

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

Васильев С. В., Кащеев Н. А., Кравченко А. С., Чаплинский В. С., Бушмелев П. Е. МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ СИНТЕЗА ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТИВНОСТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ АБОНЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ.....	3
Разоренов А. Г., Медведев А. М. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	11
Теличкань В. С., Увайсов С. У., Иванов И. А., Лышов С. М. ОЦЕНКА ОТКЛОНЕНИЯ СВЕТОВОГО ЛУЧА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ САМОЛЕТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА	15
Лапшин Э. В., Корнеев А. М., Мирошникова Т. В. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ	22

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Полтавский А. В., Русяева Е. Ю., Бурба А. А. ОСНОВЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	28
Безродный Б. Ф., Майоров С. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКОВ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ	35
Хади О. Ш., Литвинов А. Н., Юрков Н. К. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОСБОРОК, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	41
Доросинский А. Ю., Виньчаков А. Н., Недорезов В. Г. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПОПЛАВКОВЫХ ДАТЧИКАХ	49
Папко А. А., Поспелов А. В., Юрков Н. К. ОБ ЭФФЕКТЕ НАЛОЖЕНИЯ СПЕКТРОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПОДВИЖНЫХ ШАССИ И МЕТОДАХ ЕГО ИСКЛЮЧЕНИЯ	56
Гречишников В. М., Бутько А. Д., Ерилкин А. А. ЛОКАЛИЗАЦИЯ МЕРЦАЮЩЕГО ДЕФЕКТА ТИПА «КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ» ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА МИКРОСХЕМЫ В BGA КОРПУСЕ.....	61

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Авакян А. А., Копненко М. В., Максимов А. К.

МОНИТОРИНГ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ
ПЛАТФОРМЫ 67

Полетаев В. П., Богданов Д. А.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ
СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СКРЫТЫМИ ОТКАЗАМИ 80

Васильев Ф. В., Ванцов С. В., Медведев А. М., Степанова М. А., Хомутская О. В.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕПАЯНЫХ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ПО ОМИЧЕСКОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ 85

Петелин К. С.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАУЧНЫХ
ПРОЕКТОВ ЗА СЧЕТ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 92

Петрянин Д. Л.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ
И НОВАЯ УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
АППРОКСИМАЦИИ 96

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Шумилин А. Д., Вершинин Н. Н., Авдонина Л. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА УЛИЦАХ ГОРОДА ПЕНЗЫ 103

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

УДК 629.78.075

DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-1

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ СИНТЕЗА ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТИВНОСТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ АБОНЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

С. В. Васильев, Н. А. Кашеев, А. С. Кравченко,
В. С. Чаплинский, П. Е. Бушмелев

Исходные положения

Наземно-космическая информационная сеть как объект исследования представляет собой систему, в которой реализована возможность обмена информацией с космическими аппаратами (КА) непосредственно или с ретрансляцией через узлы сети, в том числе между наземными абонентами, обменивающимися друг с другом сообщениями.

Требуемая оперативность предполагает реализацию следующих основных режимов обмена двоичной информацией со скоростями:

– в режимах управления КА

радиолинии Земля–КА

передача командно-программной информации (КПИ) со скоростью 0,1... 1 кбит/с; 0,1...5 кбит/с соответственно на сутки (20...30 кбит) и на 30 суток (~1 Мбит, автономный режим);

радиолинии КА–Земля

передача телеметрической информации (ТМИ) со скоростью 1; 8; 32 кбит/с;

– в режиме передачи ИЦН и ТМИ

передача информации со скоростью 150...300 Мбит/с (скорость 300 Мбит/с представляется критерияльным показателем пригодности систем к выполнению целевых задач).

Вхождение в связь должно обеспечиваться практически в реальном масштабе времени (РМВ) по сравнению с нормативной длительностью сеанса связи (~5 мин).

Требуемое время обновления информации, доставляемой потребителям, обеспечивается количеством целевых КА ДЗЗ в орбитальной группировке [1–4]. Соответствующая зависимость представлена в [5]: при количестве КА в интервале 10...50 время обновления информации соответственно определяется значениями от 4,8 до 9,6 мин.

Используемые зависимости:

– энергетический баланс радиолиний в отсутствии внешних помех описывается известным соотношением [6]

$$\frac{P_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРМ}} \lambda^2}{16\pi^2 k T_{\text{ш}} D^2} \geq \frac{P_{\text{с}}}{N_0}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ПРД}}$ – мощность передатчика; $G_{\text{ПРД}}$, $G_{\text{ПРМ}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно; λ – средняя длина волны; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/град·Гц – постоянная

Стефана – Больцмана; $T_{\text{ш}}$ – эквивалентная шумовая температура антенно-фидерных трактов и приемника; D – дальность радиолинии;

– пороговое отношение мощности сигнала к спектральной плотности шума на выходе приемника при передаче двоичной информации с вероятностью ошибочного приема двоичного символа 10^{-6} [6–7]

$$\frac{P_C}{N_0} \approx 25C, \quad (2)$$

где C – скорость передачи информации.

1. Оценка дальности действия и максимальной скорости передачи двоичной информации в НКИС на основе низкоорбитальных КА при минимальном сетевом оборудовании в зависимости от требуемого среднего количества КА (гипотетический вариант)

Минимальное сетевое оборудование предполагает использование только всенаправленных (в сфере 4π) антенн при следующих допущениях:

– минимальные значения коэффициентов усиления всенаправленных антенн КА –10дБ (в провалах диаграмм направленности). При этом из (1) следует энергетически оправданный выбор частотного диапазона – на низкочастотной границе радиоокна прозрачности атмосферы ~150 МГц ($\lambda = 2$ м);

– расчетная высота орбиты $h = 500$ км. Мощность передатчика КА не должна превышать 10 Вт. Шумовая температура приемников ~1000 К. Возможные помехи ограничены шумами приемников. Вероятность ошибочного приема двоичного информационного символа 10^{-6} .

Любой КА для беспосредственного по угловым координатам вхождения в связь должен находиться в зоне радиовидимости какого-либо «соседнего» КА (рис. 1), что должно обеспечиваться требуемыми значениями максимального количества (N) КА в составе орбитальной группировки (ОГ) в зависимости от максимальной дальности действия радиолиний.

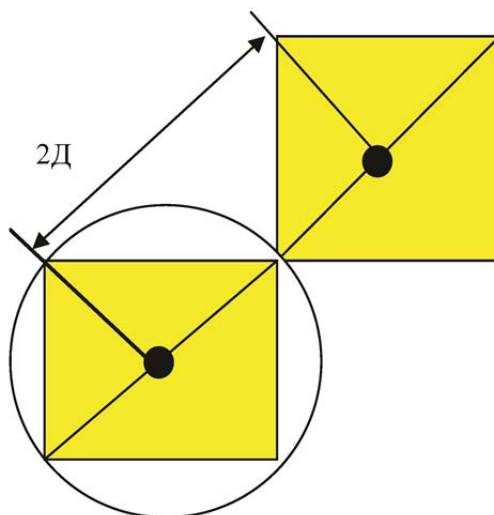


Рис. 1. К геометрическим соотношениям по определению дальности действия радиолиний КА–КА

На рис. 1 схематично изображены зоны видимости двух «соседних» КА на поверхности сферы радиусом $R_3 + h$ в виде окружностей радиусом D с центром нахождения КА и вписанных в окружности квадратов, характеризующих поверхность этой сферы, видимую КА, где $R_3 = 6370$ км – радиус Земли, h – высота орбиты.

Количество квадратов с максимально плотной укладкой на поверхности сферы радиусом $R_3 + h$ приблизительно равно минимальному количеству КА в составе глобальной НКИС, обеспечивающему вхождение в связь по межспутниковым линиям (МСЛ) без использования операции поиска по угловым координатам.

Маршрут обмена информацией организуется последовательным подключением «соседних» КА к инициатору сообщения с минимизацией количества ретрансляций в радиолиниях КА–КА. Организация маршрута осуществляется без использования баллистических целеуказаний, за исключением абонента «наземная станция», функционирующего в традиционных режимах. Всенаправленная антенна на КА распространяет информацию всем «соседним» КА. Задача поиска адресата решается путем передачи от КА-инициатора сообщения на КА, видимые инициатором, с последующей передачей сообщения по тому же алгоритму от этих КА далее по сети. Передача сообщения прекращается с нахождением адресата и передачи от него квитанции. Квитанция передается тем же способом, что и сообщение. Квитанция, полученная инициатором сообщения, прекращает операцию по передаче сообщения. Недостаток такой схемы НКИС очевиден – задействование ресурсов сети для реализации неэффективных сеансов обмена информацией при поиске абонентов.

Максимальная дальность радиолинии КА–КА по касательной к поверхности Земли между «соседними» КА представляется выражением

$$D_{\text{MAX}} = 2h\sqrt{1 + 2\frac{R_3}{h}}. \quad (3)$$

При $h = 500$ км $D_{\text{MAX}} = 5145,8$ км.

Зависимости дальности действия D и максимальной скорости C передачи двоичной информации от требуемого среднего количества N КА в составе НКИС для $P_{\text{ПРД}} = 1$ Вт и $P_{\text{ПРД}} = 10$ Вт представлены в табл. 1. На рис. 2 иллюстрируется зависимость дальности действия от требуемого среднего количества КА в составе НКИС.

Таблица 1

Зависимость дальности действия МСЛ и максимальной скорости передачи двоичной информации от требуемого среднего количества КА в составе НКИС

N	45	48	74	132	297	1186	4743
D , км	5145,8	5000	4000	3000	2000	1000	500
C , бит/с, при $P_{\text{ПРД}} = 1$ Вт	27	29	45,9	80,8	183,7	735	2940
C , бит/с, при $P_{\text{ПРД}} = 10$ Вт	270	290	459	808	1837	7350	29400

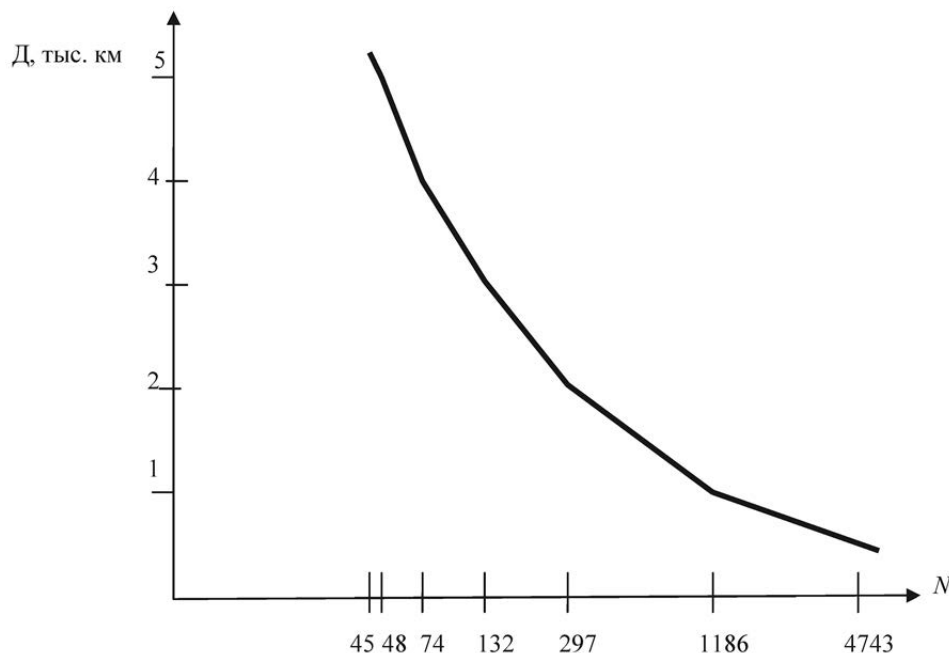


Рис. 2. Зависимость дальности действия D от требуемого среднего количества N КА в составе НКИС

Следует отметить, что отношение C/N согласно табл. 1 остается примерно постоянным и равным 0,6...0,62 при $P_{\text{прд}} = 1$ Вт и 6...6,2 при $P_{\text{прд}} = 10$ Вт, т.е. зависимость $C(N)$ является практически линейной.

2. Оценка характеристик НКИС с использованием специализированных СР на низких орбитах с баллистически организованной структурой

Структурная схема такой НКИС представлена на рис. 3, где АРУ ИУК – автономный региональный (в пределе однопунктный) унифицированный (совмещающий функции наземного комплекса управления – НКУ и наземного спецкомплекса – НСК) ИУК.

Исходные данные для проведения расчетов

Для режимов управления КА:

– спутники-ретрансляторы (СР), являющиеся узлами сети и образующие собственно сеть, размещаются равномерно на одной орбите с высотой $h_{\text{СР}} = 1500$ км в количестве $N_{\text{СР}}$, достаточном для обеспечения связи с целевыми КА в любой точке их орбиты;

– целевые КА (на высоте орбиты 500 км) сетевым оборудованием не оснащаются и взаимодействуют либо с наземной станцией (традиционный непосредственный *неоперативный* обмен информацией), либо с СР с применением всенаправленных или остронаправленных антенн.

Для реализуемости высокоскоростных режимов оперативного обмена информацией в НКИС могут применяться остронаправленные антенны K_U -диапазона частот ~ 15 ГГц или миллиметрового диапазона волн (ММДВ) ~ 5 мм (частотный диапазон ~ 60 ГГц).

Остальные характеристики при проведении расчетов определены исходными положениями.

Межспутниковые радиолнии (диапазон частот 60 ГГц)

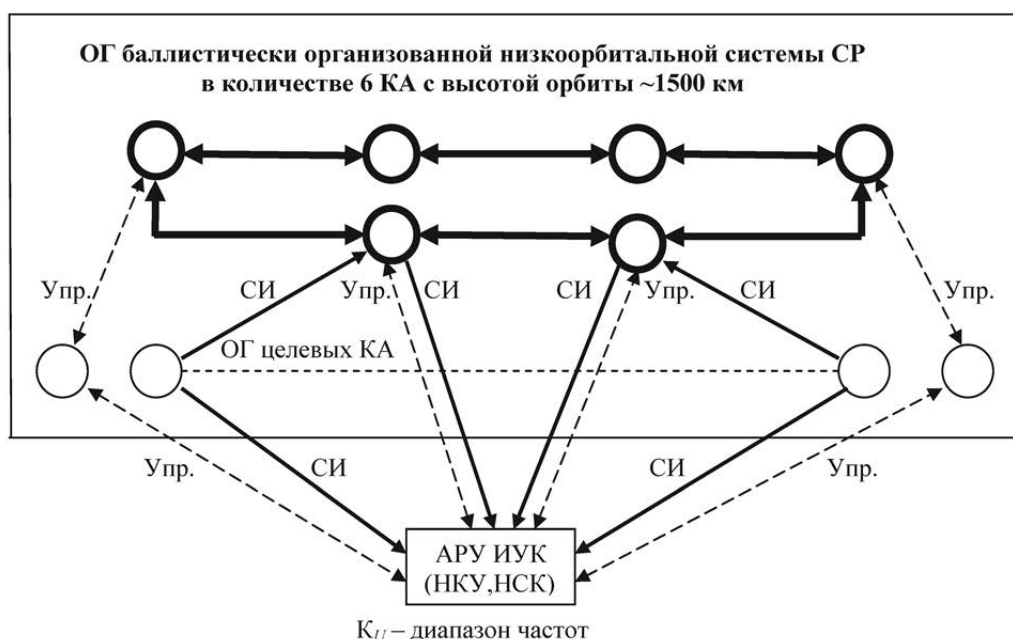


Рис. 3. Структурная схема НКИС с использованием специализированных СР на низких орбитах

Результаты расчетов

Максимальная дальность действия радиолний КА–СР

Для КА с высотой 500 км, находящихся в одной орбитальной плоскости с СР, максимальная дальность действия $D_{\text{МАХ}}$ радиолний КА–СР определяется по аналогии с выражением (3) значением

$$D_{\text{МАХ}} = 500 (1 + 2R_3 / 500)^{0,5} + 1500 (1 + 2R_3 / 1500)^{0,5} = 7195 \text{ км.}$$

Максимальная дальность действия радиолний КА–СР при нахождении КА на максимальном удалении от СР (рис. 4) определяется значением

$$D_{\text{МАХ}} = [(R_3 + 500)^2 + (R_3 + 1500)^2]^{0,5} = 10\,147 \text{ км.}$$

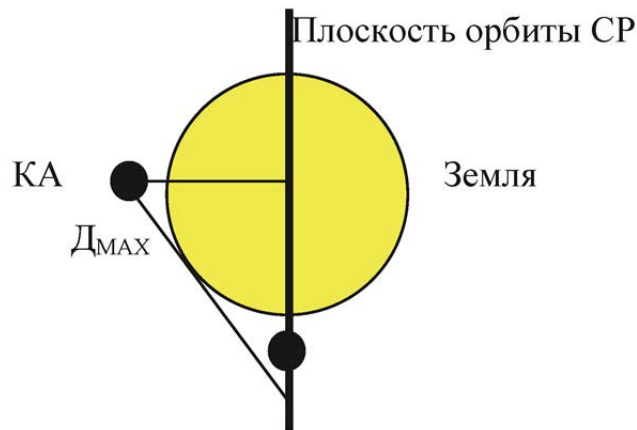
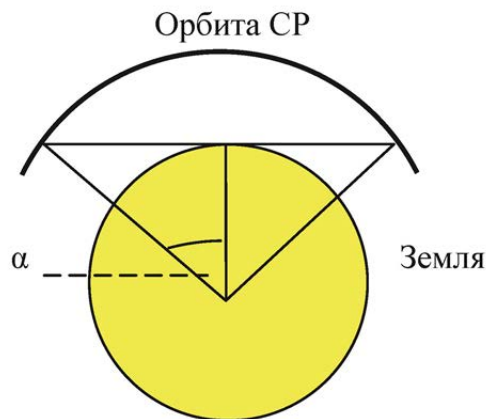


Рис. 4. К геометрическим соотношениям по определению максимальной дальности действия радиолиний КА–СР

Максимальная дальность радиолиний СР–СР определяется выражением

$$D_{\text{СР}} = 2\pi (6370 + 1500) / N_{\text{СР}}.$$

Зависимости $D_{\text{СР}}$ и количества $N_{\text{В}}$ (видимых СР из любой точки орбиты целевого КА) от количества СР в составе НКИС представлены в табл. 2. Количество $N_{\text{В}}$ определяется для схемы, когда КА находится в одной плоскости с орбитой СР, как округленное до целого значения в меньшую сторону количество СР в пространстве, ограниченном телесным углом из центра Земли 2α (рис. 5).



$$\sin \alpha = h_{\text{СР}} (1 + 2 R_3 / h_{\text{СР}})^{0,5} / (R_3 + h_{\text{СР}}) = 0,59, 2\alpha = 72^\circ.$$

Рис. 5. К определению телесного угла 2α видимости орбиты СР

В телесном угле 72° находится $72/360 = 0,2$ протяженности орбиты СР. Для КА, находящихся в других плоскостях, количество видимых СР может возрастать до максимального значения N .

Таблица 2

Зависимости $D_{\text{СР}}$ и количества $N_{\text{В}}$ от количества СР в составе НКИС

$N_{\text{СР}}$	4	5	6	7	8	9	10
$D_{\text{СР}}$, км	12356	9885	8238	7061	6178	5492	4943
$N_{\text{В}}$	0	1	1	1	1	1	2

Из табл. 2 следует возможность оперативного обмена информацией в НКИС при количестве СР 5...10 и дальности действия радиолинии СР–СР соответственно 9885...4943 км.

Характеристики радиолиний НКИС представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики радиолиний НКИС

Радиолиния	Диапазон частот, ГГц	Мощность передатчика, Вт	Тип антенны	Диаметр зеркала параболической антенны, м	Скорость передачи информации
СР–СР ($D_{\text{СР}} = 8238$ км)	15 60	10 10	Параболическая Параболическая	1 1	212 Мбит/с* 3394 Мбит/с
КА–СР ($D_{\text{max}} = 10147$ км)	15 60	1 1	Всенаправленная на КА Параболическая на СР Параболическая на КА Параболическая на СР	– 1 1 1	100 бит/с* 223 Мбит/с* (при $C = 300$ Мбит/с мощность передатчика КА должна составлять ~1,5 Вт)
СР–КА ($D_{\text{max}} = 10147$ км)	60	10	Параболическая на КА Параболическая на СР	1 1	2230 Мбит/с

Примечание: * – характеристики радиолиний, не соответствующие требованию по скорости передачи информации 300 Мбит/с – основание для выбора частотного диапазона МСЛ 60 ГГц, применения параболических антенн на целевых КА и увеличения мощности передатчика целевых КА до уровня ~1,5 Вт.

Выводы

1. Многоспутниковая НКИС без сетевого оборудования радиолиний КА–КА может функционировать в режимах малых скоростей обмена информацией, не соответствующих предъявленным в настоящее время требованиям, при количестве КА-абонентов в составе сети – десятки и сотни, что приемлемо только для перспективных маломассогабаритных КС с использованием микро- и нанотехнологий и особыми для таких КС задачами.

2. Проведенные оценки определяют необходимость создания и применения межспутниковых радиолиний НКИС в диапазоне частот 60 ГГц. Для радиолиний «Земля–КА» и «Земля–СР» целесообразно применение K_L -диапазона частот.

3. Оценки характеристик НКИС с использованием специализированных СР на геостационарной орбите (ГСО) известны и характеризуются значительно большими затратами при реализации радиолиний протяженностью ~40 тыс. км и более по сравнению с вариантом использования системы специализированных СР на низких орбитах, который представляется наиболее предпочтительным.

Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Список литературы

1. Modeling the Effect of Local Thermal Effect on the Stress-strain state of the Conductive Layer Printed Circuit Board / A. Telegin, A. Zatylnkin, M. Kalaev, N. Goryachev, N. Yurkov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43827–43830.
2. Study Algorithm Speed Signal Generating Feedback for Information-measuring System Control Active Vibration Protection Red / P. Bushmelev, A. Pivkin, B. Kuatov, A. Lysenko, S. Zatylnkin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43831–43834.
3. Калаев, М. П. Анализ современных средств определения динамических характеристик конструкции / М. П. Калаев, О. Н. Герасимов, А. В. Лысенко // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – Сочи, 2015. – Т. 1. – С. 555–557.

4. Таньков, Г. В. Исследование влияния частоты внешнего воздействия на величину инерционной силы в электрорадиоэлементах бортовой радиоаппаратуры / Г. В. Таньков, А. В. Затылкин, Д. В. Ольхов // Научный альманах. – 2015. – № 9, вып. 11. – С. 829–833.
5. Кашеев, Н. А. Методы и основные результаты оценки, требования и рекомендации по обеспечению эффективности автономных региональных унифицированных информационно-управляющих комплексов космических систем наблюдения / Н. А. Кашеев, О. И. Герасимов, В. С. Чаплинский // Управление и высокие технологии. – 2014. – № 4 (28). – С. 109–119.
6. Вимберг, Г. П. Энергетические характеристики космических радиолоний / Г. П. Вимберг, Ю. В. Виноградов, А. Ф. Фомин ; под ред. О. А. Зенкевича. – М. : Сов. радио, 1972. – 346 с.
7. Головин, П. Д. Применение метода квазиобразцового интервала времени для раздельного измерения параметров параметрических датчиков / П. Д. Головин, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 149–157.

Васильев Сергей Владимирович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, начальник отдела,
Научно-исследовательский центр
Центрального научно-исследовательского института
Войск воздушно-космической обороны
(141091, Россия, Московская обл., г. Королев,
ул. Тихонравова, 29)
E-mail: pashakolendo@mail.ru

Кашеев Николай Александрович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
космических систем им. А. А. Максимова –
филиал Государственного космического
научно-производственного центра им. М. В. Хруничева
(141091, Россия, Московская обл., г. Юбилейный,
ул. Тихонравова, 27)
E-mail: info@niiks.com

Кравченко Алексей Сергеевич

научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
космических систем им. А. А. Максимова –
филиал Государственного космического
научно-производственного центра им. М. В. Хруничева
(141091, Россия, Московская обл., г. Юбилейный,
ул. Тихонравова, 27)
E-mail: pashakolendo@mail.ru

Чаплинский Владимир Степанович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
космических систем им. А. А. Максимова –
филиал Государственного космического
научно-производственного центра им. М. В. Хруничева
(141091, Россия, Московская обл., г. Юбилейный,
ул. Тихонравова, 27)
E-mail: info@niiks.com

Бушмелев Петр Евгеньевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
научно-исследовательский отдел,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kipra@pnzgu.ru

Vasil'ev Sergej Vladimirovich

candidate of technical sciences,
senior stuff scientist, head of department,
Scientific Research Center
of Central Scientific Research Institute
of Armies of Aerospace Defence
(141091, 29 Tihonravov street, Korolev,
Moscow region, Russia)

Kashcheev Nikolay Aleksandrovich

doctor of technical sciences, professor,
senior research manager,
Scientific Research Institute of Space Systems
named after A. A. Maksimov –
branch of State Space Scientific Production Center
named after M. V. Hrunichev
(141091, 27 Tihonravov street, Yubileyny,
Moscow region, Russia)

Kravchenko Aleksey Sergeevich

stuff scientist,
Scientific Research Institute of Space Systems
named after A. A. Maksimov –
branch of State Space Scientific Production Center
named after M. V. Hrunichev
(141091, 27 Tihonravov street, Yubileyny,
Moscow region, Russia)

Chaplinskiy Vladimir Stepanovich

doctor of technical sciences, professor,
senior research manager,
Scientific Research Institute of Space Systems
named after A. A. Maksimov –
branch of State Space Scientific Production Center
named after M. V. Hrunichev
(141091, 27 Tihonravov street, Yubileyny,
Moscow region, Russia)

Bushmelev Petr Evgenyevich

candidate of technical sciences,
senior stuff scientist,
scientific research department,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. Решена задача обоснования характеристик информационно-управляющих комплексов (ИУК) космических систем (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с обеспечением требований по времени вхождения в связь и скоростям обмена информацией между наземными и космическими абонентами, организованными в низкоорбитальную наземно-космическую информационную сеть (НКИС). Приведена оценка дальности действия и максимальной скорости передачи двоичной информации в НКИС на основе низкоорбитальных КА при минимальном сетевом оборудовании в зависимости от требуемого среднего количества КА. Получена оценка характеристик НКИС с использованием специализированных спутников-ретрансляторов (СР) на низких орбитах с баллистически организованной структурой. Показано, что многоспутниковая НКИС без сетевого оборудования радиолиний КА–КА может функционировать в режимах малых скоростей обмена информацией, не соответствующих предъявляемым в настоящее время требованиям, при количестве КА-абонентов в составе сети – десятки и сотни, что приемлемо только для перспективных маломассогабаритных КС с использованием микро- и нанотехнологий и особыми для таких КС задачами. На основе проведенных оценок определена необходимость создания и применения межспутниковых радиолиний НКИС в диапазоне частот 60 ГГц. Для радиолиний «Земля-КА» и «Земля-СР» целесообразно применение КУ-диапазона частот. Показано, что НКИС характеризуются значительно большими затратами при реализации радиолиний протяженностью свыше 40 тыс. км по сравнению с вариантом использования системы специализированных СР на низких орбитах, который представляется наиболее предпочтительным.

Ключевые слова: информационно-управляющий комплекс, наземно-космическая информационная сеть, оперативность обмена информацией, межспутниковые радиолинии, ретрансляторы.

Abstract. The problem study the characteristics of information and control systems (IAA) Space Systems (SS) remote sounding of the Earth (RSE) with maintenance of requirements on occurrence time in communication and to speeds of information interchange between the land and space subscribers organised in low orbital a land-space information network (LOLSIN) is solved. The estimation range and the maximum data rate information in binary N'kisi through LEO satellites with minimal network equipment according to the required average number of satellites. An estimate of the characteristics of LOLSIN using specialized satellite-repeaters (CP) in low orbits with ballistic organized structure. It is shown that Multisatellite LOLSIN without network equipment of radio SC-SC can operate in modes of small information exchange rates do not meet currently required in the requirements, with the number of SC-subscribers on the network – tens and hundreds of what is acceptable only for prospective malomassogabaritnyh COP using micro and nano technologies and special for these tasks COP. On the basis of assessments determined by the need to create and use of inter-satellite radio links LOLSIN in the frequency range 60 GHz. For radio links "Earth-spacecraft" and "Earth-CP" appropriate use of frequencies KU-band. It is shown that LOLSIN characterized by much larger costs in the implementation of radio, which is over 40 thousands kilometers, compared to a use of specialized SR system in low orbits, which is the most preferred.

Key words: information and control complex, a land-space information network, efficiency of information interchange, inter-satellite radio, repeaters.

УДК 629.78.075

Методы и результаты синтеза характеристик оперативности обмена информацией между абонентами информационно-управляющих комплексов на основе низкоорбитальных информационных сетей / С. В. Васильев, Н. А. Кашеев, А. С. Кравченко, В. С. Чаплинский, П. Е. Бушмелев // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 3–10. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-1.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Г. Разоренов, А. М. Медведев

Введение

Непременным атрибутом электронной аппаратуры и, в частности, авионики, являются монтажные подложки в виде печатных плат с основаниями из композиционных материалов: армирующая стеклоткань, эпоксидная смола, медная фольга.

Печатные платы являются физической основой межсхемных соединений электронных компонентов. Высокая интеграция современных электронных компонентов обуславливает необходимость в высокой плотности межсоединений, которые можно реализовать только за счет применения многослойных печатных плат (МПП), на основе композиционных материалов с многочисленными сквозными металлизированными отверстиями для трансверсальных соединений. Капиллярные каналы в композиционных основаниях МПП создают условия для токов утечки между отверстиями вдоль слоев стеклоткани, что создает ощутимую вероятность потенциальных отказов изоляции электронной аппаратуры (рис. 1).

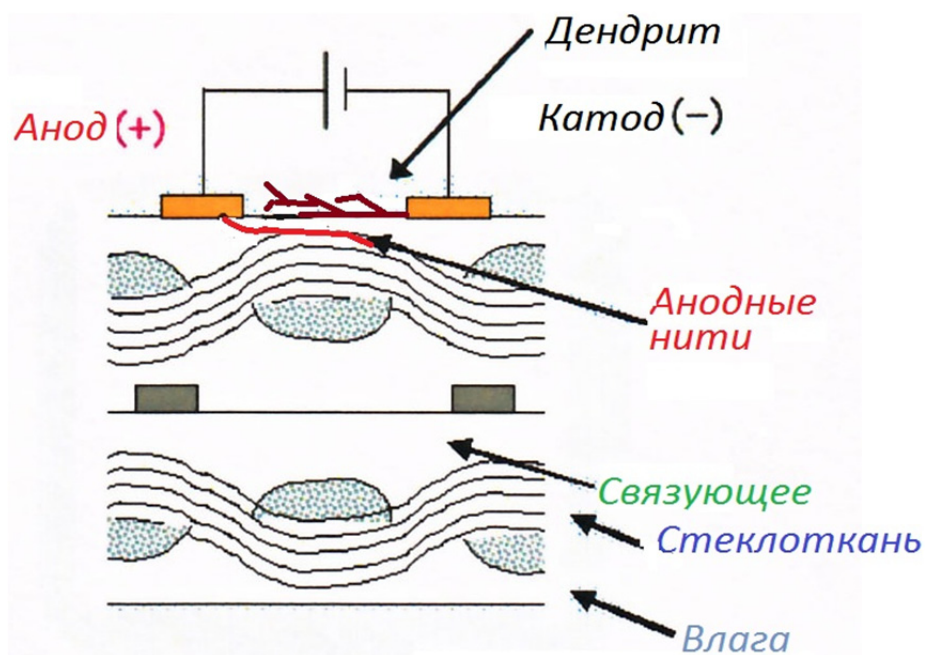


Рис. 1. Электрохимические процессы в структуре композиционного материала МПП

Дефекты электроизоляционной конструкции МПП

Анализ отказов изоляции МПП демонстрирует, что их основными источниками являются локальные дефекты диэлектрика: участки, не заполненные смолой, местные расслоения или слабое сцепление слоев МПП, инородные включения и загрязнения между слоями МПП. Указанные дефекты так или иначе приводят к образованию продольных микрополостей вдоль слоев МПП [1].

Предусмотренная технологией операция химической очистки отверстий перед металлизацией несколько увеличивает размеры внутренних полостей и оставляет в них технологические загрязнения. Геометрия межслоевых микрополостей такова, что обмен жидкости в них при отмывке плат затруднен, поэтому они не освобождаются от загрязнений в нужной мере. Последующие процессы химического меднения отверстий усугубляют загрязнение микрополостей, а последующая гальваническая металлизация закупоривает их в полостях расслоений (рис. 2).

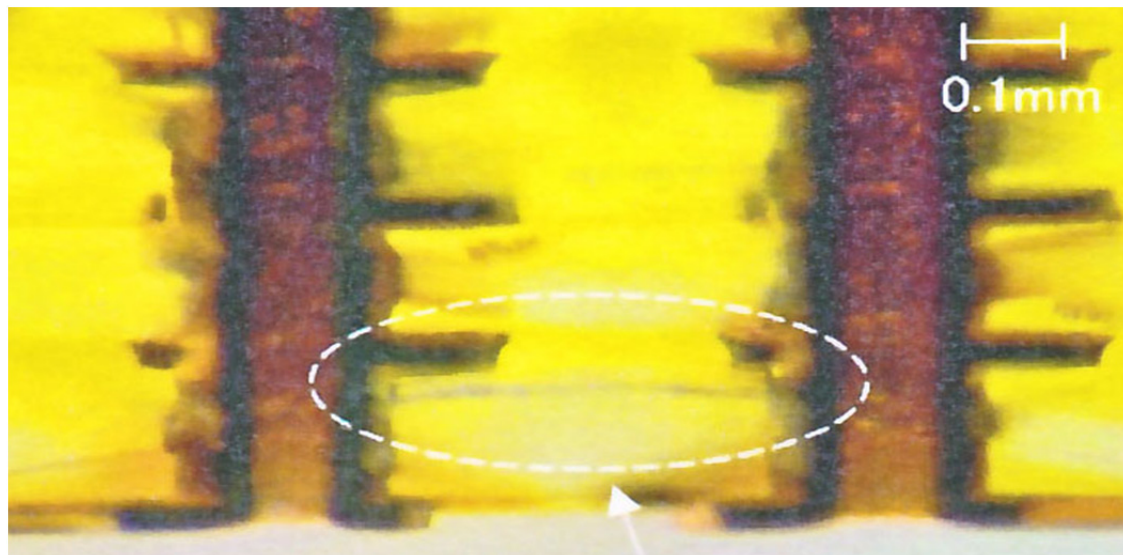


Рис. 2. Накопление загрязнений в микрополостях слоев МПП

Может показаться, что в процессе химического и гальванического меднения происходит обычная металлизация микрополости. На самом деле это может иметь место, когда межслойные полости достигают такого размера, что в них становится возможным обмен растворов, необходимый для нормального обеспечения процесса осаждения. Однако такие дефекты легко распознаются при визуальном контроле или при контроле сопротивления изоляции, поэтому для их обнаружения нет необходимости принимать особые меры [2].

Труднее выявить дефекты расслоений, если их размер не превышает 100 мкм. Такие микрополости заполняются водой на первой же операции отмывки, а растворы химического меднения попадают в них только в результате диффузионных процессов в ограниченном количестве. Гальваническая металлизация тонких расслоений тоже затруднена из-за ограниченной рассеивающей способности электролитов. Этим можно объяснить достаточно высокий уровень сопротивления изоляции МПП с дефектами в виде межслойных микрополостей. Тем не менее уже в процессе наладки аппаратуры многослойные платы с такими дефектами проявляют склонность к отказам, выражающимся в постепенном снижении сопротивления изоляции до значений, вызывающих сбой в работе функциональных узлов и блоков (рис. 3). Если такие дефекты были заложены между цепями питания МПП, сопротивление изоляции постепенно снижается до значений, вызывающих возгорание МПП в работающем устройстве [3–4].

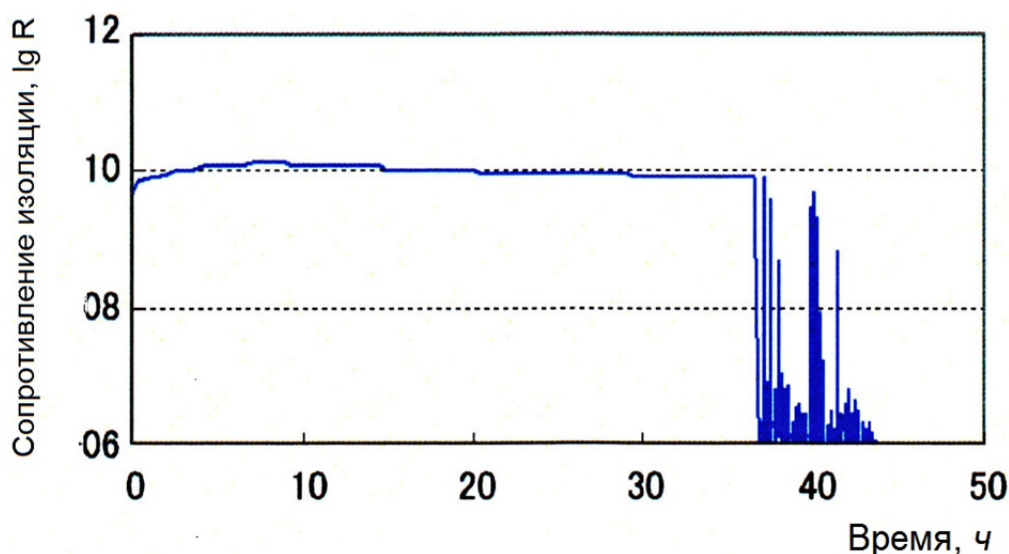


Рис. 3. Время до сбоя из-за отказа изоляции

Наиболее вероятным сбоем является снижение пробойного напряжения, вызванного за счет снижения поверхностного сопротивления изоляционного материала, основной причиной которого являются микрополости.

Микрополости – основной источник отказов изоляции МПП

Наличие в межслоевых микрополостях МПП водорастворимых химических загрязнений способствует образованию в них электролитов даже в условиях нормальной влажности, так как молекулы воды, диффундируя через толщу МПП, задерживаются у частиц солей, стремясь растворить их. В связи с тем, что упругость паров воды, насыщенной солью, меньше упругости паров чистой воды, внутрь локального дефекта, содержащего водорастворимые загрязнения, диффундирует вода. При этом стенки межслоевой полости растягиваются, что приводит или к дальнейшему расслоению МПП, или благодаря упругому натяжению стенок микрополости создается противодействие дальнейшему поглощению воды. Интенсивному поглощению влаги способствует также повышенная пористость (водопоглощение) тонких фольгированных материалов. Заполнение межслоевых микрополостей влагой создает условия для протекания электролиза, в результате которого на изоляционном участке образуются проводящие перемычки, как показано на рис. 4.

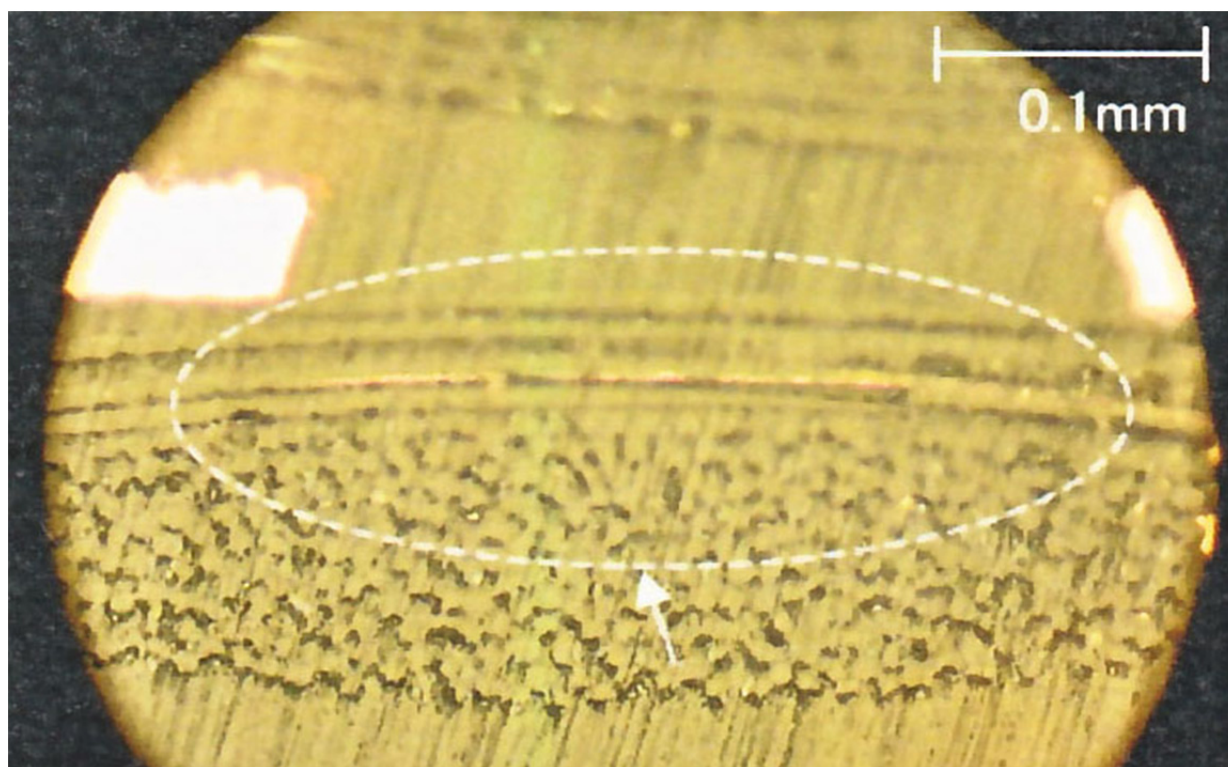


Рис. 4. Проводящая перемычка в полости диэлектрического основания

Таким образом, плотность межсоединений в современной аппаратуре авионики настолько велика, что даже незначительное число дефектов диэлектрика, наличие между слоями гигроскопических или жировых загрязнений (в частности, с поверхности кожи человека) создают достаточно ощутимую вероятность ослабления изоляции.

Список литературы

1. Медведев, А. М. Электрохимическая миграция в композиционных материалах, используемых в электроизоляционных конструкциях авионики / А. М. Медведев // Конструкции из композиционных материалов. – 2013. – № 3. – С. 45–55.
2. Ванцов, С. В. Надежность входного контроля / С. В. Ванцов, А. М. Медведев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4(12). – С. 91–100.

3. Жаднов, В. В. Автоматизированная система расчета показателей долговечности электронных средств / В. В. Жаднов, В. Н. Кулыгин // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3(11). – С. 3–38.
4. Жаднов, В. В. Учет влияния внешних воздействующих факторов при прогнозировании характеристик безотказности и долговечности электронной компонентой базы / В. В. Жаднов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – № 1 (13). – С. 13–18.

Разоренов Александр Геннадиевич

инженер, директор,
Научно-исследовательский институт
инновационных технологий
(121467, Россия, г. Москва, ул. Молдавская, 5, стр. 2)
E-mail: AlexOst1991@mail.ru

Медведев Аркадий Максимович

доктор технических наук, профессор,
кафедра технологии приборостроения,
Президент Гильдии профессиональных технологов
приборостроения,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)
(125993, Россия, г. Москва,
ул. Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: medvedevam@bk.ru

Аннотация. Одна из причин отказов аппаратуры – плотность межсоединений, настолько большая, что выполненная из композиционных материалов печатная плата подвержена электрохимическим процессам формирования металлических мостиков по капиллярным каналам вдоль слоев слоистых пластинок в условиях повышенной влажности и постоянного напряжения. Это явление характерно для слаботочной аппаратуры авионики и мало изучено. Данное исследование проведено применительно к изоляционным подложкам печатных плат из композиционных материалов. Дан анализ дефектов электроизоляционной конструкции многослойной печатной платы (МПП). Показано влияние электрохимических процессов в структуре композиционного материала МПП. Подчеркнуто, что микрополости являются основным источником отказов изоляции МПП. Предложены меры по предотвращению отказов изоляции печатных плат, что даже незначительное число дефектов диэлектрика, наличие между слоями гигроскопических или жировых загрязнений (в частности, с поверхности кожи человека) создают достаточно ощутимую вероятность ослабления изоляции.

Ключевые слова: авионика, печатные платы, композиционные материалы, электрохимический отказ, надежность, деградация электрической изоляции.

Razorenov Aleksandr Gennadievich

engineer, director,
Research Institute of Innovative Technologies
(121467, build 2, 5 Moldavskaja street, Moscow, Russia)

Medvedev Arkadiy Maksimovich

doctor of technical science, professor,
sub-department of avionic technology,
President of Guild of Professional
Electronics Technologist,
Moscow Aviation Institute
(National Research University)
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Abstract. One of the causes of failures of equipment based on the printed circuit board, made of composite materials with high density interconnections is determined by the electrochemical process of formation of metal bridges on capillary channels along the layers of laminated plastics under conditions of high humidity and constant voltage. This phenomenon is characteristic for low current avionics equipment and little studied. This study was carried out in relation to the insulating substrates of PCB from composite materials. Analysis of defects of electrical design multi-layer printed circuit board (WFP). The influence of electrochemical processes in the composite structure of WFP. Stressed that the mikropolosti are the main source of isolation failures by WFP. Proposed measures for preventing failures isolation of printed circuit boards. that even a small number of defects, presence of dielectric between layers of hygroscopic or grease (in particular, from the surface of human skin).

Key words: avionics, circuit boards, composite materials, electrochemical failure, reliability, electrical insulation degradation.

УДК 621.3.049

Разоренов, А. Г.

Электрохимическая модель отказов электроизоляционных конструкций из композиционных материалов / А. Г. Разоренов, А. М. Медведев // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 11–14. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-2.

ОЦЕНКА ОТКЛОНЕНИЯ СВЕТОВОГО ЛУЧА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ САМОЛЕТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА

В. С. Теличкань, С. У. Увайсов, И. А. Иванов, С. М. Лышов

Одним из наиболее сложных маневров, с которым сталкивается любой пилот самолета, является посадка на взлетно-посадочную полосу (ВПП). Необходимо учитывать одновременно множество динамических факторов. Такая операция требует от пилота особенной концентрации внимания и мгновенного принятия решений.

Задача существенно усложняется, если самолет необходимо посадить на палубу авианесущего крейсера, поскольку корабль находится постоянно в движении. К дополнительным трудностям этого маневра добавляются турбулентные потоки воздуха, возникающие за кормой корабля, а также относительно небольшая длина ВПП, которая составляет около 200 метров. Совершить приземление при минимальной скорости самолета 240 км/ч на такой маленький участок невозможно без вспомогательных устройств.

В настоящее время одним из таких устройств является установка, называемая аэрофинишером (рис. 1) [1]. Данная установка замедляет движение самолета и полностью его останавливает после зацепления гаком самолета за трос аэрофинишера. Для увеличения вероятности зацепления за трос на корабле размещаются четыре таких аэрофинишера, каждый из которых разнесен на несколько метров друг от друга. Таким образом, шансы благополучно сесть на палубу возрастают в четыре раза.



Рис. 1. Зацепление гаком самолета за трос аэрофинишера

Однако даже такое количество тросов не гарантирует успешной посадки на корабль. В соответствии с международной практикой угол приземления самолета на ВПП должен составлять 3° . На этот угол пилоту необходимо вывести самолет заблаговременно. Вертикальная проекция полета под этим углом называется глиссადой [2].

Такой же угол посадки применяется и для палубной авиации. Однако при посадке самолета на корабль придерживаться выбранной траектории крайне сложно из-за непрерывной качки в различных направлениях, а также движения судна. Вывести летательный аппарат на глиссаду в таких сложных условиях пилоту помогает оптическая система посадки (ОСП) (рис. 2) [3].



Рис. 2. Оптическая система посадки

Современные ОСП, как правило, состоят из пяти блоков-фонарей с линзами, которые расположены под углом 10 угловых минут относительно друг друга. При этом отклонение угла наклона не должно превышать одной угловой минуты. Каждый фонарь светит собственной индикацией под определенным углом. При заходе на глиссаду пилот ориентируется на центральный фонарь, который светит зеленым. Боковые сигнальные огни служат дополнительным ориентиром для пилота и находятся на одной линии с зеленым фонарем. В случае отклонения от глиссадного курса пилот увидит индикацию другого цвета соседнего фонаря, которая будет находиться выше или ниже уровня сигнальных огней.

ОСП не подвержена раскачиванию при бортовой и килевой качке корабля. Она находится на собственной платформе, которая удерживает всю систему в постоянном горизонтальном положении. Однако погрешность позиционирования существующей системы может достигать до 5 угловых минут [4].

Для устранения существующих недостатков в работе предлагается новая конструкция ОСП. Она имеет 12 фонарей для большей информативности пилота. Для увеличения дальности свечения в каждом фонаре применяются светодиодные источники света. Такое решение имеет более длительный срок службы источников света и лишено проблемы запотевания линз в корпусе фонаря.

Среди особенностей разрабатываемой конструкции ОСП можно выделить меньшую массу и применение более современных приводных систем. Предлагаемое решение поможет снизить погрешность позиционирования ОСП более чем в 2 раза.

В различных погодных условиях оптическая система посадки подвергается воздействию дополнительных внешних возмущающих факторов, влияющих на ее работу. Так, например, необходимо учитывать влияние электронных компонентов самой системы, в результате работы которых возникает дополнительный нагрев конструкции ОСП [5].

Влияние температурного воздействия приводит к деформации конструкции, что вносит дополнительные погрешности в работу ОСП. В соответствии с условиями эксплуатации конструкция оптической системы работает на открытом воздухе и должна обеспечивать работоспособность в широком диапазоне температур от -40 до 70 °C и оставаться в пределах допуска отклонений. Светодиодные модули, температура которых может достигать до 150 °C, оказывают ощутимое влияние на температурные характеристики системы.

Для обеспечения устойчивости к воздействию температурных факторов необходимо определить характер влияния внешних сред и светодиодных модулей на конструкцию.

Если рассматривать конструкцию ОСП как гетерогенную анизотропную систему, то задача математического моделирования сводится к решению системы дифференциальных уравнений равновесия относительно компонента вектора перемещения [6]:

$$\nabla \cdot ({}^4C(r) \cdot \nabla u) + f_v = 0,$$

где $r = x_k e_k = x_1 e_1 + x_2 e_2 + x_3 e_3$ – радиус-вектор рассматриваемой точки; $u = u_k e_k$ – вектор перемещения; $\nabla = e_k \frac{\partial}{\partial x_k}$ – набла-оператор Гамильтона; ${}^4C(r) = C_{ijkl} e_i e_j e_k e_l$ – тензор упругих моделей;

$f = f_{vk} e_k$ – вектор объемных сил; символ « $\cdot$ » обозначает операцию свертки.

Одним из основных факторов, учитываемых при описании уравнений равновесия, является тензор деформаций, вызванных изменением температуры:

$$e_{ij}^T = \alpha_{ij} \Delta T,$$

где ΔT – изменение температуры в точке; α_{ij} – тензор коэффициентов линейного теплового расширения. Таким образом, изменение температуры сказывается на деформации конструкции и подчиняется закону линейного расширения.

В твердом теле основным механизмом расширения и других тепловых эффектов является увеличение амплитуды колебаний кристаллической решетки. Очевидно, что при различных температурных воздействиях на конструкцию, будет меняться угол наклона световых лучей ОСП. Из технического задания следует, что угол между соседними фонарями должен составлять 10 угловых минут. Погрешность установки каждого из них не должна превышать одной угловой минуты. Такое позиционирование достигается путем точной юстировки [7].

Для формирования светового луча группа светодиодных модулей устанавливается на задней стенке фонаря. Каждая группа состоит из 18 светодиодов. В рабочем режиме свечения каждый светодиод потребляет 1 Вт. КПД светодиода составляет 20%, что составляет 0,2 Вт потребляемой энергии. Оставшиеся 0,8 Вт расходуется на нагрев светодиода. Для более эффективной работы светодиодов и увеличения их ресурса необходимо применить соответствующую систему охлаждения. Отвод тепла от кристаллов светодиодов обеспечивается специально разработанным радиатором [8].

Методика проектирования конструкции ОСП, устойчивой к деформации в результате теплового влияния внутренних модулей, представлена на рис. 3.

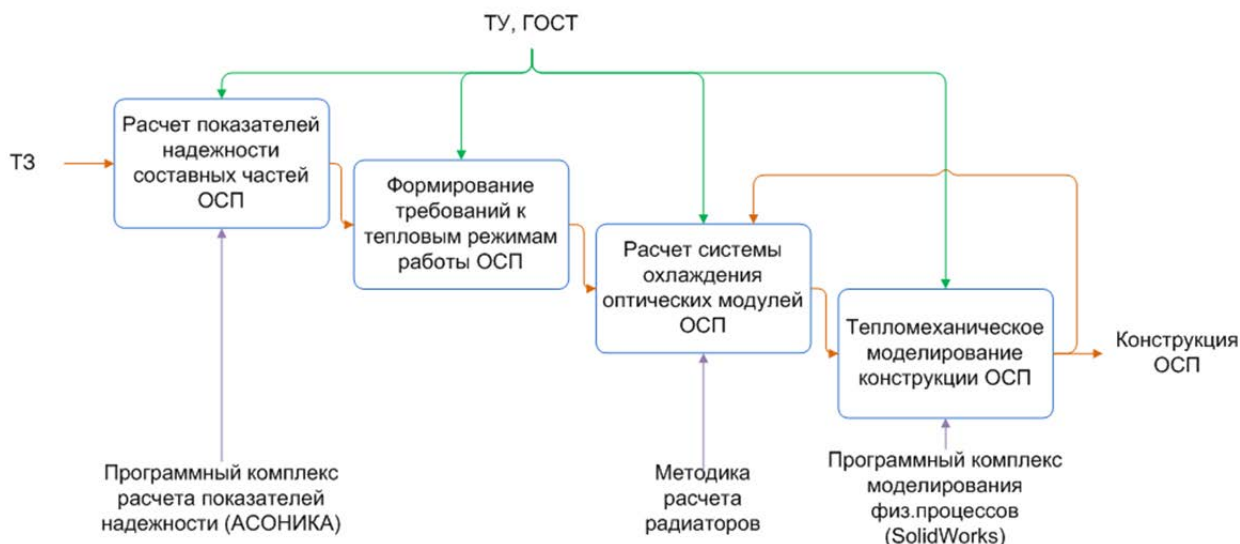


Рис. 3. Методика проектирования конструкции ОСП с учетом теплового воздействия

Представленная методика учитывает необходимость проектирования системы охлаждения, обеспечивающей заданный в техническом задании ресурс в различных температурных условиях. С учетом спроектированной системы охлаждения (радиаторов), обладающей определенными массогабаритными и теплофизическими параметрами, осуществляется компьютерное математическое моделирование влияния нагрева элементов на деформацию конструкции. При этом для минимизации углов отклонения световых лучей от заданных требований, исследуются различные варианты построения конструкции.

Приведенные в работе расчеты показали, что температура задней стенки для данного варианта конструкции и выбранных радиаторов при температуре окружающей среды равной -40 и 70 °C составляет -22 и 94 °C соответственно.

Воздействие температуры окружающей среды будет приходиться на всю поверхность конструкции, в то время как отводимое тепло от радиаторов светодиодных модулей оказывает влияние лишь на заднюю стенку ОСП. Очевидно, что из-за большего нагрева задней стенки конструкции световые лучи будут менять свой угол наклона в сторону центрального луча, поскольку конструкция ОСП крепится к основанию в центральной своей части.

С целью оценки устойчивости к заданному воздействию необходимо для каждого светового модуля назначить две контрольные точки, привязанные к конструкции ОСП, так, чтобы через них можно было провести линию, соответствующую направлению светового луча (рис. 4).

В результате температурного воздействия в стойке ОСП наблюдается перемещение H , которое приводит к смещению светового луча.

Угол отклонения светового луча (синяя линия на рис. 4) рассчитаем как

$$\alpha = \arctg \frac{H}{L} \text{ и, соответственно: } \alpha' = \alpha * 60.$$



Рис. 4. Смещение светового луча в результате деформации конструкции

При разработке конструкции ОСП необходимо учитывать высокие требования по надежности, которые предъявляются к работе всей системы. Очевидно, что более массивная конструкция будет иметь большую инерционную составляющую. Для устранения этого эффекта и более быстрого выравнивания ОСП в горизонтальное положение во время качки требуется применение мощных и высокоточных приводных систем. Это в свою очередь приводит к большому потреблению энергии, что в условиях дальнего плавания весьма критично.

Учитывая вышеописанную ситуацию, необходимо минимизировать массу конструкции, что позволит применить менее мощные приводные системы. В связи с этим первая итерация анализа конструктивного исполнения проведена для исходного варианта стойки, выполненной из стандартных алюминиевых уголков и профилей (рис. 5).

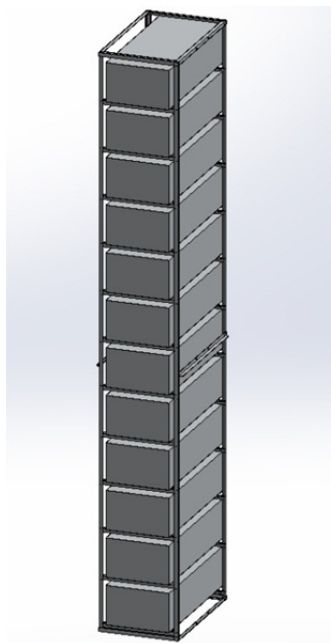


Рис. 5. Конструкция исходного варианта стойки ОСП

Анализ несущей стойки оптической системы с использованием программного комплекса SolidWorks позволил выявить отклонения. Наибольшие значения получились для верхнего и нижнего фонаря при минимальной температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, которые составили 2,31 угл. мин и 2,07 соответственно (рис. 6,а). При температуре $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ отклонения угла наклона для верхнего и нижнего фонаря получились 1,65 и 1,47 соответственно (рис. 6,б).

Анализ результатов моделирования позволил определить температурные режимы, которым соответствуют максимальные перемещения при различных видах воздействий, наблюдаемые для верхнего светового модуля. Значения температур, соответствующие им перемещения и рассчитанные отклонения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Угол отклонения светового луча для исходной конструкции ОСП

Температура среды, $^{\circ}\text{C}$	Температура радиатора, $^{\circ}\text{C}$	Перемещение, мм	Отклонение, угл. мин, α'
-40	-22	0,273	2,31
70	94	0,218	1,65

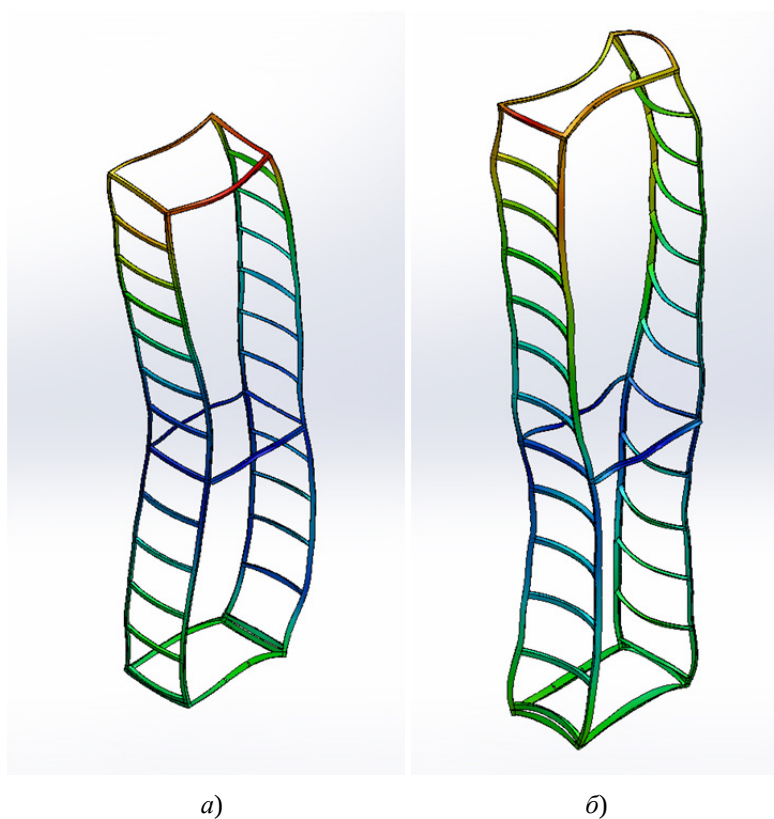


Рис. 6. Деформация исходной конструкции ОСП под воздействием температур:
а – $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; б – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Как видно на рис. 6 и табл. 1, рассматриваемая конструкция при воздействии максимально низких и высоких температур приводит к отклонению светового луча фонаря в обоих случаях. Отклонение луча должно составлять не более одной угловой минуты. Отклонения, полученные при -40 и $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, превышают допустимое значение на 1,31 и 0,65 угл. мин соответственно (табл. 1). Отсюда следует, что предложенный вариант не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к конструкции.

С целью повышения устойчивости были проведены дополнительные доработки конструкции, в результате которых получен вариант со стальным профилем для задней стенки конструкции ОСП.

Для данного варианта конструкции также были получены отклонения при температурах -40 и $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результаты расчета максимального угла отклонений светового луча для двух типов воздействий приведены в табл. 2.

Таблица 2

Угол отклонения светового луча для конструкции ОСП со сплошными стенками

Температура среды, °С	Температура радиатора, °С	Перемещение, мм	Отклонение, угл. мин, α'
–40	–22	0,084	0,81
70	94	0,071	0,77

Таким образом, в результате проведенных численных исследований методами математического моделирования было предложено конструктивное исполнение стойки оптической системы посадки. Максимальный угол отклонения светового луча при термическом воздействии при температуре радиаторов 95 °С составляет 0,81 и 0,77 угл. мин для –40 и 70 °С соответственно. Полученные отклонения удовлетворяют требованиям, предъявляемым к работе данной системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00414).

Список литературы

1. Шолков, Е. О том, что превращает палубу в ВПП. Взлетно-посадочные системы авианосцев / Е. Шолков, В. Друшляков // Авианепорама. – 2016. – № 1. – С. 25–32.
2. Оптическая Система посадки. – URL: http://ru.encydia.com/en/Оптическая_Система_посадки/
3. Температурный коэффициент линейного расширения. – URL: <http://temperatures.ru/>
4. Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский [и др.]; под общ. ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – С. 585–784.
5. Новости Военно-Промышленного Комплекса России и других стран мира. – URL: <http://vpk.name>
6. Aviation Explorer. – URL: <http://www.aex.ru/>
7. Юрков, Н. К. Риски отказов сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1(5). – С. 18–24.
8. Белова, В. В. Моделирование надежности системы обеспечения теплового режима космического аппарата на этапе электрических испытаний / В. В. Белова // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 31–40.

Теличкань Виталий Сергеевич

аспирант,
Сургутский государственный университет
(628412, Россия, г. Сургут, проспект Ленина, 1)
E-mail: katulev@mail.ru

Увайсов Сайгид Увайсович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиоэлектроники
и телекоммуникаций,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
(123458, Россия, г. Москва, ул. Таллинская, 34)
E-mail: uvaysov@yandex.ru

Иванов Илья Александрович

кандидат технических наук, старший преподаватель,
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»
(101000, Россия, г. Москва, ул. Мясницкая, 20)
E-mail: i.ivanov@hse.ru

Лышов Сергей Максимович

аспирант,
Сургутский государственный университет
(628412, Россия, г. Сургут, проспект Ленина, 1)
E-mail: dmx_101@mail.ru

Telichkan' Vitalij Sergeevich

postgraduate student,
Surgut State University
(628412, 1 Lenin avenue, Surgut, Russia)

Uvaysov Saygid Uvaysovich

doctor of technical sciences, professor,
head of department of radioelectronics
and telecommunications,
Moscow State Institute of Electronics and Mathematics
of National Research University
"High School of Economics"
(123458, 34 Tallinskaya street, Moscow, Russia)

Ivanov Il'ya Aleksandrovich

candidate of technical sciences, senior lecturer,
National Research University
"High School of Economics"
(101000, 20 Myasnitskaya street, Moscow, Russia)

Lyshov Sergey Maksimovich

postgraduate student,
Surgut State University
(628412, 1 Lenin avenue, Surgut, Russia)

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния температурных факторов на работу оптической системы посадки самолета на палубу корабля. Определены температурные режимы работы конструкции системы и особенности их воздействия. Рассчитаны параметры отклонения конструкции в заданном диапазоне температур. Проведено компьютерное моделирование различных вариантов конструкции с использованием программного комплекса Solid Works. На основе численных экспериментов предложен вариант конструктивного исполнения оптической системы посадки, удовлетворяющий требованиям условий эксплуатации.

Ключевые слова: воздействие температуры на конструкцию, деформация конструкции, методика проектирования.

Abstract. The work deals with the influence of temperature factors to work optical landing system on the deck of the ship. Temperature regimes of construction system and features impact of are identified. Effects of sound pressure characteristics are calculated in a predetermined range. A computer simulation of various construction options are conducted with using software Solid Works. On the basis of numerical experiments proposed variant of constructional fulfillment of optical landing system that meets the requirements of operating conditions.

Key words: effect of temperature on construct, deformation of construct, design methodology.

УДК 628.931

Оценка отклонения светового луча оптической системы посадки самолета под воздействием температурного фактора / В. С. Теличкань, С. У. Увайсов, И. А. Иванов, С. М. Лышов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 15–21. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-3.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

Э. В. Лапшин, А. М. Корнеев, Т. В. Мирошникова

Острая конкуренция производителей на рынке металла на фоне увеличения объемов производства и расширения ассортимента продукции требует от руководителей предприятий использования современных методов оценки затрат.

Существующая методика определения затрат, основанная на учете стоимости среднестатистического вида продукции и распределении всей суммы затрат с помощью коэффициентов трудности по группам марок сталей, не дает возможности выявить действительные издержки на производство отдельного вида продукции. Поэтому необходима комплексная оценка влияния основных технологических параметров на расход ресурсов. С этой целью необходимо получить матрицу затрат (размера $(K \times R)$) [1]:

$$Z_{\Sigma} = \begin{bmatrix} Z_1^{x_1} Z_2^{x_1} \dots Z_R^{x_1} \\ Z_1^{x_2} Z_2^{x_2} \dots Z_R^{x_2} \\ \dots \dots \dots \\ Z_1^{x_k} Z_2^{x_k} \dots Z_R^{x_k} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где Z_{Σ} – прогнозируемая матрица суммарных затрат как функция технологических параметров; $Z_i^{x_j}$, $i = 1, \dots, R$; $j = 1, \dots, K$ – прогноз i -й статьи затрат по X_j -му технологическому фактору.

Для нее будет сформирована обобщенная матрица коэффициентов пропорциональности K_{Σ} :

$$K_{\Sigma} = \begin{bmatrix} K_{x_1}^{Z_1} K_{x_1}^{Z_2} \dots K_{x_1}^{Z_R} \\ \dots \dots \dots \\ K_{x_k}^{Z_1} K_{x_k}^{Z_2} \dots K_{x_k}^{Z_R} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где K_{Σ} – обобщенная матрица коэффициентов пропорциональности; $K_{x_k}^{Z_i}$, $i = 1, \dots, R$; $j = 1, \dots, K$ – коэффициент пропорциональности, учитывающий количество единиц i -го элемента затрат, приходящихся на единицу технологической величины x_k [2].

Необходимо сформировать матрицу средних значений технологических параметров для всех видов продукции X (размером $(n \times k)$):

$$X_{\Sigma} = \begin{bmatrix} X_1^1 & X_1^2 & \dots & X_1^k \\ X_2^1 & X_2^2 & \dots & X_2^k \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ X_n^1 & X_n^2 & \dots & X_n^k \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Здесь X_i^j – среднее значение j -го технологического параметра для i -го вида продукции; k – число используемых технологических параметров.

В итоге, имея матрицы объемов производства M , матрицу основных технологических параметров для всех видов продукции X_{Σ} , можно определить суммарный расход технологических параметров и выразить его с помощью системы уравнений (ссылка на статью)

$$diag(MX_{\Sigma}) \cdot K_{\Sigma} = Z_{\Sigma}. \quad (4)$$

Полученная система уравнений позволяет прогнозировать расход ресурсов в зависимости от основных технологических параметров [3].

С помощью данной системы уравнений можно оценивать возможные затраты как функцию основных технологических параметров. Матрица K_{Σ} вновь формируется на основе базовой информации о производстве и затратах. Получив обобщенную матрицу коэффициентов пропорциональности, можно прогнозировать расход ресурсов в зависимости от основных технологических параметров. При этом можно на новых данных вновь сформировать матрицу K_{Σ} и сравнить с исходной. Проводимая итерация позволяет получить динамику изменения коэффициентов пропорциональности и описать ее с помощью модели временных рядов.

Кроме того, получая матрицу Z_{Σ} , необходимо оценить влияние параметров на элементы затрат, что позволит сократить матрицы используемых технологических величин, и построить зависимость вида [4]

$$z_i = f(z_i^{x_1}, \dots, z_i^{x_k}), i = 1, \dots, R. \quad (5)$$

По полученным таблицам прогноза можно оценить влияние различных параметров технологического процесса на изменение затрат.

Получив обобщенную матрицу коэффициентов пропорциональности K_{Σ} по каждому из исследуемых периодов, можно осуществить прогноз расхода ресурсов на другие периоды по всем коэффициентам K_{Σ} .

Например, используя матрицу коэффициентов пропорциональности за базовый период $K_{\Sigma \text{ баз}}$ и суммарный расход технологических параметров за исследуемый период $diag(MX_{\Sigma})_{\text{исслед}}$, можно спрогнозировать расход ресурсов в текущем периоде по базовым коэффициентам

$$Z_{\Sigma(\text{исслед/баз})} = diag(MX_{\Sigma})_{\text{исслед}} \cdot K_{\Sigma \text{ баз}}, \quad (6)$$

где $Z_{\Sigma(\text{исслед/баз})}$ – матрица суммарных затрат за исследуемый месяц по базовому; $diag(MX_{\Sigma})_{\text{исслед}}$ – диагональная матрица за исследуемый период; $K_{\Sigma \text{ баз}}$ – матрица коэффициентов по базовому месяцу.

Аналогично получаем матрицы прогнозов на все i -е исследуемые месяцы по коэффициентам пропорциональности базовых j -х месяцев [5]:

$$Z_{\Sigma(I,J)} = diag(MX_{\Sigma})_{(I)} \cdot K_{\Sigma(J)}. \quad (7)$$

Если исследуется 12 месяцев, то итоговая матрица прогнозов будет содержать [12 (количество матриц $K_{\Sigma(J)}$)] · [11 (количество прогнозируемых месяцев), т.е. $diag(MX_{\Sigma})_{(I)}$] = [132 строки].

Итоговая таблица для каждого элемента затрат имеет следующий вид (табл. 1).

Таблица 1

Модель исследования влияния технологических параметров на расход ресурсов

Прогнозы затрат по периодам	Технологические параметры					Фактический расход ресурсов $Z_{R(I)}$
	X_1	X_2	X_3	...	X_k	
Прогноз на первый период по второму периоду						$Z_{R(1)}$
Прогноз на первый период по третьему периоду		$Z_{R(I,J)}^{X_k}$				$Z_{R(2)}$
...						
Прогноз на двенадцатый период по одиннадцатому периоду						$Z_{R(12)}$

П р и м е ч а н и е: X_k – k -й технологический параметр; $Z_{R(I,J)}^{X_k}$ – величина прогноза на J -й период расхода ресурса R по данным I -го периода по X_k параметру.

С помощью табл. 1 можно построить модель зависимости фактического расхода ресурсов от прогнозируемых значений технологических параметров

$$Z_i = b_0 + \sum_{j=1}^K b_j Z_{i(I,J)}^{X_j}, i = 1, \dots, R. \quad (8)$$

Так как значения фактических и прогнозируемых расходов ресурсов соизмеримы по величине, то коэффициенты b_j позволяют судить о влиянии прогнозируемого значения элемента затрат по соответствующему технологическому параметру на реальное значение исследуемого ресурса. По табл. 1 можно построить корреляционную матрицу, позволяющую также оценить эффективность использования отдельных параметров для прогноза затрат.

Корреляционный и регрессионный анализ можно использовать для оценки влияния параметров без получения прогнозов $Z_i^{X_j}$. В этом случае можно оценить влияние суммарного расхода каждого технологического параметра $\sum_n MX_k$ на элементы затрат. Формируется табл. 2.

Таблица 2

Суммарный расход технологических параметров и элементы затрат

Суммарный расход технологических параметров $\sum_{i=1}^n MX_k$				Элементы затрат		
Исследуемые месяцы	Технологические параметры			$Z_{i(I)}$		$Z_{R(I)}$
	X_1		X_k			
январь						
февраль						
.....	$\sum_{i=1}^n MX_k$				$Z_{R(I)}$	
.....						
ноябрь						
декабрь						

По полученным данным из таблицы можно построить корреляционную матрицу и модели прогноза расхода ресурсов от «суммарного расхода» технологических параметров

$$Z = c_0 + \sum_{j=1}^k c_j \cdot \sum_{i=1}^n m_i x_i^k, i = 1, \dots, R, \quad (9)$$

где x_i^k – нормированное значение k -го технологического параметра для i -го типоразмера; m_i – суммарная масса i -го типоразмера.

Рассмотрим пример влияния технологических параметров на расход электроэнергии. В качестве входных величин рассмотрены прогнозируемые значения энергозатрат, полученные на основе параметров: масса сляба X_1 , температура полосы за пятой клетью X_2 , температура конца прокатки X_3 , температура смотки X_4 , содержание углерода в стали X_5 , содержание марганца в стали X_6 , суммарное относительное обжатие X_7 , относительное обжатие в черновой группе клеток X_8 , содержание серы в стали X_9 , содержание никеля в стали X_{10} , относительное обжатие в чистовой группе клеток X_{11} , содержание алюминия в стали X_{12} , время нагрева сляба X_{13} .

Линейная модель расхода электроэнергии имеет вид

$$Y = 73,663 - 1,088Z_{X_1} + 10,174Z_{X_2} - 3,050Z_{X_3} - 1,515Z_{X_4} - 0,714Z_{X_5} - 0,317Z_{X_6} - 0,715Z_{X_7} - 0,311Z_{X_8} + 0,511Z_{X_9} - 1,274Z_{X_{10}} - 0,002Z_{X_{11}} + 0,051Z_{X_{12}} + 0,250Z_{X_{13}}.$$

Значения коэффициентов модели зависимости расхода электроэнергии, выражаемой в стоимостном выражении, от исследуемых технологических параметров приведены на рис. 1.

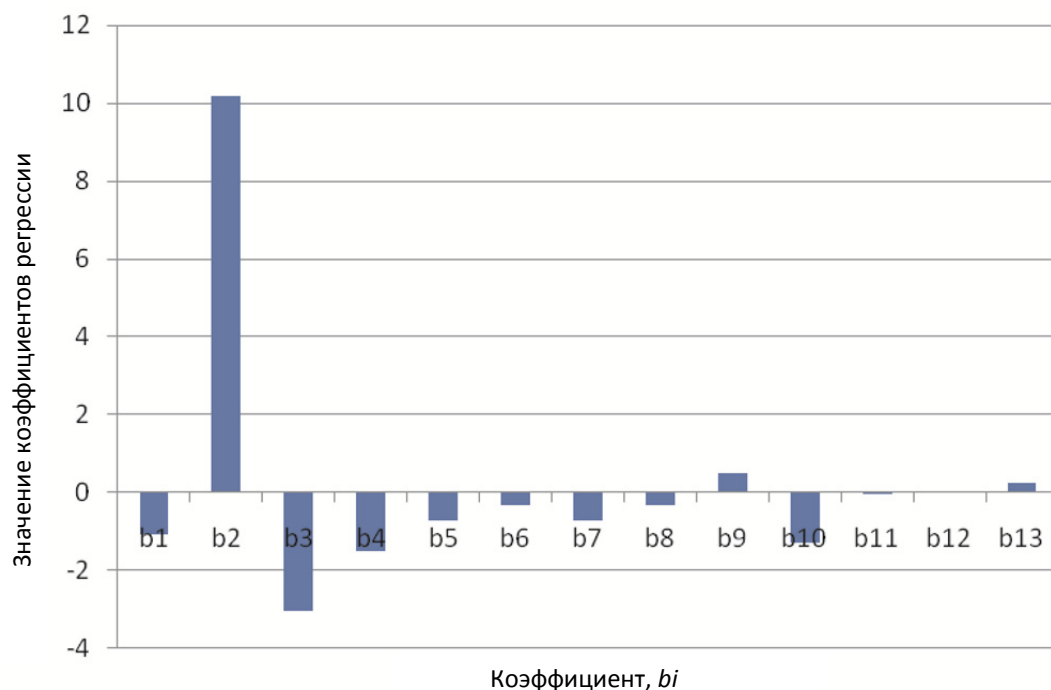


Рис. 1. Значения коэффициентов модели зависимости расхода электроэнергии от исследуемых технологических величин

Так как прогнозируемые значения электроэнергии, полученные на основе параметров, и фактический расход электроэнергии являются соизмеримыми величинами, то величина коэффициентов модели может указывать на степень влияния параметров на выход. По данной модели можно сделать вывод о значительном влиянии на расход электроэнергии температуры сляба за пятой клетью, температуры конца прокатки и смотки, массы рулона.

Анализ влияния технологических параметров на затраты можно проводить с помощью дисперсионного анализа. Для оценки влияния технологических параметров на затраты проведен дисперсионный анализ для каждого сочетания параметров. В каждой паре параметр, имеющий большее значение коэффициента Фишера, получал единицу. В итоге по количеству единиц можно судить о наиболее важных технологических параметрах.

Результаты влияния технологических параметров на расход электроэнергии с помощью однофакторного дисперсионного анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Оценка влияния технологических параметров на расход электроэнергии

Номер параметра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Название параметра	Вес	T5	T12	Tсм	C	Mп	E1	E2	S	Ni	E3	Al	Время
	1>2												
	1<3	2<3											
	1>4	2>4	3>4										
	1>5	2>5	3>5	4>5									
	1>6	2>6	3>6	4>6	5<6								
	1>7	2>7	3>7	4>7	5<7	6<7							
	1>8	2>8	3>8	4>8	5<8	6<8	7<8						
	1>9	2>9	3>9	4>9	5>9	6>9	7>9	8>9					
	1>10	2>10	3>10	4>10	5>10	6>10	7>10	8>10	9<10				
	1>11	2>11	3>11	4>11	5>11	6>11	7>11	8>11	9>11	10>11			
	1>12	2>12	3>12	4>12	5>12	6>12	7>12	8>12	9>12	10>12	11<12		
	1>13	2>13	3>13	4>13	5>13	6>13	7>13	8>13	9<13	10>13	11<13	12<13	

Сводные результаты влияния технологических параметров на расход электроэнергии с помощью однофакторного дисперсионного анализа приведены в виде гистограммы (рис. 2).



Рис. 2. Суммарное количество преимуществ технологических параметров при анализе расхода электроэнергии

Исследования с помощью дисперсионного и регрессионного анализов позволяют выявить технологические параметры, оказывающие существенное влияние на расход ресурсов.

Представленные примеры демонстрируют схожесть результатов, полученных разными способами. Рассмотренные подходы образуют систему математических моделей анализа экономических показателей производства.

Список литературы

1. Корнеев, А. М. Методика расчета затрат с учетом влияния технологических факторов / А. М. Корнеев, Т. В. Мирошникова // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4.2(30). – С. 251–255.
2. Корнеев, А. М. Методы идентификации сквозной технологии производства металлопродукции : моногр. / А. М. Корнеев. – Липецк : ЛГПУ, 2009. – 286 с.
3. Михеев, М. Ю. Интеллектуальная геоинформационная система мониторинга и контроля состояний пространственно распределенных технически сложных объектов / М. Ю. Михеев, И. Ю. Семочкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 48–51.
4. Семенов, С. С. Основные положения системного анализа при оценке технического уровня сложных систем с применением экспертного метода / С. С. Семенов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 45–53.
5. Маркелов, В. В. Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Э. Н. Камышная // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 35–42.

Лапшин Эдуард Владимирович

доктор технических наук, профессор,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: elapshin@mail.ru

Корнеев Андрей Мстиславович

кандидат технических наук, доцент
кафедра автоматизированных систем управления,
Липецкий государственный
технический университет
(398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30)
E-mail: weenrok@mail.ru

Lapshin Edward Vladimirovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Korneev Andrey Mastislavovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of automated control systems,
Lipetsk State Technical University
(398600, 30 Moskovskaya street, Lipetsk, Russia)

Мирошникова Тамара Владимировна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра прикладной математики
и информационных технологий,
Липецкий государственный
педагогический университет
имени П. П. Семёнова-Тянь-Шанского
(398020, Россия, г. Липецк, ул. Ленина, 42)
E-mail: tomik_art@mail.ru

Аннотация. Существующая методика определения затрат, основанная на учете стоимости среднестатистического вида продукции и распределении всей суммы затрат с помощью коэффициентов трудности по группам марок сталей, не дает возможности выявить действительные издержки на производство отдельного вида продукции. Поэтому необходима комплексная оценка влияния основных технологических параметров на расход ресурсов. Имея матрицы объемов производства M , матрицу основных технологических параметров для всех видов продукции X_{Σ} , можно определить суммарный расход технологических параметров и выразить его с помощью системы уравнений. Полученная система уравнений позволяет прогнозировать расход ресурсов в зависимости от основных технологических параметров. С помощью данной системы уравнений можно оценивать возможные затраты как функцию основных технологических параметров. Матрица K_{Σ} вновь формируется на основе базовой информации о производстве и затратах. Получив обобщенную матрицу коэффициентов пропорциональности, можно прогнозировать расход ресурсов в зависимости от основных технологических параметров. При этом можно на новых данных вновь сформировать матрицу K_{Σ} и сравнить с исходной. Проводимая итерация позволяет получить динамику изменения коэффициентов пропорциональности и описать ее с помощью модели временных рядов. Исследования с помощью дисперсионного и регрессионного анализов позволяют выявить технологические параметры, оказывающие существенное влияние на расход ресурсов. Представленные примеры демонстрируют схожесть результатов, полученных разными способами. Рассмотренные подходы образуют систему математических моделей анализа экономических показателей производства.

Ключевые слова: математические модели, регрессионный анализ, дисперсионный анализ.

УДК 338.512.669.14

Лапшин, Э. В.

Разработка моделей анализа экономических показателей сложной промышленной системы / Э. В. Лапшин, А. М. Корнеев, Т. В. Мирошникова // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 22–27. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-4.

Miroshnikova Tamara Vladimirovna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of applied mathematics
and information technology,
Lipetsk State Pedagogical University
named after P. P. Semenov-Tyan-Shanskiy
(398020, 42 Lenin street, Lipetsk, Russia)

Abstract. The current method of determining costs based on average product cost accounting and allocation of the full amount of the cost by using the coefficients of the difficulties for groups grades makes it impossible to identify the actual costs for the production of a single product. Therefore, an integrated assessment of the impact of the basic technological parameters on resource consumption. Having matrix production volumes (M), matrix of main technological parameters for all types of products X_{Σ} , you can determine the total consumption of technological parameters and express it through a system of equations. The resulting system of equations to predict resource consumption depending on the basic technological parameters. With the help of this system of equations you can evaluate the possible costs as a function of the basic technological parameters. Matrix (K) $_{\Sigma}$ is once again is based on basic information on production and costs. Having obtained the generalized matrix coefficients of proportionality, it is possible to predict resource consumption depending on the basic technological parameters. You can on new data matrix ΣK again and compare with the original. Ongoing iteration allows you to get dynamic changes and describe its proportionality coefficients using a time series model. Research using dispersion and regression analyses to identify technological parameters, having a significant impact on the consumption of resources. Presented examples demonstrate the similarity of the results obtained in different ways. Reviewed approaches form a system of mathematical models for the analysis of economic indicators of production.

Key words: mathematical models, the regressive analysis, the dispersive analysis.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

УДК 004.93

DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-5

ОСНОВЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

А. В. Полтавский, Е. Ю. Русяева, А. А. Бурба

Введение

В современном мире наблюдается переизбыток неструктурированной текстовой информации, поэтому так актуален вопрос о возможностях ее адекватного анализа. Само понятие «информация» имеет настолько широкий спектр определений, что сделалось, по сути, лишь зонтичным брендом. Поэтому мы изначально обратились к концептуальным истокам и, совместив философско-культурологический и технический подходы, выяснили, что информацией можно считать лишь тот феномен [1], который содержит следующие компоненты: автор, адресат, канал передачи и некий код [2], к примеру, вербальный или математический язык в устной или письменной форме (сам текст). А при таком раскладе становится очевидным, что для определения авторства текстовой информации необходимо выработать определенный подход и разработать инновационный механизм для ее анализа. При разработке такого инструментария мы решили применить современные возможности вычислительных систем.

В плане инновационной проблематики такого рода разработку можно отнести к расширению арсенала аналитических возможностей программных средств. В частности, данный подход можно применять как дополнение к активно используемой в России программе Антиплагиат¹, поскольку предлагаемый алгоритм дает возможность повысить уровень достоверности определения авторства текста по вероятностным критериям.

Изначально, мы задались вопросом: каковы инновационные данные и технические возможности анализа текстовой информации? В результате поисков ответа на этот вопрос впервые было создано вычислительное устройство [3], которое может быть использовано при расчетах, связанных с идентификацией текстовой информации и в случаях необходимости определения ее авторства. Такая техническая задача еще не решалась, тем более, подобным образом. Данный факт объясняется еще и тем, что пока отсутствовали комбинации методов содержательного анализа различных частей текстовой информации. Новизна подхода заключается в том, что в него положены формальные логические и числовые методы как основы для принципа работы вычислительного устройства. Данное обстоятельство, в итоге, повышает возможность принимать более объективные решения при определении и в случае необходимости при защите авторских прав создателей текстовой информации.

1. Алгоритм анализа текстовой информации

Числовой и логико-содержательный анализ текстовой информации осуществляется следующим образом. Два отрывка текстовой информации сравниваются путем сопоставления инфор-

¹ Российский интернет-проект, представленный как программно-аппаратный комплекс для проверки текстовых документов на наличие заимствований из открытых источников в сети Интернет и других источников.

мации о вероятностях появления какой-либо буквы в двух различных отрывках текста. Среднее значение разности ΔP_{cp} между вероятностью появления i -й буквы для отрывка «а» P_{ai} и вероятностью появления j -й буквы из отрывка «б» P_{bj} оценивается по следующей формуле [4]:

$$\Delta P_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |P_{ai} - P_{bj}|_k, \quad k = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m_{ai}, j = 1, \dots, m_{bj}, \quad (1)$$

где n – количество букв в алфавите (в данном случае – русском); m_{ai} – количество i -й буквы в отрывке текста «а»; m_{bj} – количество j -й буквы в отрывке текста «б».

Сравнивая величину ΔP_{cp} с допустимым значением ΔP_d (критерием принятия решений) можно сделать вывод о принадлежности двух отрывков «а» и «б» текстовой информации одному автору. Если $\Delta P_{cp} \leq \Delta P_d$, то отрывки текстов «а» и «б» принадлежат одному автору. В противном случае ($\Delta P_{cp} > \Delta P_d$) авторы этих отрывков могут быть различными.

Вероятности P_{ai} и P_{bj} определяются по следующим формулам [5]:

$$P_{ai} = \frac{m_{ai}}{N_a}, \quad i = 1, \dots, m_a, \quad (2)$$

$$P_{bj} = \frac{m_{bj}}{N_b}, \quad j = 1, \dots, m_b, \quad (3)$$

где N_a – общее количество букв в отрывке текста «а»; N_b – общее количество букв в отрывке текста «б».

2. Апробация работы алгоритма

Для подтверждения работы инновационного алгоритма и иллюстрации разработанного подхода целесообразно рассмотреть определенный пример. Так, в качестве объектов для содержательного анализа будем использовать стихотворения Иосифа Бродского «Одиссей Телемаку» (отрывок «а») и «На смерть Жукова» (отрывок «б»).

Одиссей Телемаку

Мой Телемак,
Троянская война
окончена. Кто победил – не помню.
Должно быть, греки: столько мертвецов
вне дома бросить могут только греки....
И все-таки ведущая домой
дорога оказалась слишком длинной,
как будто Посейдон, пока мы там
теряли время, растянул пространство.
Мне неизвестно, где я нахожусь,
что передо мной. Какой-то грязный остров,
кусты, постройки, хрюканье свиней,
заросший сад, какая-то царица,
трава да камни... Милый Телемак,
все острова похожи друг на друга,
когда так долго странствуешь, и мозг
уже сбивается, считая волны,
глаз, засоренный горизонтом, плачет,
и водяное мясо застит слух.
Не помню я, чем кончилась война,
и сколько лет тебе сейчас, не помню.

* * *

Расти большой, мой Телемак, расти.
Лишь боги знают, свидимся ли снова.
Ты и сейчас уже не тот младенец,
перед которым я сдержал быков.
Когда б не Паламед, мы жили вместе.
Но, может быть, и прав он: без меня
ты от страстей Эдиповых избавлен,
и сны твои, мой Телемак, безгрешны.

На смерть Жукова

Вижу колонны замерших внуков,
гроб на лафете, лошади круп.
Ветер сюда не доносит мне звуков
русских военных плачущих труб.
Вижу в регалии убранный труп:
в смерть уезжает пламенный Жуков.

Воин, пред коим многие пали
стены, хоть меч был вражьих тупей,
блеском маневра о Ганнибале
напоминавший средь волжских степей.
Кончивший дни свои глухо, в опале,
как Велизарий или Помпей.

Сколько он пролил крови солдатской
в землю чужую! Что ж, горевал?
Вспомнил ли их, умирающий в штатской
белой кровати? Полный провал.
Что он ответит, встретившись в адской
области с ними? «Я воевал».

К правому делу Жуков десницы
больше уже не приложит в бою.
Спи! У истории русской страницы
хватит для тех, кто в пехотном строю
смело входили в чужие столицы,
но возвращались в страхе в свою.

Анализ полученных численных расчетов этих текстов показывает, что общее количество букв в отрывке для текста «а» $N_a = 745$, а в отрывке «б» $N_b = 611$. Количество букв в русском алфавите $n = 33$. Количество i -й буквы m_{ai} в отрывке «а» и j -й буквы m_{bj} в отрывке «б» приведены в сводной табл. 1. Вероятности появления i -й буквы отрезка «а» P_{ai} и i -й буквы отрезка «б» P_{bj} , определяемые по формулам, соответственно (2) и (3), представлены также в табл. 1.

Таблица 1

Вероятности появления различных букв в двух стихотворениях

Параметр	Буквы русского алфавита										
	А	Б	В	Г	Д	Е	Е	Ж	З	И	Й
m_{ai}	60	14	25	16	25	60	1	8	13	40	18
P_{ai}	0,081	0,019	0,034	0,021	0,034	0,081	0,001	0,011	0,017	0,054	0,024
m_{bj}	36	10	45	6	12	41	1	12	6	54	15
P_{bj}	0,059	0,016	0,074	0,010	0,020	0,067	0,002	0,020	0,010	0,088	0,025
$ P_{ai} - P_{bj} $	0,022	0,003	0,040	0,011	0,014	0,014	0,001	0,009	0,007	0,034	0,001

Окончание табл. 1

	Буквы русского алфавита										
	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф
m_{ai}	33	30	34	46	83	15	33	45	54	12	0
P_{ai}	0,044	0,040	0,046	0,062	0,111	0,020	0,044	0,060	0,072	0,016	0
m_{bj}	23	35	18	34	61	20	30	33	34	24	1
P_{bj}	0,038	0,057	0,029	0,056	0,100	0,033	0,049	0,054	0,056	0,039	0,002
$ P_{ai} - P_{bj} $	0,006	0,017	0,017	0,006	0,011	0,013	0,005	0,006	0,016	0,023	0,002
	Буквы русского алфавита										
	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я
m_{ai}	5	4	8	6	1	0	16	13	1	5	17
P_{ai}	0,007	0,005	0,011	0,008	0,001	0	0,021	0,017	0,001	0,007	0,023
m_{bj}	14	3	7	6	3	0	10	8	0	7	2
P_{bj}	0,023	0,005	0,011	0,010	0,005	0	0,016	0,013	0	0,011	0,003
$ P_{ai} - P_{bj} $	0,016	0	0	0,002	0,004	0	0,005	0,004	0,001	0,004	0,020

В нижней строке сводной табл. 1 размещены величины модуля разности для величин $|P_{ai} - P_{bj}|$.

Сумма значений этих величин равна 0,334, а среднее значение разности ΔP_{cp} между вероятностью появления i -й буквы отрывка «а» P_{ai} и вероятностью появления i -й буквы для отрывка «б» P_{bj} оценивается по формуле (1)

$$\Delta P_{cp} = \frac{1}{33} \cdot 0,334 = 0,01.$$

Если принять (в качестве критерия оценки) допустимое значение этой вероятности $\Delta P_d = 0,02$, то можно делать вывод о том, что отрывки «а» и «б» принадлежат одному автору соответственно в принятых ограничениях.

3. Описание технического результата инновационного решения

Технический результат непосредственно достигается тем, что вычислительное устройство для анализа текстовой информации содержит первую и вторую группы входных регистров, состоящих из n элементов. Также устройство содержит с первого по четвертый входные регистры, первую и вторую группы блоков деления, состоящие из n элементов, группу блоков вычитания по модулю, состоящую из n элементов, накопительный сумматор, блок деления, блок сравнения, блок индикации, генератор тактовых импульсов и распределитель импульсов (РИ). Его тактовый вход соединен с выходом генератора тактовых импульсов, а первый выход РИ – с входами записи первой и второй групп входных регистров. Он также соединен с входами записи первого, второго, третьего и четвертого входных регистров. Его второй выход соединен с входами считывания первой и второй групп входных регистров, а также первого и второго входных регистров. Его третий и четвертый выходы соединены с входами считывания соответственно третьего и четвертого входных регистров. Информационные входы с первого по n -й элементов первой группы входных регистров являются входом задания исходной информации, на которые поступают значения m_{ai} , характеризующие количество i -й буквы в отрывке текста «а». Информационные входы с первого по n -й элемент второй группы входных регистров являются входом задания исходной информации, на которые поступают значения m_{bj} , характеризующие количество j -й буквы в отрывке «б». Информационные входы с первого по четвертый входных регистров являются входами для задания исходной информации. На них поступает, соответственно, значение N_a , характеризующее

общее количество букв отрывка текста «а», значение N_6 , характеризующее общее количество букв в отрывке текста «б», и значение n , характеризующее количество букв в алфавите. Значение ΔP_d характеризует величину допустимого значения средней разности между вероятностью появления i -й буквы отрывка «а» и вероятностью появления j -й буквы в отрывке «б». Выходы, с первого по n -й, элементов первой и второй групп входных регистров соединены с входами делимого каждого соответствующего элемента, соответственно, первой и второй групп блоков деления. Их входы делителя подключены к выходам, соответственно, первого и второго входных регистров, а выходы подключены к выходам уменьшаемого и к входам вычитаемого группы блоков вычитания по модулю. Их выходы соединены с входами с первого по n -й накопительного сумматора, а его выход подключен к входу делимого блока деления. Вход делителя соединен с выходом третьего входного регистра, а выход – с информационным входом блока сравнения. Его пороговый вход подключен к выходу четвертого входного регистра, а выход – к входу блока индикации.

4. Принцип работы вычислительного устройства

Устройство для содержательного анализа текстовой информации работает следующим образом (рис. 1). На информационные входы с первого по n -й элемент первой группы 1 входных регистров засылаются соответственно величины $m_{a1}, \dots, m_{ai}, \dots, m_{an}$, а на информационные входы с первого по n -й элементов второй группы 2 входных регистров подаются соответственно значения как $m_{b1}, \dots, m_{bi}, \dots, m_{bn}$. На информационные входы первого 3, второго 4, третьего 5 и четвертого 6 входных регистров направляются соответственно величины N_a, N_b, n и ΔP_d . При этом управляющий сигнал на входы записи всех элементов этих групп входных регистров и входных регистров подается с первого выхода РИ15, темп работы устройства задается генератором 14 тактовых импульсов (ГТИ).

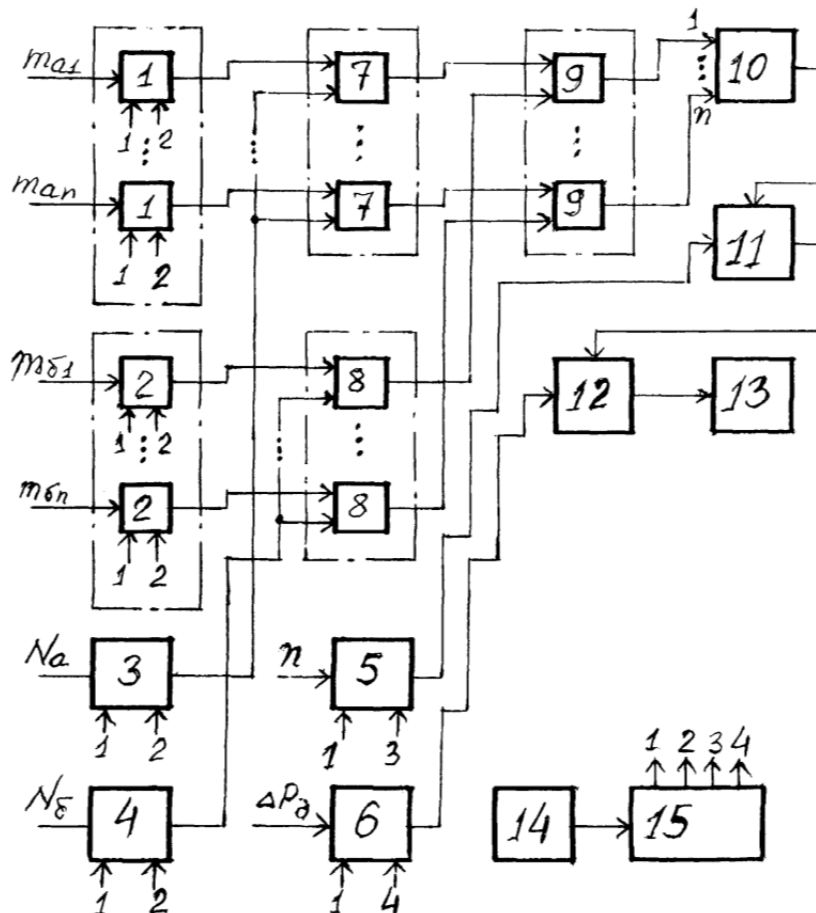


Рис. 1. Схематизация вычислительного устройства анализа текстов

По сигналу со второго выхода вычислительного устройства РИ15 на входы считывания первой 1 и второй 2 групп входных регистров величины m_{ai} и m_{bj} с их выходов засылаются на входы делимого соответственно первой 7 и второй 8 групп блоков деления, а на входы делителя этих групп направляются по сигналу со второго выхода РИ 15 с выходов соответственно первого 3 и второго 4 входных регистров значения N_a и N_b . С выходов первой 7 и второй 8 групп блоков деления величины P_{ai} и P_{bj} , определяемые по формулам (2) и (3), поступают, соответственно, на входы уменьшаемого и входы вычитаемого группы 9 блоков вычитания по модулю. С выходов этой группы величины $|P_{ai} - P_{bj}|_k$ засылаются на входы модели **накопительного сумматора 10**, с выхода которого значение $\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |P_{ai} - P_{bj}|_k$ подается на вход делимого блока 11 деления. На вход делителя этого блока по сигналу с третьего выхода РИ 15 направляется с выхода третьего входного регистра 5 величина n . С выхода блока 11 деления значение ΔP_{cp} , определяемое по формуле (1), поступает на информационный вход блока 12 сравнения, на пороговый вход которого по сигналу с четвертого выхода РИ 15 засылается с выхода четвертого входного регистра 6 величина ΔP_d . Если $\Delta P_{cp} \leq \Delta P_d$ (отрывки текстов «а» и «б» принадлежат одному автору) на выходе блока 12 сравнения появится управляющий сигнал, который приведет к загоранию индикатора блока 13 индукции. В противном случае, когда $\Delta P_{cp} > \Delta P_d$, сигнала на выходе блока 12 сравнения не будет и индикатор блока 13 индукции не засветится. Это и будет свидетельствовать о том, что отрывки «а» и «б» принадлежат разным авторам.

Заключение

Таким образом, разработанная новая информационная технология и инновационные составляющие предлагаемой разработки для практического использования вычислительного устройства заключаются в следующем:

- 1) впервые предложен инновационный подход к анализу текстовой информации с описанием принципа работы вычислительного устройства для реализации разработанного алгоритма;
- 2) разработан новый оригинальный инновационный механизм анализа текстовой информации, основанный на формально-числовых и логико-содержательных методах исследования;
- 3) технический результат работы алгоритма и устройства достигнут не только за счет математического аппарата, но и за счет цифровых технических средств (блоков и электронных элементов);
- 4) расширен арсенал новых информационных технологий (НИТ) и технических средств, с помощью которых можно осуществлять оценку и определение авторства текстовой информации;
- 5) повышен уровень достоверности определения авторства текстовой информации в результате применения данного вычислительного устройства на основе предложенного алгоритма.

В итоге отметим также и то, что промышленная применимость данной инновационной разработки обосновывается и тем, что она может быть использована в разных областях (отраслях) управления знаниями, например, при расчетах, связанных с идентификацией текстовой информации в случаях необходимости определения ее автора с целью принятия объективных решений при защите авторских прав для создателей текстовой информации; в лингвистической области при построении графовых моделей, в системах с искусственным интеллектом (ИИ) при принятии решений и т.п.

Список литературы

1. Пелипенко, А. А. Постижение культуры : моногр. : в 2 ч. Ч. 1. Культура и смысл / А. А. Пелипенко. – М. : Роспен, 2012. – 608 с.
2. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1963. – 830 с.
3. Пат. 2568272 Российская Федерация. Устройство для содержательного анализа текстовой информации / Полтавский А. В., Русяева Е. Ю., Бурба А. А. Зарег. 16.10.2015 г.

4. Садыков, С. С. Оценка возможности распознавания отдельных реальных плоских объектов на основе их безразмерных контурных признаков / С. С. Садыков, Я. Ю. Кульков // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4 (12). – С. 101–109.
5. Федотов, Н. Г. Вопросы построения алгоритмов сокращения признакового пространства на основе селекции информативных признаков / Н. Г. Федотов, А. А. Семов, А. В. Моисеев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – № 1 (13). – С. 299–301.

Полтавский Александр Васильевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт проблем управления
Российской академии наук им. В. А. Трапезникова
(117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)
E-mail: avp57avp@yandex.ru

Русяева Елена Юрьевна

кандидат философских наук,
старший научный сотрудник,
Институт проблем управления
Российской академии наук им. В. А. Трапезникова
(117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)
E-mail: 1779624@mail.ru

Бурба Александр Алексеевич

кандидат технических наук, научный сотрудник,
Институт проблем управления
Российской академии наук им. В. А. Трапезникова
(117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)
E-mail: lab-54@bk.ru

Аннотация. Предложена новая информационная технология и подход к анализу текстовой информации на основе применения формальных числовых методов. Описан алгоритм и принцип работы запатентованного авторами вычислительного устройства, которое может быть использовано при расчетах, связанных с идентификацией текстовой информации в случаях определения ее авторства.

Ключевые слова: анализ текстовой информации, инновационный механизм, числовые методы, вычислительное устройство.

Poltavskiy Aleksandr Vasil'evich

doctor of technical sciences, leading researcher,
Institute of management problems
of Russian Academy of Sciences
named after V. A. Trapeznikov
(117997, 65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

Rusyaeva Elena Yur'evna

candidate of philosophical sciences,
senior stuff scientist,
Institute of management problems
of Russian Academy of Sciences
named after V. A. Trapeznikov
(117997, 65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

Burba Aleksandr Alekseevich

candidate of technical science, stuff scientist,
Institute of management problems
of Russian Academy of Sciences
named after V. A. Trapeznikov
(117997, 65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

Abstract. Applying an innovative approach to the analysis of textual information based on the use of formal numerical methods. The mechanism and principle of operation of the patented authors computing device that can be used in the calculations relating to the identification of textual information in the case of certain of its authorship.

Key words: analysis of textual information, innovative mechanism, the numerical methods, the computing device.

УДК 004.93

Полтавский, А. В.

Основы распознавания образов в текстовой информации / А. В. Полтавский, Е. Ю. Русяева, А. А. Бурба // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 28–34. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-5.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКОВ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ

Б. Ф. Безродный, С. А. Майоров

В настоящее время с целью обеспечения в соответствии с приказом № 31 ФСТЭК об информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами критически важных объектов встает задача импортозамещения электронных компонентов, включая различные микроэлектронные изделия, применяемых в ответственной электронной аппаратуре, используемой на этих критически важных объектах. При этом особую актуальность приобретает задача обеспечения при проведении мероприятий по импортозамещению требуемой высокой надежности указанной электронной аппаратуры. В силу меньшей стабильности технологического процесса изготовления качество, надежность и, соответственно, значения параметров импортозамещающих электронных изделий имеют больший, по сравнению с импортными аналогами, разброс. Поэтому на практике оказывается необходимым проведение предварительной селекции образцов этих изделий с целью выбора наиболее приемлемых для изготовления конкретного типа электронной аппаратуры образцов, т.е. для проведения ее «селективной сборки». Такую процедуру, как правило, проводят на основе статистического распознавания, считая из-за большого числа влияющих факторов распределения нормальными [1].

При этом для проведения контроля состояния образцов электронного изделия используют вектор из p параметров, принимаемых для простоты некоррелированными, а вследствие допущения нормального распределения и независимыми. При этом решающее правило будет иметь вид [1]

$$\sum_{j=1}^p \left\{ \frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + n \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right\} \geq 0. \quad (1)$$

При выполнении неравенства контрольная выборка из n замеров вектора контролируемых параметров признается соответствующей классу S_1 , т.е. удовлетворяющих требованиям конкретного типа электронной аппаратуры, а при выполнении обратного неравенства – классу S_0 (неудовлетворяющих). В (1) $\hat{a}_i = (\hat{a}_{i1}, \dots, \hat{a}_{ip})$ и $\hat{M}_i = \text{diag}(\hat{\sigma}_{i1}^2, \dots, \hat{\sigma}_{ip}^2)$ – оценки векторов средних и ковариационных матриц распределений значений контролируемых параметров в различаемых классах образцов исследуемого электронного компонента, а $\bar{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})$ – элементы контрольной выборки замеров вектора контролируемых параметров. При $n = 1$ контролю подвергается каждый отдельный образец, в противном случае – однородная партия образцов, имеющих практически идентичные качество и надежность.

Вероятности ошибок такого решающего правила, обеспечивающего селекцию отечественных электронных изделий при организации импортозамещения, подробно исследованы в [2]. Подобные методики селекции микроэлектронных изделий и иных электронных компонентов, комплектующих ответственную аппаратуру различного назначения, хорошо зарекомендовали себя уже давно. Они автоматизированы и используются при комплектации производства высоконадежных устройств и систем. Однако эти методики не позволяют напрямую задать допуск на значения контролируемых параметров, т.е. непосредственно определить границы изменения каждого из них, позволяющие гарантировать заданные вероятности ошибок селекции. В данной статье на основе анализа области заданной надежности, выделяемой в пространстве значений контролируемых параметров, решающим правилом (1) предлагается процедура определения таких границ изменения значений контролируемых параметров, позволяющая гарантировать исходные значения вероятностей ошибок селекции первого α и второго β рода.

С этой целью рассмотрим детально, такая область в пространстве значений контролируемых параметров определяет решающее правило (1). Учитывая известное неравенство для дисперсий [1] $\sigma_1^2 < \sigma_0^2$, получаем, что область G_1 представляет собой эллипсоид в декартовом произведении n пространств R_p . Отметим, что случай $n > 1$ соответствует групповому входному контролю надежности однородной партии образцов импортозамещающего электронного компонента. В этом случае, если обеспечена однородность партии, потребность в образцах исследуемого компонента велика, а время селекции существенно ограничено, с помощью разработанной в [3] методики определяется минимальный достаточный для осуществления селекции с заданными ограничениями на вероятности ошибок объем обучающей выборки, после чего из однородной партии выбираются равномерно n образцов, у них замеряются значения контролируемых параметров, после чего в случае их одновременного попадания в n -мерный эллипсоид вся однородная партия признается обладающей требуемым ресурсом надежности. В случае индивидуальной селекции образцов $n = 1$ правило селекции высекает в пространстве значений контролируемых параметров эллипсоид. При определении допусков на контролируемые параметры, гарантирующие заданные вероятности ошибок селекции, воспользуемся случаем $n = 1$. С этой целью преобразуем правило селекции (1) к виду

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + n \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right\} \geq 0, \quad (2)$$

из анализа которого можно сделать вывод, что из неотрицательности выражения в фигурных скобках в (2) следует выполнение всего неравенства (1). Поэтому попадание значений контролируемых параметров в эллипсоид в пространстве R_p , определяемый приравниванием к нулю выражения в фигурных скобках из (2) (при $n = 1$) для всех элементов контрольной выборки оказывается достаточным условием для признания факта удовлетворения заданным требованиям по надежности для всей партии образцов импортозамещающего электронного компонента. Такая трактовка правила селекции (2) приводит к незначительному (5–7 %) увеличению вероятности ошибки второго рода, но позволяет значительно упростить процедуру его проверки и явно оценить допуски на контролируемые параметры.

Преобразуем правило (2) при $n = 1$

$$\frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \geq 0 \quad (3)$$

к виду уравнения эллипсоида:

$$\sum_{j=1}^p \frac{(x_j - b_j)^2}{c_j^2} \leq 1, \quad (4)$$

где

$$b_j = \frac{(\hat{a}_{0j} \hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{a}_{1j} \hat{\sigma}_{0j}^2)}{\hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{\sigma}_{0j}^2}; \quad c_j^2 = \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2 \hat{\sigma}_{1j}^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} \left(\sum_{j=1}^p \left[\frac{(\hat{a}_{0j} - \hat{a}_{1j})^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right] \right).$$

Неравенство (4) определяет в пространстве значений контролируемых параметров искомую область заданной надежности, а в случае селекции по значению одного интегрального или основного параметра ($p = 1$) – собственно допуск на этот параметр.

К примеру, если в качестве области заданной надежности принять описанный вокруг эллипсоида прямоугольный параллелепипед, т.е. задать простые ограничения на каждый j -й контролируемый параметр $b_j - c_j < x_j < b_j + c_j$, то вероятность ошибки первого рода увеличится на 15–20 %, а вероятность ошибки второго рода снизится на 5–10 %. В ряде случаев такое расши-

рение области заданной надежности на практике оказывается оправданным, поскольку в этом случае можно напрямую идентифицировать, по каким параметрам не удовлетворяет тот или иной образец импортозамещающего электронного компонента.

Можно поступить наоборот, и в качестве области заданной надежности принять прямоугольный параллелепипед, вписанный в эллипсоид (3). При этом среди всех параллелепипедов следует взять параллелепипед, имеющий максимальный объем с учетом весовой функции, представляющей плотность распределения для класса S_1 , что позволит минимизировать уменьшение области заданной надежности G_1 и сопутствующее этому увеличение вероятности ошибки селекции второго рода. Справедливости ради отметим, что в этом случае несколько снизится вероятность ошибки первого рода. Оба рассмотренных выше крайних случая на практике мало пригодны, так как в первом случае недопустимо увеличивается вероятность ошибки селекции первого рода α , а во втором случае, кроме вычислительной сложности решения экстремальной задачи, увеличивается вероятность ошибки селекции второго рода β , что в современных условиях экономически не оправдано. Поэтому предлагается решить задачу следующим образом, воспользовавшись подходом Неймана – Пирсона, задав в правой части неравенства (2) не ноль, а некоторую малую положительную величину δ , являющуюся параметром. В этом случае неравенство (2) примет вид

$$\frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \geq \delta, \quad (5)$$

а определяемый им эллипсоид будет определяться следующим образом:

$$\sum_{j=1}^p \frac{(x_j - b_j)^2}{c_j^2} \leq 1, \quad (6)$$

где

$$b_j = \frac{(\hat{a}_{0j}\hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{a}_{1j}\hat{\sigma}_{0j}^2)}{\hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{\sigma}_{0j}^2}; \quad c_j^2 = \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2 \hat{\sigma}_{1j}^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} \left(\sum_{j=1}^p \left[\frac{(\hat{a}_{0j} - \hat{a}_{1j})^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right] - \delta \right).$$

Эти соотношения отличаются от соотношений (4) только наличием δ в выражении для c_j^2 . Другими словами, выражения (6) задают целое семейство подобных эллипсоидов в пространстве R_p . Причем при $\delta = 0$ мы имеем эллипсоид (4), а при увеличении δ эллипсоид (6) пропорционально уменьшается, сохраняя все соотношения и пропорции, задаваемые конкретными значениями оценок средних и дисперсий контролируемых параметров в различаемых классах образцов исследуемого импортозамещающего электронного компонента. При этом при достижении равенства

$$\delta = \sum_{j=1}^p \left[\frac{(\hat{a}_{0j} - \hat{a}_{1j})^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right] \quad (7)$$

эллипсоид (6) вырождается в точку, которая чисто теоретически могла бы соответствовать случаю, когда значения контролируемых параметров определяются точно, и малейшие отклонения от их расчетных значений не допускаются. Однако это – предельный идеализированный случай, и мы его рассматривать не будем.

Теперь остается в качестве допусковой области принять описанный вокруг уменьшенного эллипсоида (6) прямоугольный параллелепипед, задаваемый неравенствами $b_j - c_j < x_j < b_j + c_j$, $j = 1, \dots, p$.

При этом границы допуска для каждого из p контролируемых параметров являются функциями параметра δ , так как $c_j = c_j(\delta)$.

Вероятности ошибок решающего правила, задаваемого таким параллелепипедом, являются в итоге функциями параметра δ и могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\beta(\delta) = 1 - \prod_{j=1}^p \left\{ \int_{b_j - c_j(\delta)}^{b_j + c_j(\delta)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}_{1j}}} \exp \left\{ -\frac{(t_j - a_j)^2}{2\hat{\sigma}_{1j}^2} \right\} dt_j \right\}, \quad (8)$$

$$\alpha(\delta) = \prod_{j=1}^p \left\{ \int_{b_j - c_j(\delta)}^{b_j + c_j(\delta)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}_{0j}}} \exp \left\{ -\frac{(t_j - a_j)^2}{2\hat{\sigma}_{0j}^2} \right\} dt_j \right\}.$$

При этом область изменения параметра δ ограничена снизу нулем, а сверху – значением из соотношения (7). Вероятности ошибок селекции первого и второго рода, задаваемые соотношениями (8), как функции переменной δ являются монотонными. При этом функция $\alpha(\delta)$ монотонно убывает с ростом δ от 0 до значения, определяемого соотношением (8), а функция $\beta(\delta)$ при таком изменении δ , наоборот, монотонно возрастает, так как область интегрирования в формулах (8) при этом сокращается, а все остальные величины остаются неизменными.

Будем считать, что на этапе формирования решающего правила (1) с помощью разработанной в [3] методики определен объем обучающей выборки, минимальный достаточный для осуществления селекции с заданными ограничениями $\alpha \leq \alpha_0$ и $\beta \leq \beta_0$ на вероятности ошибок первого и второго рода. Другими словами, при преобразовании области заданной надежности образцов импортозамещающего электронного компонента в пространстве значений контролируемых параметров R_p в прямоугольный параллелепипед необходимо сохранить указанные ограничения $\alpha \leq \alpha_0$ и $\beta \leq \beta_0$. Сделаем это следующим образом [4, 5].

Обозначим значение δ из (7) через $\delta_{\max}$. Тогда областью изменения аргумента функций $\alpha(\delta)$ и $\beta(\delta)$ является отрезок $[0, \delta_{\max}]$. Как уже было упомянуто ранее, функция $\alpha(\delta)$ на этом отрезке монотонно убывает от $\alpha(0)$ до $\alpha(\delta_{\max}) = 0$, а функция $\beta(\delta)$, наоборот, монотонно возрастает от $\beta(0)$ до $\beta(\delta_{\max}) = 1$. Две эти тенденции оказываются противоречивыми.

При этом $\alpha(0)$ превышает достигнутое на этапе обучения ограничение α_0 , так как с учетом (4) интегрирование в (8) ведется в пределах прямоугольного параллелепипеда, описанного вокруг эллипсоида, определяющего область заданной надежности образцов импортозамещающего электронного компонента в пространстве значений контролируемых параметров R_p , в то время как $\beta(0)$ оказывается по той же причине меньше достигнутого на этапе обучения ограничения β_0 .

Рассмотрим наиболее простой вариант, когда ограничения на вероятности ошибок селекции α_0 и β_0 равны, т.е. $\alpha_0 = \beta_0$. В этом случае из вышеизложенного следует, что $\beta(0) < \alpha_0 = \beta_0 < \alpha(0)$, а с учетом установленного выше монотонного характера непрерывного изменения функций $\alpha(\delta)$ и $\beta(\delta)$ на отрезке $[0, \delta_{\max}]$ уравнение

$$\alpha(\delta) = \beta(\delta) \quad (9)$$

обязательно имеет и притом единственный корень δ^* .

Если в результате оказывается, что

$$\alpha(\delta^*) = \beta(\delta^*) \leq \alpha_0 = \beta_0, \quad (10)$$

то допусковый параллелепипед, соответствующий значению параметра $\delta = \delta^*$, оказывается оптимальным, и его границы надо принять в качестве искомых допусков на контролируемые параметры исследуемого импортозамещающего электронного компонента, которые надлежит использовать при задании требований по надежности в договорах или иных документах на поставку образцов этого импортозамещающего электронного компонента.

Если же неравенство в (10) не выполняется, то в качестве оптимального значения параметра δ следует принять обязательно существующий корень δ_a уравнения [6, 7]

$$\alpha(\delta) = \alpha_0. \quad (11)$$

При этом вероятность ошибки селекции второго рода β окажется несколько выше своего ограничения β_0 , но этого, к сожалению, избежать уже не удастся [8].

Данная процедура формирования допусков на контролируемые параметры образцов импортозамещающих электронных компонентов, позволяющая гарантировать, что их надежность не уступает импортному замещаемому аналогу, допускает применение и в случае различных ограничений на вероятности ошибок селекции первого и второго рода α_0 и β_0 .

Список литературы

1. Безродный, Б. Ф. Оценка допусков на критичные параметры импортозамещающих электронных компонентов / Б.Ф. Безродный, С.А. Майоров // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 174–176.
2. Безродный, Б. Ф. Вероятности ошибок селекции импортозамещающих электронных компонентов / Б. Ф. Безродный, С. А. Майоров // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 170–174.
3. Безродный, Б. Ф. Обеспечение заданной достоверности селекции импортозамещающих электронных компонентов / Б. Ф. Безродный, С. А. Майоров // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 176–179.
4. Гришко, А. К. Математическое моделирование системы обеспечения тепловых режимов конструктивно-функциональных модулей радиоэлектронных компонентов / А. К. Гришко, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. – 2015. – № 3. – С. 27–31.
5. Boolean matrices in problems on determining the state of discrete components in computerized measurement systems / N. K. Yurkov, A. V. Gorish, N. N. Novikov, L. A. Kladenok, A. V. Blinov // Measurement Techniques. – 2000. – Vol. 43, № 6. – P. 481–485.
6. Yurkov, N. K. Diagnosis of restorable components of special-purpose on-board data-acquisition systems / N. K. Yurkov, A. V. Blinov, D. S. Maksud // Measurement Techniques. – 2000. – Vol. 43, № 7. – P. 578–580.
7. Acceptance Checking Methods for UHF Electronic Components / N. K. Yurkov, A. V. Blinov, A. G. Kanakov, V. A. Trusov // Measurement Techniques. – 2000. – Vol. 43, № 10. – P. 895–901.
8. Yurkov, N. K. Information features of multi-extremal functions for describing the functioning indicators of the components of information measurement systems / N. K. Yurkov, A. V. Blinov, A. T. Erokhin // Measurement Techniques. – 2000. – Vol. 43, № 8. – P. 660–664.

Безродный Борис Федорович

доктор технических наук, профессор,
заместитель руководителя центра кибербезопасности,
Научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации
и связи на железнодорожном транспорте
(105082, Россия, г. Москва, Нижегородская ул, 27/1)
E-mail: boris.bezrodny@yandex.ru

Майоров Сергей Алексеевич

научный сотрудник,
Межрегиональное общественное учреждение
«Институт инженерной физики»
(142210, Россия, Московская обл., г. Серпухов,
Б. Ударный пер., 1 «А»)
E-mail: info@iifrf.ru

Bezrodnyy Boris Fedorovich

doctor of technical sciences, professor,
deputy head of the center for cybersecurity,
Research and Design Institute
for Information Technology, Automation
and Communication on Railway Transport
(105082, 27/1 Nijegorodskaja street, Moscow, Russia)

Mayorov Sergey Alekseevich

stuff scientist,
Inter-regional public institution
"Institute of Engineering Physics"
(142210, 1 «А» B. Udarniy lane,
Serpukhov, Moscow region, Russia)

Аннотация. Во исполнение приказа № 31 ФСТЭК об информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами критически важных объектов, предусматривающего максимальное импортозамещение электронных компонентов, используемых в аппаратуре, которой оснащены эти объекты, предложен подход к обеспечению высокой надежности импортозамещающих электронных компонентов на основе проведения предварительной селекции их образцов. Поскольку известные методики не позволяют напрямую определить границы изменения каждого из контролируемых параметров электронного компонента, позволяющие гарантировать заданные вероятности ошибок селекции, в данной статье на основе анализа области заданной надежности,

Abstract. In execution of the Order of FSTEK No. 31 on the information security of automated process control systems of critical facilities prescribing highest possible substitution of imported electronic components used in the equipment of such facilities, an approach is suggested to ensuring high dependability of import-substituting electronic components based on preliminary selection of samples. As the existing methods do not allow directly identifying the limits of variation of each controlled parameter of an electronic component ensuring the specified selection error probabilities, this article, based on an analysis of the target dependability space defined within the controlled parameter values space by means of the decision rule of selection, suggests a procedure for identification of such limits of controlled parameter values variations providing for guaranteed initial values

выделяемой в пространстве значений контролируемых параметров решающим правилом селекции, предлагается процедура определения таких границ изменения значений контролируемых параметров, позволяющая гарантировать исходные значения вероятностей ошибок селекции первого α и второго β рода.

Ключевые слова: импортозамещение, электронные компоненты, селекция, решающее правило, вероятности ошибок, границы допустимого изменения параметров.

of selection error probability of the first α and second β types.

Key words: import substitution, electronic components, selection, decision rule, error probabilities, limits of allowable parameters variation.

УДК 621.396.69.01

Безродный, Б. Ф.

Определение допусков для селекции электронных компонентов при импортозамещении /
Б. Ф. Безродный, С. А. Майоров // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 35–40.
DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-6.

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОСБОРОК, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков

Введение

Одной из важнейших задач развития научных основ конструирования и технологии изготовления изделий различного назначения является создание адекватных математических моделей, описывающих состояние конструкций и их отдельных элементов в процессе их производства, испытаний, транспортировки, хранения и эксплуатации. Анализ отказов изделий и их составных частей позволяет утверждать, что основными являются статические, динамические и тепловые воздействия, возникающие на всех стадиях жизненного цикла изделия [1, 2].

Анализ конструктивных особенностей современных изделий приборостроения и их составных частей показывает, что большинство из них предоставляет собой гетерогенные структуры, сочетающие в себе материалы с различными физико-механическими свойствами, обеспечивающими требуемую надежность и безопасность изделия в заданных режимах эксплуатации. Для исследования процессов, происходящих в структурах этих изделий под действием внешних факторов, необходима разработка математических моделей и комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов, позволяющих адекватно описывать процессы и напряженно-деформированное состояние (НДС) на всех этапах их жизненного цикла [3].

Модель для исследования НДС

Рассмотрим микросборку прямоугольного типа, имеющую широкое практическое применение в приборостроении и изделиях радиоэлектроники. На одной или нескольких гранях внутри микросборки размещаются платы с резистивными элементами, обеспечивающие требуемые выходные параметры микросборки. Эти микросборки представляют собой многослойные гетерогенные системы, которые в процессе их изготовления и эксплуатации подвергаются тепловым и механическим воздействиям.

Для анализа НДС таких микросборок и их элементов предложены различные модели, позволяющие исследовать их состояние при технологической опрессовке корпусов и научно обоснованно определять предельно допустимое давление с учетом их конструктивных особенностей [4, 5]. Аналогичные исследования проведены и при тепловых технологических и эксплуатационных воздействиях на платы микросборок [6]. Вопросы моделирования и исследования динамических процессов, происходящих в микросборках при вибрационном воздействии, в настоящее время исследованы недостаточно [7].

Типовая конструкция микросборки прямоугольного типа показана на рис. 1. Микросборка крепится к изделию винтами в четырех точках и имеет габаритные размеры корпуса по осям x , y , z соответственно $a \times b \times H$, где $a \times b$ – размеры в плане; H – высота корпуса. На основании корпуса (рис. 1, б) расположена плата, имеющая толщину h и размеры в плане $a_n \times b_n$. Плата крепится к основанию паяным или клеевым швом толщиной $h_{ш}$. Материал платы характеризуется модулем E_n и коэффициентом Пуассона ν_n , а материал шва – модулем сдвига $G_{ш}$ и коэффициентом Пуассона $\nu_{ш}$.

В общем случае считается, что грани корпуса микросборки изготовлены из различных материалов, механические свойства которых характеризуются модулями упругости E_j и имеют толщины h_j , где $j = 1, 2, \dots, 6$ – номер грани. Для определенности будем считать, что $j = 6$ соответствует крышке корпуса, $j = 1$ – основанию с платой, $j = 2 \dots 5$ – боковым стенкам корпуса.

На микросборку со стороны корпуса изделия в направлении оси z действует гармоническая вибрация, при которой в процессе эксплуатации возможны резонансные явления, возникающие в элементах микросборки (крышка, боковые стенки, основание, плата).

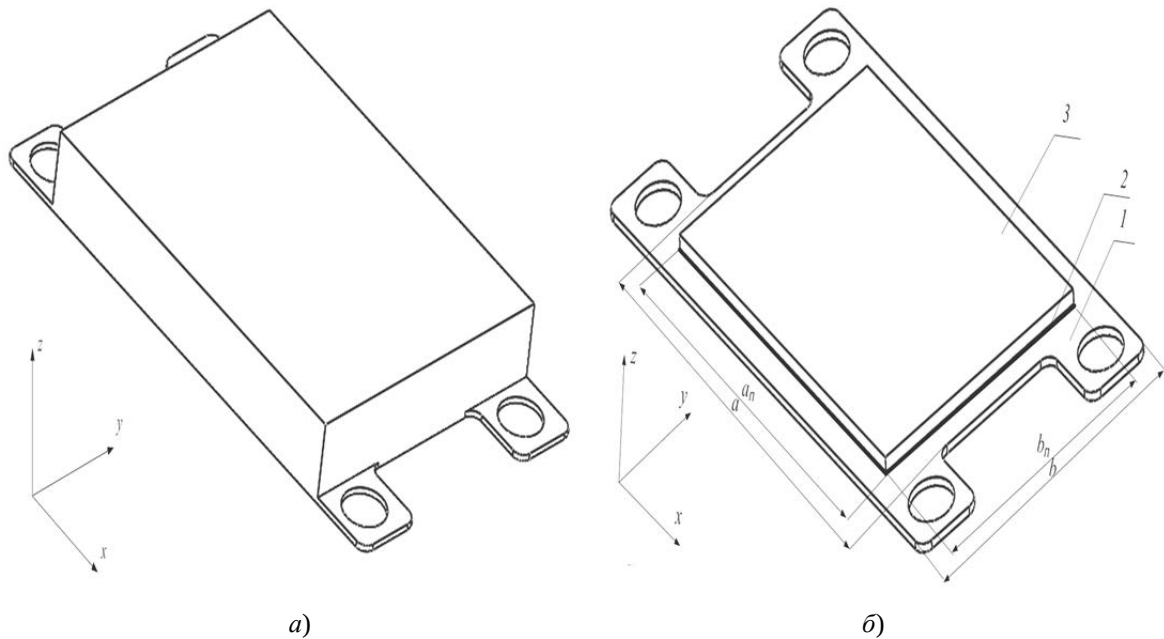


Рис. 1. Конструкция микросборки:
 а – общий вид; б – основание с платой; 1 – основание; 2 – шов; 3 – плата

В качестве адекватной модели, позволяющей исследовать динамические процессы в элементах микросборки, используется пространственная модель микросборки в виде гетерогенной структуры с использованием метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе ANSYS аналогично [5]. Такая модель позволяет учитывать взаимное влияние граней корпуса, реальные размеры плат и их места расположения на гранях, а также влияние физико-механических характеристик применяемых материалов плат, шва и граней корпуса. Модель позволяет учитывать наличие внутри корпуса нескольких многослойных плат, в том числе расположенных на разных гранях корпуса, что может приводить к отсутствию симметрии в конструкции микросборки и усложнению ее НДС. Предложенная модель является пространственной и наиболее общей по сравнению с моделями, представленными в [2].

Результаты численных исследований

На основании предложенной модели исследованы динамические характеристики различных типоразмеров микросборок. Установлено, что формы колебаний микросборок, их собственные частоты и места расположения наиболее нагруженных зон их элементов, где возможно возникновение и развитие дефектов, существенно зависят от массогабаритных размеров микросборок и особенностей их конструктивного исполнения: количества и размеров плат, высоты микросборки. В частности, при увеличении высоты микросборки проявляются изгибно-крутильные формы собственных колебаний, при которых наиболее нагруженными являются зоны, расположенные на проушинах, через которые микросборка крепится к изделию. Это связано со смещением центра масс микросборки при увеличении ее высоты.

В качестве примера приведем некоторые результаты численного моделирования динамических характеристик для микросборки, имеющей следующие размеры: $a \times b \times H = (36 \times 24 \times 5)$ мм. Плата расположена в центре основания и крепится к нему клеем ВК-9. Корпус изготовлен из сплава 29НК ($E_j = 1,4 \cdot 10^5$ МПа, $\nu_j = 0,3$ при $j = 1, 2, \dots, 6$); плата – из ситалла ($E_n = 9,693 \cdot 10^5$ МПа, $\nu_n = 0,25$), а свойства шва характеризуются модулем сдвига $G_{ш} = 1000$ МПа. Толщины элементов микросборки приняты следующими: $h_j = 0,4$ мм (при $j = 1, 2, \dots, 6$); $h = 0,6$ мм; $h_{ш} = 0,1$ мм.

Рассмотрены три варианта микросборки:

- I вариант: плата имеет размеры $a_n \times b_n = (30 \times 20)$ мм;
- II вариант: плата имеет размеры $a_n \times b_n = (15 \times 10)$ мм;
- III вариант: на основании расположены две одинаковые платы, каждая из которых имеет размеры $a_n \times b_n = (15 \times 20)$ мм, расстояние между платами равно 1 мм.

Анализ напряженно-деформированного состояния микросборок

Анализ НДС элементов микросборок показал, что наиболее нагруженными являются крышка микросборки, основание и платы, расположенные на основании на резонансных частотах, соответствующих собственным формам колебаний этих элементов [7]. На рис. 2 в качестве примера для микросборки I представлено распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ по элементам микросборок на первых пяти резонансных частотах. Эквивалентные напряжения рассчитаны по третьему критерию прочности. Боковые стенки корпуса микросборки на рисунках условно не показаны. Флажками показаны точки, в которых напряжения принимают максимальные значения. Моделирование НДС элементов микросборки на резонансных частотах выполнено при действии ускорения в направлении оси z равного $10g$. Значение логарифмического декремента затухания для микросборки принято равным $\delta = 0,133$.

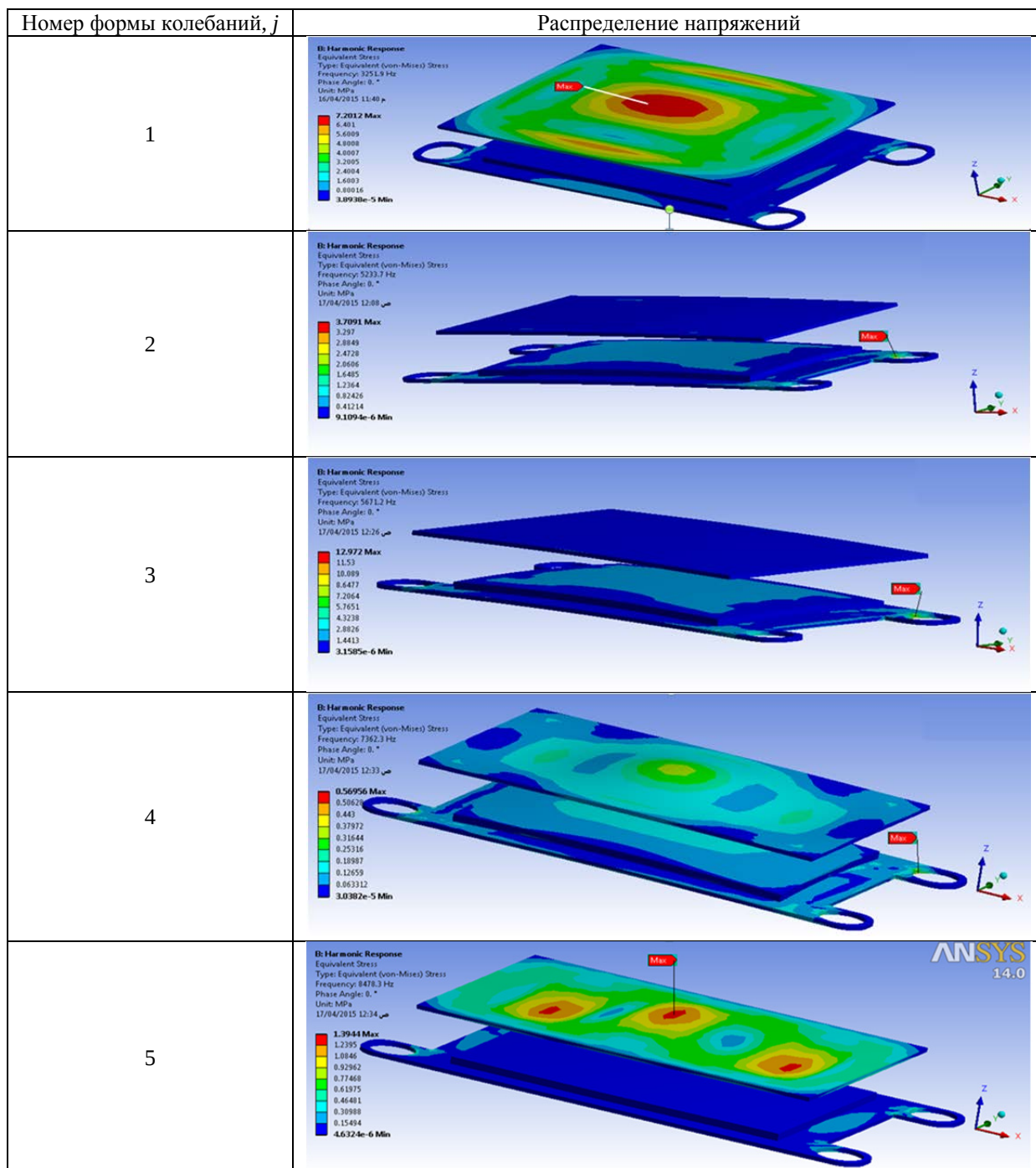


Рис. 2. Распределение напряжений для микросборки I

В табл. 1 приведены значения максимальных напряжений в крышке платы и основании микросборок на резонансных частотах f_j для различных вариантов микросборок.

Таблица 1

Максимальные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа) в элементах микросборок

Вариант микросборки	Номер частоты, j	$\max \sigma_{\text{экв}}$, МПа			
		f_j , Гц	крышка	плата	основание
I	1	3252	7,2	0,044	4,51
	2	5234	0,511	0,645	3,70
	3	5671	1,3	2,22	12,97
	4	7362	0,342	0,168	0,56
	5	8478	1,39	0,086	0,67
II	1	3210	5,73	1,5	2,02
	2	4028	2,11	3,01	11,0
	3	5181	0,342	0,14	0,51
	4	6286	0,30	0,163	0,22
	5	7301	0,35	0,10	0,199
III	1	3249	7,15	0,0431	2,91
	2	5234	1,45	1,81	8,86
	3	5343	2,01	3,57	11,56
	4	7344	0,339	0,18	0,263
	5	8479	1,34	0,13	0,342

На рис. 3–5 показано изменение значений максимальных напряжений $\max \sigma_{\text{экв}}$ в элементах рассматриваемых микросборок в исследуемом частотном диапазоне.

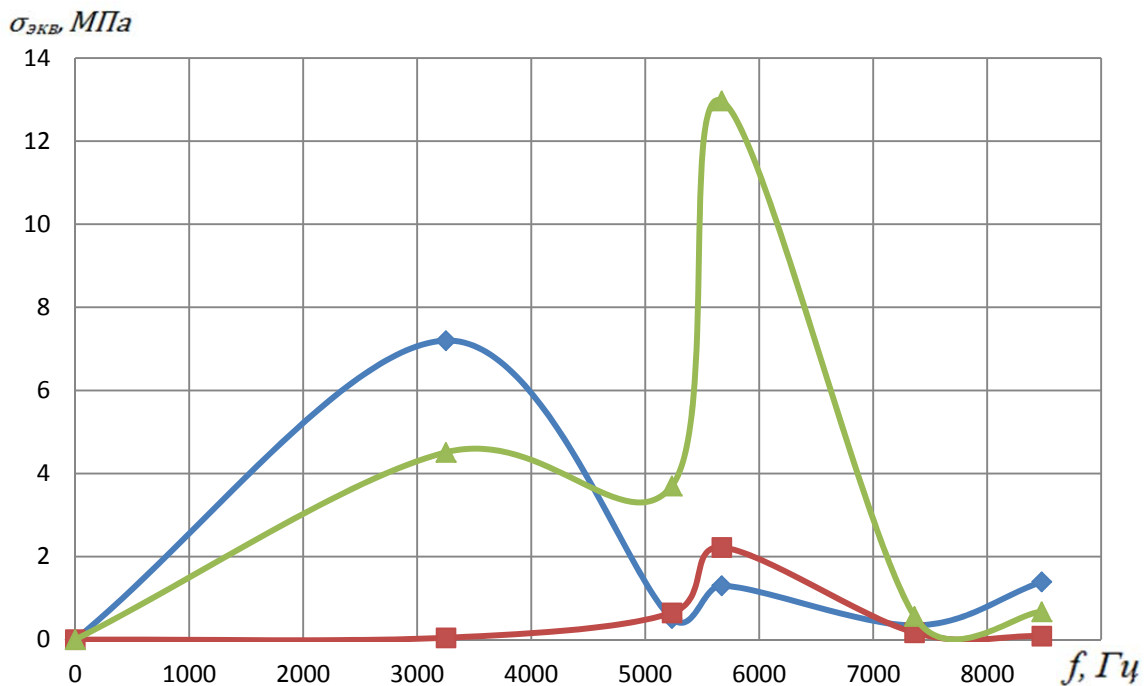
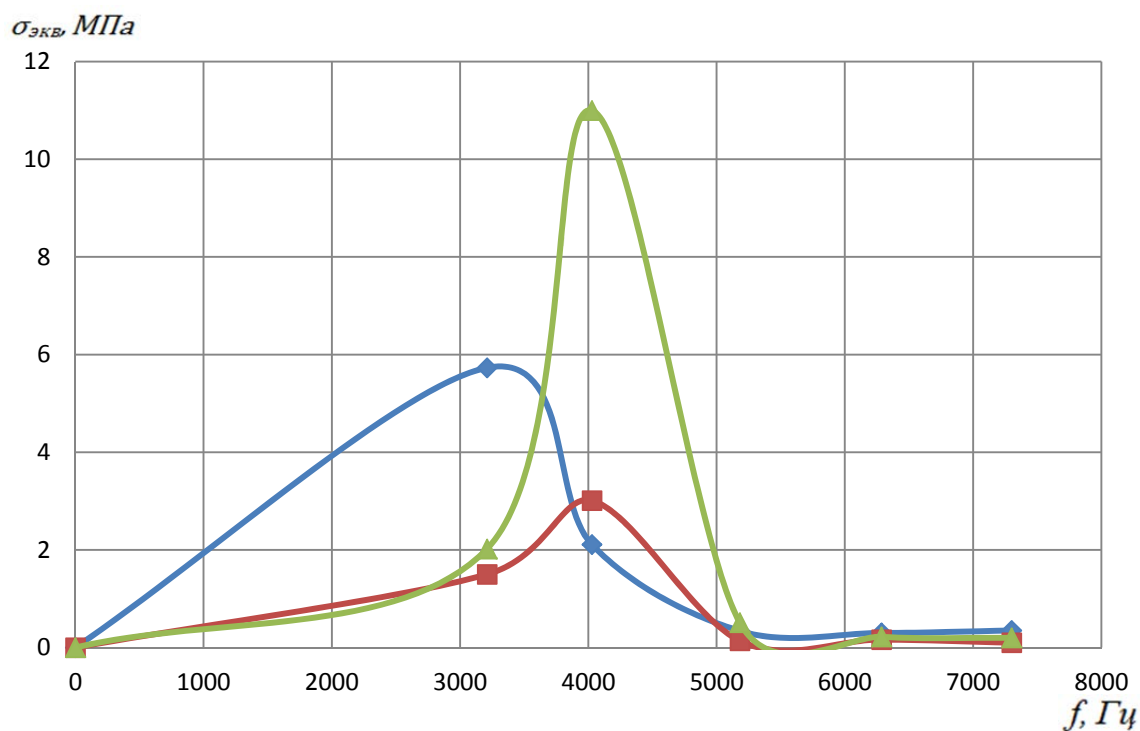


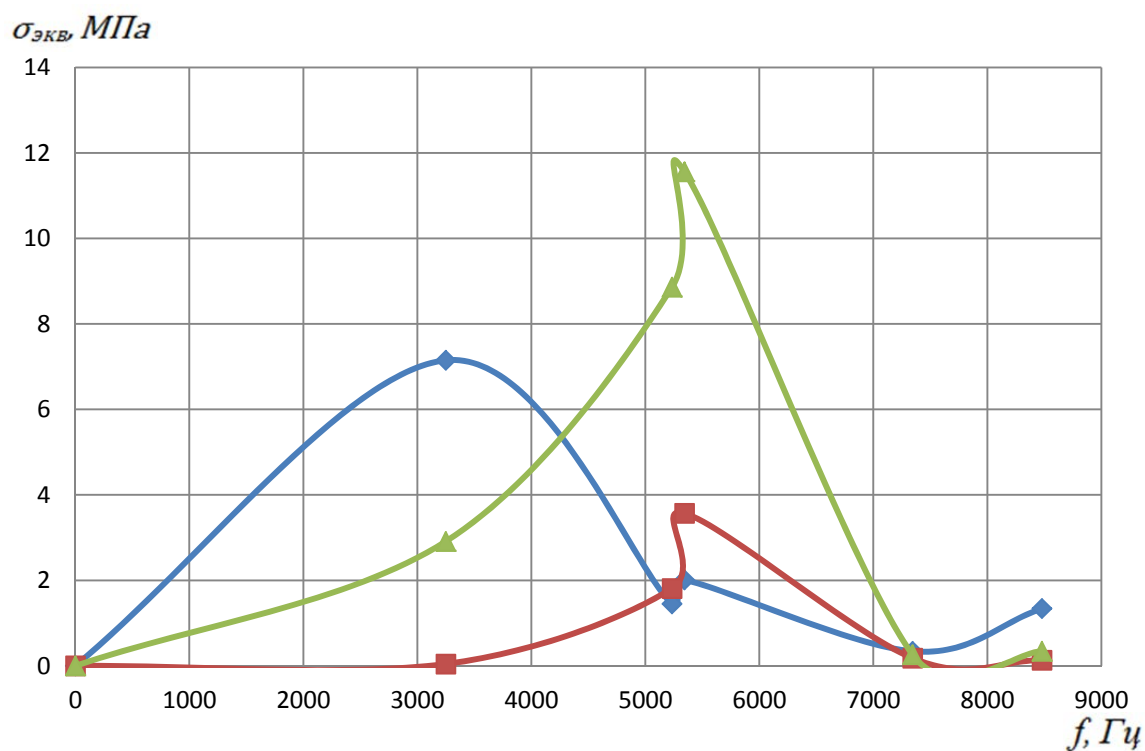
Рис. 3. Изменение $\max \sigma_{\text{экв}}$ в частотном диапазоне для микросборки I:

— крышка ; — плата ; — основание

Анализ результатов численного моделирования НДС микросборок показал, что распределение напряжений по крышке, основанию и платам существенно определяется частотами и формами их колебаний, которые реализуются при динамическом нагружении (см. рис. 2).

Рис. 4. Изменение $\max \sigma_{экр}$ в частотном диапазоне для микросборки II:

— крышка ; — плата ; — основание

Рис. 5. Изменение $\max \sigma_{экр}$ в частотном диапазоне для микросборки III:

— крышка ; — плата ; — основание

Наибольшие напряжения в крышке микросборок достигаются на низших частотах (рис. 6). Для платы и основания наибольшие напряжения достигаются на более высоких частотах (см. рис. 3–5), где имеют место резонансы этих элементов. Существенной особенностью является то, что в основании наиболее нагруженными зонами, как правило, являются зоны проушин, где осуществляется крепление микросборки к несущей конструкции и имеет место ослабление сечения за счет отверстий

под винты крепления. При этом величина максимальных напряжений достигается на различных резонансных частотах в зависимости от конструктивных особенностей микросборки (см. табл. 1):

- для микросборки I: $\max \sigma_{\text{эКВ}} = 12,97$ МПа на частоте $f_3 = 5671$ Гц;
- для микросборки II: $\max \sigma_{\text{эКВ}} = 11$ МПа на частоте $f_2 = 4028$ Гц;
- для микросборки III: $\max \sigma_{\text{эКВ}} = 11,56$ МПа на частоте $f_3 = 5343$ Гц.

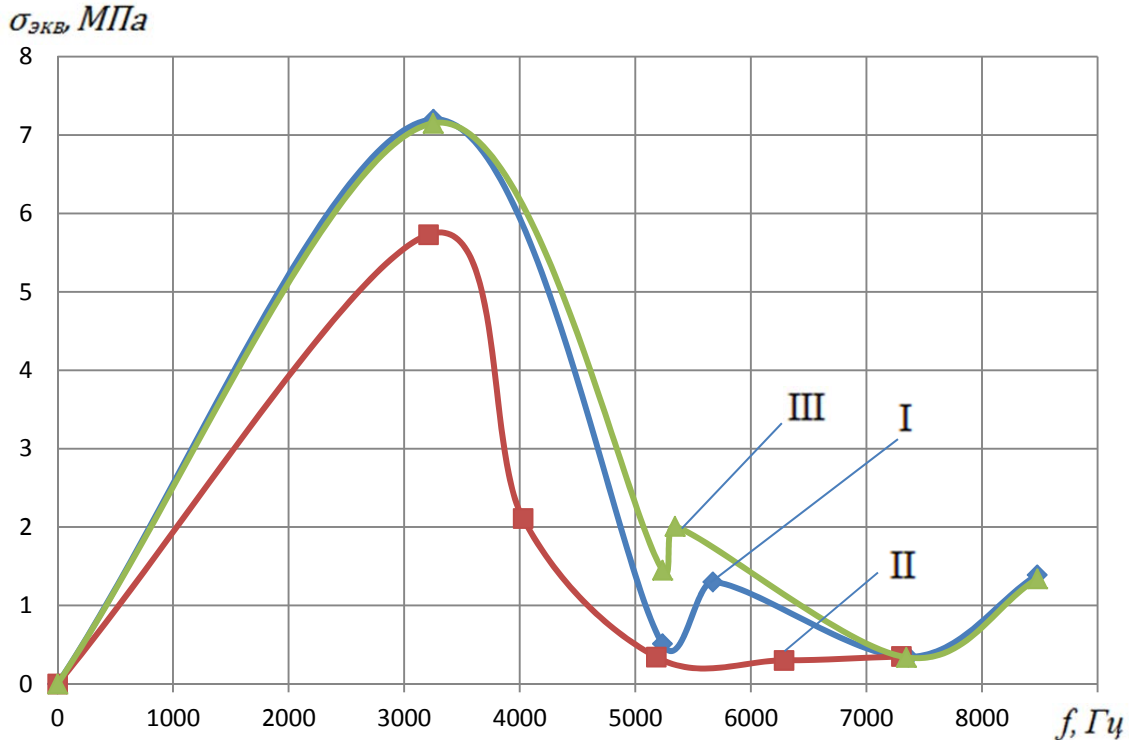


Рис. 6. Изменение $\max \sigma_{\text{эКВ}}$ в частотном диапазоне для крышки у микросборок I, II, III

Таким образом, в зонах проушин при динамическом нагружении возможно образование и развитие микротрещин.

Анализ НДС платы показывает, что распределение напряжений по ее поверхности и значения максимальных напряжений также зависят от частоты внешнего воздействия и конструктивных особенностей микросборки.

Численное моделирование НДС, проведенное для различных типоразмеров микросборок, показало:

- наиболее нагруженными элементами микросборки в зависимости от внешнего частотного воздействия являются крышка, основание, плата и шов, соединяющий плату с основанием;
- НДС существенно зависит от геометрических размеров корпуса и платы, а также частоты внешнего воздействия;
- положение наиболее нагруженной зоны конструкции существенным образом определяется формой колебаний, реализуемой в элементах конструкции при динамическом воздействии, а также размерами плат и корпуса микросборки.

С точки зрения обеспечения надежности микросборки при эксплуатационных динамических воздействиях наибольший интерес представляет анализ НДС платы, шва и основания микросборки, который позволяет определить зоны возможного образования латентных дефектов уже на ранних этапах конструкторской разработки микросборок и принять соответствующие конструкторско-технологические решения, обеспечивающие вибропрочность конструктивных элементов и микросборки в целом.

Анализ НДС платы микросборки позволяет определять наименее деформируемые зоны на поверхности платы, в которых рекомендуется размещать тензорезистивные элементы для уменьшения метрологической погрешности микросборки при внешнем динамическом воздействии.

Выводы

Обобщая проведенный анализ, укажем на то, что разработка и применение математических моделей и программно-ориентированных вычислительных комплексов позволяют на ранних этапах конструирования и разработки технологических процессов изготовления обеспечивать требуемую надежность и виброустойчивость проектируемых конструкций. Выбор расчетной математической модели и ее уровня сложности (одномерная, двумерная, трехмерная, учет гетерогенности и других конструктивных особенностей) определяется свойствами и требуемой точностью анализа НДС проектируемой конструкции.

Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортно-технической техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Список литературы

1. Hadi, A. Sh. Study of layer structures in the devices of instrument engineering for increasing safety in the process of their operational lifetime / A. Sh. Hadi, A. N. Litvinov // ISJ theoretical & applied Science. – 2015. – № 04 (24). – P. 101–107.
2. Литвинов, А. Н. Моделирование динамических процессов в изделиях приборостроения : моногр. / А. Н. Литвинов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – 196 с.
3. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств : учеб. / Н. К. Юрков. – СПб. : Лань, 2014. – 480 с.
4. Хади, О. Ш. Моделирование напряженно-деформированного состояния корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов // Динамика и прочность (глава 1) : избр. тр. Всерос. науч. конф. по проблемам науки и технологий. – М. : РАН, 2013. – С. 3–26.
5. Хади, О. Ш. Исследование НДС микросборок при технологической опрессовке в программном комплексе ANSYS / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов // Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. – Рубцовск : Рубцовский индустриальный ин-т, 2014. – С. 87–94.
6. Литвинов, А. Н. Исследование состояния плат РЭС при тепловых воздействиях / А. Н. Литвинов, О. Ш. Хади, Н. К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 2. – С. 182–191.
7. Хади, О. Ш. Исследование динамических характеристик микросборок приборных устройств при вибрационных воздействиях / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 3. – С. 134–143.

Хади Одей Шакер

ассистент,
Технологический университет (г. Багдад, Ирак),
аспирант,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: aodayshaker@mail.ru

Литвинов Александр Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра теоретической и прикладной механики,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: aleksletvinov@mail.24

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Hadi Auday Shaker

assistant,
University of Technology (Baghdad, Iraq),
postgraduate student,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Litvinov Aleksandr Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of theoretical and applied mechanics,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Yurkov Nikolay Kondrat'evich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. *Актуальность и цель.* Математическое моделирование динамических процессов элементов микросборок приборных устройств является актуальной проблемой, позволяющей на ранних этапах проектирования принимать конструкторско-технологические решения для обеспечения требуемого уровня вибропрочности и виброустойчивости микросборок в эксплуатационных режимах. Целью работы является повышение надежности и обеспечение тактико-технических характеристик приборных устройств, подверженных динамическому воздействию, конструкторско-технологическими способами. *Материалы и методы.* В статье рассматриваются микросборки замкнутого типа, имеющие прямоугольную форму и подверженные действию внешней гармонической вибрации. Выполнено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) микросборки и ее элементов с использованием метода конечных элементов, реализованных в пакете ANSYS с учетом того, что микросборки представляют собой гетерогенные структуры. Даны рекомендации по проектированию микросборок рассматриваемого типа. *Результаты.* Разработан комплекс моделирующих программ и выполнено численное исследование спектра собственных частот и НДС элементов микросборки при вибрационном нагружении. Исследованы формы колебаний и спектр собственных частот, а также положение наиболее нагруженных зон элементов микросборок, в которых возможно возникновение и развитие латентных дефектов. *Выводы.* Проведенные численные исследования показали, что для обеспечения виброустойчивости и стабильности метрологических характеристик микросборок необходимо на этапе их проектирования проводить математическое моделирование состояния элементов микросборок при реальных эксплуатационных воздействиях.

Ключевые слова: микросборка, гетерогенная структура, собственные частоты, форма колебаний, напряженно-деформированное состояние, виброустойчивость, вибропрочность, приборные устройства.

Abstract. *Background.* Mathematical modeling of dynamic processes elements microassemblies instrument devices is an actual problem, allowing the early stages of the design to make design and technological solutions to ensure the required level of vibration strength and stability microassemblies in operating conditions. The aim of this work is to improve reliability and performance characteristics of devices instrument, subject to dynamic action, design and technological methods. *Materials and methods.* The article deals with micro assemblies closed type, having a rectangular shape and is subject to the action of an external harmonic vibration. Mathematical modeling of stress-strain state (SSS) micro assemblies and its elements are achieved with use of finite element method, implemented in ANSYS package, in view of the fact that micro-structures are heterogeneous. Recommendations are given for the design of these type microassemblies. *Results.* The developed complex modeling software and the numerical study of the spectrum of the natural frequencies and the SSS of the elements with micro vibration loading. Investigated waveform and spectrum of natural frequencies, as well as the position of the most loaded zones microassemblies elements, in which it is possible the emergence and development of latent defects. *Conclusions.* The numerical studies have shown that for vibration resistance and stability of metrological characteristics microassembly necessary at the design stage to carry out mathematical modeling of elements microassembly under real operational impacts.

Key words: micro assembly, heterogeneous structure, natural frequencies, mode shape, the stress-strain state, vibration resistance, vibration strength, instrument device.

УДК 531.3:681.2.08

Хади, О. Ш.

Конструкторско-технологические аспекты проектирования микросборок, работающих при динамическом нагружении / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 41–48. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-7.

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПОПЛАВКОВЫХ ДАТЧИКАХ

А. Ю. Доросинский, А. Н. Виньчаков, В. Г. Недорезов

В настоящее время датчики уровня строятся на самых различных физических принципах, причем использование датчика того или иного принципа функционирования определяется, как правило, совокупностью технических и эксплуатационных требований [1].

Датчики, основанные на магнитострикционном принципе, применяются в тех случаях, когда решается задача совместных измерений при обеспечении высокой точности. Их применение оправдано в условиях с повышенной взрывоопасностью, так как рабочие элементы датчика полностью изолированы от внешней среды.

Как уже было отмечено, датчик применяется для выполнения совместных измерений, таких как определение уровня, плотности и раздела сред, при измерении уровня топлива. Это выгодно тем, что измерения осуществляются на едином физическом принципе.

С целью развития и совершенствования метрологического обеспечения актуальной задачей является повышение точности измерений, которая напрямую зависит от качества определения информативных параметров сигнала, содержащего информацию о положении поплавка. Сигнал отклика, содержащий информацию о положении поплавка в датчиках, основанных на магнитострикционном принципе функционирования, представляет собой последовательность квазипериодических сигналов распределенных по оси времени.

Согласно магнитострикционному принципу функционирования время между подачей импульса возбуждения (стартового импульса) и появлением сигнала отклика пропорционально положению поплавка. Отсюда важной задачей является формирование пространства признаков, с помощью которых возможно точное выделение временных интервалов между составляющими сигнала отклика [2].

Под признаком в данном случае понимается некоторая характеристика или совокупность характеристик, по которым можно однозначно идентифицировать сигнал отклика и его параметры (в данном случае местоположение на оси времени). На рис. 1 изображена типичная форма сигнала отклика от магнита, установленного на поплавке уровня. Причем при наличии незначительных искажений данная форма остается неизменной.

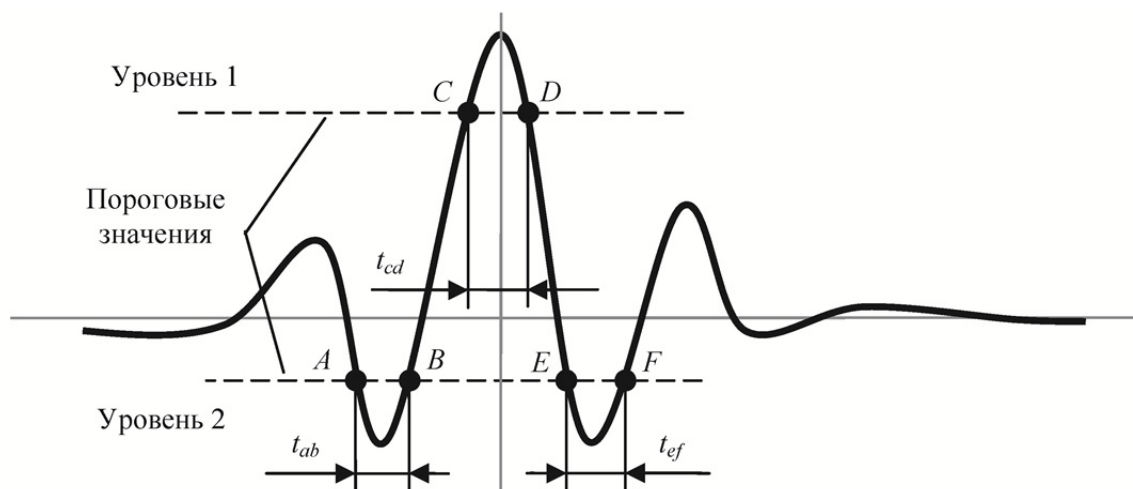


Рис. 1. Форма сигналов отклика

Наиболее используемым с точки зрения выделения пространства признаков полезного сигнала является метод, основанный на сравнении сигнала с заданными пороговыми значениями [3].

Данный подход заключается в обнаружении полезных сигналов путем превышения ими некоторого заданного порога. Помимо этого, данный подход выгоден тем, что в силу квазигармонической природы сигналов превышение порога возможно как одной, так и несколькими полуволнами. Исходя из этого, появляется возможность определения длительности превышения порога полуволной. Данная ситуация иллюстрируется рис. 1, где превышение основной полуволной положительного порога (интервал CD) составляет время t_{cd} .

Таким образом, в качестве параметров, однозначно характеризующих сигнал, можно условно выделить:

- амплитуды полуволн сигнала;
- периоды гармонических составляющих.

При данном подходе целесообразно переформулировать признаки, характеризующие сигнал как:

- превышение амплитуд полуволн сигнала некоторых пороговых значений;
- длительность превышения амплитуд полуволн сигнала некоторых пороговых значений.

Аппаратная реализация подобного подхода достаточно проста и требует наличия одного или нескольких компараторов в зависимости от выбранного количества пороговых значений.

Использование одного порогового значения, например уровня 1 (см. рис. 1), привлекательно с точки зрения простоты, так как компаратором будет сформирован логический сигнал, из которого можно выделить интервал времени пропорциональный положению поплавка, а значит, и текущему уровню.

При этом срабатывание компаратора может произойти в точках C , D или в C и D , так как параметры срабатывания компаратора могут быть настроены на:

- срабатывание по положительному перепаду (передний фронт);
- срабатывание по отрицательному перепаду (задний фронт);
- срабатывание по изменению уровня.

Независимо от параметров срабатывания компаратора изменение уровня на его выходе будет однозначно характеризовать местоположение сигналов на оси времени. При этом если при срабатывании по изменению уровня положительный и отрицательный перепады характеризуют местоположение полезного сигнала, то его переключение в точках C и D формирует временной интервал t_{cd} , которым можно пользоваться для подтверждения того, что полезный сигнал идентифицирован правильно (т.е. переключение компаратора не вызвано действием помехи).

Это возможно благодаря тому, что полупериоды сигнала отклика имеют неизменные значения в силу физического принципа функционирования.

Увеличение количества уровней, с которыми сравниваются сигналы отклика, позволяет более достоверно идентифицировать не только его местоположение, но и его истинность. Так, например, на рис. 1 рассмотрена ситуация идентификации сигнала отклика по двум пороговым уровням, где точками $ABCDEF$ обозначены возможные срабатывания компараторов в зависимости от их настроек. По результатам срабатывания компараторов могут быть выделены временные интервалы, отражающие параметры полезного сигнала, необходимые для его идентификации и определения местоположения.

Если компараторы настроены на срабатывание по изменению уровня, то при появлении информативной составляющей сигнала будут выделены три интервала t_{ab} , t_{cd} и t_{ef} , по которым может быть определена совокупность временных интервалов между точками: $AB \cup BC \cup CD \cup DE \cup EF$.

Далее полученные значения сравниваются с некоторым номинальным набором значений $\{AB_n, BC_n, CD_n, DE_n, EF_n\}$, соответствующих параметрам полезного сигнала. По степени близости измеренных и эталонных значений делается вывод о правильности идентификации того или иного полезного сигнала. Решающее правило для правильной идентификации в общем виде может быть записано так:

$$\forall \varepsilon_n \exists \varepsilon \in \mathcal{X} : \varepsilon = \left| (AB * BC * CD * DE * EF) - (AB_n * BC_n * CD_n * DE_n * EF_n) \right| \Rightarrow \varepsilon_n \geq \varepsilon,$$

где ε_n – пороговое значение, не превышение которого говорит о правильности идентификации элемента полезного сигнала; * – значок композиции.

При этом варианты композиции могут быть самыми разнообразными.

В свою очередь положение сигнала на оси времени может быть определено как по первому срабатыванию компаратора (точка A), так и по некоторой совокупности срабатываний.

В зависимости от настроек срабатывания компараторов можно получать различные совокупности временных интервалов, характеризующих полезный сигнал. Возможные варианты совокупностей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Возможные совокупности временных интервалов

Уровень 1	Уровень 2		
	Передний фронт	Задний фронт	Изменение уровня
Передний фронт	$BC \cup CF$	$AC \cup CE$	$AB \cup BC \cup CE \cup EF$
Задний фронт	$BD \cup DF$	$AD \cup DE$	$AB \cup BD \cup DE \cup EF$
Изменение уровня	$BC \cup CD \cup DF$	$AC \cup CD \cup DE$	$AB \cup BC \cup CD \cup DE \cup EF$

Выделение тех или иных временных интервалов целесообразно в случае ограничений, накладываемых на разрешающую способность, а значит, и точность их измерения. Так, например, в случае низкой частоты следования счетных сигналов таймеров, участвующих в измерениях, целесообразно увеличить временные интервалы, характеризующие сигнал. Наибольшие временные интервалы при этом получаются при настройке компараторов на срабатывание при различных перепадах уровней сигнала, в данном случае $BD \cup DF$ и $AC \cup CE$.

Также различные настройки могут иметь смысл и при иных особенностях построения алгоритма выделения элемента полезного сигнала.

При увеличении количества уровней, фиксирующих превышение сигнала, также увеличивается и достоверность идентификации сигнала, но неизбежно повышаются требования к производительности исполнительного микроконтроллера. Поэтому в каждом конкретном случае должен быть достигнут определенный паритет.

Как и в случае с двумя пороговыми значениями (см. рис. 1), для случая с тремя порогами так же может быть построена таблица совокупности получаемых сигналов в зависимости от настроек компараторов (аналогичная табл. 1). Но в этом случае таблица будет трехмерная.

Таким образом, оперируя данными признаками можно построить достаточно гибкий алгоритм выделения элементов полезного сигнала даже при воздействии сильных помех, порождаемых электромагнитными возмущениями и вибрацией, что опосредованно позволит повысить точность измерений.

Рассмотрим методы, пригодные для выделения информации о текущем уровне топлива на основе вышепредставленных признаков.

В качестве информативных составляющих можно выделить три временных интервала T_1 , T_2 и T_3 (рис. 2), которые представляют собой расстояние между элементами полезного сигнала.

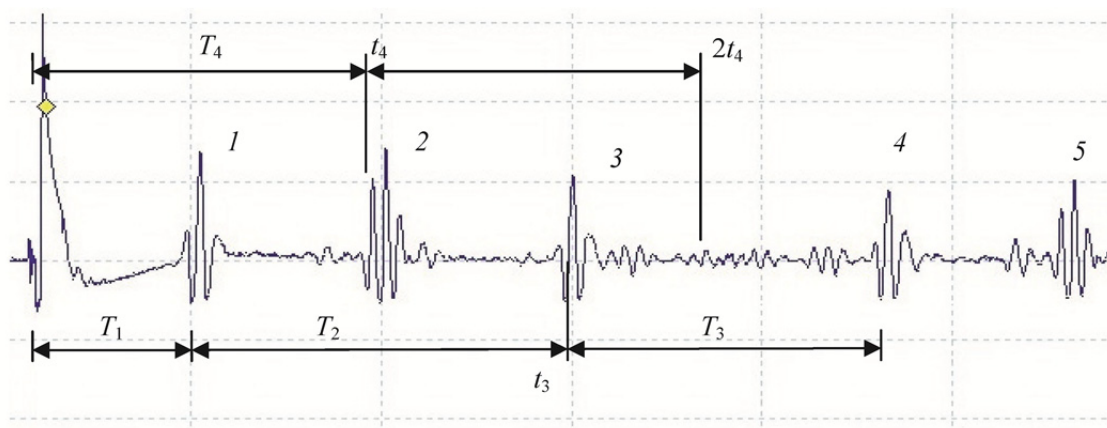


Рис. 2. Выделение временных интервалов между информативными составляющими

В интервале T_4 заложена информация о диапазоне преобразования.

Каждый из интервалов пропорционален определенным значениям линейных расстояний. Поэтому эту зависимость можно выразить системой

$$\begin{cases} T_1 \rightarrow l_x, \\ T_2 \rightarrow 2(l - l_x), \\ T_3 \rightarrow 2l_x, \\ T_4 \rightarrow l, \end{cases}$$

где l_x – расстояние от начала магнитострикционного стержня до текущего положения поплавка; l – длина магнитострикционного стержня.

Использование интервала T_1 для определения уровня топлива является самым очевидным $l_x = \frac{T_1}{T_4}l$, но на данный момент является не самым удачным вариантом за счет того, что при значениях уровня топлива близких к максимальным сигнал 1 смешивается с сигналом, порождаемым стартовым импульсом, вызывая существенные искажения.

Как показали исследования, от данного эффекта предположительно можно избавиться, за счет гальванической развязки схемы подачи стартового импульса и схемы измерения отклика. В этом случае достаточно измерять интервал T_1 , используя в качестве точки отсчета момент программного формирования сигнала управления для схемы подачи возбуждающего импульса.

При анализе еще и сигнала 3, необходимого для вычисления интервала T_2 , можно повысить помехоустойчивость вычислительного алгоритма проверкой симметрии сигналов относительно момента времени t_4 (в качестве t_4 можно использовать его приближенное значение). Подобный подход повысит вероятность того, что в условиях помех составляющие полезного сигнала определены правильно.

Кроме того, определение интервалов T_1 и T_2 и их использование в рамках единого алгоритма потенциально позволяет определить истинное значение l аналитическим путем, без использования сигнала 2.

Для определения l необходимо вычислить функционально связанное с ним значение $\frac{T_2}{2} + T_1 \rightarrow l$.

В этом случае отпадает необходимость в анализе сигнала 2, что предположительно позволяет исключить постоянный магнит, расположенный на конце магнитострикционного стержня. Это потенциально позволит повысить технологичность устройства, а также расширить диапазон измерения за счет исключения влияния смешивания сигналов 1, 2 и 3 при значениях уровня топлива близких к максимальным. Тем не менее этот вопрос требует отдельной проработки, так как неизвестно, как исключение магнита может повлиять на сигнал 3.

Использование только интервала T_2 для определения уровня топлива является не целесообразным из-за необходимости исключения влияния l из результата измерения, что приводит к необходимости проведения вспомогательного измерения интервала T_4 , что потенциально увеличит методическую погрешность измерения.

Поэтому данный временной интервал целесообразно использовать лишь в качестве дополнительного критерия правильности нахождения элементов полезного сигнала.

Третьим возможным способом оценки значения l_x является обработка сигналов 3 и 4. (Вычисление производится по формуле $l_x = \frac{T_3}{T_2 + T_3}l$). Это объясняется тем, что интервал T_3 пропор-

ционален удвоенному значению l_x , что в конечном счете повышает чувствительность и точность измерения. Более того, данные сигналы полностью не смешиваются при значениях уровня топлива близких к максимальным, а также обладают потенциальной идентифицируемостью при минимальных его значениях в силу лишь частичного смешивания с сигналами 2 и 5.

Как показала практика, повышение тактико-технических характеристик датчика возможно за счет использования алгоритмов определения уровня, обладающих повышенными требованиями к помехоустойчивости и быстродействию при одновременном снижении требований к вычислительной мощности, необходимой при обработке данных сигналов.

Исходя из критерия максимального правдоподобия, наиболее оптимальным в данном конкретном случае является использование метода прогнозирования местоположения элементов полезных сигналов на оси времени с последующим подтверждением их наличия.

Общий вид алгоритма, построенного на основе данного метода, представлен на рис. 3.

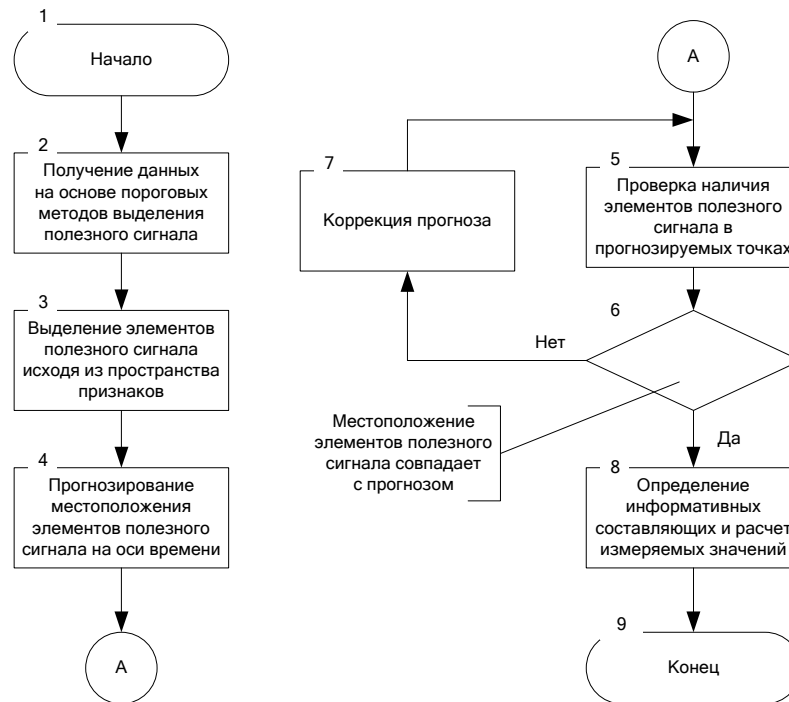


Рис. 3. Алгоритм определения измеряемых значений на основе прогнозирования местоположения информативных составляющих

Прогнозирование местоположения элементов полезного сигнала (блок 4) может осуществляться на основе следующей последовательности действий:

1) сигнал 3 должен находиться между значениями t_4 и $2t_4$, где в качестве t_4 может использоваться как расчетно-теоретическое значение, так и определенное по сигналу 2. Способ получения t_4 не принципиален, так как данное значение корректируется блоком 7;

2) сигнал 4 симметричен сигналу 3 относительно точки $2t_4$ и локализован в окрестности вычисленного значения времени $4t_4 - t_3$, где время t_3 определяет месторасположение сигнала 3 на оси времени;

3) сигнал 1 локализован в окрестности точки $\frac{T_3}{2} = T_1$ на оси времени, которую также можно вычислить по формуле $2t_4 - \frac{T_3}{2}$.

Далее с помощью блока 5 проверяется наличие выделенных элементов сигналов в окрестности полученных значений. Правильность выбора элементов полезного сигнала осуществляется исходя из некоторой меры расхождения между фактическим положением элементов на оси времени и прогнозируемым. В качестве меры расхождения можно использовать сумму квадратов ошибок (как в случае МНК). По величине суммы квадрата ошибок принимается решение о правильности прогноза блоком 6, т.е. полученное значение не должно превышать некоторый порог, определяемый экспериментально.

Если порог превышен, выполняется блок 7, где осуществляется коррекция прогноза, заключающаяся в вариации значения t_4 с целью выполнения второго условия системы

$$\begin{cases} t_4 < t_3 < 2t_4 \\ t' = 4t_4 - t_3 \end{cases},$$

где t' – местоположение сигнала 4 на оси времени.

Расчет значений, выполняемый блоком 8, осуществляется исходя из расчетного значения $T_4 = t' - t_3$.

Предложенный алгоритм дан в обобщенном виде, как пример одного из возможных реализаций принципа максимального правдоподобия применительно к данной задаче. Поэтому на основании предложенного принципа данный алгоритм можно модифицировать в зависимости от конкретных требований его реализации.

Список литературы

1. Датчики : справ. пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин, И. Г. Минаев, А. С. Совлуков ; под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – М. : Техносфера, 2012. – 624 с.
2. Безродный, Б. Ф. Оценка показателей надежности на основе определения объемов опытных партий изделий электроники / Б. Ф. Безродный, О. Ю. Шмелев, С. А. Майоров // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2 (6). – С. 21–26.
3. Володин, К. И. Информационная система сопровождения разработки встраиваемого программного обеспечения для беспроводных сенсорных сетей / К. И. Володин, А. И. Переходов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 1 (9). – С. 85–90.

Доросинский Антон Юрьевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза, ул. Гагарина, 13)
E-mail: antik_r13@mail.ru

Виньчаков Александр Николаевич

инженер,
специальное конструкторское бюро,
ОАО «Электромеханика»
(440052, Россия, г. Пенза, ул. Гоголя, 51/53)
E-mail: alexandrvin@mail.ru

Недорезов Валерий Григорьевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра сварочного, литейного производства
и материаловедения,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: nedval@yandex.ru

Dorosinskiy Anton Yur'evich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technologies
and systems,
Penza State Technological University
(440039, 13 Gagarin street, Penza, Russia)

Vin'chakov Aleksandr Nikolaevich

engineer,
special design bureau,
Electromechanica factory
(440052, 51/53 Gogol street, Penza, Russia)

Nedorezov Valeriy Grigor'evich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of welding, founding manufacture
and materials science,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. Описаны преимущества использования магнитострикционных датчиков при измерении параметров топлива. Рассмотрены особенности идентификации элементов полезного сигнала магнитострикционных поплавковых датчиков. Выделены информативные признаки, по которым целесообразно идентифицировать полезный сигнал. Предложен вариант идентификации элементов полезного сигнала на основе сравнения с заданными пороговыми значениями, для которого было разработано решающее правило. Даны рекомендации по выбору и настройке пороговых элементов в зависимости от их технических характеристик, а также быстродействия счетных таймеров, используемых при измерении временных интервалов. Проведен анализ временных интервалов, формируемых между элементами полезного сигнала, в результате чего была установлена их функциональная связь с параметрами датчика.

Abstract. The advantages of using magnetostrictive sensors when measuring fuel parameters. The features of the identification of the useful signal elements float magnetostrictive sensors. Obtained informative signs, which it is advisable to identify the useful signal. A variant of the identification of useful elements on the basis of a comparison of the signal with predetermined threshold values, for which we developed the decision rule. Recommendations for selecting and configuring the threshold elements, depending on their technical characteristics, as well as speed counting timers used in the measurement of time intervals. Analysis carried out slots are formed between the elements of the useful signal, whereby the installed their functional connection with the sensor parameters. An algorithm for determining the elements of the desired signal by using forecasting techniques, allowing to increase the noise immunity of magnetos trie tive sensor type.

Предложен алгоритм определения элементов полезного сигнала с помощью методики прогнозирования, позволяющий повысить помехоустойчивость датчиков магнитострикционного типа.

Ключевые слова: датчик уровня, поплавков, сигнал, идентификация, пороговое значение.

Key words: level sensor, float, signal, identification, threshold value.

УДК 621.3.082

Доросинский, А. Ю.

Обработка сигналов в магнитострикционных поплавковых датчиках / А. Ю. Доросинский, А. Н. Виньяков, В. Г. Недорезов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 49–55. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-8.

**ОБ ЭФФЕКТЕ НАЛОЖЕНИЯ СПЕКТРОВ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПОДВИЖНЫХ ШАССИ
И МЕТОДАХ ЕГО ИСКЛЮЧЕНИЯ**

А. А. Папко, А. В. Поспелов, Н. К. Юрков

Горизонтирование при установке объектов различного назначения на подвижные шасси осуществляется с помощью систем с аналогичным названием.

Неотъемлемой частью систем горизонтирования являются инерциальные системы, предназначенные для измерения углов крена, тангажа и формирования управляющих воздействий для опорно-поворотных устройств установки объектов в заданное положение. При этом эффективность работы систем устройств измерения углов тангажа и крена (УИТК) напрямую связана с точностью измерения названных углов.

В качестве измерителей углов в наземных системах горизонтирования, как правило, используются акселерометры уравнивающего преобразования [1]. В отличие от традиционных датчиков угла, использование акселерометров не требует механической связи между чувствительным элементом и подвижным основанием. Акселерометры измеряют углы наклона конструкций относительно вектора гравитационного ускорения g на основе энергетического взаимодействия с ним. При измерении углов тангажа θ и крена γ два акселерометра устанавливаются на платформу измерительными осями перпендикулярно. При этом они измеряют проекции вектора гравитационного ускорения, равные $g_\theta = g \sin \theta$ и $g_\gamma = g \sin \gamma$. Для каждого из них выходной сигнал без учета смещения нуля $U_{\text{вых}(\theta)}$ будет равен

$$U_{\text{вых}(\theta)} = K_{g\theta} \arcsin \frac{g_\theta}{g}, \quad U_{\text{вых}(\gamma)} = K_{g\gamma} \arcsin \frac{g_\gamma}{g},$$

где $K_{g\theta}$, $K_{g\gamma}$ – коэффициенты преобразования акселерометров каналов θ и γ по гравитационному ускорению.

Особенностями создания акселерометров для систем горизонтирования является выполнение двух противоречивых требований:

- высокой точности, реализуемой за счет увеличения глубины уравнивания и, как следствие, увеличения собственной частоты;
- устойчивости или сохранения метрологических характеристик при воздействии виброускорений в широком частотном диапазоне, возникающих при работе двигателя шасси, опорно-двигательных и технологических устройств объекта, например вентиляторов. При этом следует иметь в виду, что для систем горизонтирования с использованием акселерометров вибрационные помехи являются влияющей величиной, однородной с измеряемым параметром.

Выполнение указанных требований достигается путем формирования частотного диапазона измерений (ЧДИ), верхняя граница которого определяется контролируемой динамикой объекта и скоростью затухания амплитудно-частотной характеристики в первой октаве за верхней границей ЧДИ до 30 дБ/окт. При этом необходимость выполнения требований осложняется также тем, что параметры влияющих вибраций, как любой реальный сигнал, имеют неограниченный спектр, а требования к их частотному диапазону, как правило, задаются весьма приближенно.

В настоящее время для формирования ЧДИ акселерометров эффективно использование ФНЧ высокого порядка на переключаемых конденсаторах (на ПК-фильтрах). Для микросхем ПК-фильтров частота среза (верхняя граница ЧДИ) и частота генерации встроенного генератора, под которой следует понимать частоту дискретизации, связаны соотношением 50:1.

Структурная схема системы с учетом включения ПК-фильтров на входах АЦП микроконтроллера показана на рис. 1.

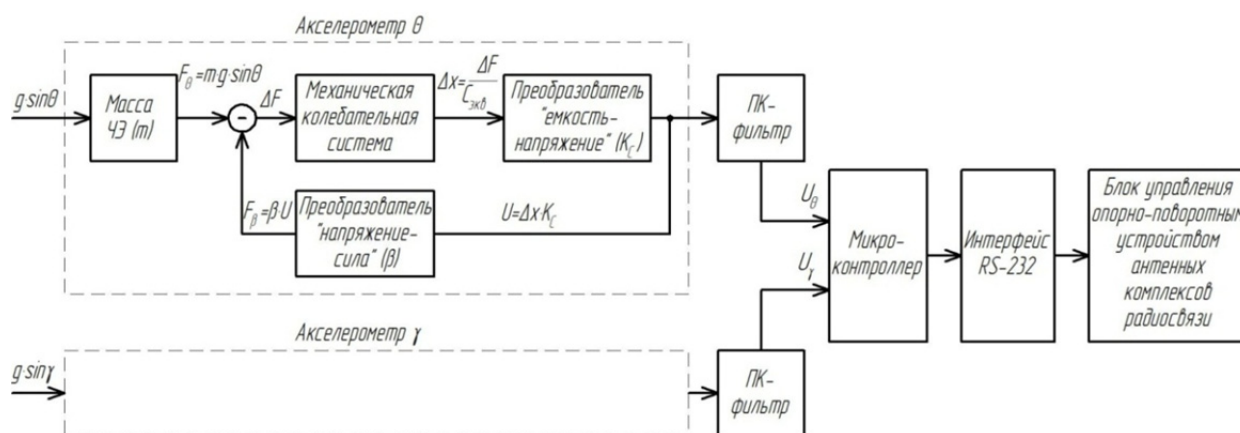


Рис. 1. Структурная схема системы горизонтирования: g – модуль вектора гравитационного ускорения; θ, γ – углы тангажа и крена соответственно; m – масса инерционного элемента; Δx – смещение инерционного элемента под действием измеряемой и уравнивающей сил F_θ (F_γ), F_β ; $C_{\text{экв}}$ – жесткость подвеса, формируемая электромеханической обратной связью

Согласно структурной схеме проекции гравитационного ускорения на измерительные оси акселерометров каналов θ и γ преобразовываются в них в выходные напряжения, которые подаются на ПК-фильтры и входы АЦП микроконтроллера.

В настоящее время в АО НИИФИ разработана система горизонтирования типа УИТК. Ее отличительной особенностью является использование акселерометров собственной разработки с применением отечественной комплектации, включая ПК-фильтр, микроконтроллер и приемопередатчик, а также высокая стабильность метрологических характеристик, нормируемая в виде среднеквадратического значения абсолютной погрешности, которое в условиях эксплуатации не превышает ± 20 угловых секунд (табл. 1). Для примера, эталонные средства горизонтирования типа поплавковых и электронных уровней имеют сопоставимую погрешность, но при неизменной температуре окружающей среды и отсутствии влияющих ускорений.

Несмотря на положительные результаты разработки и высокий уровень экспериментальной отработки УИТК, при ее пробной эксплуатации на подвижном шасси автомобиля «Тигр-М» системой записан спектр низкочастотного сигнала частотой до 2 Гц, который невозможно интерпретировать в качестве записей вибрации, воспроизведенной работой двигателя автомобиля. В режиме холостого хода автомобиля возможно наложение вибропроцессов от работы различных узлов двигателя, но их нижняя частотная граница, как правило, не бывает менее 300 Гц. Анализ вибрационных составляющих, возникающих при работе двигателя внутреннего сгорания [2, 3], показал, что причиной появления низкочастотной составляющей в спектре УИТК не может являться биение сигналов с незначительно отличающимися частотами в связи с тем, что биение как линейный процесс не может быть источником новых частотных компонент.

Таблица 1

Диапазоны измерений, град.	от ± 3 до ± 90
ЧДИ, Гц	0 – 4
Среднеквадратическое значение абсолютной погрешности в условиях эксплуатации, угл. с	± 20
Время непрерывной работы, ч, не более	15
Представление выходной информации	кодировка ASCII
Интерфейс	RS-232
Напряжение питания, В	23–34
Ток потребления, мА, не более	100
Температура окружающей среды, °С	минус 50 – + 70
Виброускорение в направлениях измерительных осей, $\text{м/с}^2/\text{Гц}$	0,5/5–500
Виброускорение в поперечном направлении, $\text{м/с}^2/\text{Гц}$	5/5–500
Масса с корпусом из стали, кг	1,7
Габаритные размеры, мм × мм × мм	100 × 150 × 54

Дальнейшие исследования показали, что появление в спектре выходного сигнала УИТК низкочастотной составляющей объясняется эффектом наложения спектров вибрационного сигнала и частоты дискретизации примененного ПК-фильтра. Указанный эффект характеризуется следующими признаками [4–6]:

- нарушением условия нахождения анализируемого сигнала (в рассматриваемом случае вибрационного) в зоне Найквиста или нарушением критерия дискретизации Котельникова, согласно которому частота дискретизации должна быть как минимум вдвое больше частоты исследуемого или влияющего сигнала;
- формированием в ПК-фильтре паразитного сигнала или низкочастотного образа реального сигнала, отображаемого в частотном диапазоне измерений системы и воспринимаемого АЦП и микроконтроллером в качестве измеряемого угла наклона (рис. 2).

В этой связи фактические измерения низкочастотной составляющей при установке УИТК на автомобиль «Тигр-М» объясняются отображением частот выше частоты дискретизации ПК-фильтра в полосу частот полезного сигнала, находящуюся в диапазоне частот от 0 до верхней границы ЧДИ [7, 8].

Из анализа признаков наложения спектров, а также учитывая, что эффект наложения в цифровом сигнале полностью производится на первом этапе цифроаналогового преобразования, а в данном случае – в ПК-фильтре, и то, что для любого реального сигнала спектр является бесконечным, следует, что для его исключения при работе УИТК необходимо принятие специальных мер.

К их числу относятся:

- увеличение частоты дискретизации ПК-фильтра, что связано с нежелательным расширением верхней границы ЧДИ;
- использование более предпочтительного решения в виде ограничения спектра измеряемого сигнала путем дополнительной аналоговой фильтрации выходного сигнала акселерометров.

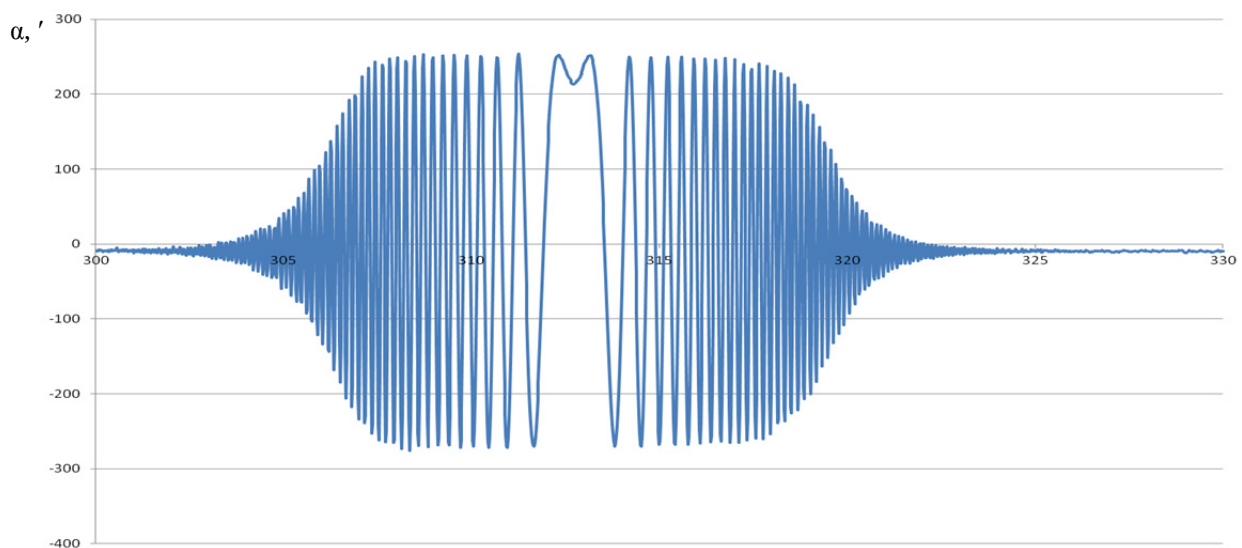


Рис. 2. Запись выходного сигнала УИТК при наложении спектров с частотой воздействия вибрации, близкой к частоте дискретизации

Реализация этого решения и его экспериментальное подтверждение позволили решить достаточно сложную проблему наложения спектра включением пассивного интегрирующего звена первого порядка на вход ПК-фильтра с частотой среза, превышающей верхнюю границу ЧДИ в (5–10) раз.

Таким образом, для правильной интерпретации результатов измерений систем горизонтирования на основе акселерометров в процессе эксплуатации необходимо не только фильтровать анализируемый сигнал до начала дискретизации, но и обращать особое внимание на достоверность представления частотного диапазона вибрационных помех, возникающих при работе шасси, опорно-поворотных и технологических устройств объектов горизонтирования.

Кроме этого, представляется целесообразным нормирование частоты наложения спектров в КД системы на основе экспериментального исследования при воздействии влияющих вибраций в интервале частот, верхняя граница которого превышает на порядок максимальную частоту вибраций, установленную в техническом задании.

Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Список литературы

1. Мокров, Е. А. Статико-динамические акселерометры для ракетно-космической техники / Е. А. Мокров, А. А. Папко. – Пенза : ПАИИ, 2004. – 164 с.
2. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов : пер. с англ. / Р. Лайонс. – 2-е изд. – М : Бином-Пресс, 2006.
3. Куприянов, М. С. Цифровая обработка сигналов : процессоры, алгоритмы, средства проектирования / М. С. Куприянов, Б. Д. Матюшкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2000. – 592 с.
4. ГОСТ 32108–2013. Измерения вибрации, передаваемой машиной через упругие изоляторы. Двигатели внутреннего сгорания поршневые высокоскоростные и среднескоростные. – URL: <http://docs.cntd.ru/>
5. ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации. – URL: <http://standartgost.ru/>
6. Болознев, В. В. Методы и средства радиоволновой вибродиагностики двигателей летательных аппаратов / В. В. Болознев, М. Ю. Застела, Ф. Н. Мирсаитов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 102–108.
7. Лушпа, И. Л. Модели интенсивности отказов виброизоляторов для электронных средств / И. Л. Лушпа, В. В. Жаднов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 50–57.

Папко Антонина Алексеевна

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 9)
E-mail: inercial@niifi.ru

Поспелов Алексей Владимирович

инженер-конструктор,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 9)
e-mail: enpho@yandex.ru

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты разработки интеллектуальной системы горизонтирования устройств измерения тангажа и крена, предназначенной для горизонтирования объектов, эксплуатируемых на подвижных шасси. Показано, что в отличие от традиционных датчиков использование акселерометров не требует механической связи между чувствительным элементом и подвижным

Papko Antonina Alekseevna

doctor of technical sciences, professor,
senior research manager,
Research Institute for Physical Measurements
(440026, 9 Volodarskiy street, Penza, Russia)

Pospelov Aleksei Vladimirovich

design-engineer,
Research Institute for Physical Measurements
(440026, 9 Volodarskiy street, Penza, Russia)

Yurkov Nikolay Kondrat'evich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. Presents the results of the development of the intellectual system of leveling of the pitch and roll measurement device designed for leveling the objects used on movable chassis. It is shown that unlike traditional sensors use accelerometers requires no mechanical connection between sensor element and moving base that provides high accuracy implemented by increasing the depth of trim and stability (preserve metrological

основанием, что обеспечивает высокую точность, реализуемую за счет увеличения глубины уравнивания и, устойчивость (сохранения метрологических характеристик) при воздействии виброускорений в широком частотном диапазоне, что значительно упрощает их применение. Рассмотрены условия возникновения эффекта наложения спектров при эксплуатации устройств измерения углов тангажа и крена и методы его исключения. Дана структурная схема системы горизонтирования, в которой проекции гравитационного ускорения на измерительные оси акселерометров каналов θ и γ преобразовываются в выходные напряжения, которые подаются на ПК-фильтры и входы АЦП микроконтроллера. Показано, что при правильной интерпретации результатов измерений систем горизонтирования на основе акселерометров в процессе эксплуатации необходимо не только фильтровать анализируемый сигнал до начала дискретизации, но и обращать особое внимание на достоверность представления частотного диапазона вибрационных помех, возникающих при работе шасси, опорно-поворотных и технологических устройств объектов горизонтирования.

Ключевые слова: углы тангажа и крена, акселерометр уравнивающего преобразования, микроконтроллер, опорно-поворотное устройство, спектр, наложение спектров, низкочастотный образ реального сигнала.

characteristics) when exposed to vibration over a wide frequency range, which greatly simplifies their use. Reviewed by conditions that cause aliasing effects you use angular measurements of pitch and roll and the methods of its deletion. Dana structural scheme of the leveling system, in which the projection of the gravitational acceleration on the measuring axis accelerometers channels θ and γ are the output voltages, which can be enjoyed on the PC-filters and ADC inputs of the microcontroller. It is shown that a correct interpretation of the measurement results of accelerometers based leveling systems during operation must not only filter the signal being analyzed prior to the sampling rate, but pay particular attention to the accuracy of the presentation frequency range vibration disturbances occur in the chassis, musculo-turning device and process objects leveling.

Key words: pitch angles and a tilt, an accelerometer of the balance transformation, the microcontroller, the support-rotating device, a spectrum, superimposition of spectrums, a low-frequency fashion of a real signal.

УДК 629.73.018

Папко, А. А.

Об эффекте наложения спектров в интеллектуальной системе горизонтирования при эксплуатации на подвижных шасси и методах его исключения / А. А. Папко, А. В. Поспелов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 56–60. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-9.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ МЕРЦАЮЩЕГО ДЕФЕКТА ТИПА «КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ» ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА МИКРОСХЕМЫ В VGA КОРПУСЕ

В. М. Гречишников, А. Д. Бутько, А. А. Ерилкин

Введение

Увеличение функциональной сложности и плотности монтажа современных электронных плат требует совершенствования методов контроля качества их сборки. Вследствие быстрорастущей сложности интегральных микросхем (ИС) стандартная реализация известных методов тестирования электронных изделий наталкивается на ряд трудностей, таких как техническая и технологическая сложность тестов и, соответственно, значительное время их подготовки и выполнения [1]. Проблемы диагностики особенно актуальны при контроле сложных многослойных печатных плат с корпусами микросхем, не имеющих физического доступа к контактам. Существенно повысить эффективность тестирования электронных плат позволяет хорошо зарекомендовавший себя метод граничного сканирования (Boundary Scan).

Метод граничного сканирования описывается в стандарте IEEE 1149.1 и определяет размещение распределенных между выводами функционального ядра микросхемы и выводами ее корпуса специальных внутренних ячеек граничного сканирования (Boundary Scan Cell), образующих регистр последовательного сдвига. Соответствующий интерфейс предназначен для подключения электронных модулей к системам тестирования и диагностики, известен как JTAG-интерфейс. Для доступа к тестируемым ИС используется специальный порт TAP (Test Access Port), представляющий собой: регистр входа последовательных данных периферийного сканирования TDI (test data input), регистр выхода последовательных данных TDO (test data output), регистр тестовой синхронизации TCK (test clock), регистр выбора режима тестирования TMS (test mode select). Инициализация TAP-порта может осуществляться через регистр TRST (рис. 1). Все пять выводов подключаются к специальному внешнему разъему JTAG на печатной плате.

Использование технологии граничного сканирования позволяет разрабатывать тестопригодные изделия с большим коэффициентом тестового покрытия, повышающим потребительские свойства и надежность изделий.

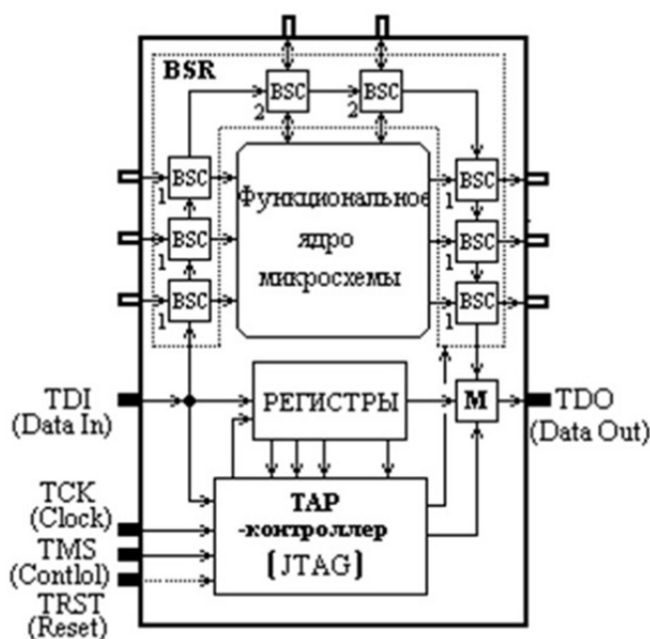


Рис. 1. Микросхема с элементами граничного сканирования

Проблемы выявления мерцающих дефектов на электронных модулях

К «мерцающим» неисправностям относятся такие, которые проявляются относительно редко, например 2–3 раза в день, когда при повторном тестировании наблюдается нештатное прохождение функционального теста или теста граничного сканирования. Сложность диагностики в этих случаях заключается в том, что невозможно искать неисправность обычным путем, т.е. контрольными измерениями в схеме из-за нестабильности и случайного проявления этого состояния.

Современные изделия бортовой радиоэлектроники представляют собой многослойные печатные платы, на которых установлены микросхемы высокой степени интеграции, каждая из которых может иметь до нескольких сотен выводов [2]. При этом во многих разработках используются микросхемы в корпусах типа BGA, к контактам которых после распайки на плате отсутствует физический доступ. Все это создает сложные, а нередко и неразрешимые проблемы для ручного поиска дефектов на собранных печатных платах.

В связи с этим представляется перспективным поиск «мерцающих дефектов» методом граничного сканирования при одновременном воздействии на ЭМ провоцирующих факторов в виде пониженных или повышенных температур, вариации атмосферного давления, влажности, также циклических воздействий в виде механической или акустической вибрации [3].

Моделирование и эффективность поиска мерцающего дефекта «короткого замыкания»

Экспериментальное подтверждение возможностей диагностики скрытых дефектов в процессе вибрационных испытаний [4] сводится к выявлению вероятности обнаружения искусственно созданного мерцающего дефекта. Имитация такого дефекта осуществлялась с помощью геркона, включенного между двумя соседними контактами испытуемой схемы. Функциональная схема экспериментального стенда приведена на рис. 2.

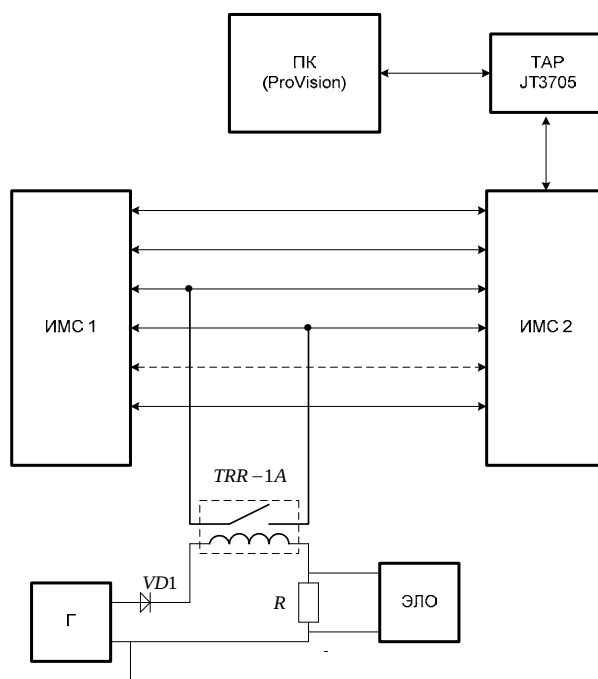


Рис. 2. Функциональная схема диагностики дефекта типа «короткое замыкание» в процессе импульсных испытаний

В состав стенда входит ПК – компьютер с установленным программным обеспечением ProVision. В программе ProVision [2] ранее был разработан диагностический проект. ПК через TAP контроллер JT3705 соединен с эталонной платой стенда, на которой установлена ИМС 2. ИМС 1 – микросхема со «скрытым» дефектом пайки, который имитируется с помощью герконового реле типа TRR-1A. Микросхемы ИМС1 и ИМС2 – Altera EPM570F100I5N; для управления переключением геркона использован импульсный генератор (Г) Г6-26; для контроля формы сигнала с геркона контролировалось с помощью цифрового осциллографа GW Insteck GDS 806S.

Общий вид экспериментальной установки приведен на рис. 3.

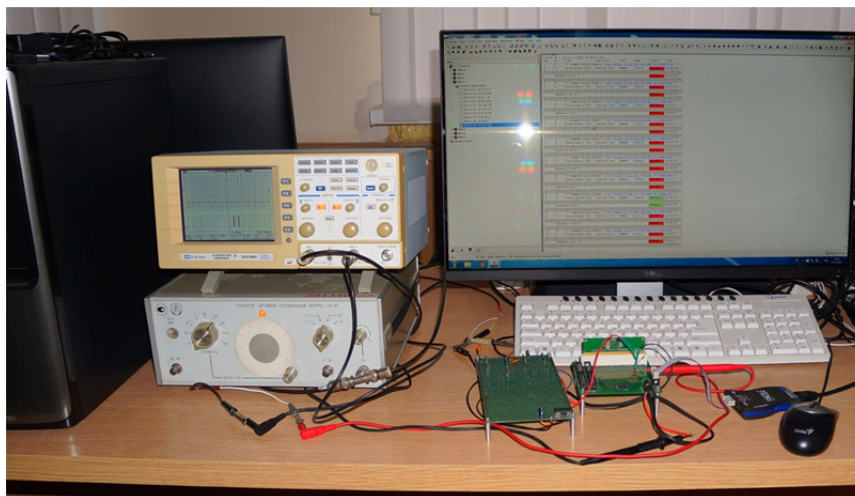


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки для имитации виброиспытаний и диагностики

Как показали эксперименты, в диапазоне частот от 0 до 400 Гц дефект обнаруживался в течение одного цикла тестирования. Поэтому наибольший интерес представлял диапазон 400–1000 Гц. Учитывая, что начальная фаза вибровоздействия случайна относительно начала цикла тестирования для повышения достоверности результатов, диагностика на каждой частоте проводилась в течение 10 последовательно выполняемых тестов. Кроме того, для большей надежности каждый цикл, состоящий из 10 тестов, выполнялся 10 раз. Таким образом, на каждой частоте тестирование проводилось 100 раз.

В результате статистической обработки результатов эксперимента были получены оценки эффективности диагностирования в зависимости от количества циклов и частоты вибровоздействия. При этом под эффективностью диагностики понимается количество тестов, выявивших дефект к общему числу выполненных тестов. Графическое отображение эффективности показано на рис. 4.

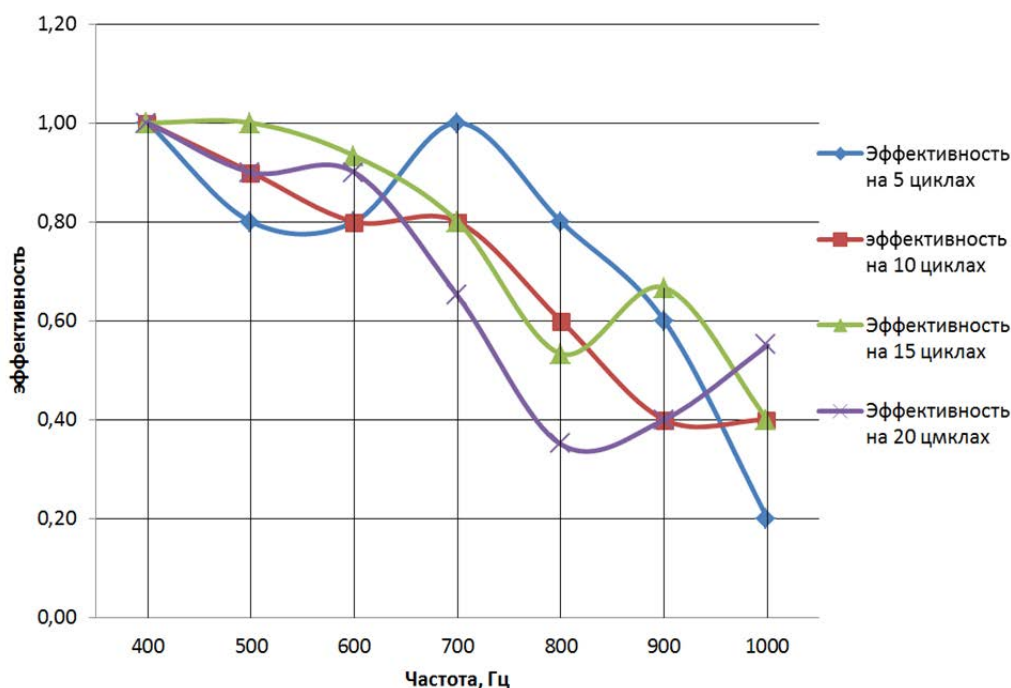


Рис. 4. Графическое отображение результатов диагностирования на частотах 400–1000 Гц, количество циклов 5, 10, 15, 20

Как и следовало ожидать (см. рис. 4), при увеличении частоты вероятность локализации дефекта при однократном тестировании уменьшалась.

Исходя из проведенного эксперимента, можно утверждать, что программно-аппаратный комплекс JTAG ProVision уверенно производит поиск и локализацию дефектов на низких частотах. Ведь даже на частоте 1 КГц достаточно будет 10 циклов диагностики данной платы. Один цикл приблизительно длится по времени две секунды. Это время определяется основным параметром – сложностью печатной платы (количество электрических слоев, установленных компонентов, микросхем с JTAG интерфейсом, реальным покрытием печатной платы).

Как уже отмечалось, в процессе эксперимента [5] диагностика проводилась с произвольным временным сдвигом относительно начальной фазы вибровоздействия, что приводит к значительному разбросу данных от опыта к опыту. Для того, чтобы адекватно обработать результаты, полученные выше, необходимо было провести исследование на этих частотах, но с большим количеством циклов диагностирования. Выбрано десять проходов на исследуемых частотах по десять циклов в каждом. Результаты обработки показаний представлены на рис. 5.

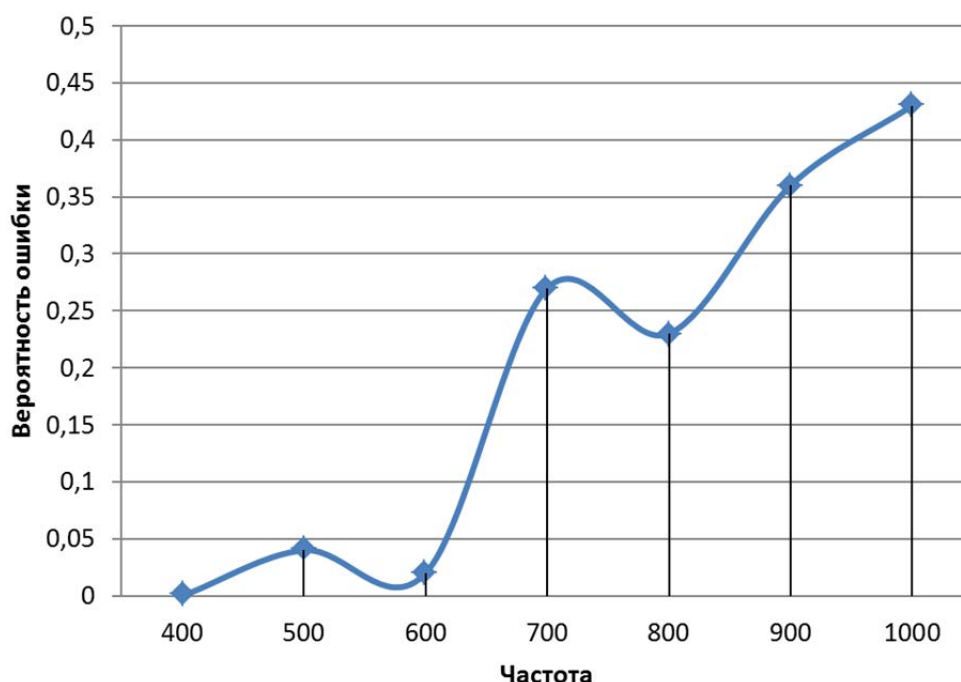


Рис. 5. Зависимость вероятности появления ошибки от частоты

Для того, чтобы вычислить зависимость вероятности появления ошибки от частоты, проанализированы данные, на основании которых определялось, сколько раз за один десятицикловый проход появится отчет об успешно пройденном тестировании. Такие данные были получены для каждой частоты за десять проходов диагностирования.

Как видно из рис. 5, при увеличении частоты до 1 КГц для достоверного обнаружения дефекта под корпусом BGA следует учитывать высокую вероятность возникновения ошибки диагностики, но вполне достаточно десяти циклов в одном проходе.

Выводы

1. Теоретически обоснован выбор количества циклов тестирования при виброиспытаниях для обеспечения 100 %-й диагностики в зависимости от соотношения периода вибровоздействия, длительностей тестовой последовательности и цикла тестирования.

2. Результаты проведенных исследований показали, что при 10 циклах диагностики искусственно вносимый дефект типа К.3 определялся со 100 %-й вероятностью. В диапазоне частот вибровоздействия от 0 до 400 Гц дефект определялся после 1–2 циклов тестирования. С увеличением частоты количество необходимых циклов увеличивалось до 5. В худшем случае на частоте 1 кГц коэффициент запаса по числу циклов диагностики был не хуже 5–6.

Список литературы

1. Ванцов, С. В. Надежность входного контроля / С. В. Ванцов, А. Н. Медведев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4 (12). – С. 91–100.
2. Иванов, А. В. Ключевые моменты тестопригодной разработки / А. В. Иванов // Электронные компоненты. – 2010. – № 18. – С. 4–8.
3. Кострикина, И. А. Применение ускоренных испытаний для исследования метрологической надежности информационно-измерительных систем / И. А. Кострикина, А. С. Ишков, Е. Н. Галкина // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 67–73.
4. Гречишников, В. М. Многофункциональные пакеты программ граничного сканирования / В. М. Гречишников, А. Д. Бутько // XII королевские чтения. – Самара : СГАУ, 2013. – Т. 2. – С. 116–117.
5. Особенности разработки макромоделей надежности сложных электронных систем / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 101–102.

Гречишников Владимир Михайлович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой электротехники,
Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева
(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)
E-mail: gv@ssau.ru

Бутько Алексей Дмитриевич

инженер, аспирант,
кафедра электротехники,
Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева
(443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)
E-mail: LexAK47@ya.ru

Ерилкин Алексей Андреевич

студент,
Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева
(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)
E-mail: LexAK47@ya.ru

Аннотация. Актуальность и цели. Сложные электронные модули, применяемые на борту авиационной и ракетно-космической промышленности, подвергаются различного рода воздействиям окружающей среды такие как: вибровоздействия, термоудары, резкие перепады давления, влажность и тому подобные. Вследствие таких воздействий часто появляются не стабильные во времени дефекты типа «короткого замыкания» и «разрыв контакта». Поиск и локализация которых в лабораторных условиях невозможен, потому что время существования дефекта связано с отклонением от нормальных условий эксплуатации. **Материалы и методы.** Перспективным направлением в исследовании такого рода процессов в электронных модулях является использование метода граничного сканирования, основанного на стандарте IEEE 1149.1, позволяющем при помощи программно – аппаратных средств, проверить целостность электрических связей на печатной плате, за считанные секунды. Разработанные тестовые приложения для поиска и локализации дефектов

Grechishnikov Vladimir Mikhaylovich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of electrical engineering,
Samara National Research University
named after academic S. P. Korolev
(443086, 34 Moscow highway, Samara, Russia)

But'ko Aleksey Dmitrievich

engineer, postgraduate student,
sub-department of electrical engineering,
Samara National Research University
named after academic S. P. Korolev
(443086, 34 Moscow highway, Samara, Russia)

Erilkin Aleksey Andreevich

student,
Samara National Research University
named after academic S. P. Korolev
(443086, 34 Moscow highway, Samara, Russia)

Abstract. Background. The difficult electronic modules used onboard the aviation and space-rocket industry are exposed to different environmental activities such as: vibration effects, thermal shocks, sharp differential pressures, humidity and to that similar. Owing to such influences often there are not stable defects in time like "short circuit" and "open pin". Which search and localization is in vitro impossible because time of existence of defect is connected to a deviation from reference conditions of operation. **Materials and methods.** The perspective direction in research of such processes in electronic modules is use of a method of the boundary scanning based on the IEEE 1149.1 standard allowing with the help programmatically – hardware, to check integrity of electrical communications on the printed circuit board, for read seconds. It is possible to apply the developed test applications for search and localization of defects together with accelerated tests of HALT/HASS. This technique allows in real time, in case of different environmental activities on electronic modules, to within a leg of a chip or under "ball" of the

возможно применять вместе с ускоренными испытаниями HALT/HASS. Данная методика позволяет в реальном времени, при различного рода воздействий окружающей среды на электронные модули, с точностью до ноги микросхемы или под «шариком» корпуса BGA локализовать дефект. *Результаты.* Предложенная методика моделирования позволила определить частоты на которых проявляются дефект типа «короткое замыкание». Так же рассчитана эффективность поиска «мерцающих дефектов» в зависимости от частоты вибро – воздействий на микросхемы в BGA корпусе. *Выводы.* Вибрационные воздействия оказывают существенное влияние на работу любой электронной аппаратуры. Актуальным является изучение зависимости возникновения дефектов не только от вибраций, но и от любых других воздействий окружающей среды. Это позволит решить проблему отказа аппаратуры на борту авиационной и ракетно – космической промышленности.

Ключевые слова: вибровоздействия, дефект, JTAG-интерфейс, ProVision, эффективность.

BGA casing to localize defect. *Results.* The offered technique of simulation allowed to determine frequencies at which are shown defect like "short circuit". Efficiency of search of "flickering defects" depending on frequency vibration impacts on chips in the BGA casing is also calculated. *Conclusions.* Vibrational influences have significant effect on operation of any electronic equipment. The study of dependence of appearance of defects not only from vibrations, but also from any other environmental activities is actual. It will allow to solve an equipment failure problem onboard aviation and is rocket – the space industry.

Key words: vibration, defect, JTAG interface, security, ProVision, efficiency.

УДК 681.518.5

Гречишников, В. М.

Локализация мерцающего дефекта типа «короткое замыкание» при вибрационных воздействиях на микросхемы в BGA корпусе / В. М. Гречишников, А. Д. Бутько, А. А. Ерилкин // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 61–66. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-10.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 62.192

DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-11

МОНИТОРИНГ РАБОЧЕГО СОСТОЯНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ПЛАТФОРМЫ

А. А. Авакян, М. В. Копненко, А. К. Максимов

Задачей мониторинга рабочего состояния избыточной отказоустойчивой платформы ИМА является контроль исправного функционирования последней с локализацией отказавшего компонента, для которой существует избыточность. Для обеспечения минимума затрат на техническое обслуживание необходимо создать избыточность достаточную, чтобы в межремонтный период (500–600 летных часов) обеспечить необслуживаемый режим. Реализовать принцип отложенного ремонта и необслуживаемой авионики (принцип MFOPS (Maintenance Free Operating Periods)). В [1, 2] расчетным путем определена необходимая избыточность, позволяющая поддерживать вероятность отказа платформы, в которой реализована хотя бы одна критическая функция на уровне 10^{-9} на час полета в течение межремонтного периода 500–600 летных часов с вероятностью готовности равной 0,998.

На основании этих расчетов была разработана архитектура такой избыточной отказоустойчивой платформы ИМА [1], которая представлена на рис. 1. Архитектура состоит из четырех интерфейсно-вычислительных трактов, каждый из которых состоит из вычислительного узла, входных и выходных каналов низкочастотного интерфейса ARINC-429, контроллеров низкочастотного интерфейса CAN, и портов высокочастотных интерфейсов AFDX и Fibre Canel. Выходы интерфейса CAN замыкаются на шину контроллеров CAN. Выходы интерфейса ARINC-429 объединяются двумя модулями МОВ, которые фактически коммутируют каналы интерфейса ARINC-429 на входы и выходы платформы. Аналогичные функции коммутации портов выполняют по два коммутатора интерфейсов AFDX и Fibre Canel.

Вычислительные узлы выполнены на компактной (55 мм × 84 мм) плате nanoETXexpress-SP. Плата содержит:

Процессор	Intel Atom Z510 (1,1 ГГц) или Z530 (1,6 ГГц)
Чипсет	Intel System Controller Hub US15W
Звуковой контроллер	Intel High Definition Audio
Кэш	32 КБ кэш инструкций + 24 КБ L1 Cache, 512 КБ L2 Cache
Частота процессора	от 1,1 ГГц до 1,6 ГГц
Размеры модуля (Д × Ш)	55 мм × 84 мм
Системная память	на модуле до 2ГБайт DDR2 400/533МГц
Ethernet	интегрированный 10/100/1000 Мбит Intel LAN
Ethernet контроллер	интегрированный Intel 82574L Hartwell
Флэш диск	интегрированный SSD Flash до 8 Гбайт
Графический контроллер	интегрированный Intel Graphics, Intel GMA 500, HDTV/HD совместимый, аппаратный декодер MPEG2(HD) / H.264
Графическое разрешение	один канал LVDS 18/24 бита; WXGA 1366 × 768 (опция 1920 × 1080)
Графическая память	до 256 Мбайт
PCI Express / PCI	1 × PCI Express x1 Lane (возможно 2 × 1, если без LAN)
SATA интерфейс	1 × Serial ATA с поддержкой 1,5 Гбит/сек
USB порт	8 × USB 2.0
Загрузка с USB	да

Поддержка шины SM	да
Внешний интерфейс	SDIO: 1 SDIO порт (GPIO)
Операционная система	Windows XP SP3, XPe, CE, Linux, VxWorks, QNX
Потребляемая мощность	в режиме простоя 2,8–3,2 Вт при 12 В
Управление питанием	ACPI 2.0 + APM S3
Источник питания	от 4,75 В до 14 В

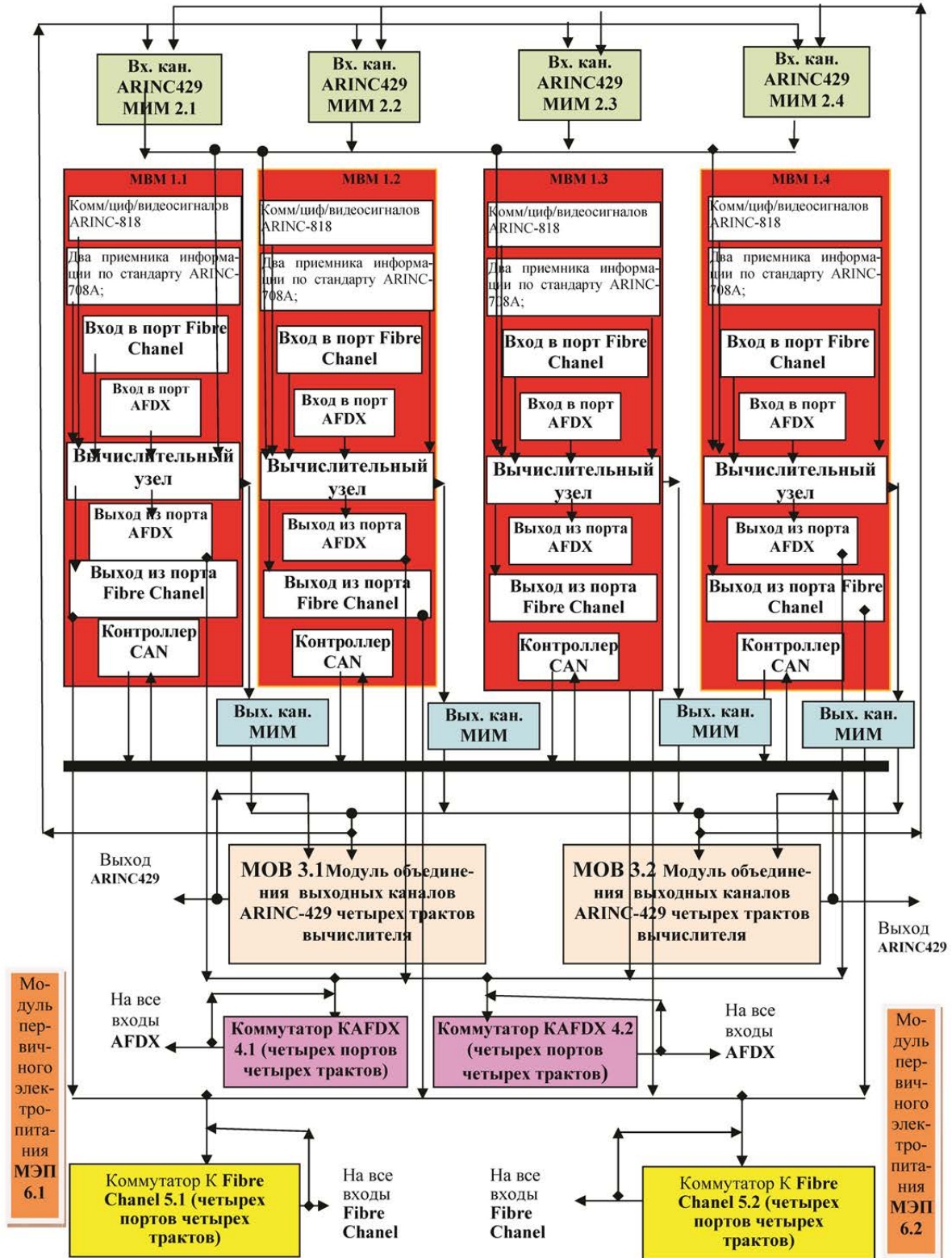


Рис. 1. Архитектура отказоустойчивой платформы

Интерфейсно-вычислительный процесс в платформе организован таким образом, что в каждом цикле Real Time независимо, но взаимосвязано функционируют две следующие аппаратно-программные системы:

- мониторинга рабочего состояния, который включает в свой состав анализ состояния компонент платформы и ее реконфигурацию при возникновении отказов и сбоев;
- решения функциональных задач на исправном интерфейсно-вычислительном ресурсе (рис. 2).

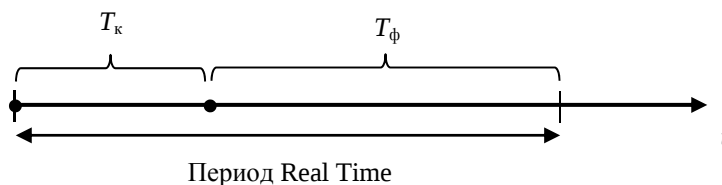


Рис. 2. Принцип независимого, но взаимосвязанного функционирования систем мониторинга рабочего состояния и решения функциональных задач в пространстве Real Time

Определим необходимые характеристики элемента контроля состояния системы: глубину, достоверность и полноту контроля. Для компонент платформы, на которых реализованы критические функции время парирования отказа, должно быть менее одной секунды, так как катастрофическая ситуация может развиваться за время не более одной секунды. Следовательно, отказы критических функций должны выявляться и парироваться на периоде T_k .

Отказы не критических функций могут выявляться и парироваться за период многих циклов периода Real Time. Период мониторинга рабочего состояния относительно не критических функций может составлять несколько минут. Введем ограничение на все виды мониторинга рабочего состояния десять минут. Тогда можно утверждать, что к концу каждого десятиминутного периода полета самолета, до возникновения нового отказа, система, для которой проводился мониторинг рабочего состояния, будет исправна. Период решения функциональных задач является переменной величиной, так как в каждом цикле T_f могут решаться различные задачи.

Определим характеристики глубины, полноты и достоверности контроля компонент, на которых не реализованы критические функции. Глубину контроля определяет технология восстановления платформы в условиях аэродромно-технической базы (АТБ), которую выполняют с целью восстановления избыточных компонент. Коэффициент полноты контроля определяется возможностями тестовых методов контроля. Самым совершенным методом тестового контроля является тестирование с помощью JTAG-систем. Профессиональная платформа JTAG ProVision значительно упрощает работу разработчиков программ контроля цифровых изделий [3]. Платформа позволяет анализировать тестовое покрытие. При этом удастся достичь величины коэффициента полноты контроля, не превышающего $\eta_T \leq 0,98$. Платформа также позволяет автоматически генерировать тесты. Но для таких логических узлов, как АЦП, ЦАП и им подобных, метод автоматической генерации тестовых векторов практически невозможен, поскольку для них отсутствует однозначная модель воздействий и откликов. Для создания приложений, тестирующих такие кластеры, в JTAG ProVision встроен язык программирования Python и среда JET UTAG Functional Test. Готовые функции позволяют оперировать выводами компонентов с поддержкой периферийного сканирования.

Коэффициент ложного контроля определяется экономическими характеристиками системы восстановления полной избыточности платформы в условиях АТБ. Разумно потребовать, чтобы затраты на восстановление компонент ложно определенных, как отказавшие, увеличивало общие затраты на восстановление платформы, не превышало 5 %. Исходя из этих соображений определим коэффициент ложного контроля при тестовом контроле равном $\eta_{г.л.} = 0,05$.

В [2] была выведена следующая формула связи вероятности неконтролируемого отказа после проведения тестового контроля:

$$P_{nT} = P_N \frac{(1 - \eta_T)}{(1 + \eta_{LT})} + P_{LT} \frac{(1 - \eta_T)}{(1 + \eta_{LT})}, \quad (1)$$

где P_N – вероятность контролируемого и неконтролируемого отказа достаточно сложного электронного устройства, не может превышать величины $P_N < 10^{-4}$; η_T – коэффициент полноты тестового

вого контроля, как было показано выше, не может превышать величины $\eta_T \leq 0,98$; η_{LT} – коэффициент полноты ложного тестового контроля, как было показано выше, не может превышать величины $\eta_{LT} \leq 0,05$.

Учитывая, что $P_{LT} = P_N \eta_{LT}$ формула (1) получит вид

$$P_{nT} = P_N (1 + \eta_{LT}) \frac{(1 - \eta_T)}{(1 + \eta_{LT})}. \quad (2)$$

Подставив определенные выше величины в формулу (2), получим вероятность неконтролируемого отказа равную $P_{nT} = 2 \cdot 10^{-6}$. Как видно из этой оценки, тестовый контроль не позволяет получить вероятность неконтролируемого отказа с величиной удовлетворяющей нормы летной годности. Следовательно, необходимы методы дополнительного контроля, позволяющие довести полноту контроля до величин, необходимых для получения вероятности неконтролируемого отказа менее 10^{-9} .

Обозначим коэффициент полноты дополнительного контроля через η_d . Оценим необходимую величину полноты η_d для получения вероятности неконтролируемого отказа менее $P_{ND} < 10^{-9}$.

Выше было сказано, что период от момента возникновения отказа критической функции до его парирования не должен быть больше одной секунды. Выполнить мониторинг рабочего состояния за такой период можно только посредством быстрого контроля всего интерфейсно-вычислительного тракта. Поскольку сигнал на выходе интерфейсно-вычислительного тракта является сигналом, прошедшим через все компоненты этого тракта, то информация, которую несет этот сигнал, при отказе любой компоненты тракта приведет к ее искажению. На рис. 1 видно, интерфейсно-вычислительный тракт является самой большой частью платформы, на которой построена ее избыточность. В нашем случае избыточность равна четырехкратному резервированию интерфейсно-вычислительного тракта. Следовательно, глубина контроля должна быть до интерфейсно-вычислительного тракта.

Определим необходимую полноту контроля, которая необходима, чтобы выявлять редкие отказы критических функций, возникающих с вероятностью 10^{-9} и более отказов за час полета.

В [2] была выведена формула коэффициента полноты дополнительного контроля

$$\eta_d = 1 - \frac{P_{nd} (1 - \eta_{Ld})}{P_N (1 + \eta_{Ld})}. \quad (3)$$

Подставим в формулу (3) следующие величины:

- вероятность неконтролируемого дополнительным контролем отказа устройства $P_{ND} < 10^{-9}$ (норма летной годности для катастрофической ситуации [4, с. 14]);
- вероятность контролируемого и неконтролируемого отказа достаточно сложного электронного устройства $P_N < 10^{-4}$;
- коэффициент полноты ложного контроля при дополнительном методе контроля $\eta_{Ld} < 0,05$.

В результате вычисления получим следующую величину коэффициента полноты контроля дополнительными методами, которая обеспечит вероятности неконтролируемого отказа 10^{-9} ; равную $\eta_d = 0,9999975$. Такая величина контроля, близкая к единице, означает, что для выполнения норм летной годности у устройств, в которых реализованы критические функции, должны контролироваться практически все элементы.

Выше было показано, что с помощью тестового контроля можно достичь полноты контроля с коэффициентом не более $\eta_T < 0,98$. При этом вероятность неконтролируемого отказа будет более $P_{nT} > 2 \cdot 10^{-6}$. Поскольку такая вероятность неконтролируемого отказа не удовлетворяет нормам летной годности, предъявляемым к устройствам, на которых реализованы функции, отказы которых могут привести к катастрофической ситуации, то необходимо применять методы контроля, обеспечивающие контроль с коэффициентом близким к единице.

Рассмотрим один из методов такого контроля применительно к интерфейсно-вычислительному тракту. Метод мажоритарного контроля сигналов, несущих информацию о параметрах, прошедших через весь интерфейсно-вычислительный тракт (эхосигнал), путем сравнения значения критического параметра, например, параметра, определяющего пространственное положение

летательного аппарата. Проведя контроль посредством сравнения эхосигналов двух трактов по всем интерфейсам, реализованным в данном устройстве, можно гарантировать полноту контроля близкую к единице. Осуществив такой контроль мажоритарно, т.е. путем попарного сравнения трех и более интерфейсно-вычислительных трактов, можно определить неисправный тракт.

Основной проблемой при таком методе контроля является выбор критерия сравнения сигналов. Не претендуя на полноту, рассмотрим ряд наиболее часто применяемых критериев сравнения информации.

Побитное сравнение

При этом методе производится сравнения слов по каждому биту на выходе двух интерфейсно-вычислительных трактов.

Преимущества побитного сравнения:

- процедура сравнения производится непрерывно по каждому слову, практически мгновенно и не требует прерывания вычислительного процесса;
- процедура более чувствительна к любым искажениям информации в одном из сравниваемых трактов;
- поскольку информация каждого бита может иметь только два численных значения 0 или 1, то попарное сравнение информации на выходах трех интерфейсно-вычислительных трактов будет иметь однозначный результат, с информацией об отказавшем тракте.

Недостатки побитного сравнения:

- высокая чувствительность к малым информационным искажениям, не влияющим на точность информации;
- побитный мажоритарный контроль возможен только при сравнении бит одинаковых слов, т.е. информация на выходе сравниваемых трактов должна быть синхронизирована.

Допусковое сравнение

При этом методе критерием сравнения является допуск на точность значения параметра.

Преимущества допускового сравнения:

- процедура сравнения производится непрерывно по каждому слову, практически мгновенно и не требует прерывания вычислительного процесса;
- процедура не чувствительна к несущественным искажениям информации в пределах допуска.

Недостатком допускового сравнения является зависимость эффективности контроля от величины допуска. Если этот допуск является большим, то некоторые отказы могут не выявляться из-за ошибок первого рода, если же допуск небольшой, то могут возникать ложные отказы (ошибки второго рода).

Кроме того, этот метод контроля не чувствителен к отказам вида «замораживание параметра», когда после возникновения отказа значение параметра в тракте не изменяется. Если при этом фактическое значение параметра изменяется в рамках допуска, то отказ не будет выявлен.

Если в качестве критерия контроля выбирается совпадение всех бит в сравниваемых сообщениях со значением параметра, то возникает множество ошибок первого и второго рода из-за неизбежных шумовых флуктуаций в трактах. Кроме того, этот метод контроля требует строгой синхронизации последовательности сообщений в сравниваемых трактах.

От недостатков перечисленных выше методов свободны методы, при которых сравниваются значения параметров не отдельных сообщений, а характеристики параметров статистики сообщений, т.е. интегральный параметр.

Наиболее эффективным, как будет показано ниже, из этих методов является метод сравнения доверительных интервалов на остаточную дисперсию регрессии [5, с. 336] случайного процесса изменения сравниваемых параметров. Остаточная дисперсия регрессии не зависит от изменения значений параметров, а доверительный интервал не зависит от случайных флуктуаций и чувствителен только к отказам.

Контроль с помощью регрессионного фильтра

Опишем математику построения регрессионного фильтра, с помощью которого можно получить доверительный интервал на остаточную дисперсию случайного процесса изменения значений параметра.

На рассматриваемый случайный процесс наложим дополнительно следующие ограничения, которые имеют место в реальных процессах:

а) значения случайного процесса подчинены нормальному закону, но известны только для моментов измерения параметров $t(i)$ (где $i = 1, 2, 3, \dots$), т.е. имеет место не случайный непрерывный процесс, а дискретный [6];

б) в областях, где отсутствуют переходные процессы, случайные процессы обладают свойством эргодичности [7, с. 339–343].

Обозначим случайный процесс изменения параметра через $W(t)$. Введем понятие интервала эргодичности T_{ε} как интервала, который может находиться в любой временной области и содержит характеристики о процессе, равные характеристикам, определенным на любом другом интервале, большем T_{ε} . Тогда условия эргодичности случайного процесса $W(t)$ можно записать следующим образом ($W(t)$ – процесс, являющийся эргодическим на интервалах):

$$t(i + N) - t(i) \geq T_{\varepsilon}, \quad (4)$$

где N – число точек интервала эргодичности.

Воспользуемся условием (4) для создания ансамбля реализаций синтезированного случайного процесса (назовем его условным), адекватного реальному процессу, состоящему из одной реализации. В качестве первой реализации нового процесса возьмем любой интервал реального процесса, больший, чем T_{ε} , который в реальном процессе ограничен следующими текущими моментами:

$$(t_1(n) - t_1(1))C \geq T_{\varepsilon}(2), \quad (5)$$

где $t_1(1)$ – момент начала формирования первой реализации и всего ансамбля; $t_1(n)$ – момент конца формирования первой реализации ансамбля реализаций; n – число точек (измерений в одной реализации); c – число реализаций.

Если ансамбль состоит из C реализаций, то интервалы всего ансамбля могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{aligned} & t_1(n) - t_1(1), \\ & t_2(n) - t_2(1), \\ & \dots \\ & t_c(n) - t_c(1). \end{aligned} \quad (6)$$

Для определенного нами условного случайного процесса сформируем матрицу значений случайного процесса в описанных выше точках:

$$W(t) = \begin{vmatrix} W_1(t_1), W_1(t_2), \dots, W_1(t_j), \dots, W_1(t_n) \\ W_2(t_1), W_2(t_2), \dots, W_2(t_j), \dots, W_2(t_n) \\ \dots \\ W_c(t_1), W_c(t_2), \dots, W_c(t_j), \dots, W_c(t_n) \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Из этого ансамбля интервалов видно, что последняя точка условного процесса $t_c(n)$ соответствует точке (моменту измерения) $t(N = cn)$ реального процесса. Введем понятие периода интегрирования случайного процесса T_{in} , равного периоду от момента первой точки матрицы (7) $t_1(1)$ до момента последней точки этой матрицы $t_c(n)$. Поскольку оценка доверительного интервала на остаточную дисперсию будет вычисляться по матрице (7), то протяженность этого интервала должна быть такой, чтобы оценка была достоверной. Для того, чтобы получить достоверную оценку, этот интервал должен быть больше интервала эргодичности T_{ε} (условие (5)).

Кроме того, чтобы парировать отказ, который может иметь катастрофические последствия, интервал интегрирования не должен превышать одной секунды (катастрофическая ситуация развивается как минимум в течение одной секунды). Следовательно, для получения эффективных

оценок по ансамблю реализаций, в частности доверительного интервала на остаточную дисперсию, необходимо, чтобы выполнялось условие [9, 10]:

$$1c \geq T_{in} \geq (t_1(n) - t_1(1))C \geq T_9(5). \quad (8)$$

Введем следующее дополнительное ограничение на условный случайный процесс. Случайные числа (значения измеренного параметра), входящие в матрицу (7), подчиняются любому многомерному распределению, у которого все моменты, выше второго, равны нулю. Наиболее типичным распределением такого типа является многомерное нормальное распределение [5, с. 341].

Рассмотрим операции над значениями матрицы (7) для получения оценок промежуточных величин, являющихся аргументами функций регрессии случайного процесса, остаточной дисперсии и доверительного интервала на нее.

По этой матрице (7) определим ковариационную (9) и корреляционную матрицы (10):

$$K = \begin{vmatrix} k_1, 1; k_1, 2; \dots; k_1, j; \dots; k_1, n \\ k_2, 1; k_2, 2; \dots; k_2, j; \dots; k_2, n \\ k_j, 1; k_j, 2; \dots; k_j, j; \dots; k_j, n \\ k_n, 1; k_n, 2; \dots; k_n, j; \dots; k_n, n \end{vmatrix}; \quad (9)$$

$$R = \begin{vmatrix} r_1, 1; r_1, 2; \dots; r_1, j; \dots; r_1, n \\ r_2, 1; r_2, 2; \dots; r_2, j; \dots; r_2, n \\ r_j, 1; r_j, 2; \dots; r_j, j; \dots; r_j, n \\ r_n, 1; r_n, 2; \dots; r_n, j; \dots; r_n, n \end{vmatrix}, \quad (10)$$

где k_j, j ; r_j, j – соответственно ковариационный и корреляционный моменты между случайными числами временных сечений i и j .

С учетом введенных ограничений на закон распределения случайных чисел определим:

– оценку математического ожидания случайных величин условного процесса в сечении t_j , которая будет равна [5, с. 379]:

$$MW(t_j) = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C W_i(t_j) = a_C(t_j); \quad (11)$$

– оценку стандартного (среднеквадратического) отклонения процесса случайных величин условного процесса в сечении t_j , которая будет равна [5, с. 379]:

$$GW(t_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^C (W_i(t_j) - a_C(t_j))^2}{C - 1}} = G_C(t_j); \quad (12)$$

– оценки элементов соответственно ковариационной и корреляционной матриц между сечениями j и l определяются посредством следующих формул [5, с. 441]:

$$k_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^C (W_i(t_j) - a_C(t_j))(W_i(t_l) - a_C(t_l))}{C - 1}; \quad (13)$$

– нормируя оценки ковариаций оценками среднеквадратичных отклонений сечений j и l , получим оценку коэффициента корреляции

$$r_{jl} = \frac{k_{jl}}{G_C(t_j)G_C(t_l)}. \quad (14)$$

Операция по оценке коэффициента линейной регрессии β_j по каждому j -му столбцу матрицы (9) определяется по следующей формуле [5, с. 447]:

$$\beta_i(t_j) = \frac{1}{|k_{i,j}|} \sum_{l=1}^{n-1} k_{0,l} K_{i,l}, \quad (15)$$

где $\beta_i(t_j)$ – оценка i -го коэффициента линейной регрессии в сечении t_j матрицы (4); $k_{i,j}$ – детерминант ковариационной матрицы (9); $k_{0,l}$ – оценка элемента ковариации между сечениями 0 и l матрицы (7); $K_{i,l}$ – алгебраическое дополнение элемента $k_{i,l}$ ($l = 1, 2, \dots, n-1$) ковариационной матрицы (9).

Операция по оценке остаточной дисперсии $(\sigma_{\text{од}}(c, n))^2$ регрессии параметра n_1 по данным матрицы (7) определяется по следующей формуле [5, с. 602]:

$$\begin{aligned} (\sigma_{\text{од}}(c, n))^2 = & \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C (W_i(t_0) - a_C(t_0) - \beta_1(t_1)(W_i(t_1) - a_C(t_1)) - \dots - \\ & - \beta_k(t_j)(W_i(t_j) - a_C(t_j)) - \dots - \beta_{n-1}(W_i(t_n) - a_C(t_n)))^2, \end{aligned} \quad (16)$$

где $(\sigma_{\text{од}}(c, n))^2$ – оценка остаточной дисперсии регрессии параметра n_1 ; $j = 1, 2, \dots, n-1$.

Гарольд Крамер [5, с. 602] доказал, что статистика Ψ отношения квадратов остаточной дисперсии к ее оценке, помноженная на число реализаций ансамбля C , распределена по закону χ^2 с $V = C - n - 1$ степенями свободы, т.е.

$$\Psi = \frac{(\sigma_0)^2 C}{(\sigma_{\text{од}}(c, n))^2}, \quad (17)$$

где $(\sigma_0)^2$ – значение остаточной дисперсии параметра; $(\sigma_{\text{од}}(c, n))^2$ – оценка остаточной дисперсии параметра.

Плотность вероятностей распределения χ^2 определяется формулой [7, с. 150]

$$K_V(x) = \begin{cases} P_V(\chi^2 \leq t) & \text{при } t > 0, \\ 0 & \text{при } t \leq 0. \end{cases} \quad (18)$$

Выражение для $P_V(\chi^2 \leq x)$ имеет следующий вид:

$$P_V(\chi^2 \leq t) = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \Gamma\left(\frac{V}{2}\right)} t^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}, \quad (19)$$

где $\Gamma\left(\frac{V}{2}\right)$ – гамма-функция, интегральное представление (формула Эйлера) которой для непрерывных z имеет следующий вид [5, с. 143]:

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} x^{z-1} e^{-x} dx. \quad (20)$$

Для целочисленных $z > 0$ имеют место следующие соотношения:

$$\Gamma(z+1) = z!, \quad 0! = \Gamma(1) = 1.$$

Введем обозначение $\frac{V}{2} = z+1$, тогда справедливо равенство

$$\Gamma\left(\frac{V}{2}\right) = \left(\frac{V}{2} - 1\right)!. \quad (21)$$

Подставив (21) в (19), получим следующую, удобную для вычислений, формулу:

$$P_V(\chi^2 \leq t) = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \left(\frac{V}{2} - 1\right)!} t^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}. \quad (22)$$

На основании вышеизложенного можно записать следующее неравенство:

$$t_{\min}(V, P_{\min}) \leq \frac{(\sigma_o)^2 C}{(\sigma_{\text{од}}(c, n))^2} < t_{\max}(V, P_{\max}), \quad (23)$$

где $t_{\min}$ и $t_{\max}$ – соответственно квантили распределения (22) для вероятностей $P_{\min}$ и $P_{\max}$ при V степенях свободы.

Тогда доверительный интервал для оценки стандартного отклонения с вероятностью доверия равной $P_d = P_{\max} - P_{\min}$ будет иметь вид следующего неравенства:

$$\sigma_{\text{од}}(c, n) \sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{C}} \leq \sigma_o < \sigma_{\text{од}}(c, n) \sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{C}}. \quad (24)$$

Поскольку мажоритарное сравнение остаточных дисперсий осуществляется для одного и того же параметра, прошедшего как минимум через три тракта, то в идентификатор оценки остаточной дисперсии введем индекс T , обозначающий номер тракта. С учетом этого индекса идентификатор оценки остаточной дисперсии будет иметь следующий вид: $\sigma_{\text{од}}(c, n)T$.

На основании (24) нижняя и верхняя оценки доверительного интервала стандартного отклонения остаточной дисперсии соответственно имеют значения

$$\sigma_{\text{од}}(c, n)_H T = \sigma_{\text{од}}(c, n) \sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{C}}, \quad \sigma_{\text{од}}(c, n)_B T = \sigma_{\text{од}}(c, n) \sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{C}}. \quad (25)$$

Доверительный интервал стандартного отклонения остаточной дисперсии определяется формулой

$$D_{\text{од}} T = \sigma_{\text{од}}(c, n) \left(\sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{C}} - \sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{C}} \right) = \sigma_{\text{од}}(c, n) \Delta, \quad (26)$$

где Δ – коэффициент, определяющий долю стандартного отклонения остаточной дисперсии, которая равна доверительному интервалу на стандартное отклонение остаточной дисперсии.

Тогда условия сопоставимости и несопоставимости доверительных интервалов стандартного отклонения остаточной дисперсии параметра, прошедшего через 1-й и 2-й тракты соответственно, запишутся в виде следующих неравенств:

$$|D_{\text{од}1} - D_{\text{од}2}| \leq A - \text{сопоставимо}, \quad |D_{\text{од}1} - D_{\text{од}2}| \geq A - \text{несопоставимо}, \quad (27)$$

где A – параметр сопоставимости, который подбирается экспериментально.

Оценим необходимую частоту измерений параметра для получения достоверных оценок остаточной дисперсии и доверительного интервала на остаточную дисперсию. Из формул (29) и (39) видно, что достоверность оценок, остаточная дисперсия и доверительный интервал стандартного отклонения остаточной дисперсии зависят от количества статистики, по которой строится матрица (20), поскольку соотношение между значением остаточной дисперсии и его оценкой определяется выражением (17), которая распределена по закону распределения Пирсона χ^2 (хи-квадрат) [5, с. 258].

Из выражения (24) и (26) видно, что доверительный интервал на остаточную дисперсию зависит от квантилей распределения χ^2 , которые определяются количеством реализаций случайного процесса изменения параметров C , количеством точек в каждой реализации n и вероятностью доверия, с которой мы хотим получить доверительный интервал на оценку. Число реализаций C и

число точек в реализации определяют число степеней свободы распределения V посредством следующего соотношения:

$$V = c - n - 1. \quad (28)$$

Из матрицы (7) видно, что количество измерений N , необходимое для формирования матрицы (7), равно $N = cn$. Практика показывает, что минимальное время развития катастрофической ситуации равно одной секунде. Следовательно, период формирования и обработки матрицы (20), обозначим его $T_{\phi o}$, должен быть менее одной секунды. Период формирования матрицы (7) T_{ϕ} будет равен периоду одного измерения T_n , умноженному на число элементов матрицы (7), т.е. $T_{\phi} = T_n N$. Обозначим период обработки матрицы (7) через T_o .

Тогда $T_{\phi o} = T_n N + T_o$.

С другой стороны, величина N должна быть не менее той, которая достаточна для обеспечения достоверности характеристик матрицы (20). Обозначим эту величину через N_d . Из описанного выше вытекает следующее неравенство, определяющее требования к периоду измерения параметров T_n :

$$T_n N_d + T_o \leq 1c. \quad (29)$$

Неравенство (29) не всегда может выполняться. Для таких случаев может быть предложена следующая процедура:

- после завершения периода $T_{\phi} = T_n N$ формирования матрицы (7) данные матрицы не обрабатываются, но запоминаются в памяти вычислительного узла. С этого момента начинается второй цикл формирования и обработки матрицы (7);
- третий и последующие циклы формирования матрицы (7) начинаются не в момент, когда завершается период формирования и обработки данных матрицы (7) предыдущего цикла, а через период, равный $1c - T_o$;

При такой процедуре формирования и обработки матрицы (7) через каждый период длительностью менее секунды будет появляться результат обработки матрицы (7), т.е. результат сравнения доверительных интервалов остаточных дисперсий по формуле (26). Реализация такой процедуры возможна, поскольку быстродействие современных вычислительных узлов превышает частоту измерения параметров на несколько порядков.

Для определения величины N_d , т.е. количества реализаций случайного процесса C и числа измерений в каждой реализации n , были проведены расчеты характеристик распределения χ^2 , которые приведены в табл. 1. Расчет производился для вероятности доверия

$$P_d = P_{\min} - P_{\max} = 0,996,$$

где $P_{\min}$ – нижняя граница вероятности доверия, равная интегралу от плотности распределения χ^2 формулы (29), определяющая нижнюю границу доверительного интервала стандартного отклонения остаточной дисперсии; $P_{\max}$ – вероятность, равная интегралу от плотности распределения χ^2 формулы (30), определяющая верхнюю границу доверительного интервала стандартного отклонения остаточной дисперсии.

Выражения для определения $P_{\min}$ и $P_{\max}$ имеют следующий вид:

$$P_{\min} = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \left(\frac{V}{2} - 1\right)!} \int_{-\infty}^{t_{\min}} t^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}} dt; \quad (30)$$

$$P_{\max} = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \left(\frac{V}{2} - 1\right)!} \int_{-\infty}^{t_{\max}} t^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}} dt, \quad (31)$$

где $t_{\min}$ – квантиль нижней границы вероятности доверия, определяющий нижнюю границу доверительного интервала стандартного отклонения остаточной дисперсии, определяемой по формуле (26); $t_{\max}$ – квантиль верхней оценки вероятности доверия, определяющий верхнюю

границу доверительного интервала стандартного отклонения остаточной дисперсии, определяемой по формуле (26).

Таблица 1

Характеристики распределения χ^2 при вероятности доверия $P_d = 0,996$

n	C	V	$P_{\min}$	$t_{\min}$	$P_{\max}$	$t_{\max}$	$\sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{C}}$	$\sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{C}}$	Δ	$m = \frac{v}{2}$	$\sigma = \sqrt{2v}$
5	41	35	0,00162	14,5	0,9978	62,5	0,595	1,240	0,645	33	8,37
10	100	89	0,00143	55	0,9977	131	0,742	1,145	0,403	87	13,34
30	270	239	0,00153	179	0,9977	304	0,814	1,061	0,247	237	21,87

В столбцах 11 и 12 приведены значения соответственно математического ожидания и стандартного отклонения дисперсии.

Таблица составлена для трех количеств измерений $N = C \cdot n = 205, 1000, 8100$.

Из таблицы видно:

- при $N = 205$, числе реализаций $c = 41$ и числе точек в каждой реализации $n = 5$ доверительный интервал стандартного отклонения остаточной дисперсии составляет 0,645 от оценки стандартного отклонения остаточной дисперсии $D_{\text{од}}T = \sigma_{\text{од}}(c, n) \cdot 0,645$;
- при $N = 1000$, числе реализаций $c = 100$ и числе точек в каждой реализации $n = 10$ доверительный интервал стандартного отклонения остаточной дисперсии составляет 0,403 от оценки стандартного отклонения остаточной дисперсии $D_{\text{од}}T = \sigma_{\text{од}}(c, n) \cdot 0,403$;
- при $N = 8100$, числе реализаций $c = 270$ и числе точек в каждой реализации $n = 30$ доверительный интервал стандартного отклонения остаточной дисперсии составляет 0,247 от оценки стандартного отклонения остаточной дисперсии $D_{\text{од}}T = \sigma_{\text{од}}(c, n) \cdot 0,247$.

Метод сравнения информации, прошедшей через различные интерфейсно-вычислительные тракты, имеет следующие преимущества:

- метод слабо коррелирован как с характеристиками сравниваемой информации, так и характеристиками устройств, формирующих и обрабатывающих информацию. В то же время он сильно коррелирован с характеристиками состояния устройства;
- метод не требует синхронизации информации.

Список литературы

1. Авакян, А. А. Мониторинг рабочего состояния отказоустойчивой платформы / А. А. Авакян, М. В. Копненко, А. К. Максимов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 88–94.
2. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. – М. : Межгосударственный авиационный комитет, 2009.
3. Типовые требования к эксплуатационно-техническим характеристикам комплексов бортового оборудования гражданских магистральных самолетов, самолетов МВЛ и авиации общего назначения : [утв. заместителем директора ГосНИИ «Аэронавигация В. Я. Кушельманом 10 мая 1994 г.].
4. Авакян, А. А. Синтез отказоустойчивых комплексов бортового оборудования летательных аппаратов / А. А. Авакян // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – № 2. – С. 6–10.
5. Авакян, А. А. Синтез сложных многофункциональных отказоустойчивых систем электроники / А. А. Авакян, В. В. Клюев. – М. : Спектр, 2014.
6. Авакян, А. А. Создание отказоустойчивых систем электроники на основе управляющей избыточности / А. А. Авакян, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2011. – Т. 2. – С. 369–375.
7. Авакян, А. А. Закон распределения отказов элементов и систем электроники / А. А. Авакян, А. Г. Дмитриенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 47–53.
8. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей: учеб. / Б. В. Гнеденко. – 3-е изд., перераб. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962.

9. Крамер, Г. Математические методы статистики : моногр. / Г. Крамер, А. А. Петров, А. Н. Колмогоров ; пер. с англ. под ред. А. Н. Колмогорова. – М. : Мир, 1973.
10. Авакян, А. А. Быстрая диагностика интерфейсно-вычислительных трактов с ошибками / А. А. Авакян, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 1. – С. 9–14.
11. Авакян, А. А. Мониторинг интерфейсно-вычислительных трактов систем авионики / А. А. Авакян, А. В. Соломин, Н. К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 3 (31). – С. 24–40.

Авакян Александр Анушаванович

доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
авиационного оборудования
(140180, Россия, г. Жуковский,
Московская область, ул. Туполева, 18)
E-mail: avakyan@niiao.com

Копненко Марина Владимировна

инженер,
Научно-исследовательский институт
авиационного оборудования
(140180, Россия, г. Жуковский,
Московская область, ул. Туполева, 18)
E-mail: info@niifi.ru

Максимов Анатолий Константинович

ведущий инженер,
Научно-исследовательский институт
авиационного оборудования
(140180, Россия, г. Жуковский,
Московская область, ул. Туполева, 18)
E-mail: info@niifi.ru

Аннотация. Современная элементная база электроники позволяет в габаритах и массах функциональных блоков, широко применяемых в авионике, сконцентрировать мощные интерфейсно-вычислительные ресурсы. Эти ресурсы достаточны, чтобы обеспечить работу многих аппаратных и программных приложений реализующих множество функций летательного аппарата (ЛА). Система модулей, включая базовое программное обеспечение, управляющая ресурсами таким образом, чтобы обеспечить работу многих приложений в интегральной модульной авионике (ИМА) [8], получила название «платформа ИМА». Платформа, функционирующая с множеством приложений, в интегральной модульной авионике (ИМА) получила название «система ИМА». Архитектура современных комплексов бортового оборудования (КБО) авионики от федерации множества функциональных блоков, количество которых в магистральных воздушных судах достигло ста и более, оптимизировалась в архитектуру, состоящую из небольшого количества систем ИМА. Реализация множества функций ЛА в системах ИМА, в том числе и критических, потребовала выполнения в системах ИМА норм летной годности [4] и регулярности полетов [9]. Нормы летной годности в отношении систем ИМА, реализующих функции, отказы кото-

Avakyan Aleksandr Anushavanovich

doctor of technical sciences, senior research manager,
Scientific Research Institute of Aircraft Equipment
(140180, 18 Tupolev street, Zhukovskiy,
Moscow region, Russia)

Kopnenkova Marina Vladimirovna

engineer,
Scientific Research Institute of Aircraft Equipment
(140180, 18 Tupolev street, Zhukovskiy,
Moscow region, Russia)

Maksimov Anatoliy Konstantinovich

leading engineer,
Scientific Research Institute of Aircraft Equipment
(140180, 18 Tupolev street, Zhukovskiy,
Moscow region, Russia)

Abstract. The modern element base of electronics allows the dimensions and masses of the functional blocks commonly used in avionics, focus powerful interface-computing resources. These resources are sufficient to ensure that the work of many hardware and software applications that implement many features aircraft (LA). System modules, including basic software that controls the resources in such a way as to ensure that the work of many applications in integrated modular avionics (IMA) [1] was called "IMA" platform. Platform, operating with a multitude of applications, integrated modular avionics (IMA), was called "IMA" System. Modern architecture complexes of the onboard equipment (BWC) avionics, from the Federation of multiple functional units, the number of which in the main air boats to one hundred or more optimizirovalos' in architecture, consisting of a small number of systems. Realization of multiple functions LA IMA systems, including critical, demanded the execution of IMA systems airworthiness [2] and flight regularity [3]. Airworthiness standards for systems that implement functions, malfunction, IMA, which lead to catastrophic situations, impose requirements to likelihood of failure was less than 10-9 failure per hour flown. Flight regularity requirements require restore failed CCD during not more than 15 minutes with a probability equal readiness 0.998. To meet these re-

рых приводят к катастрофическим ситуациям, предъявляют требования, чтобы вероятность отказа была менее 10^{-9} отказа за час налета. Требования регулярности полетов требуют восстанавливать отказавшие КБО за время не более 15 мин с вероятностью готовности равной 0,998. Чтобы выполнить эти требования с обеспечением минимума затрат на создание и техническое обслуживание КБО, платформы систем КБО должны быть максимально унифицированы и иметь высокую отказоустойчивость. Отказоустойчивость, обеспечивающую приведенные выше нормы летной годности и регулярности полетов, возможна, если реализовать в платформе ИМА избыточность ключевых компонент и систему управления избыточностью (СУИ). Статья посвящена рассмотрению принципов и методов системы мониторинга рабочего состояния платформы ИМА, являющейся основной компонентой СУИ. В статье рассматриваются такие проблемы мониторинга, как методы контроля, обеспечивающие: необходимую полноту и достоверность контроля, глубину контроля, достаточную для проведения реконфигурации системы при парировании обнаруженных отказов и сбоев, а также ограничения продолжительности контроля, позволяющие парировать критические ситуации.

Ключевые слова: мониторинг, контроль, избыточность, отказ, сбой, реконфигурация системы, регрессионный фильтр.

quirements with a minimum cost of development and maintenance of the CCD, CCD systems platform should be as unified and have a high fault tolerance. Fault tolerance, ensure that the above norms of airworthiness and flight regularity, perhaps, if implemented in the IMA redundancy of key components and redundant management system (MIS). The article is devoted to consideration of the principles and methods of monitoring system platform for IMA, which is the main component of the IMS. This article discusses issues such as monitoring methods of control: the necessary completeness and accuracy control, depth control sufficient for carrying out reconfiguration system when Parry discovered failures and failures, as well as limiting the duration of controls that enable you to fend off critical situations.

Key words: monitoring, control, redundancy, failure, failure, System reconfiguration, regression filter.

УДК 62.192

Авакян, А. А.

Мониторинг рабочего состояния отказоустойчивой платформы / А. А. Авакян, М. В. Копненко-ва, А. К. Максимов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 67–79. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-11.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СКРЫТЫМИ ОТКАЗАМИ

В. П. Полетаев, Д. А. Богданов

Введение

Поддержание требуемого уровня надежности технических объектов в процессе эксплуатации осуществляется путем проведения комплекса организационно-технических мероприятий. Сюда входят периодическое техническое обслуживание, профилактические и восстановительные ремонты. Периодическое техническое обслуживание направлено на своевременные регулировки, устранение причин отказов, раннее выявление отказов.

Периодическое техническое обслуживание проводится в установленные сроки и в установленном объеме. Задачей любого ТО является проверка контролируемых параметров, регулировка в случае необходимости, выявление и устранение неисправностей, замена элементов, предусмотренная эксплуатационной документацией.

Важной задачей на пути повышения качества продукции является автоматизация поверки средств измерений, так как это область, где в большинстве своем используется ручной труд. Работы по созданию автоматизированных метрологических систем активно ведутся многими метрологическими институтами, но автоматизация поверки в различных областях происходит неравномерно. Это связано с особенностями и спецификой различных видов измерений.

На сегодняшний день вопрос поверки измерительных приборов довольно актуален, так как качество измерений тесным образом связано с проблемой обеспечения высокого качества продукции. Между ними явно прослеживается непосредственная связь: там, где качество измерений не соответствует требованиям технологического процесса, невозможно достичь высокого уровня качества продукции. Поэтому обеспечение качества в значительной степени зависит от успешного решения вопросов, связанных с точностью измерений. Без системы измерений, позволяющей контролировать технологические процессы, оценивать свойства и качество продукции, не может существовать ни одна область техники, так как измерительная техника является неотъемлемой частью любого машиностроительного производства.

Основная часть

Для наиболее полной оценки надежности используют комплексные показатели, позволяющие одновременно оценить несколько важнейших свойств объекта. Одним из таких показателей является коэффициент технического использования $K_{т.и.}$ как критерий длительности интервала между проведением обслуживания. Условие оптимальности будет иметь вид $K_{т.и.} \rightarrow \max$.

Для поиска оптимальной периодичности обслуживания τ_0 , дающей максимум $K_{т.и.}$, получено уравнение [1]

$$\frac{t_{nn}}{t_{an} - t_{nn}} = \frac{\int_0^{\tau} P_m(x) dx}{P_m(\tau)} \left(f_m(\tau) + \frac{1}{t_{an} - t_{nn}} \right) + P_m(\tau) - 1 - \frac{\tau}{t_{an} - t_{nn}}. \quad (1)$$

При использовании данного способа нахождения значения τ_0 решение зависит от вида $f_m(\tau)$, т.е. функции распределения времени работы без скрытых отказов, которая определяет и вид функции надежности $P_m(\tau)$.

Результаты оценки вида закона распределения времени безотказной работы, полученные при использовании статистических данных о надежности приборов контроля линейных размеров МИГ1, эксплуатируемых в условиях машиностроительного производства, показывают [2], что ис-

ходя из характера построенных гистограмм времени безотказной работы такой вид функции $f_m(\tau)$ могут иметь несколько известных распределений – гамма-распределение, распределение Рэлея, логарифмически нормальное, нормальное распределение (Гаусса).

В приведенной ниже табл. 1 указаны виды распределения и их параметры, которые были получены с использованием средств автоматизации расчета.

Таблица 1

Виды распределения, параметры, критерии согласия

Вид распределения, параметры	Критерий Колмогорова	χ^2
Логарифмически нормальное распределение с параметрами $\sigma = 7,732$ ч $\mu = 0,496$	0,6	2,03
Распределение Рэлея $\sigma = 2051,7$ ч	0,7	4,42
Гамма распределение $\lambda = 0,002$ $\frac{1}{\text{ч}}$ $m = 4,166$	0,5	1,83
Нормальное распределение $a = 2571,5$ ч $\sigma = 1259,9$ ч	0,8	5,4

С помощью средств автоматизации математических расчетов было исследовано поведение функции надежности для гамма-распределения, которое дает наиболее полное описание исходя из величины функции отклонения, указанного в табл. 1 для всего диапазона оптимальных значений τ_0 .

Графическое решение уравнения (1) приведено на рис. 1.

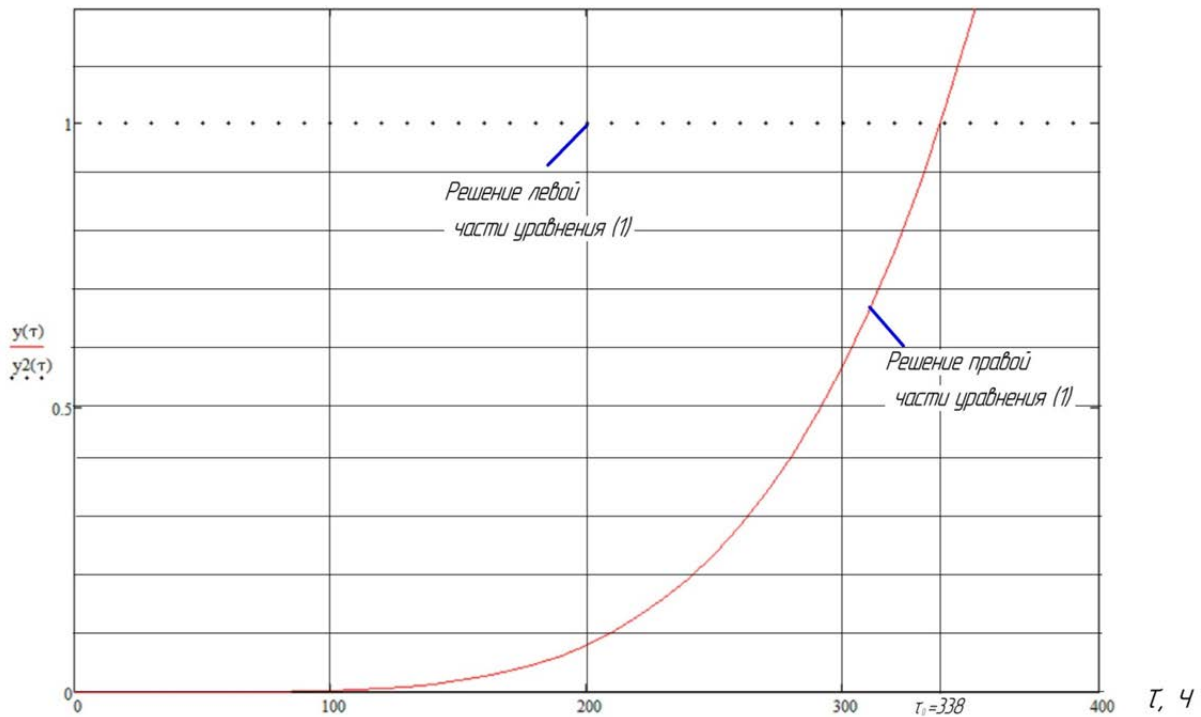


Рис. 1. Графическое решение уравнения (1)

Значение оптимальной периодичности обслуживания ($t_{an} = 2$ ч, $t_{mn} = 1$ ч) достигается при $\tau_0 = 338$ ч.

При проведении научно-технических расчетов часто используются зависимости вида $y(x)$, причем число точек этих зависимостей ограничено. Неизбежно возникает задача получения приемлемой представительности функций в промежутках между узловыми точками (интерполяция) и за их пределами (экстраполяция). Эта задача решается аппроксимацией исходной зависимости, т.е. ее заменой какой-либо достаточно простой функцией.

Было исследовано поведение функции надежности для гамма-распределения, указанного в табл. 1 для всего диапазона оптимальных значений τ_0 . Зависимость функции надежности от времени достаточно уверенно можно рассматривать как линейную (рис. 2), описываемую формулой [3]

$$P_m(\tau) = 1 - k\tau, \quad (2)$$

где k – коэффициент, характеризующий поведение функции $P_m(\tau)$.

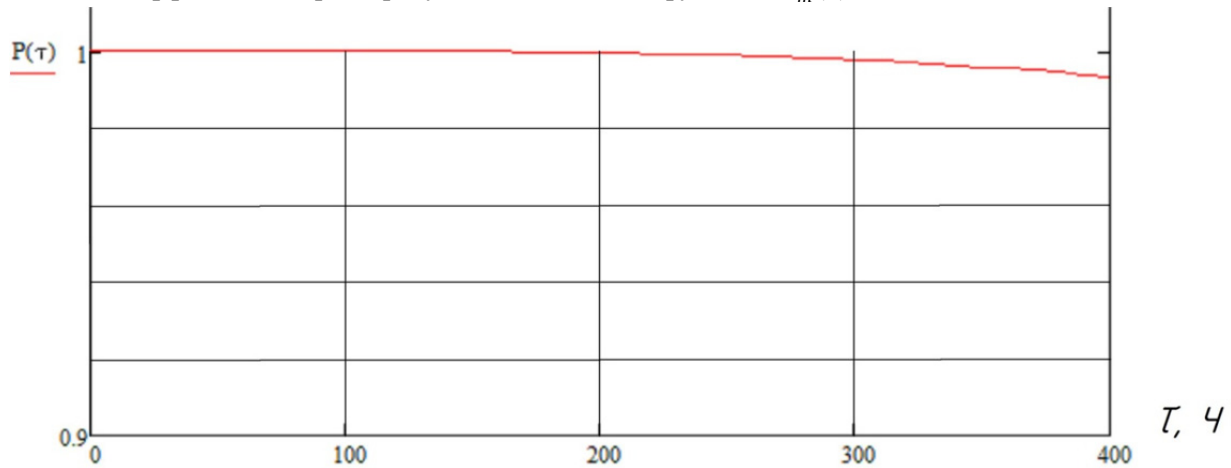


Рис. 2. Эмпирический график функции надежности

Наиболее распространенным методом аппроксимации экспериментальных данных является метод наименьших квадратов. Использование автоматизированного комплекса позволяет привести функцию надежности к уравнению (2) (рис. 3). Тогда значение коэффициента k , найденное методом наименьших квадратов, будет равняться $1,7965 \cdot 10^{-5}$, среднее квадратичное отклонение при этом равняется $1,72 \cdot 10^{-3}$.

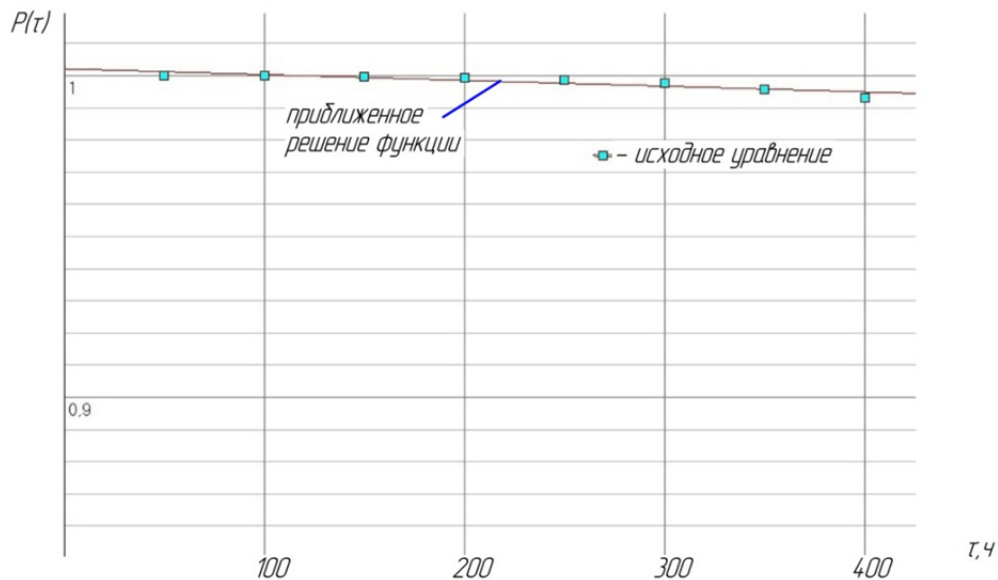


Рис. 3. Аппроксимация функции надежности

Как показано в работе [3], оптимальное значение τ_0 можно найти с помощью уравнения

$$\tau_0 = \frac{-t_{nn} + \sqrt{(t_{nn})^2 + (1 + k(t_{an} - t_{nn})) \frac{2t_{nn}}{k}}}{1 + k(t_{an} - t_{nn})}. \quad (3)$$

Тогда, зная значение коэффициента k , $\tau_0 = 332,621$ ч. Полученная разница в расчетах по уравнениям (1) и (3) незначительна и составляет 1,59 %, поэтому расчет целесообразно вести по приближенному уравнению.

Заключение

Рассмотренная в данной работе модель оценки состояния оборудования может быть использована в качестве основы для разработки и внедрения автоматизированной системы планирования, обслуживания и проведения предупредительных ремонтных работ, интегрированной с существующими АСУ КП. В основе предлагаемой стратегии ремонтных работ по техническому состоянию оборудования предложен регламент выполнения ТОиР (периодичность и объемы) на основании данных по эксплуатации и отказам оборудования.

Список литературы

1. Полетаев, В. П. Управление периодичностью обслуживания технических систем при оптимизации коэффициента технического использования / В. П. Полетаев, Д. А. Богданов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2007. – Т. 1. – С. 237–239.
2. Полетаев, В. П. Планирование оптимальных межповерочных интервалов рабочих средств измерений в условиях массового производства / В. П. Полетаев // Метрология. – 1977. – № 10. – С. 27–33.
3. Полетаев, В. П. Оптимизация периодичности профилактики отказов / В. П. Полетаев, Д. А. Богданов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 35–37.

Полетаев Владимир Павлович

кандидат технических наук, доцент,
первый проректор,
Вологодский государственный университет
(160000, Россия, г. Вологда, ул. Ленина, 15)
E-mail: taev@mh.vstu.edu.ru

Богданов Дмитрий Александрович

старший преподаватель,
кафедра теории проектирования машин и механизмов,
Вологодский государственный университет
(160000, Россия, г. Вологда, ул. Ленина, 15)
E-mail: taev@mh.vstu.edu.ru

Poletaev Vladimir Pavlovich

candidate of technical sciences, associate professor,
first vice-rector,
Vologda State University
(160000, 15 Lenin street, Vologda, Russia)

Bogdanov Dmitriy Aleksandrovich

senior lecturer,
sub-department of design theory
of machine and mechanisms,
Vologda State University
(160000, 15 Lenin street, Vologda, Russia)

Аннотация. Поддержание требуемого уровня надежности технических объектов в процессе эксплуатации осуществляется путем проведения комплекса организационно-технических мероприятий. Периодическое техническое обслуживание направлено на своевременные регулировки, устранение причин отказов, раннее выявление отказов. Важной задачей на пути повышения качества продукции является автоматизация поверки средств измерений. Для наиболее полной оценки надежности используют комплексные показатели, позволяющие одновременно оценить несколько важнейших свойств объекта. Рассмотрены модели оптимизации управления периодичностью обслуживания объектов со скрытыми отказами, которые могут быть использованы в качестве основы для разработки и внедрения автоматизированной системы планирования, обслуживания и проведения предупредительных ремонтных работ, интегрированной с существующими АСУ КП. В качестве критерия оптимальности рассмотрен коэффициент технического использования. Произведено сравнение результатов расчета.

Abstract. To maintain the required level of reliability of technical object during exploitation the complex of administrative and technical measures is carried out. Periodic technical servicing is aimed at timely adjustment, addressing the causes of failures, early detection of failures. Important task in increasing the quality of the product is automation of measuring instruments examination. To assess the reliability more fully complex indicators, allowing to assess several important properties of the object at the same time, are used. Models of optimization of control after intervals of maintenance of the objects with latent failure, which can be used as a basis for the development and implementation of automated system of planning, servicing and conducting of preventive repair works integrated with the existing ACS CD, are examined. Percentage of up-time is taken as optimization criterion. Comparison of calculation results is made.

Ключевые слова: надежность, техническое обслуживание, закон распределения, периодичность обслуживания, комплексные показатели, критерии согласия, отказ, функция надежности, аппроксимация, метод наименьших квадратов, автоматизация.

Key words: reliability, technical maintenance, distribution law, maintenance intervals, complex indicators, fitting criteria, failure, reliability function, approximation, least-squares method, automation.

УДК 62-77

Полетаев, В. П.

Применение автоматизированного комплекса для оценки состояния технических систем со скрытыми отказами / В. П. Полетаев, Д. А. Богданов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 80–84. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-12.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕПАЯНЫХ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ОМИЧЕСКОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ

Ф. В. Васильев, С. В. Ванцов, А. М. Медведев,
М. А. Степанова, О. В. Хомутская

Соединение *штырь-отверстие* образуется за счет впresseвывания специальной формы штыря в металлизированное отверстие, как показано на рис. 1. Устойчивость такого непаяного соединения гарантируется упругим напряжением в зоне контактирования. Оно создается пружи-нящей пуклевкой на штыре, имеющей размер больший, чем диаметр отверстия. Тем самым обра-зуется сочленение с натягом. Пуклевка обеспечивает компенсацию погрешностей размеров эле-ментов сочленения и ползучести материала диэлектрической основы вокруг металлизированных отверстий, удерживая систему в напряженном состоянии [1–5].

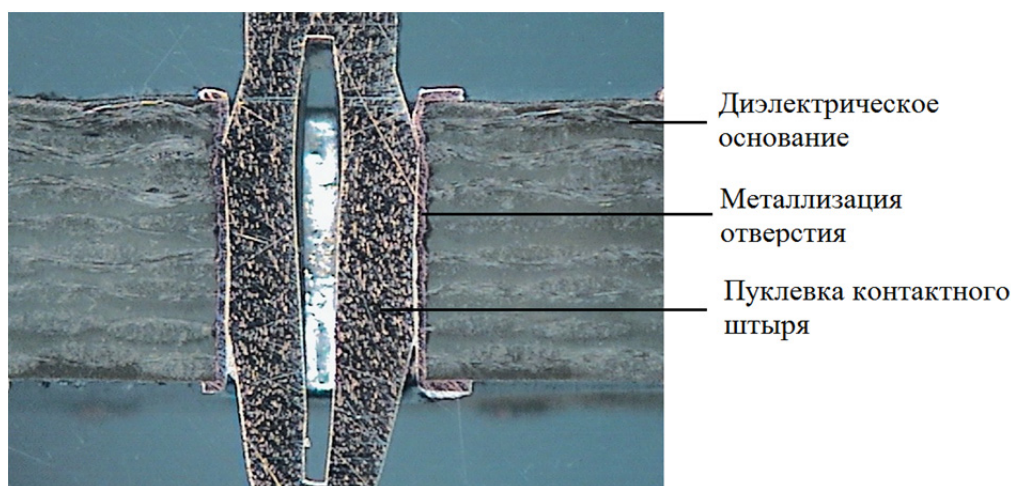


Рис. 1. Микрошлиф сечения соединения штырь-отверстие

Электрическое соединение штыря и металла в отверстии реально осуществляется через контактные пятна, возникающие за счет неровностей контактирующих поверхностей. Эти пятна и являются токонесущими элементами электрической цепи. Радиус такого пятна при сочленении твердых поверхностей обычно составляет порядка 10 мкм (рис. 2). В результате пластической де-формации, возникающей при впresseвывании штыря и за счет его пружинящих свойств, площадь контактных пятен увеличивается. Тем не менее усилия сочленения контактирующих поверхно-стей концентрируются на небольшой площади микроскопических контактов (рис. 3) [6].

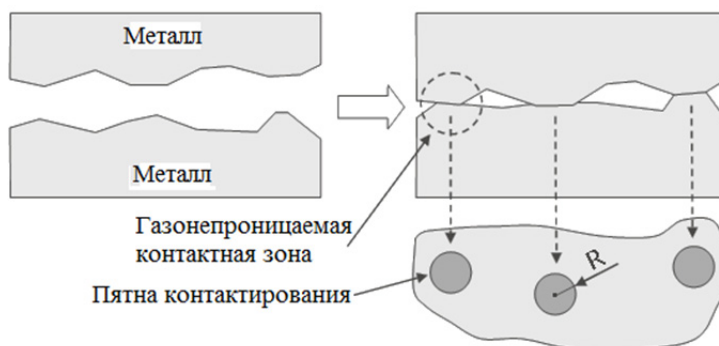


Рис. 2. Механизм контактирования соприкасающихся поверхностей

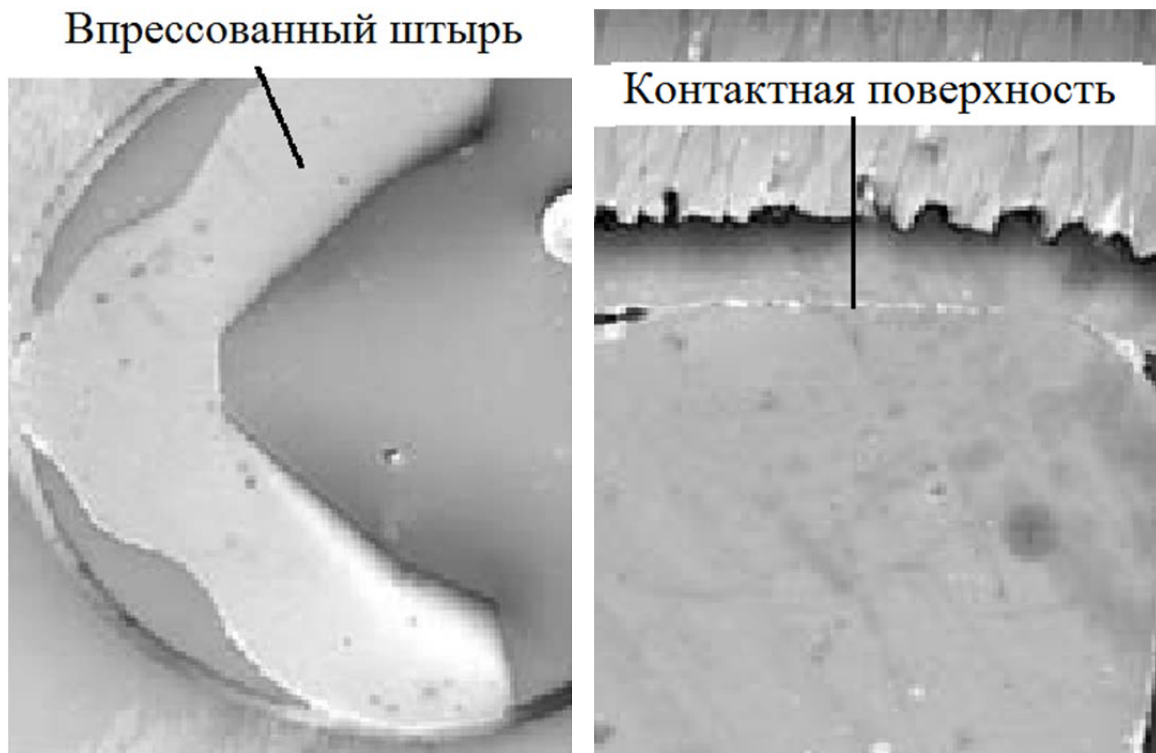
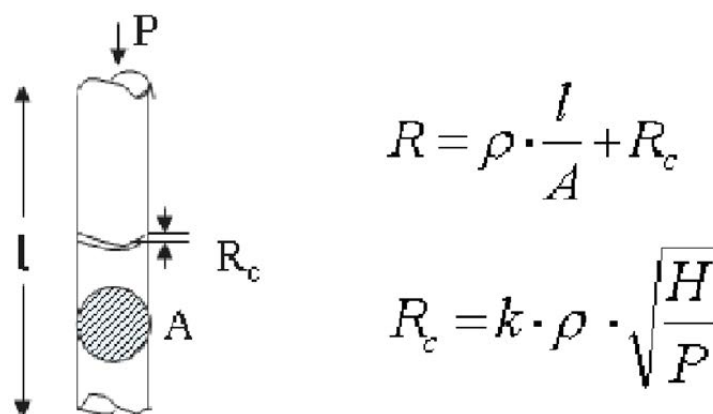


Рис. 3. Микрошлифы сечения сочленения контактного штыря с металлизированным отверстием

Пластическая деформация пятен контактирования создает условия для холодной сварки за счет очищения от окислов и загрязнений контактирующих поверхностей при вдвигании штыря в отверстие и эффекта взаимодиффузии соприкасающихся металлов [6, 7]. Поскольку диффузия в данных условиях протекает медленно, то процесс сварки завершается через несколько часов, что подтверждается увеличением усилия изъятия штыря из отверстия.

Это свойство прессового соединения *штырь-отверстие* выгодно отличает его от других систем контактирования, в которых неизбежно присутствуют поверхностные пленки коррозии, окисления, жира и т.п. Такие пленки толщиной до 100 нм продавливаются усилием 2 Н и прожигаются при напряжении больше 20 мВ и поэтому не обеспечивают нормальную работу слаботочной аппаратуры [4].

Работоспособность новых конструкций элементов прессовых соединений обычно оценивают омическим контактным сопротивлением, как показано на рис. 4.

Рис. 4. Оценка качества соединения по контактному сопротивлению R_c :

R – сопротивление элемента цепи длиной l ; ρ – удельное сопротивление металла цепи;
 A – площадь поперечного сечения проводника цепи; k – коэффициент, характеризующий свойства поверхностей контактирования; R_c – контактное сопротивление;
 H – твердость контактирующих поверхностей; P – усилие контактирования

Измерение сопротивления цепи с прессовыми контактами можно проводить по схеме, приведенной на рис. 5. При токе в цепи 1 А падение напряжения в нормальных условиях составляет 1,3 мВ, что означает, что сопротивление цепи между парой контактов должно составлять по теоретическим расчетам по крайней мере 1,3 мОм. Схему рис. 5 удобно использовать для оценки надежности цепи с прессовыми контактами в процессе воздействий термоциклов, повышенных температур, вибрации и т.п.

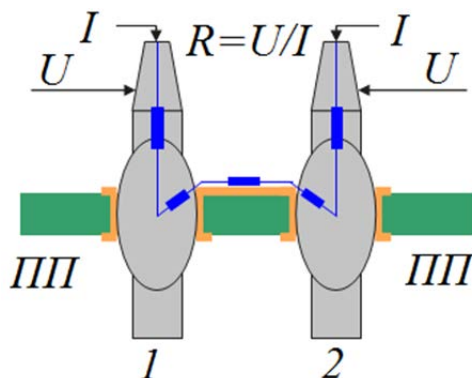


Рис. 5. Схема измерения контактного сопротивления штырей с металлизированными отверстиями: I – ток в измеряемой цепи; U – падение напряжения на сопротивлении измеряемой цепочки между штырями 1 и 2, ПП – печатная плата. Ток в цепи – 1 А, падение напряжения в нормальных условиях – 1,3 мВ, что означает, что сопротивление пары контактов, по крайней мере – 1,3 мОм

На рис. 6 показана зависимость сопротивления измеряемой цепочки от температуры при термоциклировании. В нормальных температурных условиях наблюдается возврат сопротивления к исходному значению.

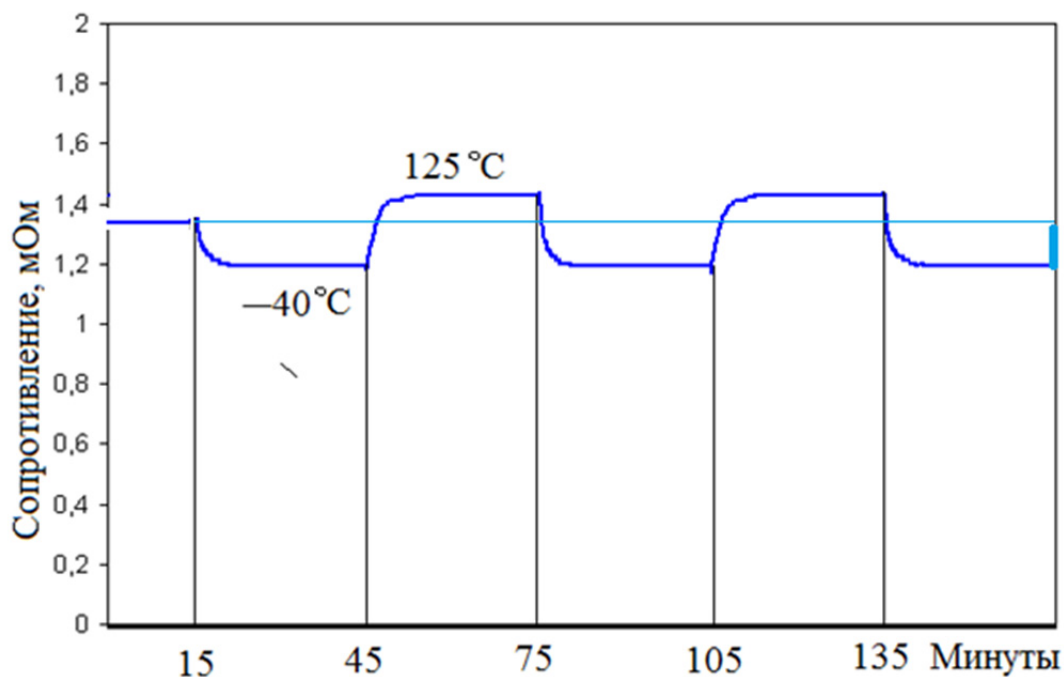


Рис. 6. Изменение сопротивления цепочки при термоциклировании (всего 10 термоциклов)

Испытания на вибропрочность при ускорении 25g в диапазоне частот от 5 до 200 Гц в течение 10 ч показали неизменность значения сопротивления цепочки во всем цикле испытаний [8–10].

Для непосредственного измерения контактного сопротивления до и после воздействий можно использовать метод «трех точек», показанный на рис. 7.

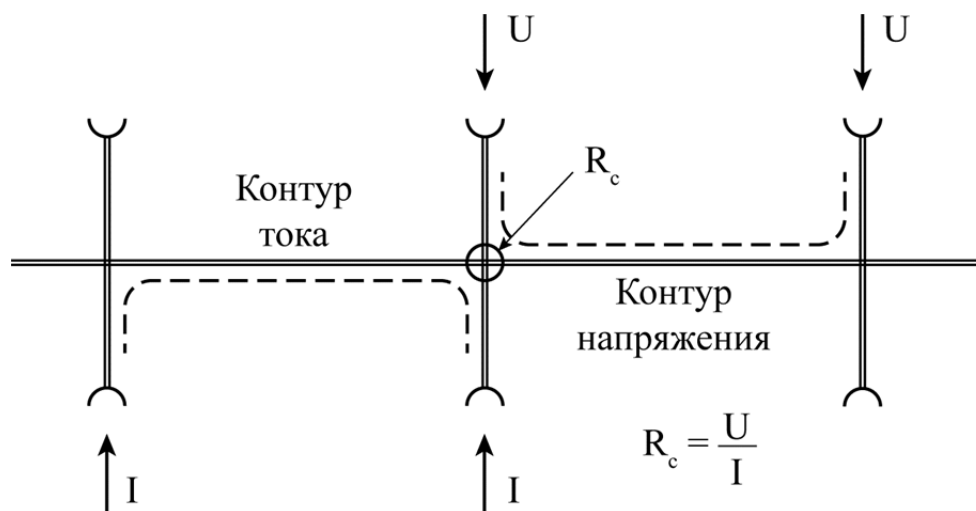


Рис. 7. Схема измерения контактного сопротивления методом «трех точек»

Проведенные по этой схеме измерения показали, что контактное сопротивление соединения штырь-отверстие не превышает значения 0,05 мОм. Такое низкое значение контактного сопротивления этого непаяного соединения свидетельствует о его надежности и возможности использования в силовых цепях.

Испытания на термостойкость при температуре 125°C показали изменение контактного сопротивления в меньшую сторону, что указывает на увеличение площади контактных пятен, следствием чего и является уменьшение омического сопротивления тестируемых цепей (рис. 8).

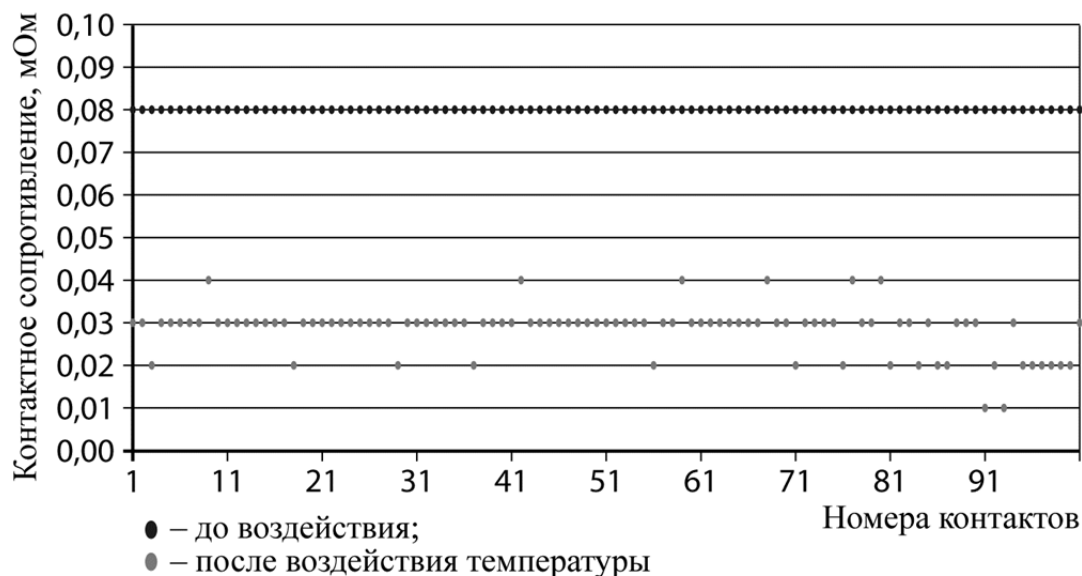


Рис. 8. Результаты измерения контактных сопротивлений до и после воздействия повышенных температур 125 °С в течение 200 ч

Газонепроницаемость контактных зон гарантирует его долговременную устойчивость в агрессивных внешних средах. Тем не менее термоциклирование и вибрации могут приводить к сдвигу контактного штыря относительно стенок отверстия, тем самым могут нарушаться условия герметизации и устойчивости соединения. Установлено, что критическим является сдвиг на 10 мкм, когда нарушается герметизация контактной зоны, а сила трения, удерживающая контакт в отверстии, уменьшается за счет перехода из состояния покоя в состояние скольжения. Контактное сопротивление от начального значения 0,05 мОм увеличивается до 5 Ом. Что явно неприемлемо для нормальной работоспособности аппаратуры. Зависимость изменения контактного сопротивления от величины сдвига штыря в отверстии показана на рис. 9.

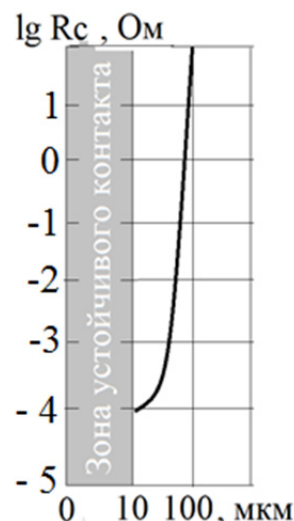


Рис. 9. Зависимость контактного сопротивления (Ом) прессового соединения от сдвига контактного штыря (мкм) относительно стенок отверстия

Испытания, проведенные по ограниченной программе, показали состоятельность использования измерений по схемам рис. 5 и 7 для оценки надежности непаяного прессового соединения *штырь-отверстие*.

Заключение

Получено подтверждение состоятельности методики оценки надежности непаяных соединений типа штырь-отверстие по омическому сопротивлению.

Предварительные испытания непаяных соединений в условиях, имитирующих экстремальные внешние воздействия, свойственные авионике, показали их устойчивость к этим воздействиям.

Список литературы

1. Медведев, А. М. Соединения типа Press-Fit. Непаянные методы соединения супермногослойных печатных плат / А. М. Медведев // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8. – С. 178–181.
2. Медведев, А. М. Непаянные методы неразъемных соединений: накрутка / А. М. Медведев // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – № 3.
3. Степанова, М. А. Соединения типа press-fit (аналитический обзор) / М. А. Степанова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 8. – С. 15–20.
4. Stolze, T. Reliability of PressFIT connections / T. Stolze, M. Thoben, M. Koch, R. Severin // Infineon Technologies AG. – 2008. – P. 1–6.
5. Holm, R. Electric Contacts – Theory and application / R. Holm. – Berlin : Springer Verlag, 2000.
6. Corman, N. Friction Behavior of Press-Fit Applications: Test Apparatus and Methodology / N. Corman, C. C. Marjorie Myers // Proc. 49th IEEE Holm Conf. Electr. Contacts. – 2003. – P. 57–62.
7. Ванцов, С. В. Надежность входного контроля / С. В. Ванцов, А. М. Медведев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4(12). – С. 91–100.
8. Жаднов, В. В. Автоматизированная система расчета показателей долговечности электронных средств / В. В. Жаднов, В. Н. Кулыгин // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3(11). – С. 3–38.
9. Жаднов, В. В. Учет влияния внешних воздействующих факторов при прогнозировании характеристик безотказности и долговечности электронной компонентной базы / В. В. Жаднов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – № 1. – С. 13–18.

Васильев Федор Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии приборостроения,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет),
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: fedor@niit.ru

Vasil'ev Fedor Vladimirovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of avionic technology,
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Ванцов Сергей Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии приборостроения,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет),
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: vancov@medpractika.ru

Медведев Аркадий Максимович

доктор технических наук, профессор,
кафедра технологии приборостроения,
Президент Гильдии профессиональных технологов
приборостроения,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет),
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: medvedevam@bk.ru

Степанова Мария Александровна

аспирант,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет),
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: bammbuka@mail.ru

Хомутская Ольга Владиславовна

аспирант,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет),
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: khomutskauaov@gmail.com

Аннотация. В силовых электронных устройствах, в частности в авионике и системах морского базирования, используются печатные платы с силовыми цепями. Монтаж выводов компонентов пайкой в таких платах затруднен и в ряде случаев даже невозможен из-за мощного теплоотвода на эти цепи, что не позволяет прогреть соединение до температур пайки. Преодолеть это затруднение позволяет применение непаяных соединений, выполняемых впрессовыванием контактных штырей в металлизированные отверстия (непаяные соединения типа *штырь-отверстие*). В зарубежной терминологии они получили название Press-Fit. Сегодня соединения *штырь-отверстие* получили широкое распространение в телекоммуникациях и автомобильной электронике. Новым направлением использования непаяных соединений такого типа стало их применение в электронных системах ответственного назначения. Это делает актуальным исследование поведения пресовых соединений в силовой электронике в экстремальных условиях эксплуатации и требует проведения испытаний их надежности. Обычно устойчивость соединения *штырь-отверстие* оценивают по усилию изъятия контактного штыря из отверстия. Но поскольку соединение типа *штырь-отверстие* является также электрическим элементом межсоединений, более целесообразно оценивать их устойчивость по изменению

Vantsov Sergey Vasil'evich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of avionic technology,
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Medvedev Arkadiy Maksimovich

doctor of technical science, professor,
sub-department of avionic technology,
President of Guild of Professional
Electronics Technologist,
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Stepanova Mariya Aleksandrovna

postgraduate student,
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Khomutskaya Ol'ga Vladislavovna

postgraduate student,
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Abstract. Power electronic devices, particularly in avionics and naval systems, printed circuit boards are used with power circuits. Installation conclusions components soldering in such boards is difficult and in some cases even impossible due to the powerful heat sink on these circuits, which makes it difficult to warm up the connection to soldering. To overcome this difficulty allows application solderless connections, operated by forging contact pins in metallized holes (solderless connection type Press-Fit). Today the connection Press-Fit are widely used in telecommunications and automotive electronics. The new direction of use of solderless compounds of this type was their use in electronic systems responsible destination. This makes the topical research on behavior of pressed joints in power electronics in extreme operating conditions and requires testing their reliability. Normally the connection resistance Press-Fit assess exceptions force the contact pin out of the hole. But because the connection type Press-Fit is also an electric element interconnections, it is more appropriate to assess their resistance to change electrical resistance before and after exposure to climatic and mechanical loads. During the test for reliability is carried out resistance measurement of coherent chain Press-Fit plating-printed Guide-pin hole plating. Received confirmation of viability of this approach to assessing physical security with respect to avionics systems.

электрического сопротивления до и после воздействия климатических и механических нагрузок. В ходе испытания на надежность проводится измерение сопротивления последовательной цепочки *штырь–металлизация отверстия–печатный проводник–металлизация отверстия–штырь*. Получено подтверждение состоятельности использования этого подхода к оценке физической надежности применительно к системам авионики [1–7].

Ключевые слова: непаяные соединения, пресовое соединение штырь-отверстие, контактное сопротивление, силовые цепи, авионика.

Key words: solderless connections, forging connections Press-Fit, contact resistance, power circuits, avionic.

УДК 621.3.062

Оценка надежности непаяных пресовых соединений по омическому сопротивлению / Ф. В. Васильев, С. В. Ванцов, А. М. Медведев, М. А. Степанова, О. В. Хомутская // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 85–91. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-13.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ ЗА СЧЕТ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К. С. Петелин

Перед началом реализации проектов предприятия выполняют процедуру планирования исполнения проекта. Когда речь идет о серьезных проектах, специалисты предприятий начинают свою работу с предпроектного исследования. Грамотное предпроектное исследование – залог успешного продолжения и завершения проекта. В данной статье автор предлагает рассмотреть операцию предпроектного исследования научных проектов перед началом их реализации.

Данная задача для российских предприятий становится особенно актуальной и значимой в связи с бурным развитием современных технологий. Наблюдается обострение конкуренции российских предприятий с предприятиями США, Европы, Китая и других стран. Предприятия вынуждены расширять свою сферу деятельности за счет выполнения сторонних и в то же время максимально смежных по своей специфике и направлению деятельности научных проектов для занятия новых или усиления положения на существующих сегментах рынков. В этой ситуации возникает задача оперативной постановки целей и задач, расстановки приоритетов и ресурсов при реализации научных проектов без потери требований к надежности и качеству в сжатые сроки.

Ко всему прочему, учитывая недостатки научных проектов, такие как неопределенность результатов, продолжительные сроки реализации, трудность оценки как прогнозируемых и планируемых, так и фактических результатов реализации проектов, необходимость комплексного охвата предметных областей и организация информационного обмена, отсутствие аналогий в ретроспективе, узкая специализация участников, накладываются соответствующие требования на механизмы управления ими [1].

В советские и затем российские времена для проведения работ по управлению проектами была разработана система ГОСТов, в которой подробно представлены стадии, документы, сопровождающие проект, и их типовое содержание. Содержится там и определение предпроектного исследования. К сожалению, многие предприятия игнорируют указанные документы, действуя интуитивно или по ситуации. При этом они разрабатывают самостоятельные методики, которые в действительности оказываются неполным воспроизведением тех же ГОСТов.

В ГОСТ 34.601 и РД 50-34.698 предпроектными стадиями создания информационной системы называются все этапы до разработки и утверждения технического задания, которым завершается этап обследования (при этом в техническом задании приводятся только структурированные требования к системе, без рекомендаций и схем по их реализации).

По мнению автора, сам процесс управления проектами происходит в момент возникновения внештатных ситуаций, т.е. в момент, когда необходимо предпринять какие-то действия для их устранения. Чтобы снизить вероятность возникновения внештатной ситуации, предлагается перед началом реализации научного проекта проводить процедуру его предпроектного исследования, когда ставятся и распределяются задачи проекта, его цели, номенклатура ресурсов, сроки его реализации и пр. После чего производится анализ полученной информации, ряд подсчетов и планирование проекта. Поэтому предлагается рассмотреть инструмент, позволяющий проводить анализ исходных данных на научный проект, распределение ресурсов и исполнительских задач, организовать деятельность и разработать оптимальный директивный план-график.

На основании имеющихся подходов к организации автоматизированного управления промышленным предприятием, применяемых в ERP-системах, предлагается использование глубокой формализации и структуризации его информационного пространства, в том числе ресурсное обеспечение. Данный подход позволяет выявлять основные бизнес-процессы и процессы управления на промышленном предприятии в явном виде [2].

В упрощенном виде жизненный цикл проекта состоит из четырех этапов. Предлагаемая модель соответствует второму – планированию. Процессная модель предпроектного исследования

научного проекта (рис. 1) представляет собой схему, состоящую из блоков, каждый из которых выполняет свою функцию, выдает информацию для дальнейшей обработки и принятия решений [3].



Рис. 1. Процессная модель предпроектных исследований научного проекта

Процессная модель предпроектных исследований научного проекта представляет собой совокупность этапов:

1) определение структуры промышленного предприятия, построение функциональных моделей проекта является базисом процессного моделирования. Обеспечение данного этапа позволит выявить узкие места в организационной структуре промышленного предприятия;

2) построение инфологических моделей позволит получить семантические (концептуальные) модели, отражающие предметную область и информационные потребности исполнителей проекта. Такой тип моделирования представляет собой моделирование структуры данных, опираясь на смысл этих данных;

3) построение динамических моделей на основе функциональных моделей позволит уточнить структуры данных и операций. Данная процедура позволит описать динамику изменения научного проекта во времени, как при завершении промежуточных задач, так и при возникновении внештатных ситуаций, когда необходимо провести корректировку процесса реализации научного проекта;

4) построение матриц ресурсов позволит произвести подбор минимально необходимого объема ресурсов (материальные, нематериальные, информационные, трудовые), которые необходимы для реализации научного проекта;

5) построение семантических матриц задач научного проекта (табл. 1) позволит выявить исполнительские задачи научного проекта. В основе предлагается использовать задаче-ориентированный подход. Например, матрица имеет два измерения. Измерение *A* включает хорошо структурированные содержательные задачи научного проекта. Измерение *B* включает инфраструктурные задачи научного проекта (ППО – предпроектное обследование научного проекта, МОД – модель организации деятельности и т.п.). Суперпозиция задач этих двух измерений образует исполнительские задачи.

Таблица 1

Пример семантической матрицы задач проекта

	Исполнитель 1	Исполнитель 2	Исполнитель 3	...	Исполнитель m
Задача 1	+				+
Задача 2	+	+	+		+
Задача 3	+	+			
...					+
Задача n			+		

В итоге, имея четко поставленные исполнительские задачи научного проекта, распределенный минимально необходимый объем ресурсов на научный проект, просчитанную его стоимость и определенное время реализации научного проекта, можно разработать директивный план-график на научный проект (рис. 2).

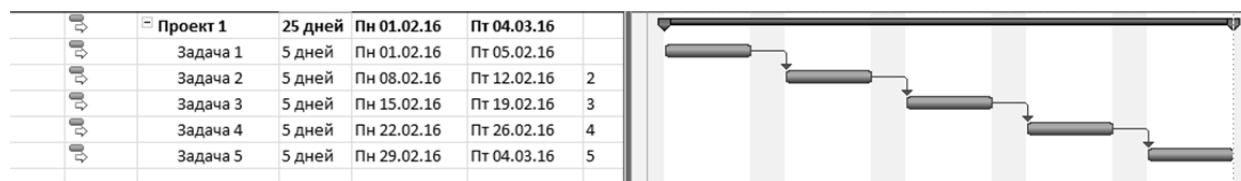


Рис. 2. Пример директивного план-графика на проект

И так, проведение процедуры предпроектного исследования научного проекта позволит:

- получить детальное описание существующих на предприятии бизнес-процессов и сравнить реальный бизнес со своим представлением о нем;
- оценить степень соответствия функциональных возможностей предлагаемой системы реальным бизнес-процессам;
- своевременно выделить свои уникальные преимущества и учесть их на этапе реализации научного проекта;
- уточнить бюджет и сроки реализации научного проекта с учетом возможных доработок при возникновении внештатной ситуации;
- оценить ресурсы (материальные и не материальные), которые будут задействованы для реализации научного проекта. Своевременно спланировать выделение этих ресурсов для завершения научного проекта в оптимальные сроки и без превышения бюджета;
- получить более точную оценку экономического эффекта и срока возврата инвестиций.

Конечно, здесь перечислены не все аргументы в пользу предпроектного исследования научного проекта, однако, как показывает практика, этого вполне достаточно, чтобы проводить данную операцию.

Список литературы

- Новиков, Д. А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы / Д. А. Новиков, А. А. Иващенко. – М. : КомКнига, 2006. – 332 с.
- Петелин, К. С. К проблеме системно-процессного подхода в управлении сложным наукоемким предприятием / К. С. Петелин // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 59–64.
- Юрков, Н. К. Концепция синтеза сложных наукоемких изделий / Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 3–6.

Петелин Кирилл Сергеевич

инженер,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 9)
E-mail: kirill.petelin@me.com

Petelin Kirill Sergeevich

engineer,
Research Institute for Physical Measurements
(440026, 9 Volodarskiy street, Penza, Russia)

Аннотация. Дан анализ предпроектного исследования научных проектов перед началом их реализации. Решена задача оперативной постановки целей и задач, расстановки приоритетов и ресурсов при реализации научных проектов без потери требований к надежности и качеству в сжатые сроки. Показано, что неопределенность результатов, продолжительные сроки реализации, трудность оценки как прогнозируемых и планируемых, так и фактических результатов реализации проектов, необходимость комплексного охвата предметных областей и организация информационного обмена, отсутствие аналогий в ретроспективе, узкая специализация участников накладывают соответствующие требования на механизмы управления научными проектами. Предлагается процессная модель, позволяющая провести предпроектное исследование научного проекта для нахождения наименее затратного подхода для его реализации, снизив или исключив вероятность возникновения внештатных ситуаций. Это позволяет четко поставить исполнительские задачи научного проекта, определить минимально необходимый объем ресурсов на научный проект, просчитать его стоимость и определенное время реализации, и тем самым разработать директивный план-график на научный проект.

Ключевые слова: предпроектное исследование, научный проект, процессная модель.

Abstract. The analysis of the pre-project research research projects before their implementation. The problem of operational goals and objectives, priorities and resources when implementing research projects without any loss of quality and reliability requirements in the shortest possible time. It is shown that the uncertainty of results, long timelines, the difficulty of assessing how predictable and planned and actual results of projects, the need for comprehensive coverage of subject areas and organization of information exchange, the lack of similarities in retrospect, the narrow specialization of the participants relevant requirements are imposed on the governance mechanisms of scientific projects. Proposed process model that enables a pre-design study science project for finding the least cost approach for its implementation, reducing or eliminating the likelihood of extraordinary events. This allows you to clearly put performing tasks of scientific project to identify.

Key words: pre-study, research project, process model.

УДК 007.3

Петелин, К. С.

Повышение эффективности функционирования научных проектов за счет выполнения предпроектных исследований / К. С. Петелин // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 92–95. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-14.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ И НОВАЯ УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ

Д. А. Петрянин

Исследователь при изучении технических процессов часто сталкивается с явлениями, поведение которых может быть описано с помощью экспериментальных (статистических) данных. При этом ставится задача выявить и исследовать закономерности, которым подчиняются реальные процессы, с помощью математических моделей. Найденные закономерности имеют не только теоретическую ценность, они широко применяются на практике – в планировании, управлении и прогнозировании.

Как правило, при нахождении математических моделей используют различные методы аппроксимации и по требуемым параметрам выбирают самый оптимальный (например, по наименьшей погрешности или высокой точности модели в конкретно взятом промежутке). Однако не всегда удается найти оптимальную модель экспериментальных данных с требуемой точностью. В данном случае используют способы повышения точности аппроксимации.

На сегодняшний день есть следующие известные и наиболее используемые методы повышения точности аппроксимации:

- 1) повышение степени полинома (для полиномов);
- 2) увеличение количества членов аппроксимации [1];
- 3) разбиение экспериментальных данных на несколько частей.

Однако повышение точности аппроксимации приводит, как правило, к усложнению аппроксимирующих выражений, что затрудняет как определение значений входящих в эти выражения коэффициентов, так и применение этих выражений для анализа процессов [1–2].

Определение коэффициентов аппроксимации тесно связано с требуемой точностью. Точность определяется критериями приближения, обычно применяют критерии равномерного, среднеквадратичного и интерполяционного (точечного) приближений [3]. Если число заданных точек превышает число определяемых коэффициентов аппроксимации, то можно использовать метод наименьших квадратов, при котором среднеквадратичная ошибка минимальна. Метод наименьших квадратов применяется, когда необходима высокая точность аппроксимации, требует громоздких вычислений, но имеет конструктивный подход для аналитического определения коэффициентов модели (аппроксимации) [1–2]. Метод наименьших квадратов обеспечивает наименьшую сумму квадратов отклонений значений аппроксимирующей функции от значений исходной функции (наименьшую невязку) в произвольном числе точек, не связанном с числом неизвестных коэффициентов [2].

Была разработана модель повышения точности аппроксимации и методика снижения погрешности аппроксимации, описанные в [4], в которых отсутствуют вышеуказанные недостатки. Проведем анализ методов повышения точности аппроксимации.

Повышение степени полинома по методу наименьших квадратов

Одним из способов приближения данных некоторой непрерывной функцией является приближение полиномом по методу наименьших квадратов. Для набора данных (1)

$$(x_i, y_i)_{i=1, 2, \dots, N} \quad (1)$$

требуется найти такой полином степени n (2)

$$p^{(n)}(x) = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1}, \quad (2)$$

коэффициенты которого являются решением следующей задачи минимизации (3):

$$\min_{p_1, p_2, \dots, p_{n+1}} \sum_{i=1}^N (p^{(n)}(x_i) - y_i)^2. \quad (3)$$

Другими словами, разыскивается полином, который наименее уклоняется от заданных данных в том смысле, что сумма квадратов расстояний от заданных точек (x_i, y_i) до $(x_i, p^{(n)}(x_i))$ будет минимальной [5] (рис. 1).

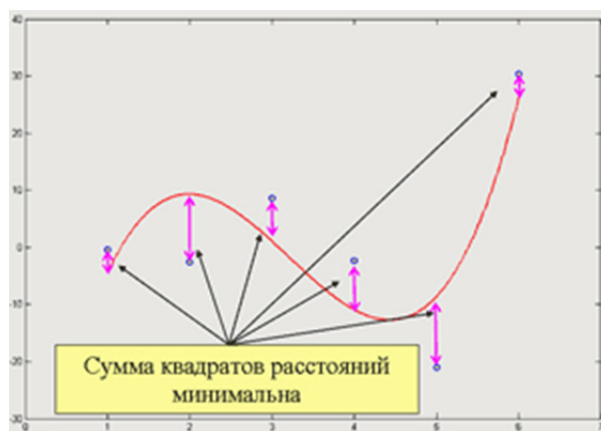


Рис. 1. Графическое представление суммы квадратов расстояний

Степень полинома должна быть меньше количества заданных точек для того, чтобы такой полином был единственным. Например, если заданы три точки, то их можно приблизить либо полиномом нулевой или первой степени (прямая), либо параболой. Причем парабола будет точно проходить через три заданные точки (сумма квадратов расстояний окажется равной нулю), поскольку три коэффициента квадратичного полинома однозначно определяются из трех условий прохождения через заданные точки. В данном случае мы получим уже не приближение данных, а их интерполяцию. На практике обычно применяются полиномы не очень высоких степеней [5].

С помощью пакета прикладных программ для математического моделирования MATLAB [6] был произведен расчет полиномов с разными степенями. Подобный расчет был описан в [5].

В качестве экспериментальных данных были взяты значения потребляемого тока электронным устройством. Результаты расчетов погрешностей для каждой степени найденного полинома сведены в табл. 1, а на рис. 2 представлены графики полиномов $(p^{(1)} - p^{(8)})$ и экспериментальных данных.

Таблица 1

Результаты расчетов полиномов

Степень полинома	Погрешность, %
1	240,26
2	152,65
3	144,34
4	137,27
5	133,05
6	97,93
7	44,92
8	$2,45 \cdot 10^{-8}$

По результатам видно, что повышение степени полинома приводит к уменьшению ошибки, однако качество приближения не всегда улучшается. Например, для наших данных полином восьмой степени обеспечивает практически нулевую ошибку (вычислительные погрешности возникают в ходе алгоритма нахождения коэффициентов) – $2,45 \cdot 10^{-8}$, но само приближение – неудовлетворительное (рис. 2). Так происходит потому, что полином восьмой степени является интерполяционным полиномом, который как правило, плохо подходит для приближения данных [5].

Дальнейшее увеличение степени полинома ни к чему хорошему не приведет, например, при построении полинома девятой и/или последующих степеней.

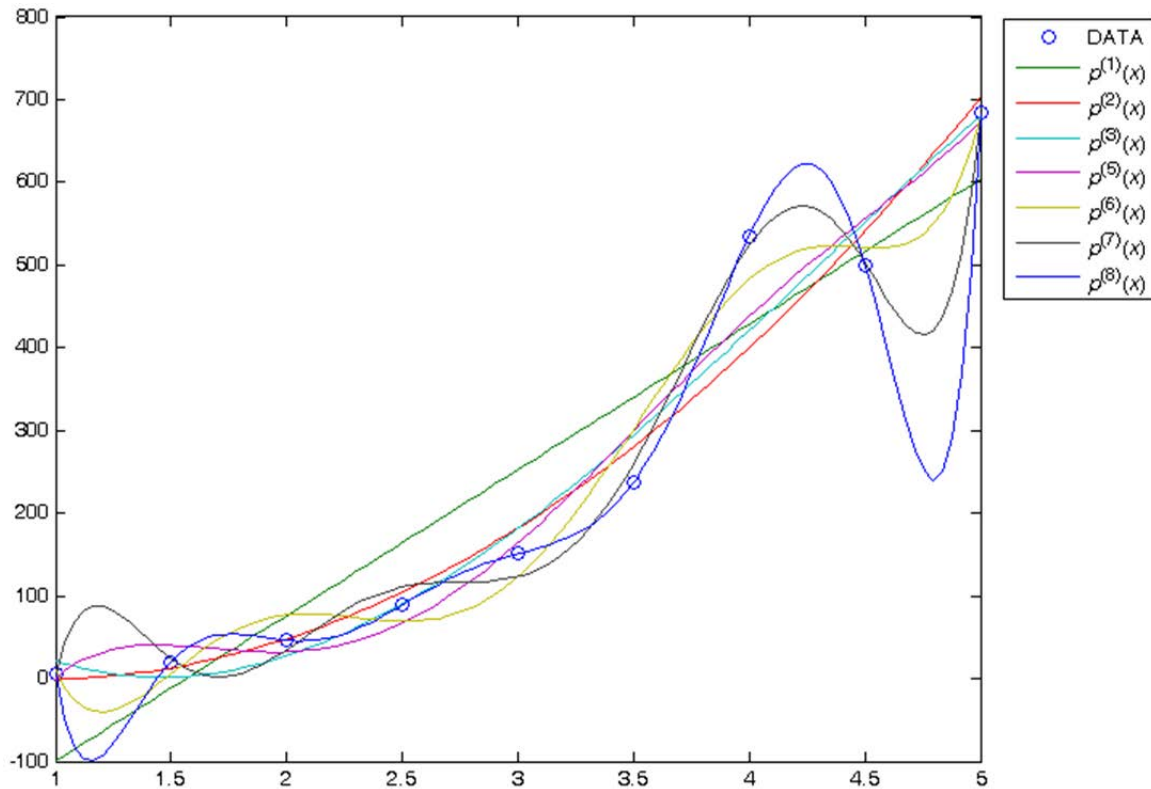


Рис. 2. Графики полиномов 1–8 степени и экспериментальных данных

Увеличение количества членов аппроксимации

Увеличение количества членов аппроксимации тоже имеет свои недостатки. Например, при использовании ряда Грама – Шарлье с другими видами распределений мы сталкиваемся с серьезными проблемами: ряд может вести себя нерегулярно (увеличение количества членов ряда иногда снижает точность аппроксимации); ошибки аппроксимации возрастают с удалением от центра распределения; сумма конечного числа членов ряда при большой асимметрии распределения приводит к отрицательным значениям функций, особенно на краях распределений [7]. Этот способ был подробно описан в [8].

Данный метод хорошо работает для гармонических функций: периодически меняющихся данных. Это было доказано на практике в [9–10].

Разбиение экспериментальных данных на несколько частей в любом случае будет давать высокую точность модели и низкую погрешность, однако оценить в целом все экспериментальные данные будет крайне сложно.

Разработанная модель повышения точности аппроксимации [4] позволяет повышать точность модели по методу наименьших квадратов. Для полиномов данная модель неприменима, так как при расчете полинома точно учитывается набор данных (1): при использовании модели [4] к полиному (2), полином будет проходить между точками экспериментальных данных, при этом погрешность возрастет почти в 2 раза (например, для полинома 1 степени погрешность составляет 353 %, а для 7–92 %).

Мы можем уточнить ранее разработанную модель [4], учитывая проведенный анализ.

Поскольку введение в модель экспериментальных данных дополнительных коэффициентов (для снижения погрешности) усложняет расчеты и саму модель, то коэффициенты лучше всего ввести в модель повышения точности аппроксимации.

Произведем расчет модели аппроксимации методом наименьших квадратов с помощью программы «Выбор метода аппроксимации» [11] на примере. В табл. 2 представлены экспериментальные данные (x, y) и расчетные значения степенного вида аппроксимации (F_A) как оптимального (по наименьшему значению погрешности (рис. 3)) для данного случая.

Таблица 2

Результаты расчетов аппроксимации

x	y	F_A	$F_{\text{сред}} = 248,9019$
1	6,5	6,176493	
1,5	20,38	20,59839	
2	46,4	48,41415	
2,5	88,63	93,93992	
3	151,1	161,4595	
3,5	237,9	255,2311	
4	535	379,4921	
4,5	500,3	538,4617	
5	684,5	736,3437	

Полученная при расчетах модель выглядит следующим образом (4):

$$F_A(x) = 6,176492x^{2,970569}. \quad (4)$$

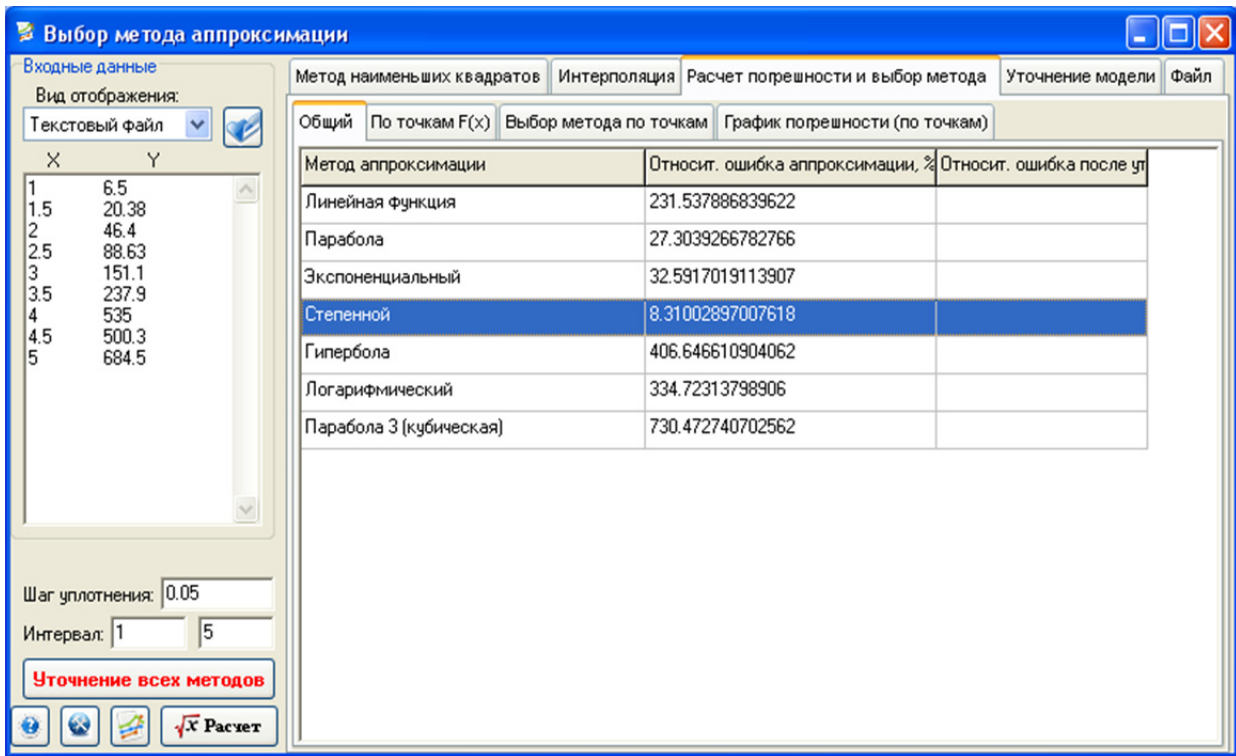


Рис. 3. Результаты расчетов относительной ошибки аппроксимации

Затем производим уточнение найденной модели по [4] и вычисляем заново аппроксимацию. Уточненная модель экспериментальных данных выглядит следующим образом:

$$F_{Ay}(x) = 6,3609x^{2,9297}. \quad (5)$$

В табл. 3 занесены расчетные значения F_{Ay} новой модели (5) (степенного вида аппроксимации). Погрешность данной модели составляет 7,034 % (по результатам расчетов программы «Выбор метода аппроксимации» [11] рис. 4), что говорит о снижении – по сравнению с погрешностью первой найденной модели (4).

Таблица 3

Результаты расчетов аппроксимации после уточнения модели

x	y	$F_{\Delta}(x)$	$F_{\text{вп}}(x)$	$F_{\Delta\text{в}}(x)$	$F_{\text{Асрел}} = 242,0788$
1	6.5	6.176493	7.323507179	6.360994126	
1.5	20.38	20.59839	19.66161457	20.86577105	
2	46.4	48.41415	43.88584894	48.47055728	
2.5	88.63	93.93992	82.82007619	93.19732947	
3	151.1	161.4595	140.240516	158.9964604	
3.5	237.9	255.2311	220.0688838	249.7624371	
4	535	379.4921	691.0079337	369.3439857	
4.5	500.3	538.4617	461.6383228	521.5511405	
5	684.5	736.3437	632.1562862	710.1604573	

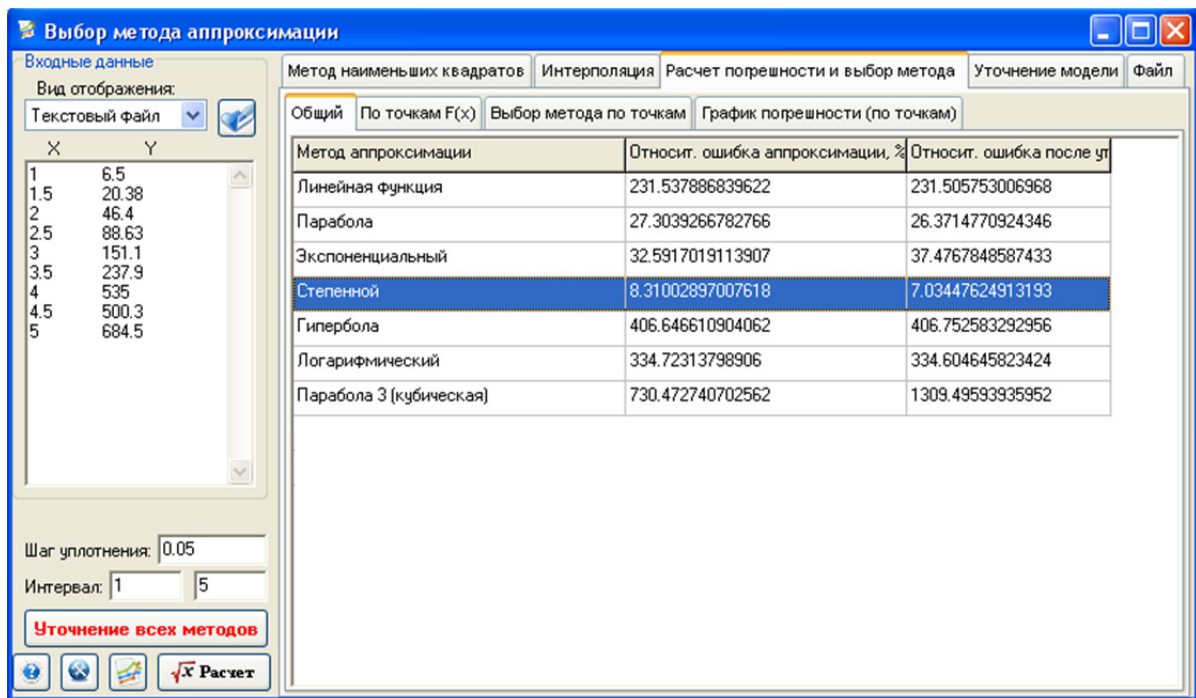


Рис. 4. Результаты расчетов относительной ошибки аппроксимации после уточнения модели

Введем в модель повышения точности аппроксимации дополнительный коэффициент, т.е. дробь $y_n/F_{\Delta n}(x)$, которая учитывает, во сколько раз рассчитанное значение найденной модели $F_{\Delta n}(x)$ отличается от исходной величины y_n . Поскольку рассчитанное значение может оказаться отрицательным, то дробь $y_n/F_{\Delta n}(x)$ будет взята под модуль. Тогда уточненная модель повышения точности аппроксимации будет выглядеть следующим образом.

Если $y_n > F_{\Delta i}(x)$, то уточнение аппроксимации происходит по модели (6):

$$\begin{cases} F_{\text{вп}1}(x) = y_1 + |y_1 - F_{\Delta 1}(x)| + \left| \frac{y_1}{F_{\Delta 1}(x)} \right|, \\ F_{\text{вп}2}(x) = y_2 + |y_2 - F_{\Delta 2}(x)| + \left| \frac{y_2}{F_{\Delta 2}(x)} \right|, \\ F_{\text{вп}3}(x) = y_3 + |y_3 - F_{\Delta 3}(x)| + \left| \frac{y_3}{F_{\Delta 3}(x)} \right|, \\ \dots \\ F_{\text{вп}i}(x) = y_n + |y_n - F_{\Delta i}(x)| + \left| \frac{y_n}{F_{\Delta n}(x)} \right|. \end{cases} \quad (6)$$

где $F_{врi}(x)$ – временное значение исходных данных i -го вида аппроксимации; $F_{Ai}(x)$ – значение найденной функции i -го вида аппроксимации.

Если $y_n < F_{Ai}(x)$, то уточнение аппроксимации происходит по модели (7):

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{вр1}(x) = y_1 - |y_1 - F_{A1}(x)| - \left| \frac{y_1}{F_{A1}(x)} \right|, \\ F_{вр2}(x) = y_2 - |y_2 - F_{A2}(x)| - \left| \frac{y_2}{F_{A2}(x)} \right|, \\ F_{вр3}(x) = y_3 - |y_3 - F_{A3}(x)| - \left| \frac{y_3}{F_{A3}(x)} \right|, \\ \dots \\ F_{врi}(x) = y_n - |y_n - F_{Ai}(x)| - \left| \frac{y_n}{F_{An}(x)} \right|. \end{array} \right. \quad (7)$$

Тогда новая уточненная модель экспериментальных данных будет выглядеть следующим образом (8):

$$F_{Ay2}(x) = 6,5311x^{2,9059}. \quad (8)$$

Погрешность данной модели (8) составляет 6,97%.

В табл. 4 представлены результаты расчета погрешностей найденной модели аппроксимации $F_A(x)$, уточненной $F_{Ay}(x)$ и новой уточненной моделей $F_{Ay2}(x)$.

Таблица 4
Погрешности найденных моделей в каждой точке экспериментальных данных

x	Погрешность $F_A(x)$	Погрешность $F_{Ay}(x)$	Погрешность $F_{Ay2}(x)$
1	4,97	2,13	0,47
1,5	1,07	2,38	4,11
2	4,34	4,46	5,49
2,5	5,99	5,15	5,63
3	6,85	5,22	5,24
3,5	7,28	4,98	4,62
4	29,06	30,96	19,94
4,5	7,62	4,24	3,19
5	7,57	3,74	2,51

Из табл. 4 видно, что уточнение в точках найденной модели по сравнению с исходными данными произошло в шести точках из девяти – для $F_{Ay}(x)$, а для $F_{Ay2}(x)$ – семи из девяти.

Таким образом, проведенный анализ методов повышения аппроксимации позволил определить дополнительный коэффициент для разработанной модели повышения точности аппроксимации [4], что позволило снизить погрешность найденной модели экспериментальных данных. Новая уточненная модель позволяет уточнить модель экспериментальных данных в целом на 1,34 %, а в отдельных точках достигает до 10 %.

Список литературы

1. Голубинский, А. Н. Методы аппроксимации экспериментальных данных и построения моделей / А. Н. Голубинский // Вестник Воронежского института МВД России. – 2007. – № 2. – С. 138–143.
2. Попов, В. П. Основы теории цепей / В. П. Попов. – М. : Высш. шк., 1985. – 496 с.
3. Яковлев, Я. Н. Радиотехнические цепи и сигналы. Задачи и задания : учеб. пособие / под ред. Я. Н. Яковлева. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 348 с.
4. Петрянин, Д. Л. Повышение точности моделей аппроксимации / Д. Л. Петрянин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 2 (14). – С. 59–66.

5. Обзор средств MATLAB и ToolBox'ов для приближения данных. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/>
6. MathWorks – Makers of MATLAB and Simulink // MathWorks develops, sells, and supports MATLAB and Simulink products. – URL: <http://www.mathworks.com/>
7. Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендалл, А. Стьюарт ; пер. с англ. под ред. А.Н. Колмогорова, Ю. В. Прохорова. – М. : Наука, 1976. – 736 с.
8. Заикин, П. В. Аппроксимация эмпирических функций полиномами высших порядков / П. В. Заикин, М. А. Погореловский, В. С. Микшина // Вестник кибернетики. – 2015. – № 4. – С. 129–134.
9. Примеры решения математических задач в MAPLE. Ряды Фурье // Секция геометрии факультета математики и информатики Каразинского университета. – URL: http://geometry.karazin.ua/20141022173616_327e9c40.pdf/
10. Матросов, А. В. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики / А. В. Матросов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 528 с.
11. Петрянин, Д. Л. Повышение точности расчетов методов аппроксимации / Д. Л. Петрянин, Н. К. Юрков, Ю. А. Романенко // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – № 1. – С. 123–127.

Петрянин Дмитрий Львович

аспирант,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ra4cbh@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В настоящее время задача аппроксимации является актуальной темой решения в различных технических исследованиях. Целью является нахождение моделей аппроксимации с максимально возможной точностью и низкой погрешностью. Доказана необходимость разработки эффективных методов анализа экспериментальных кривых и построения моделей аппроксимации. *Материалы и методы.* Проведен анализ распространенных методов повышения точности аппроксимации. На примере произведен расчет аппроксимации (методом наименьших квадратов) с нахождением модели экспериментальных данных. Затем по ранее разработанной модели повышения точности аппроксимации повторно произвели расчет. Учитывая проведенный анализ, была получена уточненная модель повышения точности аппроксимации. По полученной модели произвели поиск новой модели экспериментальных данных. Также произведен расчет погрешностей всех найденных моделей экспериментальных данных в целом и в каждой точке исходных данных. Все результаты расчетов сведены в таблицы. *Результаты.* Доказано, что разработанная уточненная математическая модель повышения точности аппроксимации позволила повысить точность выходной модели экспериментальных данных в целом на 1,34 %, а в отдельных точках экспериментальных данных достигает до 10 %. *Выводы.* Применение моделей аппроксимации позволяет оценивать полученные результаты исследования технических систем и получать результаты, более приближенные к исходным данным.

Ключевые слова: аппроксимация, данные, модель, точность, погрешность.

Petryanin Dmitriy L'vovich

postgraduate student,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. *Background.* The challenge now is a hot topic of approximation of solutions to various technical studies. The aim is to find approximations of the models with the greatest possible precision and low error. The necessity of the development of effective methods for the analysis of experimental curves and constructing approximation models. *Materials and methods.* The analysis of the common methods of increasing the accuracy of approximation. For example, the approximation made settlement (least squares method) with finding a model of experimental data. Then, the previously developed model increasing accuracy of approximation re made payment. Given the above analysis was derived refined model increasing accuracy of approximation. According to the resulting model made a search for a new model of the experimental data. calculation errors also made all found models of experimental data as a whole and at each point of input data. All calculation results tabulated. *Results.* It is proved that the developed refined mathematical model of increasing approximation accuracy has improved the accuracy of the output model of experimental data as a whole 1,34 %, and in some points of the experimental data up to 10 %. *Conclusions.* The use of the approximation model allows to evaluate the results of research and technical systems to obtain results more close to the original data.

Key words: approximation, the data, model, accuracy, error.

УДК 004.021, 519.651, 519.654

Петрянин, Д. Л.

Анализ методов повышения точности аппроксимации и новая уточненная модель повышения точности аппроксимации / Д. Л. Петрянин // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 96–102. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-15.

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 656.13

DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-16

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА УЛИЦАХ ГОРОДА ПЕНЗЫ

А. Д. Шумилин, Н. Н. Вершинин, А. А. Авдоница

Введение

В настоящее время экономика, общество и природная среда в целом составляют единую систему. Все элементы системы связаны между собой и оказывают влияние друг на друга. Вследствие этого взаимодействия на разных административных территориях страны (в республиках, краях, областях и городах, районах, на локальных площадях) складывается неодинаковая экологическая ситуация. И определяется она не только спецификой местных природно-климатических условий, но также характером и масштабами негативного воздействия техногенных объектов: промышленности, сельского хозяйства, жилищно-коммунального хозяйства и транспорта. Также динамика движения транспорта по автотранспортной сети города может быть отнесена к сложной системе, не имеющей четких границ и изменяющаяся плавно по мере увеличения транспортной нагрузки. Изменения необходимо контролировать и систематизировать для улучшения экологической обстановки придорожных территорий.

Загрязнение компонентов природной среды от производственно-технологического комплекса

Следует отметить, что увеличение доли автотранспорта в негативном воздействии производственно-технологического комплекса (ПТК) на регионы РФ происходит в условиях существенного отставания от мирового уровня экологических показателей отечественного автотранспорта и используемых моторных топлив, а также отставания в развитии и техническом состоянии улично-дорожной сети [1, 2]. Одна из приоритетных задач в настоящее время во многих странах – это снижение шумового загрязнения для обеспечения качества жизни населения в соответствии с Концепцией устойчивого развития. Так, по требованиям европейской директивы 2002/49/ЕК (Европейская комиссия) с 2007 г. во всех городах с населением более 250 тыс. человек стран, входящих в Европейский Союз, должна быть стратегическая шумовая карта. Каждые 2–3 года в Европе ужесточаются нормативы по шумовому загрязнению от транспортных средств в среднем на 2–3 дБА.

Согласно международным документам можно определить следующие принципы устойчивого развития применительно к современному научно-техническому комплексу. Они определяют необходимость эффективного управления экологической безопасностью (ЭБ).

В Федеральном законе № 7-ФЗ от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды» (статья 1) ЭБ определена как «состояние защищенности компонентов природной среды (обеспечивающих в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле) и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий» [3, 4], т.е. ЭБ ПТК на рассматриваемой территории можно определить как состояние защищенности компонен-

тов природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия (последствий этого воздействия) объектов транспорта.

ПТК является сложной организационно-технической системой, для которой природная среда является частью внешней среды.

Таким образом, ЭБ рассматривается как часть ее внешней безопасности [5], которая является характеристикой, выстроенной на взаимодействии рассматриваемой системы и внешней среды.

Технические науки направлены на поддержку решений по созданию и применению технических систем различной сложности. Соответственно, такой целевой установке процесс исследования технической системы должен сопутствовать поддержке технических решений на всех стадиях жизненного цикла системы в виде анализа предполагаемого ее функционирования и синтеза структуры (морфологический синтез) и ее параметров (характеристик). Основным исследуемым объектом при анализе и синтезе технической системы является модель. Имеется два подхода при выборе моделей реальных сложных систем: – аналитический подход, состоящий в приближении модели к реальной системе (анализ реальной системы); – синтетический подход, рассматривающий лишь реальные системы, близкие к своим оптимальным прототипам (он начинается с синтеза оптимальных моделей) [6]. Для изучения проблемы акустического загрязнения нам необходимо использовать аналитический метод.

Акустическое загрязнение от автомобильного транспорта в городе Пензе

Постоянно увеличивается уровень негативного физического воздействия (шумового загрязнения) на воздушный бассейн города и, в основном, также от потоков автотранспорта: это более 80 % жалоб, поступающих от городского населения на шум, создаваемый техногенными источниками. Пенза является динамично развивающимся городом и занимает восьмое место в РФ по числу автотранспортных средств на 1000 человек населения. По данным агентства «Автостат» треть жителей Пензы ежедневно передвигаются на личном транспортном средстве по дорогам города, а количество транспортных средств было 300 единиц на 1000 человек еще в 2008 г. [2, 7].

Из сообщения начальника управления ЖКХ города Пензы ежегодно количество жителей изменяется на одну тысячу за год, а количество транспортных средств возрастает на 10 тысяч ежегодно [8]. По предварительным прогнозам к 2020 г. количество транспортных средств на тысячу человек может увеличиться еще на 30–40 %.

Вопросы исследования уровня шумового загрязнения и методов защиты от него стали особенно актуальны в связи с неумолимо возрастающим количеством транспортных средств, участвующих в ежедневном городском движении. В настоящее время население города находится в условиях постоянного акустического дискомфорта от воздействия транспорта, особенно если вводится в эксплуатацию большое количество новых жилых комплексов, находящихся в непосредственной близости от центральных автомобильных артерий города. Дальнейшее развитие автотранспорта в городе без внесения изменений в акустическую защиту может привести к негативным последствиям здоровья населения. Медицинские исследования воздействия шума на организм человека установили, что физико-биохимическая адаптация человека к шуму невозможна [9]. Акустическое загрязнение влияет на человека равно, как загрязнения воздушного или водного бассейна города. Длительное шумовое воздействие рассматривается как один из факторов, вызывающих повышенную заболеваемость. Проживание в шумных районах может приводить к изменению функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, повышению содержания холестерина в крови, нарушению психического состояния [10, 11].

В технической акустике звуковое давление и звуковую мощность обозначают в относительных логарифмических единицах–децибелах (дБ). Органы слуха человека различают не разность, а кратность изменения абсолютных величин звуковых давлений [12]. Поэтому при определении экологического загрязнения шум принято оценивать не абсолютной величиной – звуковым давлением, а его уровнем, т.е. отношением создаваемого звукового давления к давлению, принятому за единицу сравнения. Единицей сравнения служит пороговое звуковое давление p_0 , равное $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м².

Уровень звукового давления определяется по формуле

$$L = 10 \lg \frac{p}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \quad (1)$$

где p – звуковое давление; p_0 – пороговое звуковое давление.

Непостоянные шумы (транспортные шумы) принято оценивать эквивалентными уровнями звука.

Величины эквивалентного уровня шума $L_{\text{экв}}$, воздействующего на человека от различных техногенных источников, не должны превышать для конкретных условий предельных величин, установленных санитарными нормами (табл. 1) [13].

Таблица 1

Предельно допустимые уровни (ПДУ) шума

Характери территории	ПДУ шума, дБА	
	с 23 до 7 ч (ночь)	с 7 до 23 ч (день)
Селитебные зоны населенных пунктов (жилые зоны)	45	60
Промышленные территории	55	65
Зоны массового отдыха и туризма	35	50
Санитарно-курортные зоны	30	40

Эквивалентный уровень звука $L_{\text{экв}}$ данного непостоянного шума L_a выражается следующим соотношением:

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 L} dt, \quad (2)$$

где T – время наблюдений; t – текущее время, которое соответствует экспериментальному уровню шума L_a .

До 80 % шума преимущественно вызывается транспортными средствами, шумовое воздействие на акустическую среду в городах практически всегда имеет локальный характер, и при этом автомобильный транспорт оказывает наиболее неблагоприятное воздействие, так как автомобили являются преобладающими источниками интенсивного и длительного шума и рассредоточены по всей территории города. Сфера действия транспортного шума значительно шире, чем производственного или бытового и имеет наибольшие негативные последствия для населения, а физические параметры, характеризующие влияние шума на организм человека, несравненно выше [14].

В табл. 2 показаны источники транспортного шума, используемые в городе Пензе с указанием уровней звука в децибелах, создаваемых при эксплуатации.

Таблица 2

Источники транспортного шума в г. Пензе

Источники транспортного шума	Уровень звука
Ж/д состав	80–100
Троллейбус	70–85
Легковой автомобиль	60–76
Автобус	80–95
Грузовой до 3 т	70–79
Грузовой от 3 до 30 т	80–90
Мотоциклы, скутеры, квадроциклы	70–100

В табл. 3 указаны уровни звука в зависимости от расположения источника и измерителя на расстоянии одного метра.

Таблица 3

Уровень звука легкового автомобиля

Проекция	Бензиновый, дБ		Дизельный, дБ	
	Холостой ход	Движение	Холостой ход	Движение
Лобовая	51	56–60	60	70–73
Боковая	50	55	57	60
Тыловая	54	59	52	56

В городах в основном транспортные потоки определяют места образования зон акустического дискомфорта, проблема транспортного шума приобретает как социальное значение, так и становится одной из важнейших проблем эксплуатации автомобильного транспорта и организации дорожного движения.

Шумовой фон на улицах Пензы

В данном эксперименте мы рассмотрели улицы с самым интенсивным движением автомобильного транспорта. Измерения проводились на участках дорог в «часы пик», в вечернее время в 17–19 часов, в будние дни, когда поток автомобилей наиболее плотный, для определения мест, где уровень шума превышает ПДУ. Значения эквивалентного уровня шума в январе 2016 г. составили:

- от 70 до 85 дБА при замерах на расстоянии 7,5 м от середины крайней полосы автодороги;
- от 78 до 87 дБА (0,92–1,02 в долях верхнего значения ПДУ для зоны транспортного движения – 85 дБА) при замерах во время разгона автомобилей на отрезке, примыкающем к регулируемому перекрестку;
- от 68 до 80 дБА (0,9–1,06 в долях верхнего значения ПДУ для зоны тротуаров – 75 дБА), при замерах на границе жилой застройки;
- от 75 до 85 дБА (1,00–1,13 в долях верхнего граничного значения ПДУ для зоны тротуаров – 75 дБА) при замерах во время разгона автомобилей на границе жилой застройки, примыкающей к регулируемому перекрестку.

Итак, практически на всех исследуемых улицах г. Пензы вдоль автодорог образуются относительно дискомфортные (60–80 дБА) или дискомфортные (более 80 дБА) акустические зоны на расстоянии от 7 до 20 метров и на границах жилой застройки (табл. 4).

Таблица 4

Средние значения эквивалентного уровня шума, дБА

Ул. Суворова	ТЦ «Сан март»	75
	ТЦ «Суворовский»	78
	Пензенская Филармония	70
	Площадь дружбы	75
Ул. Кирова	ЦУМ	84
	Фонтанная площадь	75
Проспект Победы	Площадь Победы	78
	Детская поликлиника № 6	72
	Проспект победы 31	75
Ул. Урицкого	Ул. Урицкого 62	68
Ул. Пушкина	Кинокомплекс Современник	70
Ул. Кулакова	Кулакова 1	68
	Кулакова 10	68
Проспект Строителей	ТЦ «Онежский»	73
	ДС «Буртасы»	75

Самыми неблагоприятными по уровню загрязнения акустической окружающей среды являются участки по Проспекту Победы, по ул. Кирова. На данных улицах образуются зоны акустического дискомфорта со значениями уровня шума, как у проезжей части выше 80 дБА, так и на границе жилой застройки выше 75 дБА.

На рис. 1 схематично отображено шумовое загрязнение площади Победы, где темным цветом отображено значение эквивалентного уровня шума от 75 до 80 дБА, а более светлым – от 70 до 75 дБА.

Результаты экомониторинга по оценке состояния улично-дорожной сети показывают, что автодороги г. Пензы характеризуются 1–2 полосами движения, ширина проезжей части составляет не более 25 м и во многих случаях не соответствует возрастающей нагрузке. Причина – ускоренные темпы автомобилизации в городе опережают развитие дорожно-транспортной сети, которая в основном строилась 40–50 лет назад. Многие участки автодорог г. Пензы характеризуются небольшими расстояниями между двумя соседними перекрестками (длинами перегонов), что определяет условия их частых остановок и возникновения дополнительной нагрузки на воздуш-

ный бассейн и акустическую среду. В «часы пик» на 60 % исследуемых улиц г. Пензы пропускная способность составляла более 1000 авт./ч и более 10 тыс. авт./сут. Это определяет возможность возникновения на прилегающих территориях экологически неблагоприятных зон с высоким уровнем акустического загрязнения. Более того, приблизительно на 10 % улиц (центральные) пропускная способность составляет 2000 и более авт./ч., поэтому на прилегающих территориях различного назначения формируются устойчивые экологически неблагоприятные зоны, которые не пропадают в течение всего дня.



Рис. 1. Шумовое загрязнение площади Победы

Заключение

Согласно проведенному экомониторингу города Пензы с учетом интерполяции можно считать, что в зоне неблагоприятного воздействия автомобильного шума в городе проживает и работает более 50 тыс. человек из 500 тысяч. Снизить автотранспортный шум вдоль наиболее загруженных транспортных магистралей возможно с помощью экранирующих препятствий и при создании плотных зеленых насаждений. Анализ результатов полученных экспериментально и в ходе конкретных исследований позволил сделать вывод, на основе которого можно разработать эффективную Программу прогнозирования шумового загрязнения и сделать предложения по оптимизации акустической защиты прилегающей территории от дорожного полотна при его интенсивном использовании.

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году : гос. доклад Мин-ва природных ресурсов и экологии РФ / под ред. Н. А. Туманова. – М. : АНО «Центр международных проектов», 2008. – 504 с.
2. Воздействие транспортного комплекса РФ на состояние окружающей среды и здоровье населения : аналитический доклад; научно-техническое обеспечение транспортного комплекса / сост. В. А. Петрухин и [др.]; ФГУП НИИАТ. – М. : Трансконсалтинг, 2002. – 68 с.
3. Экологическая доктрина Российской Федерации : распоряжение Правительства РФ от 31 августа 2002 г. № 1225-Р. – URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/24.html>
4. Об охране окружающей среды : федер. закон № 7-ФЗ от 10.01.2002 : [принят Гос. Думой 20.12.2001 : одобр. Сов. Федерации 26.12.2001]. – М. : Ось-89, 2003. – 64 с.
5. Шумилин, А. Д. Мониторинг и прогнозирование влияния автомобильного транспорта на воздушный бассейн города Пенза / А. Д. Шумилин, Н. Н. Вершинин, Л. А. Авдонина // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 2 (14). – С. 97–103.

6. Кашеев, Н. А. Некоторые закономерности процессов синтеза информационно-управляющих комплексов с позиций свойств сложных систем / Н. А. Кашеев, В. С. Чаплинский // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4 (12). – С. 11–15.
7. Автомобильный рынок России – 2008: Статистика и аналитика: производство, продажи, парк / сост. С. Целиков и [др.]; аналит. агентство «Автомобильная статистика». – М. : АВТОСТАТ, 2008. – URL: <http://www.autostat.ru/>
8. Заседание постоянной комиссии Гордумы г. Пензы от 19 августа 2014 г. – URL: <http://penza.rfn.ru/gnews.html?id=230249&cid=7>
9. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко и [др.]. – М. : НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
10. Денисов, В. Н. Проблемы экологизации автомобильного транспорта / В. Н. Денисов, В. А. Рогалев ; под ред. Л. К. Горшкова. – СПб. : МАНЭБ, 2003. – 213 с.
11. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2008 : стат. сб. / под ред. А. Л. Кевеша и [др.]. – М. : Росстат, 2008. – 999 с.
12. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды: учебное пособие для инженера-эколога / под ред. А. Ф. Полрядина. – М. : Минприроды России ; Изд. дом «Прибой», 1996. – 350 с.
13. Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология : учеб. для вузов / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко ; под ред. В. Н. Луканина. – М. : Высш. шк., 2001. – 273 с.
14. Ивашук, О. А. Теоретические основы построения автоматизированной системы управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса : моногр. / О. А. Ивашук, И. С. Константинов. – М : Машиностроение, 2009. – 205 с.

Шумилин Алексей Дмитриевич

аспирант,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: eco@pnzgu.ru

Вершинин Николай Николаевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой техносферной безопасности,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: nvershinin@yandex.ru

Авдонина Любовь Александровна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра техносферной безопасности,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: eco@pnzgu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В статье рассматриваются результаты экомониторинга города Пензы по воздействию автотранспорта, как основного источника шумового загрязнения окружающей среды, а также основные параметры акустического воздействия, влияющие на здоровье населения города Пензы. Проведен анализ полученных измерений состояния акустической среды за январь 2016 г. *Материалы и методы.* Рассмотрено шумовое воздействие на акустическую среду в городе Пенза, которое вызывается транспортными средствами и практически всегда имеет локальный характер, при этом автомобильный транспорт оказывает наиболее неблагоприятное воздействие, так как автомобили являются преобладающими источниками интенсивного и длительного шума и рассредоточены по всей территории города. *Результаты.* Выявлены самые

Shumilin Aleksey Dmitrievich

postgraduate student
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Vershinin Nikolay Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of technosphere safety,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Avdonina Lyubov Aleksandrovna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of technosphere safety,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. *Background.* The article discusses the results of the monitoring of Penza on the impact of transport, as the main source of noise pollution, as well as the main parameters affecting the acoustic impact of Penza health. The analysis of the acoustic environment of the measurements of the state in January 2016. *Materials and methods.* We consider the noise impact on the acoustic environment in the city of Penza, which is caused by vehicles and almost always has a local character, while road transport has the most adverse effects, as cars are the predominant sources of intense and prolonged noise and scattered throughout the city. *Results.* We determined the most unfavorable areas of the level of acoustic pollution. Assessment of the road network shows that the road Penza 1–2 characterized by lanes, the width of the carriageway is not more than 25 m and in many cases does not correspond to the increasing

неблагоприятные участки по уровню загрязнения акустической окружающей среды. Оценки состояния улично-дорожной сети показывают, что автодороги г. Пензы характеризуются 1–2 полосами движения, ширина проезжей части составляет не более 25 м и во многих случаях не соответствует возрастающей нагрузке. *Выводы.* Согласно проведенному экомониторингу города Пензы с учетом интерполяции можно считать, что в зоне неблагоприятного воздействия автомобильного шума в городе проживает и работает более 50 тыс. человек из приблизительно 500 тыс.

Ключевые слова: мониторинг, автотранспорт, акустическое загрязнение.

load. *Conclusions.* According to the environmental monitoring carried out by the city of Penza, taking into account the interpolation can be assumed that in the area of the adverse effects of road noise in the city lives and works more than 50 thousand of the approximately 500 thousand.

Key words: monitoring, transport, acoustic pollution.

УДК 656.13

Шумилин, А. Д.

Исследование транспортного шума на улицах города Пенза / А. Д. Шумилин, Н. Н. Вершинин, Л. А. Авдоница // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 103–109. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-16.