.Y. Oleshko**, graduate student,

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

*Conceptual provisions of the quality management system boroluminium tubular elements of spacecraft have been developed. Model of causal relationships of technical and economic indicators of the quality of the finished product and the factors of the technological cycle of their production have been developed. System of indicators of quality boroluminium tubular elements and the technological cycle of their production has been substantiated.*

Indicators of quality, technological process, metalcomposite, boronaluminium.

Металлический композиционный материал на основе алюминия, армированного борным волокном, – боралюминий обладает уникальными удельными прочностными и жесткостными характеристиками и по этим показателям не имеет аналогов среди традиционных конструкционных металлических материалов облегченного класса – алюминиевых и титановых сплавов [1].

Необходимо отметить, что высокие механические свойства отличают боралюминий только в направлении армирования – вдоль волокон, поэтому наиболее эффективно его применение в конструкционных элементах, схема нагруже-

ния которых требует однонаправленного армирования материала. Такими элементами являются трубчатые элементы ферменных конструкций космических аппаратов (КА), работающие на осевое сжатие-растяжение, соответственно требующие подкрепления в осевом направлении.

Трубы из боралюминия, разработанные и освоенные в опытно-промышленном производстве ОАО «Композит», первыми в нашей стране внедрены в состав высоконагруженных ферм полезного груза отечественных КА и уже в течение многих лет успешно используются, обеспечивая требуемую жесткость и снижение веса конструкций на (20-40)%.

В настоящее время ОАО «Композит» располагает технологическими процессами, комплексом специализированного оборудования и технологической оснастки для изготовления исходной боралюминиевой ленты-полуфабриката и труб различных типоразмеров.

Данное производство является мелкосерийным и имеет ряд особенностей: небольшие объемы производства, высокие требования к показателям качества, отсутствие ритмичности производства, не зависит от маркетинговой конкуренции, невысокий уровень автоматизации и т.д.

Боралюминиевые трубчатые элементы, являются достаточно дорогостоящим продуктом. Связано это с двумя основными причинами – с высокой стоимостью борного волокна и трудоёмкостью производства. Исходя из выше сказанного и в соответствие с п.8.5 ГОСТ 56518-2015 (п.8.5.1 ГОСТ ISO 9001-2011): «Организация должна постоянно повышать результативность системы менеджмента качества», актуально направить дальнейшую работу на совершенствование системы управления качеством [2].

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

Применение принципов управления качеством к мелкосерийному производству боралюминиевых трубчатых элементов требует учёта специфических требований. Основным фактором воздействия на качество боралюминиевых трубчатых элементов является – технология изготовления продукции, включая закупку исходных материалов с требуемыми свойствами. Таким образом, необходимо обосновать систему показателей качества производства боралюминиевых трубчатых элементов для улучшения их технико-экономических показателей.

Для обоснования системы показателей качества разработана модель причинно-следственной связи основных технико-экономических показателей качества готового изделия и основных факторов технологического цикла изготовления, которая представлена на рисунке 1.



**Рисунок – 1 Модель причинно-следственной связи показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов от основных факторов технологического цикла производства**

Технологический цикл получения боралюминиевых трубчатых элементов состоит из двух последовательных технологических процессов: изготовление боралюминиевой ленты-полуфабриката и получение на её основе конечного продукта [4].

Первый технологический процесс включает создание упорядоченного монослоя борных волокон путем намотки на специализированный барабан и формирование слоя матричного материала (алюминий) на поверхности борных волокон.

Второй технологический процесс включает сборку многослойной заготовки из ленты-полуфабриката на одноразовую оснастку, сборку многоразовой оснастки для прессования, горячее прессование заготовки.

Система показателей качества процесса изготовления боралюминиевых трубчатых элементов состоит из следующих подсистем, соответствующих основным технологическим операциям.

**Входной контроль исходных материалов:**

1. Борное волокно:
  - прочность на растяжение, МПа;
  - модуль упругости, МПа;
  - диаметр волокна, мкм;
  - количество заводских склеек, штуки.
2. Алюминиевая проволока:
  - соответствие марки сплава;
  - химический состав;
  - состояние поставки (нагартованная);
  - диаметр проволоки, мм.
3. Заготовка одноразовой оснастки (труба):

- диаметр, мм;
- толщина стенки, мм;
- твёрдость, МПа;
- отсутствие поверхностных дефектов.

**Контроль качества технологических операций:**

1. Намотка борного волокна на специализированный барабан:
    - скорость намотки борного волокна, об/мин;
    - количество склеек борного волокна на барабане, штуки;
    - отсутствие перехлёстов борного волокна;
    - отсутствие пропусков борного волокна.
  2. Плазменное напыление алюминия на специализированный барабан с борным волокном для получения ленты-полуфабрикат:
    - частота вращения роликов механизма подачи алюминиевой проволоки, Гц;
    - дистанция напыления, мм;
    - сила тока, А;
    - напряжение, Вт;
    - температура охлаждающей жидкости, °С;
    - частота вращения барабана с борным волокном и перемещения плазменного пятна вдоль образующей барабана, Гц.
- После завершения технологического процесса изготовления ленты-полуфабриката осуществляется контроль следующих параметров:
- габариты (длина, ширина, толщина), мм;
  - прочность на растяжение борного волокна извлеченного из ленты-полуфабрикат, МПа.
3. Сборка заготовки трубы из ленты-полуфабриката на одноразовую оснастку:
    - 3.1. Раскрой ленты полуфабриката:
      - ширина, мм;
      - длина, мм;
      - толщина, мм.
    - 3.2. Намотка ленты-полуфабриката на одноразовую оснастку:
      - количество слоёв ленты-полуфабрикат, штуки;
      - сопряжение внешнего диаметра заготовки трубы из ленты-полуфабриката с внутренним диаметров элементов посадки, мм.
  4. Сборка многоразовой оснастки с заготовкой:
    - отклонение диаметров элементов посадки, мм.
  5. Горячее прессование заготовки:
    - температура, °С;
    - давление, атм.;
    - время, мин.

**Показатели качества готового изделия (боралюминиевого трубчатого элемента)** состоят из двух подсистем: экономические и технические показатели качества (рис. 2).

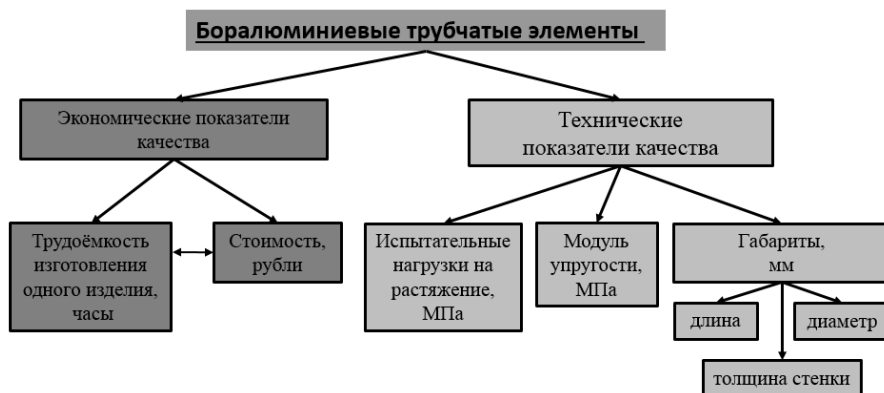


Рисунок – 2 Система показателей качества боралюминиевого трубчатого элемента

Для обеспечения повышения качества боралюминиевых трубчатых элементов необходимо выявить и проанализировать зависимости технико-экономических показателей качества готовой продукции от основных показателей качества технологического цикла изготовления.

В качестве инструмента, анализирующего тесноту связей между основными показателями качества готового изделия и основными технологическими факторами при изготовлении боралюминиевых трубчатых элементов, использовалась матричная диаграмма.

Матричная диаграмма (матричное представление данных), составленная на основе оценок экспертов применена для определения тесноты связей между различными факторами технологических процессов и показателей качества готового изделия.

Результаты экспертных оценок, представлены в таблице 1.

Проведённый анализ позволил обосновать план первостепенных экспериментальных исследований по выявлению математических зависимостей между показателями качества готового изделия и основными показателями качества технологического цикла изготовления.

Таблица – 1 Матричная диаграмма

1 – слабая связь 2 – средняя связь 3 – сильная связь 0 – нет связи			Показатели качества боралюминиевых трубчатых элементов						
			технические			экономические			
			испытательные нагрузки на растяжение	модуль упругости	габариты			трудоёмкость	стоимость
длина	диаметр	толщина							
Основные факторы технологических процессов изготовления трубчатых элементов	борное волокно	3	3	0	0	0	3	3	
	Характеристики исходного материал	1	1	0	0	0	0	2	
	алюминиевая проволока	0	0	1	1	1	1	3	
	одноразовая оснастка (труба)	0	0	0	0	0	3	0	
	Операция - намотка борного волокна (режим намотки)	2	1	0	0	0	1	0	
	Операция - напыление алюминия на борное волокно (режим напыления)	0	0	3	3	3	0	3	
	Операция - сборка на одноразовую оснастку, человеческий фактор (опыт сотрудника)	0	0	2	2	2	0	3	
Операция - горячее прессование (режим прессования)	2	1	0	0	0	0	0		



Более тесные связи выявлены между:

- характеристиками исходного материала и технико-экономическими показателями качества в части прочности на растяжение, модуля упругости, трудоёмкости и стоимости;
- операциями сборки одноразовой и многоразовой оснастки и технико-экономическими показателями качества в части габаритных размеров и стоимости.

Таким образом, можно заключить, что первостепенные экспериментальные исследования необходимо направить на выявление математических зависимостей показателей качества готового изделия с одной стороны и характеристик исходного материала и операций сборки одноразовой и многоразовой оснасткой с другой стороны.

**Выводы.** В результате изучения технологического цикла изготовления боралюминиевых трубчатых элементов, разработаны концептуальные положения системы управления качеством их производства и обоснована система показателей качества конечной продукции, в том числе:

1. Предложена модель причинно–следственной связи показателей качества продукции и основных факторов технологического цикла.
2. Обоснована система основных показателей качества технологического цикла изготовления готового изделия.
3. Разработана система показателей качества боралюминиевых трубчатых элементов.
4. Выявлены основные факторы технологического цикла изготовления боралюминиевых трубчатых элементов, имеющие наиболее тесные связи с технико-экономическими показателями качества готовой продукции.

#### *Литература*

1. Шоршоров, М. Х.. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей / А. И. Колпашиников и др. // М., – Машиностроение. – 1981. – 298 с.
2. ГОСТ Р 56518-2015. Техника космическая. Требования к системам менеджмента качества организаций, участвующих в создании, производстве и эксплуатации // Стандартинформ. – 2015. – 64 с.
3. Истомина, М. А. Разработка и внедрение модели системы менеджмента качества на предприятиях по производству труб из полиэтилена / Вопросы современной науки и практики // Материалы III всероссийской научно-инновационной конференции. Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент. – Тамбов. – 2011. – 304 с.
4. Антипова, Т. Н. Совершенствование управления качеством технологий получения композиционных материалов для ракетно-космической промышленности / А. А. Лабутин, А. Ю. Олешко Управление качеством технологических процессов. Монография // Королёв. – Научный консультант. – 2015. – 134 с.

УДК 621.793.06

**Напыление в динамическом вакууме – дальнейший путь улучшения качества покрытий**

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

**А.Г. Костылев**, к.т.н., доцент кафедры  
управления качеством и стандартизации,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье представлены результаты плазменного напыления покрытий на конструкционные материалы в контролируемой среде при пониженном давлении. В качестве среды использовался аргон. Исследования проводились на стенде Московского авиационного института состоящего из вакуумной камеры с системой откачки, системы энергопитания, газообеспечения, охлаждения и пульта управления. Полученные результаты показывают высокое качество полученных покрытий. Проведенные исследования позволили оценить влияние основных рабочих характеристик процесса, таких как мощность плазматрона, температура подложки в процессе напыления, дистанция напыления на качество напылённых поверхностей.*

Качество, покрытие, технологии.

**Dusting in dynamic vacuum – the further way of improvement of quality of coverings**

**V.G. Isaev**, PhD, associate professor, head of the  
department of quality management and standardization,

**A.G. Kostylev**, PhD, associate professor of  
quality management and standardization,

State Educational Institution of Higher Education

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

*Results of a plasma dusting of coverings on constructional materials in the controlled environment with the lowered pressure are presented in article. As Wednesday argon was used. Researches were conducted at the stand of the Moscow aviation institute sostoyashchiy of a vacuum chamber with system of pumping, system of power food, gas supply, cooling and the control panel. The received results show high quality of the received coverings received. The conducted researches have allowed to estimate influence of the main performance data of process, such as the plasmatron power, substrate temperature in the course of a dusting, a dusting distance on quality of the raised dust surfaces.*

Quality, covering, technologies.

Прогресс машиностроения определяется многочисленными факторами, в том числе, и возможностью создания и получения в достаточных количествах конструкционных материалов, отвечающих требованиям современной индустрии и новой техники. Кроме того, современные наукоемкие технологии должны выполнять требования экологического законодательства. Именно поэтому в последнее время все большее внимание уделяется развитию экологически чистых технологий на основе использования плазменных процессов. Это связано с успехами в области исследования физики плазмы и разработке новых генераторов плазмы с высокими коэффициентами преобразования электрической энергии в энтальпию потока, а так же достаточно высоким ресурсом и самого источника энергии.

Использование традиционных, хорошо известных методов нанесения покрытий с различными требуемыми эксплуатационными характеристиками (например, гальванический) как правило требуют больших энергетических и временных затрат, и не всегда позволяют получать сложные многокомпонентные покрытия.

Обладая высокой производительностью по сравнению с другими методами нанесения защитных покрытий, плазменная технология имеет достаточно низкую себестоимость. В настоящее время наиболее широко данная технология распространена в машиностроительных отраслях, однако находит все более широкое применение в строительстве, судостроении, электротехнике и электронике.

Однако плазменное напыление в обычных (атмосферных) условиях имеет ряд серьезных недостатков, к главным из которых можно отнести наличие достаточно высокой пористости покрытия и наличие в покрытии окисных пленок, что приводит к снижению адгезии защитного слоя с подложкой. Кроме того напыление химически активных материалов на воздухе приводит к образованию нежелательных соединений в покрытии, что ухудшает его рабочие характеристики. Именно поэтому все больший интерес специалистов вызывает плазменное напыление в контролируемых средах при пониженном давлении. Применение этой технологии позволяет существенно улучшить качество напыляемого слоя. При этом отмечается снижение пористости до 1% . увеличение адгезии, что достигается более эффективным нагревом и ускорением частиц в ламинарной плазменной струе. В связи с низким содержанием газовых примесей в рабочем объеме, химический состав покрытия более однороден. Проведение технологических операций по подготовке поверхности к напылению может осуществляться на рабочем месте. При этом могут быть использованы различные методы очистки: плазменной струей, импульсным дуговым или высоковольтным разрядом, и ряд других [1].

Одним из соавторов в 80-х годах были проведены предварительные расчеты нагрева и ускорения частиц диаметром от 20 до 40 мкм в плазменном потоке различной плотности, которые наглядно показали возможность расплавления частиц данных диаметров для получения качественного покрытия [2] при значении остаточного давления в рабочей камере  $P = 104$  Па, при котором значительно снижается влияние неблагоприятных факторов на качество покрытия. Кроме того, возрастает скорость частиц, увеличивается дистанция напыления, возможно увеличение температуры подложки.

Все это позволяет рассматривать плазменное напыление при пониженном давлении («в динамическом вакууме») как одно из перспективных направлений развития вакуумно-плазменных технологий.

С целью определения влияния технологических параметров на структуру и свойства покрытий была проведена серия экспериментов по отработке режимов плазменного напыления при низком давлении. Для этого использовался стенд в Московском авиационном институте состоящий из вакуумной камеры с системой откачки, системы энергопитания, газообеспечения, охлаждения и пульта управления.

Вакуумная камера диаметром 1,2 м и длиной 6,6 м выполненная из трех секций позволяла проводить работу при значении давления внутри порядка 100 Па, что обеспечивалось вакуумной системой, состоящей из 5 вакуумных насосов ВН-6Г. Система энергопитания обеспечивала устойчивую работу плазматрона в рабочих диапазонах. В качестве рабочего газа использовался аргон. Подача порошка обеспечивалась порошковым питателем вибрационного типа.

В качестве источника плазмы была использована схема плазматрона с межэлектродными вставками обладающая высоким коэффициентом преобразования подведенной электрической энергии в энергию потока. Стабильность параметров плазменной струи достигалась за счет работы генератора плазмы по восходящей ветви вольт-амперной характеристики [3]. Стабилизация разряда твердой стенкой, с аксиальным вводом плазмообразующего газа с закруткой, обеспечивала более равномерное распределение частиц по сечению плазменной струи. Схема плазматрона приведена на рисунке 1. Конструктивно плазматрон состоял из набора медных водоохлаждаемых шайб (1), изолированных друг от друга текстолитовыми кольцами (2). Герметизация канала осуществлялась прокладками из вакуумной резины. Последняя шайба служила анодом (4). Составной катод – вольфрамовый (5). Подача порошка осуществлялась через подающую трубочку (9).

Диаметр канала для получения ламинарного потока определялся через число Рейнольдса  $Re$ . Для аргона число Рейнольдса принималось равным 2000.

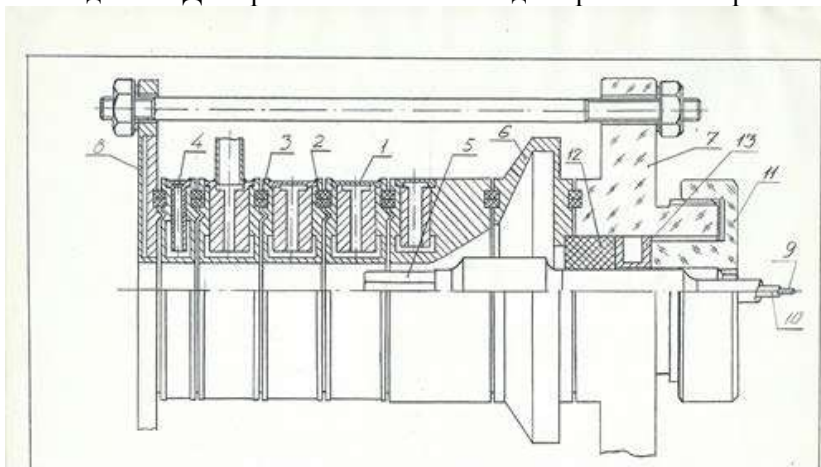


Рисунок 1 – Схема плазматрона с межэлектродными вставками

При истечении плазменного потока в вакуумную камеру происходит его расширение, падение давления в потоке и увеличение скорости частиц (рис. 2).



**Рисунок 2 – Плазменный поток**

Для выявления влияния параметров процесса на структуру и свойства покрытий были проведены исследования по напылению материалов на основе окиси циркония ( $ZrO_2 + 11\% Y_2O_3$ ). Напыление проводилось на образцы двух типов: из жаропрочного материала и Ст-45.

Напыление проводилось с применением подслоя на основе Ni-Al. Дисперсность порошков не превышала 40 мкм.

В целях обеспечения повторяемости процесса, напыление образцов осуществлялось с использованием автоматизированного комплекса.

Режимы напыления варьировались в диапазоне: ток – от 200 до 500 А, напряжение от 38 до 60 В.

В результате проведенных металлографических исследований выявлено влияние параметров процесса на структуру и свойства защитного слоя. При этом следует отметить, что покрытия, напыленные в динамическом вакууме, отличаются большей однородностью и имеют менее выраженную ломелеобразную структуру. Характерный вид микрошлифа покрытия представлен на рисунке 3.

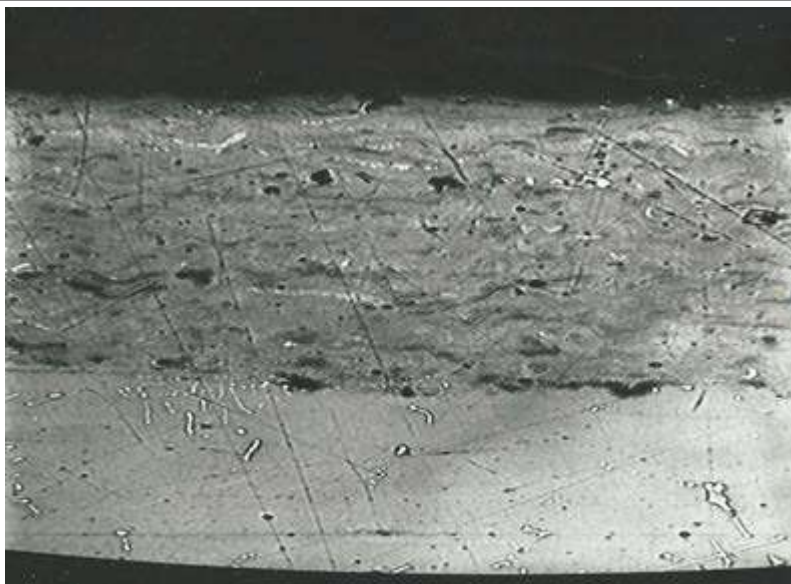


Рисунок 3 – Микрошлиф напыленного покрытия

Проведенные испытания на адгезионную плотность показали разброс результатов от 698 кг/мм<sup>2</sup> до 1510кг/мм<sup>2</sup> при низкой пористости покрытия. Для всех покрытий характерна двухфазная структура: основная фаза ZrO<sub>2</sub> тетрагональная, небольшое количество двуокиси циркония – моноклинная.

Покрытие на основе титана-хрома-кремния очень плотные, практически без пор, хорошо проплавлено, ломелеобразное. Пористость 5 %. Адгезионная прочность на уровне 1300 кг/мм<sup>2</sup>. Состав покрытия по фазовому рентгеноструктурному анализу: TiCr<sub>2</sub>; Ti; TiCrSi.

Таким образом, полученные результаты наглядно показали высокое качество покрытий полученных при данных параметрах процесса. Проведенные исследования позволили оценить влияние основных рабочих характеристик процесса, таких как мощность плазматрона, температура подложки в процессе напыления, дистанция напыления на качество напылённых поверхностей.

#### *Литература*

1. Ильющенко, А. Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование / А. Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов, В. А. Оковитый, Г. Ф. Громыко // Минск.: Беларус. навука – 2011г. – 357 с.
2. Костылев, А. Г. Динамика и нагрев частиц в плазменном потоке при пониженном давлении / А. Г. Костылев // Физико-технические исследования процессов в высокотемпературных газах. М.: МАИ – 1986 г – С. 49-55.
3. Кулик, П. П. Квазипредельный режим работы дугового канала расходного плазматрона / П. П. Кулик, И. П. Назаренко, И. Г. Паневин / Генераторы низкотемпературной плазмы. Труды III Всесоюзной Конференции по генераторам низкотемпературной плазмы // М.: Энергия – 1969 г. – С. 258-266.

УДК 539/538.9

**Дислокационно-динамический механизм проникновения примеси в глубь материала и результаты анализа «эффекта дальнего действия» при облучении полиэнергетическими пучками ионов**

**С.Е. Сабо**, к.т.н, доцент кафедры «Техника и технологии»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Рассмотрены различные модели поведения примеси в металле и предложен механизм аномально глубокого проникновения имплантируемой примеси в глубь материала, основанный на движении примеси в скоплениях дислокаций.*

Примеси, пучки ионов, коэффициент упругости.

**Dislocation-dynamic mechanism of penetration of impurities deep into the material and the results of the analysis of «long-range effect» by irradiating multi-energy ion beams**

**S.E. Sabo**, Ph.D., associate Professor of the Department of engineering and technology,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Considers various models of behavior of impurities in the metal and it is proposed the mechanism of the anomalously deep penetration of implanted impurities into the material, based on the movement of impurities in clusters of dislocations.*

Impurities, ion beams, coefficient of elasticity.

При анализе глубины проникновения имплантированной примеси при воздействии полиэнергетического пучка ионов было обнаружено проникновение значительного количества примеси на глубины намного большие двух проективных пробегов, что, как и в случае моноэнергетических пучков получило название «эффекта дальнего действия» [1-12]. Эффекту дальнего действия посвящено много теоретических и экспериментальных работ [13-16]. Однако, несмотря на большое число предложенных моделей, аномально глубокого проникновения примеси и структурно фазовых изменений при облучении материалов ионами, вопрос о механизме этого явления остается открытым. Это связано с тем, что этот процесс достаточно сложен, и на разных этапах, возможно, преобладают разные механизмы и факторы. Большинство авторов исследуют влияние одного какого-либо фактора в отрыве многих других, хотя и указывается, что механизмы проникновения атомов и дислокаций в глубь матрицы должны быть связаны, они рассматриваются, как правило, отдельно.

Эксперимент показывает на существование быстрого механизма зарож-

дения и миграции дислокаций при пластической деформации и облучении материалов интенсивными ионными пучками.

В отожженном материале плотность дислокаций составляет величину примерно  $10^6 \text{ см}^{-2}$ . Если даже все дислокации будут участвовать в пластической деформации и лежать в плоскости скольжения, близкой к направлению деформации, максимально возможная деформация составит 1%, а на практике наблюдаются деформации в 100% и более и плотности дислокаций до  $10^{12} \text{ см}^{-2}$ .

Т.к. линейная энергия дислокаций высока, плотность дислокаций в кристалле в состоянии термического равновесия мала и ясно, что при пластической деформации дислокации должны образовываться в результате процессов, не связанных с тепловыми флуктуациями.

Предложен ряд механизмов по образованию дислокаций [15-16]:

- формирование и последующее движение дислокационных петель при захлопывании вакансионных дисков;
- образование петель при изгибах дислокаций;
- образование петель при коалесценции радиационных точечных дефектов.

Вопрос о гомогенном зарождении дислокаций до сих пор определенно не решен.

Наибольший интерес представляют механизмы размножения дислокаций в поле напряжений, прежде всего, с помощью источников Франка-Рида (рис. 1), многократного поперечного скольжения дислокаций и источников Бардина-Геринга.

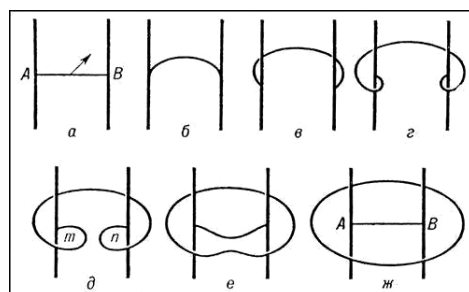


Рисунок 1 – Механизм зарождения дислокаций Франка-Рида

Заметим, что механизм Франка-Рида приводит к образованию серии петель в одной плоскости скольжения.

Многократное поперечное скольжение – винтовая дислокация, путем поперечного скольжения переходит в положение на параллельной плоскости скольжения. Составные пороги относительно неподвижны, т.к. имеют преимущественно краевой характер, однако сегменты, лежащие в двух плоскостях скольжения, могут расширяться, действуя как источник Франка-Рида.

Когда поперечное скольжение происходит легко, источники Франка-Рида могут не заканчивать свой полный цикл, образуя одну дислокационную линию, проходящую через много плоскостей, и ее отрезки, соединенные порогами, могут каждый в определенных условиях работать как источники Франка-Рида.

Размножение при переползании или источник Бардина-Геринга (1952г.) подобен источнику Франка-Рида в случае закрепления концов источника на вин-



товых дислокациях. При этом в результате его работы, вновь образовавшиеся дислокации будут располагаться в параллельных кристаллографических плоскостях.

Согласно расчета [15 стр.478] отклонение от атомной концентрации  $C_V$  на 0.01% достаточно для того, чтобы дислокационная линия длиной  $10^{-4}$  см действовала как источник дислокационных колец.

Образующиеся дислокации представляют собой петли дислокаций и результат работы источников Франка-Рида, Бардина-Геринга, а также их взаимодействия между собой и с ранее существовавшими дефектами материала.

В связи с особенностями зарождения и распространения дислокаций они будут располагаться (при относительно невысоких температурах) преимущественно в плоскостях легкого скольжения (системы скольжения) причем междоузельные и вакансионные петли располагаются так, чтобы максимально снизить напряжения в приповерхностном слое.

После зарождения дислокаций (в области высоких напряжений  $\sigma \geq \sigma_{0,2} - \sigma_I$ ) при их дальнейшем скольжении их ориентация видимо меняется слабо, закрепляясь и начиная действовать как источник, они генерируют дислокации в одноименных плоскостях.

Петли междоузельных атомов могут скользить по призматической поверхности из линии дислокации и вектора Бюргерса. Поэтому петли междоузельных дислокаций будут стараться располагаться в плоскостях, близких к поверхности, и мигрировать вдоль нормали, а вакансии располагаться перпендикулярно к поверхности и скользить в направлениях, близких к перпендикуляру к нормали поверхности.

Основная проблема состоит в определении природы взаимодействия дислокаций с атомами растворенного вещества. В теориях Флейшера [17], Набарро [18], Зегера-Хазена [19] и Сакла [20] важнейшим взаимодействием является упругое. Электростатическое напряжение обычно не учитывается, т.к. в металлах оно слабо. Химическое взаимодействие, которое может возникать в ГЦК-металлах между растворенными атомами и дефектами упаковки (связанными с расщепленными дислокациями), согласно сделанным расчетам и сравнению с экспериментом, по-видимому, не играют существенной роли [18].

Рассмотрим два типа упругих взаимодействий – дальнедействующее и короткодействующее:

1. Взаимодействие между полем напряжений дислокации и деформационным полем растворенного атома;

2. Взаимодействие, обусловленное разностью коэффициентов упругости матрицы и локального коэффициента упругости в области растворенного атома.

1. **Эффект размера.** Между изотропным полем объемного расширения, возникающим вокруг замещенным атомом решетки, и гидростатическим полем напряжений краевой дислокации возникает упругое взаимодействие. Обозначив координаты атома примеси через  $(r, \theta)$  (в системе координат, связанной с дислокацией), запишем энергию взаимодействия в виде:

$$W_1^e = \frac{3\mu b\Omega \sin \theta}{\pi r} \varepsilon_a, \quad (1)$$

где  $\mu$  – модуль жесткости,  $\Omega$  – объем атома растворителя,  $\alpha$  – постоянная решетки, а величина  $\varepsilon_\alpha$  равна  $d \ln \alpha / dc$  ( $c$  – концентрация атомов примеси).

Направляя ось  $x$  параллельно дислокации, а ось  $y$  – ортогонально вектору Бюргера, получим для силы упругого взаимодействия  $F_1 = -\partial W_1^e / \partial y$ . В случае винтовой дислокации взаимодействие между нелинейными полями напряжений ядер дислокаций приводит к объемному расширению с  $\Delta = Kb^2 / 4\pi^2 r^2$ , чему соответствует энергия взаимодействия

$$W_1^s = \frac{3K}{2\pi} \frac{1-\nu}{(1-2\nu)} \mu \Omega \frac{b^2}{r^2} \varepsilon_\alpha, \quad (2)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона, а  $K \approx 0,25$  (значение найдено Хазеном [21]).

**2. Эффект коэффициента упругости.** Модуль объемной упругости среды  $K$  и модуль жесткости  $\mu$  изменяются в ближайшем окружении примесного атома. Энергия упругого взаимодействия между краевой дислокацией и атомом примеси при этом составляет:

$$W_2^e = \frac{\mu b^2 \Omega \varepsilon_\mu}{8\pi^2 (1-\nu)^2 r^2} (1 - \varepsilon_{\mu K} \sin^2 \theta). \quad (3)$$

При  $\nu = 1/3$  имеем:

$$\varepsilon_{\mu K} = 1 - 0,3 \frac{\varepsilon_K}{\varepsilon_\mu}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_K = \frac{d \ln K}{dc}, \quad \varepsilon_\mu = \frac{d \ln \mu}{dc}. \quad (5)$$

Такеути [22] оценил эффект коэффициента упругости через дальнедействующее взаимодействие, которое описывается изменением коэффициента упругости в эффекте размера. Полученная при этом величина пренебрежимо мала по сравнению вычисленным по приведенной выше формуле значением.

Рассчитанные различными авторами и систематизированные Саксом [20] значения энергии упругого взаимодействия примесных атомов в меди приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Энергии упругого взаимодействия примесных атомов с краевой и винтовой дислокацией в меди**

Примесный атом	$W_1^e$ , эВ	$W_2^e$ , эВ	$W_1^s$ , эВ	$W_2^s$ , эВ
<b>Al</b>	0,09	0,013	0,060	0,014
<b>Si</b>	0,028	0,026	0,018	0,019
<b>Zn</b>	0,08	0,023	0,051	0,021
Вакансия	0,028	0,16	0,018	0,072

Взаимодействие дислокаций с атомами растворенного вещества связано с целым рядом факторов [23], важнейшим из которых является эффект размера,

описанный в предыдущем параграфе. Для краевых дислокаций энергия обусловленного этим эффектом взаимодействия с атомами растворенного вещества определяется выражением (1.2). Для винтовых дислокаций такое взаимодействие в большинстве случаев намного слабее [24], но в некоторых системах им также нельзя пренебрегать, например в металлах с ОЦК – структурой, когда растворенные атомы внедрены в междоузлия, образуя октаэдры [25-26].

Поскольку энергия взаимодействия  $W$  при этом обратно пропорциональна расстоянию между дислокациями, все сказанное относится и к твердым растворам замещения.

Поток атомов растворенного вещества определяется уравнением Эйнштейна:

$$J_w = -\frac{D_c}{k_B T} c \nabla W, \quad (6)$$

где  $D_c$  – коэффициент диффузии атомов растворенного вещества,  $c$  – концентрация растворенных атомов,  $\nabla W$  – градиент энергии взаимодействия.

В случае статических дислокаций атомы растворенного вещества, взаимодействующие с дислокацией, двигаются по окружностям [27]. Для дислокаций, движущихся со скоростью  $v$ , необходимо к перечисленным потокам добавить поток  $J_v = -c v$ , выражение для полного потока атомов растворенного вещества преобразуется в:

$$J_d = J_w + J_v = -(D_c / (k_B * T)) * c \nabla (W + k_B * T * v * x / D_c) \quad (7)$$

Такой поток эквивалентен потоку, создаваемому взаимодействием, энергия которого равна:

$$W_a = W + k_B * T * v * x / D_c \quad (8)$$

Для линий потока, перпендикулярных изоэнергетическим кривым (с постоянным значением  $W_a$ ), можно получить параметрическое уравнение [28] вида:

$$A \frac{x}{x^2 + y^2} + \frac{k_B T v}{D_c} y = \xi. \quad (9)$$

Величина  $A$  соответствует множителю  $3\mu b \Omega \varepsilon_a / \pi$ .

Перепишав полученное параметрическое уравнение в полярных координатах, и решая его относительно  $r$ , получаем:

$$r = \frac{\xi \pm \left[ \xi^2 - (2A k_B T v / D_c) \sin 2\theta \right]^{1/2}}{(2k_B T v / D_c) \sin \theta}. \quad (10)$$

При

$$|\xi| \geq \xi_c = \left( \frac{2A k_B T v}{D_c} \right)^{1/2}. \quad (11)$$

имеем два корня, которые соответствуют «открытым» (не проходящим через ядро) и «замкнутым» линиям (оба конца которых сходятся на ядре дислокации).

Для граничного значения  $|\xi| = \xi_c$ , разделяющего выходящие из ядра и входящие в ядро дислокации траектории атомов, и траектории, не проходящие через ядро, имеем уравнение:

$$y = \pm \frac{A \left[ 1 + (1 - \sin 2\theta)^{1/2} \right]}{\xi_c}. \quad (12)$$

Это уравнение связывает траектории растворенных атомов с их начальными координатами. Для потока атомов, втекающих в ядро дислокации, область значений  $y$  определяется неравенствами:

$$-\frac{(1 + \sqrt{2})A}{\xi_c} \leq y \leq \frac{2A}{\xi_c}. \quad (13)$$

Аналогично для потока из ядра дислокации имеем:

$$-\frac{2A}{\xi_c} < y < \frac{(1 + \sqrt{2})A}{\xi_c}. \quad (14)$$

что позволяет определить величину:

$$|y|_{\max} = \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \left( \frac{AD_c}{k_B T v} \right)^{1/2}, \quad (15)$$

соответствующую такому расстоянию атомов растворенного вещества от плоскости скольжения, при котором они удаляются от ядра дислокации.

Описываемый поток (независимо от степени однородности распределения растворенного вещества) представляет собой скорость изменения локальной концентрации атомов растворенного вещества:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\nabla J_d = -\nabla J_w = \frac{D_c}{k_B T} c \nabla^2 W. \quad (16)$$

Если потенциал, определяемый формулой (2), таков, что  $\nabla^2 W = 0$ , то изменения концентрации не происходит. Образованию атмосферы растворенных атомов вокруг дислокации соответствуют линии, заканчивающиеся на ядре дислокации. При  $|y|_{\max} < b$  атмосфера из атомов вообще не образуется. Действительно, из формулы следует, что вокруг дислокации, скорость которой превышает величину:

$$v_{CL} = \frac{3 + 2\sqrt{2}}{2} \frac{AD_c}{k_B T b^2}, \quad (17)$$

атмосфера не формируется [108]. Это граничное условие зависит лишь от входящих в него коэффициентов, и энергия взаимодействия дислокаций с атомами растворенного вещества почти всегда обратно пропорциональна расстоянию между ними [29].

Упрочнение твердого раствора обуславливается в основном торможением дислокаций атомами растворенного вещества. При низких температурах движение дислокаций практически заторможено, однако при высоких температурах атомы растворенного вещества сами начинают диффундировать (под воздействием полей напряжений) к положениям с меньшей энергией. При этом атомы растворенного вещества скапливаются вокруг дислокаций, образуя так называемую атмосферу, представляющую собой просто область с повышенной концентрацией растворенного вещества, характеристики и особенности которой опре-

деляются структурой кристалла. Например, в сплавах с ОЦК-решеткой внедренные атомы могут занимать места в октоэдрических междуузлиях, что приводит к различиям в энергии взаимодействия вдоль главных осей деформации. Такое не изотропное распределение атомов примеси вдоль осей с низкой энергией взаимодействия называют атмосферой Снука [25-26]. Перемещение атмосферы Снука осуществляется за счет перескоков атомов, находящихся в междуузлиях. Этот механизм играет важную роль при низких температурах, а при высоких температурах почти всегда формируется неупорядоченное распределение растворенных атомов, называемое атмосферой Коттрелла [30].

При движении дислокации со скоростью  $v < v_{CL}$  вокруг нее формируется атмосфера растворенных атомов, поэтому возникает дополнительный поток обусловленный градиентом концентраций,

$$\mathbf{J}_C = -D_C \nabla c, \quad (5.18)$$

и полный поток становится равным

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}_C + \mathbf{J}_W + \mathbf{J}_v = -\left(D_C \nabla c + \frac{D_C}{k_B T} c \nabla W + c_v\right). \quad (19)$$

В стационарном состоянии  $\nabla \mathbf{J} = 0$ , следовательно

$$\nabla \left(D_C \nabla c + \frac{D_C}{k_B T} c \nabla W + c_v\right) = 0. \quad (20)$$

Решив это дифференциальное уравнение, мы получим распределение концентрации вокруг дислокации и оценим сопротивление движению, обусловленное наличием атмосферы атомов примеси.

Число атомов данного растворенного вещества в единице объема равно отношению  $c/\Omega$ , где  $\Omega$  – объем одного атома, а  $c$  – парциальная концентрация. На каждый атом со стороны дислокации действует сила  $\mathbf{f} = -\nabla W$ ; такая же по величине, но обратная по знаку сила  $-\mathbf{f}$  действует на дислокацию со стороны каждого атома. Суммарное воздействие выразится объемным интегралом

$$\mathbf{F} = -\int \frac{c \nabla W}{\Omega} dV. \quad (21)$$

Для вытянутых и достаточно длинных дислокаций (обладающих осевой симметрией) силу, приходящуюся на единичную длину дислокации в направлении вектора  $\mathbf{v}$ , можно выразить интегралом по поверхности

$$\tau_d b = -\int \frac{c \nabla W}{\Omega} dS \left( \frac{\mathbf{v}}{v} \right). \quad (22)$$

где  $\tau_d$  – напряжение, действующее на двигающуюся со скоростью  $v$  дислокацию (напряжение ползучести «с атмосферой»).

Расчеты на ЭВМ, проведенные Ёсиагай и Мороззуми [31], показали, что при движении дислокации атмосфера сначала разрушается, а затем переходит в новое состояние. Увеличение скорости дислокаций приводит к «размыванию» распределений, в результате чего пик концентрации снижается, а за дислокацией образуется хвост атмосферы. Сопротивление движению дислокаций сильно зависит от скорости дислокаций.

При высоких дозах имплантации плотность дислокаций повышается за

счет работы различных механизмов, в том числе, и источников Франка-Рида и Бардина-Геринга. При этом в плоскости скольжения образуются скопления одноименных дислокаций, лежащих в одной или параллельных плоскостях. Первая из них закреплена барьером и сдерживает перемещение других. При увеличении числа дислокаций в плоскости, давление на барьер повышается, и первая дислокация может преодолеть его. Стенка из  $m$  дислокаций увеличивает давление на препятствие в  $m$  раз, причем преодолев препятствие дислокация преодолевает расстояние порядка 10 средних расстояний между стопорами дислокации («эффект расстёгивающейся молнии»). При этом все остальные дислокации в скоплении переместятся на небольшое расстояние порядка междоузельного, увлекая свои атмосферы.

Преодоление барьера может происходить в результате увеличения напряжений, или переползания дислокаций в другую плоскость скольжения, что весьма вероятно в условиях генерации облучением большого количества точечных дефектов.

Еще один механизм – частичный отрыв линии дислокации от закрепляющих ее дефектов под действием напряжений. Дислокация не отрывается от барьера целиком, а лишь на каком-то участке [15-16], при этом она не убегает далеко и атмосфера может последовать за ней в поле деформации решетки дислокацией и имплантацией.

На рисунке 2 представлены результаты работы Формена и Мейкина [32], проводивших численное моделирование на ЭВМ движения дислокаций в поле случайно распределенных точечных препятствий вблизи поверхности кристалла. В исходный момент времени на дислокацию, находящуюся в положении  $I$ , начинает действовать постепенно возрастающая нагрузка, под действием которой дислокация перемещается до положения  $FSI$ . Случайно распределенные препятствия, число которых равно 100, показаны на рисунке точками. Затем напряжение перестает возрастать и дислокация перемещается в положение  $F$ , что моделирует движение в области текучести кристалла. Буквами  $A$  и  $B$  обозначены «застывшие» участки дислокации, движение которых полностью прекратилось из-за препятствий. При прямом изучении движения поверхностных дислокаций (методом ямок травления) наблюдается очень похожая картина [33].

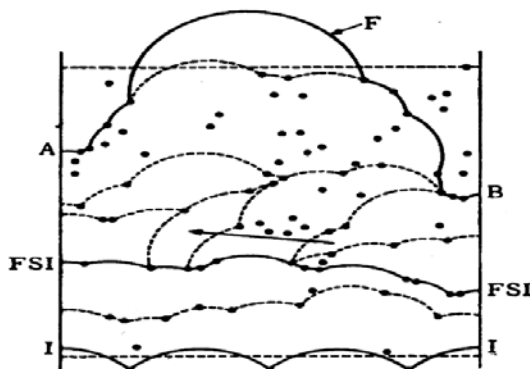


Рисунок 2 – Численное моделирование на ЭВМ движения дислокаций в поле случайно распределенных точечных препятствий вблизи поверхности кристалла

Примесь может быть вынесена за пределы зерна и даже в соседнее зерно [15-16].

В работе [13] рассмотрено взаимодействие движущихся дислокаций с примесными атомами.

На широком классе материалов показано атермическое проникновение примеси в глубь материала в процессе пластической деформации.

Предложен механизм дислокационно-динамической диффузии (ДДД) по зарождающимся и движущимся дислокациям.

Проанализированы работы по машинному моделированию атомной структуры ядер дислокаций различных типов в ОЦК решетке и по взаимодействию движущихся дислокаций с точечными дефектами [23-25,13,21].

Обсуждаемый механизм предполагает перенос примеси перегибами винтовой дислокации. Обнаружено, что краевая дислокация переносит вакансию в своем ядре, а ее движение происходит путем образования и разбегания парных перегибов, возникающих вблизи вакансии и расположенных в плоскости скольжения (100) (ОЦК). Винтовую дислокацию вакансия, наоборот, закрепляет и лишь повышение напряжения приводит к отрыву дислокации от вакансии. В результате взаимодействия скользящей краевой дислокации с примесным атомом или СМА происходит их смещение из положения внедрения в положение замещения, вытесненный ими СМА уносится эстафетно (номер СМА обновляется) ядром скользящей дислокации.

Перегиб винтовой дислокации [37] не захватывался атомом углерода, а стимулировал его перескок из одного междоузлия в другое при приближении на 1-2 вектора Бюргера. Скачок всегда происходил в тетредрическое или октоэдрическое междоузлие.

Рассмотрение экспериментальных работ указало [1-12] на важность учета взаимодействия ядер движущихся дислокаций с примесными атомами.

Показано, что массоперенос при пластической деформации имеет атермическую природу ( $T=0.5-300$  К). Предлагаемый механизм заключается в следующем [13]: высокие скорости движения дислокаций на начальных стадиях пластической деформации обеспечивает большие амплитуды колебаний атомов вблизи ядра дислокации, что приводит к динамическому понижению потенциальных барьеров вдоль механически возбуждаемой дислокационной линии по сравнению с ее статической конфигурацией. Эти колебания сравнимы с амплитудами колебаний атомов в решетке при температуре близкой к температуре ее плавления [36]. Одним из возможных механизмов проникновения примеси вглубь матрицы является увлечение примесных атомов движущимися перегибами на винтовых дислокациях наряду с отрывом перегиба от примеси и остановкой на примеси. Энергия миграции комплекса «перегиб-примесь» должна быть меньше энергии его связи, а потенциальный рельеф примесного атома в ядре дислокации пологим (динамическое понижение миграционного барьера перегиба).

Ядро дислокации сильно искажает потенциальный рельеф решетки, что приводит к появлению значительных потенциальных барьеров. Ядро дислокации не является барьерным стоком для точечных дефектов, и поэтому их облегченная трубчатая диффузия (по крайней мере, в ОЦК решетке) отсутствует [13].

Предложенный механизм работает в случае ранней стадии и малых де-

формаций, когда дислокации подвижны.

В случае больших доз облучения  $D > 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> в решетке осуществляется принципиально другая ситуация:

- плотность дислокаций высокая;
- они закреплены дефектами и собственными скоплениями.

В этом случае нами предполагается другой механизм миграции примеси - миграция примеси в скоплении дислокаций.

Можно предположить, что напряжения будут релаксировать за счет движения дислокаций, при этом градиент напряжения будет определяться концентрацией стопоров дислокаций в матрице и способностью дислокаций переползать (в присутствии радиационных дефектов), числом систем скольжения и их эффективностью.

Сами дислокации в свою очередь облегчают при движении миграцию примеси в зоне линии дислокации [110] и, кроме того, способны генерировать точечные дефекты.

Для порошковых и композитных материалов площадь поверхностных стоков дислокаций резко увеличивается, что должно приводить к уменьшению плотности дислокаций, снижению напряжений и эффектов, связанных с динамикой дислокаций.

Как и в случае полиэнергетического пучка ионов распределение первично выбитых атомов представляет собой широкий непрерывный спектр, с энергиями  $\Delta E_0$ , ( $\Delta = 4M_1M_2/(M_1+M_2)^2$ ).

В отличие от первоначального распределения направление выбитых атомов не совпадет с нормалью поверхности (направление пучка ионов) однако в случае массы близкой Ar (40 а.е.м.) атомы аргона после первого рассеяния, которое происходит в очень тонком слое (порядка 1-2 межатомных расстояний) приобретают практически такое же распределение по углу рассеяния.

Поэтому те выводы, которые делаются для Ag и ПВА в каскадах без учета химического взаимодействия совпадают.

В случае облучения полиэнергетическим пучком ионов Ag спектр энергии по своей форме близок к спектру ПВА. Невысокие энергии  $E=9.4$  кэВ и достаточно большая масса атомов позволяют сделать предположение о том, что, как и атомы отдачи, они образуют плотные дефектные области (пик смещений) вдоль своих треков. Сильное комплексообразование не позволяет вакансиям заметно «разбегаться» в окружающий кристалл.

Отсутствие зависимости плотности дефектов от тока первичного пучка ионов, характерное для легких атомов, в случае тяжелых ионов  $T_{КОМН}$  подтверждено экспериментально [13,34], это говорит о слабом взаимодействии дефектов, созданных различными налетающими частицами, так как они оказываются связанными в области пика смещения, а остальной кристалл остается малодефектным (кроме междоузельных атомов) и в нем атомы примеси мигрируют в междоузельном положении до встречи со стоком (вакансия, дислокация, граница раздела и т.д.). Низкая плотность ловушек, обусловленная крупными комплексами дефектов, более протяженной дефектной областью (полиэнергетический пучок,  $\sigma=40\%$ ) и высокая подвижность примеси по междоузлиям приводит к аномально глубокому проникновению примеси в матрицу [14,34,36].



Поскольку в случае ПЭПИ распределение дефектов более широкое, то зона  $R_p + \Delta R_p$ , где сконцентрированы основные источники образования дислокаций, менее разрушена в отличии от моно-пучка, где в зоне  $R_p$  решетка может быть сильно разрушена уже при дозах  $10^{15}$ - $10^{16}$   $см^{-2}$  и большая концентрация дефектов на порядок уменьшает подвижность дислокаций. Для полиэнергетического пучка более низкая объемная концентрация дефектов (особенно в конце пробега) резко повышает вероятность взаимодействия точечного дефекта с ядром дислокации.

Как следует из рассмотренных данных, наибольший вклад в перенос примеси вносят дислокации, движущееся с не слишком большой скоростью, при этом при небольших скоростях само наличие примеси обеспечивает сильное торможение дислокаций в результате образования атмосферы. Очевидно, что предлагаемая модель переноса предполагает перенос примеси в концентрациях не больше предела растворимости (хотя надо учитывать локальную растворимость, учитывающую большую плотность дислокаций и последствия облучения).

Таким образом, профиль распределения можно условно разбить на четыре основные зоны, что в целом соответствует эксперименту:

- 1). - зона кинематического внедрения;
- 2). - зона миграции медленных дислокаций и механизмов, предложенных другими авторами [13-14,33-34] (необходимо отметить, что эти же механизмы действуют и в 1-ой зоне, обеспечивая миграцию примеси к поверхности и её дальнейшее распыление;
- 3). - зона, где в результате переноса примеси дислокациями произошло насыщение примесью;
- 4). - зона естественного спада концентрации (зона отрыва, или больших скоростей).

Сами дислокации перемещаются на гораздо большие глубины, попадая в менее дефектную зону они видимо увеличивают свою скорость и отрываются от атмосферы, при этом может работать описанный в [35] эффект «расстегнутой молнии».

Особенностью данного механизма является необходимость присутствия примеси в зоне зарождения дислокации и несколько глубже, что в наибольшей степени соответствует случаю облучения ПЭПИ, в результате ряда особенностей.

Аналогичный эффект наблюдается и для моноэнергетических пучков, однако лишь в случае большой плотности тока, последующего нагрева или деформации образцов, как указывает в своем обзоре Мартыненко [14], эти факты хорошо согласуются с предложенной моделью, т.к. такое воздействие обеспечивает подвижность дислокаций в зоне присутствия атомов примеси.

Необходимо отметить, что и само наличие пленки и её структура могут способствовать зарождению и миграции в первую очередь краевых дислокаций в глубь подложки, однако приведенные экспериментальные результаты по имплантации Ag и данные приведенные Клявиным [13] по внедрению гелия и водородоподобных атомов, позволяет предположить, что влияние пленки не является определяющим и эффект работает и при прямой имплантации.

Наблюдаемое в некоторых случаях заметное повышение микротвердости,

при профиле близком к расчетному, можно объяснить низкой растворимостью примеси в матрице, не позволяющей достоверно обнаружить зоны 3 и 4, а эффект упрочнения большинство исследователей признает связанным в основном с дислокационной структурой [14]. Возможно, это связано с малым размером зерна и/или малой подвижностью дислокаций.

Предложенный механизм позволяет качественно объяснить большое число экспериментальных данных полученных различными авторами, как для монокристаллов и для полиэнергетических пучков ионов.

Различия между металлами с ГЦК и ОЦК структурой (температура, ГЦК – Cu, Al, – практически атермичны, а ОЦК например, Fe – явно выраженная температурная зависимость). [30, стр.109].

В ОЦК структурах очень высок барьер Пайерлса, что приводит к сильному (примерно в 20 раз) замедлению скорости движения винтовых дислокаций по сравнению с краевыми.

Как показывают многочисленные эксперименты и модельные расчеты, проведенные на ЭВМ, уже при комнатных температурах вероятность образования перегиба в любом направлении практически одинакова и анизотропия монокристаллов нивелируется. Смещение происходит не в определенной плоскости скольжения, а в соответствии с направлением приложенной нагрузки. Кроме того, краевые дислокации, в отличие от винтовых в ГЦК практически не подвержены расщеплению на дефектах упаковки и для их движения требуются намного меньшие напряжения. В обычных условиях, они быстро «заканчиваются» и не могут обеспечить деформацию больше 1-1,5%. Однако в случае присутствия на поверхности пленок, адсорбируемых слоев и других объектов, приводящих к локальной концентрации энергии, это способствует генерации краевых дислокаций на поверхности. Облучение - как раз и является причиной локальных градиентов энергии на поверхности и уже при небольших дозах, когда винтовые дислокации еще не закрепились и не стали работать источники Франка-Рида и Бардина-Геринга, способствует увеличению концентрации краевых дислокаций и миграции их в глубь матрицы. Вообще эффект часто связан с наличием на поверхности пленки, что в свою очередь приводит к облегчению генерации дислокаций [34].

Любое облучение и некоторые дефекты облегчают движение дислокаций за счет уменьшения энергии образования парного перегиба.

### **Заключение**

Предложен динамический механизм аномально глубокого проникновения примеси в глубь материала (эффект дальнего действия), основанный на движении примеси в атмосферах Коттрелла в скоплениях дислокаций.

Для уменьшения эрозионных процессов в материалах и снижения проникновения примесей, предложено использовать не сложные сплавы, в которых большое количество примесей тормозит движение дислокаций (что приводит к большим внутренним напряжениям и охрупчиванию приповерхностного слоя, блистерингу и флаккингу), а многослойные, композитные и порошковые материалы, резко увеличивающие поверхности стоков дислокаций, снижающие термо- и имплантационные напряжения, препятствующие проникновению примеси на большие глубины.

*Литература*

1. Калинин, Б. А., Волков, Н. В., Сабо С. Е. Метод облучения полиэнергетическим многокомпонентным пучком заряженных частиц – Тезисы докладов II Всесоюзная конференция «Модификация свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц» // Свердловск. – 1991. – т. 1. – с.52-53.
2. Калинин, Б. А., Волков, Н. В., Сабо С. Е., Рыбалко, В. Ф., Толстолицкая Г. Д., Копанец, И. Е., Завадская, Т. Ю. Применение полиэнергетического пучка ионов  $Ar^+$  со средней энергией  $E=9.4$  кэВ для легирования металлов методом «вбивания» атомов из покрытия. Тезисы докладов III Международная конференция «Модификация поверхности материалов пучками заряженных частиц» // Свердловск. – СПТИ. – 1993. – т. 1. – с.52-53.
3. Kalin, B. A., Gladkov, V.P., Volkov, N. V., Sabo, S. E., Atom Penetration A Thin Film Into Substrates During Sputtering By Polyenergetic  $Ar^+$  Ion Beam With Mean Energy Of The 9.4 keV. – XY Materials Research Society, Boston, USA, 1994 – p.214.
4. Калинин, Б. А., Гладков, В. П., Волков, Н. В., Сабо, С. Е., Петров, В. И., Рыбалко, В. Ф., Толстолицкая, Г. Д., Копанец, И. Е. Проникновение примесных атомов в материалы при воздействии полиэнергетическим пучком ионов аргона. – Известия РАН серия: Металлы. – 1994 г. – № 6. – с.69-73.
5. Калинин, Б. А., Волков, Н. В., Сабо, С. Е. Радиационная эрозия материалов при воздействии полиэнергетического многокомпонентного пучка ионов. Тезисы У-Международного совещания «Радиационная физика твердого тела» // Севастополь. – 25.06. – 2.07.1995 г. – стр. 26.
6. Калинин, Б. А., Волков, Н. В., Сабо, С. Е., Рыбалко, В. Ф., Толстолицкая, Г. Д., Копанец, И. Е., Завадская, Т. Ю. Применение полиэнергетического пучка ионов  $Ar^+$  со средней энергией  $E=9.4$  кэВ для легирования металлов методом «вбивания» атомов из покрытия. Тезисы докладов III Международная конференция «Модификация поверхности материалов пучками заряженных частиц» // Свердловск. – СПТИ. – 1993 – т. 1. – с.52-53.
7. Калинин, Б. А., Волков, Н. В., Сабо, С. Е., Аталикова, И. Х. Особенности легирования поверхности материалов атомами пленок при облучении полиэнергетическим пучком ионов аргона. Тезисы докладов VI Международного совещания «Радиационная физика твердого тела» // МГИЭМ. – 1996. – с.41-42.
8. Kalin, B. A. Volkov, N. V., Gladkov, V. P., Sabo, S. E., Atalikova, I. H., Altuhov, A. A., Ion Mixing in Film-Substrate Systems Under Polyenergetic  $Ar^+$  Ion Beam Irradiation, in book Ion-Solid Interaction For Materials Modification and Processing, Symposium Proceedings, Pittsburgh, Pennsylvania. – U.S.A. – 1996. – V.396. – pp. 871-876.
9. Калинин, Б. А., Волков, Н. В., Рыбалко, В. Ф., Толстолицкая, Г. Д., Сабо, С. Е. Влияние атомных размеров системы «пленка-подложка» на процесс ионного перемешивания при облучении полиэнергетическим пучком ионов  $Ar^+$ . Тезисы докладов «Международной конференции «Модификация поверхности материалов пучками заряженных частиц». – Томск, 1996.
10. Калинин, Б. А., Гладков, В. П., Волков, Н. В., Сабо, С. Е. Проникновение атомов пленки в матрицу при распылении полиэнергетическим пучком ионов аргона со средней энергией 9.4 кэВ. Тезисы У-Международного совещания «Радиационная физика твердого тела». – Севастополь. – 1994. – стр.21.
11. Kalin, B. A., Gladkov, V. P., Volkov, N. V., Sabo, S. E., Investigation The Results of Affect by Polyenergetic Beam of  $He^+$  and  $Ar^+$  Ions on Berillium, Copper, Vanadium. J.Plasma Device, 1996, V. 4 pp.223-244.
12. Калинин, Б. А., Волков, Н. В., Сабо, С. Е. и др., Формирование ионно-легированного слоя для повышения эксплуатационных свойств циркониевых сплавов, V Научно-

- практическая конференция материаловедческих обществ России «Цирконий: металлургия, свойства, применение» Ершово. – Москва. – 2008. – с.41-43.
13. Клявин, О. В Дислокационно-Динамическая Диффузия в Кристаллических Телах. – Физика твердого тела. – том 35. – № 3 (1993). – с.513-541.
  14. Мартыненко, Ю. В. Эффекты дальнего действия при ионной имплантации, Препринт ИАЭФ. – 1988г.
  15. Халл, Д. Введение в дислокации // М.: Атомиздат. – 1968г. – 277 с.
  16. Новиков, И. И. Дефекты кристаллического строения металлов // М.: Металлургия. – 1975г. – 208 с.
  17. Fleisher, R. L., Acta Met., 9, 996 (1961).
  18. Nabarro, F.R.N., Theory of Crystal Dislocation, Clarendon Press, Oxford, 1967.
  19. Seeger, A., Haasen P., Phil. Mag., 3, 470 (1958).
  20. Saxl, J., Cz. J. Phys., B14, 381 (1964).
  21. Nabarro, F.R.N., The Physics of Metals, vol.2, Ch. 4, ed.Hirsch B., Cambridge Univ. Press, 1975.
  22. Takeuchi, S., Scripta Met. 2, 481 (1968).
  23. Судзуки, К., Тэнъирон нюмонб изд-во Агунэ, 1967. (Яп.яз.).
  24. Нориути, Р., Ёсинага, Х., Нихон киндзокугаку кайси, 29, 351 (1965).(Яп.яз.).
  25. Cochardt, A. W., Schoek, G., Wiederich, H., Acta Met., 3, 533 (1955).
  26. Schoek, G., Seeger, A., Acta Met., 7, 469 (1959).
  27. Cottrell, A. H., Bilby, B. A., Proc.Phys. Sos., A62, 49 (1949).
  28. Yoshinaga, H., Morozumi, S., Phil. Mag., 23 1351 (1971).
  29. Ёсинага, Х., Нихон киндзокугакукай кайхо, 10, 519 (1971). (Яп.Яз.).
  30. Судзуки, Т., Ёсинага, Х., Такеути, С. Динамика дислокаций и пластичность: Пер. с япон. // М.: Мир. – 1989.-296с., ил.
  31. Yoshinaga, H., Morozumi, S., Phil. Mag., 23 1367 (1971).
  32. Granato, A. V., Internal Friction and Ultrasonic Attenuation in Solids, ed. Hasiguti R.R. Tokyo Univ. Press, Tokyo, 1977, p.81.
  33. Комаров, Ф. Ф., Новиков, А. П., Ионно-лучевое перемешивание при облучении металлов // Энергоатомиздат. – М:1998.
  34. Perry, A. J., Treglio, J. R. The implantation affected zone (the long range effect) in metal ion implanted titanium nitride films, 1-st International Symposium 'Beam Technologies' (BT'95), Dubna, Russia, February 28- March 4, 1995.
  35. Титов, В. В. Роль механических напряжений при легировании материалов с помощью ионных пучков, Препринт ИАЭ -3774/11 // М.,1983. – с.48.
  36. Хирт, Дж., Лоте, И., Теория дислокаций // М.: Атомиздат. – 1972. – 599 с.
  37. Эшелби, Дж. Континуальная теория дислокаций // М.: Мир. – 1963. – 248 с.
  38. Фридель, Ж. «Дислокации» // М.: Мир. – 1967. – 644 с.

УДК 67.01

**Оценка надежности клеевых соединений**

**П.А. Щеглов**, аспирант кафедры Управления качеством и стандартизации,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье рассмотрена роль клеевых соединений при разработке образцов ракетно-космической техники. Определены виды внешних воздействий, приводящих к нарушению прочности клеевых соединений. Описаны основные условия, при выполнении которых возможно проведение расчета надёжности клеесборной конструкции. Приведены основные положения методики расчета надёжности клеевого соединения.*

Клеевые соединения, надёжность, воздействие.

**Assessment of reliability of glue connections**

**P.A. Shcheglov**, graduate student of department of quality management and standardization,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*In article the role of glue connections when developing samples of the missile and space equipment is considered. Types of the external influences leading to violation of durability of glue connections are defined. The main conditions when which performing carrying out calculation of reliability of a glue-containing design is possible are described. Basic provisions of a method of calculation of reliability of glue connection are given.*

Glue connections, reliability, influence.

Клеевые соединения в настоящее время играют важную роль при создании агрегатов и систем перспективных образцов ракетно-космической техники таких, как различные средства выведения, в том числе многоразовые космические транспортные системы [6, (С. 54-67)]. От качества подобных соединений (например, при креплении теплозащитного покрытия в соплах двигательных установок, крепление плиток теплозащитного покрытия к корпусу средства выведения и др.) зависит надёжность средства выведения [8, (С. 318)]. В отличие от соединений, выполняемых из металлов, керамики, пластмасс и других материалов, адгезионные соединения обладают особыми свойствами, которые требуют разработки специальных методов оценки качества клеевых соединений.

В адгезионных соединениях даже одного и того же типа, даже при использовании одного и того же клея могут возникнуть отказы различной физической природы, описываемые различающимися законами реализации и оцениваем-

мые характеристиками надёжности различного уровня, в зависимости от сочетания факторов внешнего воздействия, длительности их воздействия на соединение и отклонениями в технологии изготовления. Отказы же изделий из других материалов имеют практически идентичную физическую природу и однозначно определяемые закономерности, описывающие их возникновение [7, (С. 106-110)].

Напряжение в клеевом слое даже в случае простейших клеевых соединений, как например, внахлестку или встык, очень неоднородно. Эта особенность связана с влиянием фактора краевых эффектов, концентраторов напряжений в самом слое, наличием пограничных слоёв.

В номенклатуре клеесборных конструкций присутствуют весьма сложные соединения, такие как клеезаклёпочные, клеесварные и другие, которые необходимо рассматривать как сложные системы, состоящие из взаимосвязанных элементов, свойства которых сильно коррелируются друг относительно друга. В связи с этим методы и принципы расчётов надёжности механических систем при расчётах надёжности клеевых соединений не могут быть использованы непосредственно.

Надёжность – свойство системы или её элемента сохранять работоспособность в течении требуемого времени, которое в зависимости от назначения и условий применения системы может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость или любое сочетание этих свойств [2,9,10,11].

Для теории надёжности любой системы основополагающим понятием является понятие отказа. Известно несколько определений этого понятия по причинам возникновения отказа, например, наследственность, заложенная в изделие в ходе технологического процесса; отказ, связанный с особенностями внешних воздействий; отказ, как следствие ошибки или нарушения требований эксплуатации. Наиболее важной реализацией отказа является потеря работоспособности или её ухудшение по причинам скачкообразного изменения или монотонной деградации качества соединения.

Несущая способность – при расчётах на долговечность весь комплекс параметров клеевого соединения, а именно: выносливость, длительная прочность, сопротивление ползучести, герметичность. Определяется путём сопоставления закономерностей процессов, управляющих изменениями во времени обобщённых нагрузок: усилий, температур, давлений и обобщённой прочности, зависящей от уровня накопленных повреждений, условий естественного старения, адсорбции и ряда прочих факторов, снижающих сопротивляемость внешним воздействиям.

Для оценки характеристик средних значений статической прочности, таких, как прочность при сдвиге  $\tau$  [3] и прочность при отрыве  $\sigma$  [4], достаточно располагать статистическим рядом наблюдений, по которому получают среднее значение прочности и его среднеквадратичное отклонение:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - X_{cp})^2}{n-1} \quad (1)$$

В подавляющем большинстве случаев в клеевом соединении реализуются параметрические отказы, характерные тем, что вероятность их возникновения в данный момент времени зависит от длительности и интенсивности эксплуатации в предыдущий период.

Соответствующие изменения свойств клевого соединения в это время называют деградацией; они могут проявляться в виде старения, накопления повреждений, изменения структуры, появления трещин, расслоения адгезива, а также по причинам насыщения влагой, маслами, топливом [9, (С. 324)].

Интенсивность этих процессов, протекающих при нормальной температуре, существенно усиливается при её повышении, причём возникают не только изменения физико-механических свойств, но и изменение его химического состава, вследствие термического распада или термоокислительной деструкции.

Изменения параметров клевого соединения возникают под влиянием внешних воздействий (рис. 1). В ходе быстропротекающих процессов реализуются, как правило, механические нагрузки с малыми амплитудами напряжений, возникающие в начальные моменты эксплуатации изделий. Ввиду малой длительности их влияние относительно невелико.

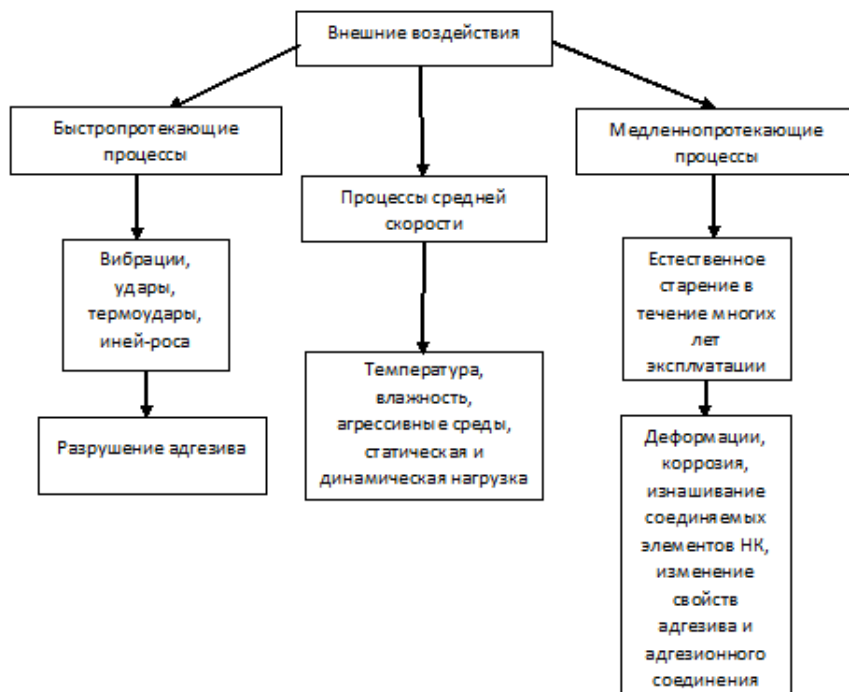


Рисунок 1 – Классификация внешних воздействий

Существенно большее значение в этих процессах играют тепловые удары и комбинированные воздействия, приводящие к раскрытию трещин и к общему снижению прочности. При процессах средней скорости протекания в клеевых соединениях возникают нагрузки на относительно низких частотах (около 5-25 Гц), уровень которых незначительно превышает предел выносливости. Однако общая продолжительность таких нагрузок составляет многие тысячи часов, по-

этому в ходе их реализации могут происходить процессы увеличения остаточных напряжений, что приводит к значительному снижению прочности клеевого соединения.

Одновременно с механическими воздействиями успевают реализоваться длительно действующие тепловые нагрузки, климатические факторы и активно действующая рабочая среда [11, (С. 236)].

Медленно протекающие процессы деградации реализуются в течение многих лет эксплуатации и длительного хранения, например, в виде изменения деформационно-прочностных свойств материала, например, под влиянием диффузии или за счёт насыщения поверхности различными газообразными компонентами, в том числе и агрессивными. Перечисленные явления могут реализоваться и без интенсивного внешнего воздействия, например, в виде естественного старения.

Расчёт надёжности клеевых соединений в первом приближении сводится к определению среднего квадратичного отклонения оценки доверительной вероятности и расчёту времени безотказной работы (рис. 2):

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad (2)$$

где  $t_i$  – время работы  $i$ -го элемента до его отказа;  
 $N_0$  – объём выборки.

Задача сводится к определению параметров предполагаемого нормального распределения по полученному в ходе испытаний статистическому ряду наблюдений какого-либо количественного показателя клеевого соединения [5, (С. 34-43)]. Всякая функция, представляющая сводную характеристику наблюдений, называется статистикой. Методика вычисления зависит от вида проводимых испытаний, обязательно удовлетворяющих условиям:

1. Все образцы доводят до заданного зачётного состояния, например, до разрушения.
2. Образцы испытывают сериями при фиксированных условиях проведения эксперимента.

При проверке соответствия исследуемого ряда нормальному распределению зависимость строят в координатной сетке для исследуемого распределения, причём по оси ординат откладывают накопленную частоту, например, вероятность разрушения, а по оси абсцисс – экспериментальные данные, например, число циклов до разрушения или соответствующие значения  $\tau$  и  $\sigma$ .



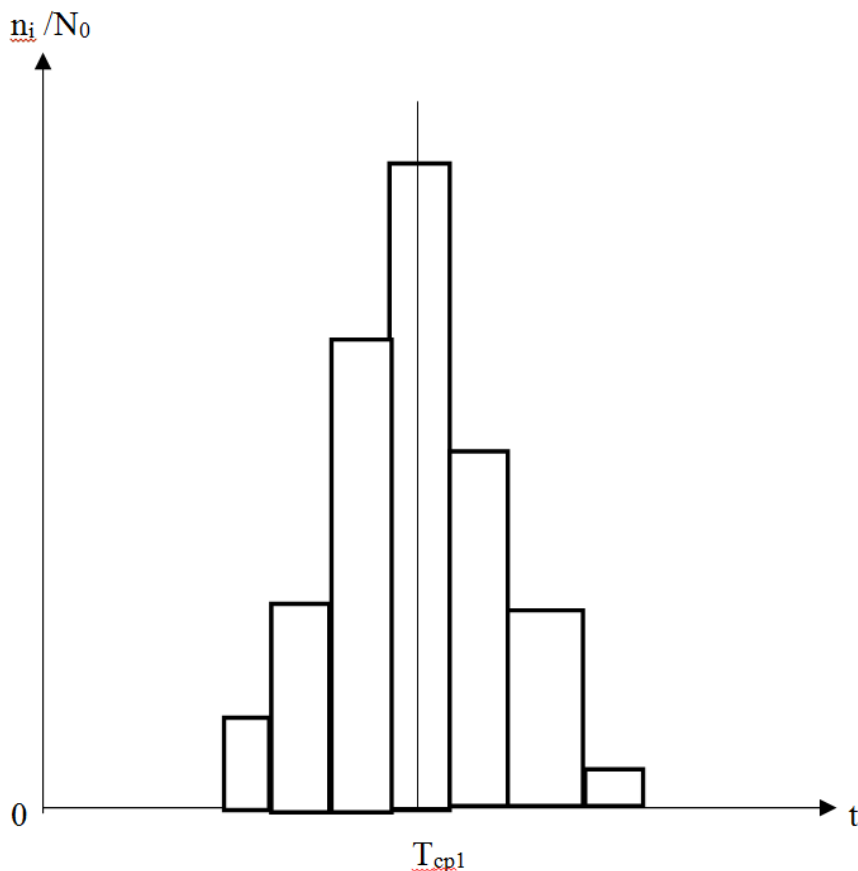


Рисунок 2 – Среднее время безотказной работы

Известно, что результаты обработки статистических рядов, как полученных путём специально поставленных экспериментов, так и посредством анализа наблюдений последствий эксплуатации, в виде средних значений и средних квадратичных отклонений имеют достоверность всего 50%. Истинные значения аналогичных характеристик могут быть получены только в процессе испытаний бесконечно большой совокупности. Характеристики, имеющие достоверность 50%, допустимо использовать при проведении качественных сопоставлений возможностей адгезивов. При вычислении запасов прочности и характеристик надёжности требуются оценки, отвечающие более высоким уровням достоверности [2, 9, 10, 11]. Под характеристикой надёжности понимают численное значение параметров надёжности, главными из которых являются:

1. Время безотказной работы – тактическая характеристика клеевого соединения.

2. Средняя наработка на отказ – техническая характеристика.

3. Интенсивность отказов – расчётная характеристика.

Перечисленные характеристики связаны между собой экспоненциальным законом надёжности. Отдельно рассматривается средняя частота отказов – экспериментальная характеристика клеевого соединения. Под вероятностью безот-

казной работы понимают вероятность того, что в заданном интервале времени отказа не произойдёт. Под временем безотказной работы (пробытия изделия в исправном состоянии) понимают математическое ожидание времени его работы до отказа:

$$P(t) = P(T \geq t), \quad (3)$$

где  $T$  – наработка до отказа.

Рассмотрим возможность применения экспоненциальных зависимостей при оценке надёжности адгезионных соединений, которая позволяет осуществить рациональный выбор адгезива и технологию склеивания, обеспечивающих работоспособность адгезионных соединений.

Отказы адгезионных соединений, например, приклеенных фрикционных накладок в тормозных устройствах автомобилей, возникают главным образом под воздействием импульсных тепловых и механических нагрузок, возникающих в процессе торможения. Эти условия характеризуются:

- тепловыми ударами в виде скачков температуры от 40-50 °С до нескольких сот градусов за 5-10 секунд;
- одновременно с тепловыми нагрузками в клеевом соединении возникают и напряжения сдвига  $\tau$ .

Естественно каждое единичное включение тормозной системы производит необратимые изменения в структуре адгезионного соединения, снижающие уровень его несущей способности. Оценка этого уровня проводится по аналогии с интенсивностью отказов элементов электронной аппаратуры.

Определение базовых характеристик интенсивности отказов адгезионных соединений проводится в соответствии с конкретными условиями эксплуатации. В рассматриваемом случае условия исследования приклеенных фрикционных накладок требуют, чтобы:

- температурные воздействия возрастали в диапазоне от 50 до 250 °С;
- напряжения сдвига  $\tau$  изменялись от 0 до 30 МПа;
- время импульсного действия указанных факторов должно реализовываться в течение 5-10 секунд [1].

Проведение расчёта для клеесборной конструкции, состоящей из нескольких клеевых соединений с известными характеристиками, возможно только при выполнении следующих условий:

1. Рассчитываемая система может быть представлена в виде цепочки последовательно соединённых элементов, и она отказывает в случае отказа любого из её элементов; такое соединение называют основным вне зависимости от действительного характера соединений, в которых находятся элементы расчёта надёжности в системе.
2. Все элементы, составляющие систему, работают в одинаковых условиях.
3. В системе отсутствуют зарезервированные элементы.

К фундаментальным задачам определения параметрической надёжности относится установление моделей отказа, которые зависят от конструкции изделия, свойств клеящего материала и технологии склеивания. В результате реали-

зации внешних воздействий характер деградации выходных параметров адгезионного соединения для любого из элементов, принадлежащих одной и той же выборке, т.е. удовлетворяющих требованиям изготовления из одного и того же клея, по единой технологии и испытанных в одинаковых условиях, будет существенно различным.

Вероятность безотказной работы системы  $P_c(t)$ , удовлетворяющей перечисленным условиям, описывается следующим произведением вероятностей безотказной работы ее элементов:

$$P_c(t) = P_1(t) * P_2(t) * P_3(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4)$$

Предварительный анализ результатов исследований позволяет сформулировать следующие выводы и рекомендации.

При склеивании деталей на предприятии должен быть организован предварительный, межоперационный и окончательный технический контроль.

Предварительному контролю следует подвергать все материалы, применяемые при склеивании, а также температурно-влажностные условия в производственных помещениях и условия хранения компонентов клеящих материалов.

Необходимо устанавливать соответствие свойств материалов требованиям ГОСТа и техническим условиям, особенно в тех случаях, когда истекает гарантированный срок их использования, задаваемый их изготовителем.

При пооперационном контроле необходимо проверять дозировку компонентов, жизнеспособность клея, качество очистки склеиваемых поверхностей, толщину клеевого шва, время открытой выдержки и режимы отверждения.

Окончательный контроль качества склеивания может быть оценён методами разрушающего и неразрушающего контроля. При разрушающем контроле оценивают прочностные показатели клеевого соединения.

При склеивании могут выделяться газообразные вещества, которые оказывают вредоносное влияние на организм человека и являются во многих случаях пожароопасными. Поэтому необходимо также оценивать показатель безопасности.

#### *Литература*

1. Болотин, В. В. Применение методов теории вероятности и теории надёжности в расчётах сооружений / В. В. Болотин // М.: – Стройиздат. – 1971. – С. 214.
2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель // М.: Издательство физико-математической литературы. – 1962. – С. 568.
3. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР. Клеи. Методы определения прочности при сдвиге. ГОСТ 14759-69 (с изменениями 16.01.2015). М.: ИПК, Издательство стандартов. – 2015. – 13.
4. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР. Клеи. Методы определения прочности при отрыве. ГОСТ 14760-69. (с изменениями 16.01.2015). М.: ИПК, Издательство стандартов. – 2015. – 7.
5. Исаев, В. Г., Озерский, М. Д. Основные направления создания отечественных много-разовых космических систем / В. Г. Исаев, М. Д. Озерский // Информационно-технологический вестник. – 2014. – № 1(01). – С. 34-43.

6. Исаев, В. Г., Озерский, М. Д. Состояние и перспективы развития отечественной системы средств выведения космических аппаратов / В. Г. Исаев, М. Д. Озерский // Информационно-технологический вестник. – 2014. – № 2(02). – С. 54-67.
7. Исаев, В. Г. О методическом подходе к оценке технического уровня агрегатов и систем космических ракетных комплексов / В. Г. Исаев // Информационно-технологический вестник. – 2015. – № 2(04). – С. 106-110.
8. Когаев, В. Н., Дроздов, Ю. Н. Прочность и износостойкость деталей машин / В. Н. Когаев, Ю. Н. Дроздов // М.: Высшая школа. – 1991. – С. 318.
9. Линник, Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений / Ю. В. Линник // М.: Издательство физико-математической литературы. – 1958. – С. 324.
10. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. Клеи полимерные. Номенклатура показателей. ГОСТ 30535-97. М.: ИПК, Издательство стандартов. – 2001. – 10.
11. Селихов, А. Ф., Чижов, В. М. Вероятностные методы в расчётах прочности самолёта / А. Ф. Селихов, В. М. Чижов // М.: Машиностроение. – 1987. – С. 236.