

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

ISSN 2409-1650

Главный редактор  
Артюшенко  
Владимир  
Михайлович

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

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

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

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

Материалы авторам не возвращаются

Подписано в печать  
20.12.2015

Отпечатано  
в типографии

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

Тираж 300 экз.

## СОДЕРЖАНИЕ

Н.П. Асташева, С.В. Родченкова <b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АТТЕСТАЦИИ ПЕРСОНАЛА ОАО «НПО ИТ».....</b>	<b>3</b>
В.Я. Вилисов <b>МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ЦЕЛЕСООБРАЗНОМУ ПОВЕДЕНИЮ.....</b>	<b>11</b>
П.А. Когтев, А.В. Енин, Р.А. Маржина <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СЕТИ NANONET НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ.....</b>	<b>19</b>
Б.А. Кучеров <b>ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ.....</b>	<b>26</b>
Н.М. Пушкин, С.В. Бацев, К.О. Леушин <b>НАУЧНАЯ АППАРАТУРА «БАР-АРМ» ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕСТ УТЕЧКИ ВОЗДУХА ИЗ ОТСЕКОВ МКС.....</b>	<b>36</b>
П.А. Рубцов <b>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖЕЛУДКА И ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....</b>	<b>41</b>
А.Б. Семенов <b>УЛУЧШЕНИЕ МАССОГАБИРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ СКС.....</b>	<b>46</b>
Н.П. Сидорова, В.В. Щербаков <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ, МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ЕЁ РЕАЛИЗАЦИИ.....</b>	<b>60</b>
Р.В. Скворцов, А.П. Мороз <b>МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ БОРТОВОЙ РЭА ДЛЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И РАЗГОННЫХ БЛОКОВ.....</b>	<b>68</b>
В.И. Смыслов, А.Н. Демин <b>МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДАТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА КРИСТАЛЛАХ <math>VI_{12}SIO_{20} VI_{12}GEO_{20}</math> ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ЕГО ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ.....</b>	<b>81</b>
Ю.В. Стреналюк, Р.А. Маржина <b>ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ – КАБЕЛИ КАТЕГОРИИ 7 (7А).....</b>	<b>88</b>

*РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ*

1. *Соколов Сергей  
Викторович*
2. *Райков Александр  
Николаевич*
3. *Фоминский Вячеслав  
Юрьевич*

*РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ*

1. *Дубинин  
Владимир Сергеевич*
2. *Аббасова  
Татьяна Сергеевна*
3. *Разумовский  
Игорь Михайлович*
4. *Посеренин  
Сергей Петрович*
5. *Бахур  
Андрей Борисович*
6. *Васильев  
Николай Александрович*
7. *Логачева  
Алла Игоревна*
8. *Вокин  
Григорий Григорьевич*
9. *Самаров Ким Леонидович*
10. *Стреналюк  
Юрий Вениаминович*
11. *Щурин  
Константин Владимирович*

В.А. Чернышев  
**ГРАДУИРОВКА ДОЗАТОРОВ ВДУ-65, 80 НА ВОДЕ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ.....93**

Е.Д. Штрафина, Г.А. Стрельцова  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ В СРЕДЕ MULTISIM.....103**

К.В. Щурин, Д.В. Александрович, Е.Е. Ханжина, А.В. Сериков  
**АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОСМИЧЕСКОГО ОНИТОРИНГА  
СРЕДЫ.....110**

## **Совершенствование технологии аттестации персонала ОАО «НПО ИТ»**

**Н.П. Асташева**, д.б.н., профессор,

**С.В. Родченкова**, магистрант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*Необходимость наиболее полного использования кадрового потенциала требует совершенствования технологии аттестации. В работе рассмотрены цели, задачи и методы аттестации. Предложены дополнения в технологии проведения аттестации для более объективной оценки персонала.*

Аттестация, критерии оценки, количественные показатели, повышение квалификации.

## **Improving technology assessment personnel of JSC «NPO IT»**

**N.P. Astasheva**, Doctor of Biological Sciences, Professor,

**S.V. Rodchenkova**, undergraduate,

State Educational Institution of Higher Education

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

*The need to make full use of staff potential It requires the improvement of technology certification. In work goals, objectives and methods of certification. Proposed additions to the technology the certifications for a more objective assessment of personnel.*

Certification, evaluation criteria, quantitative indicators, training.

Разработка научно обоснованной методики аттестации персонала, использование которой приносило бы реальные позитивные результаты и оцениваемым работникам, и руководителям, и предприятию в целом, является принципиально важной и своевременной задачей.

Решение проблемы наиболее полного использования кадрового потенциала важно для адаптации предприятий к новой экономической ситуации, требующей повышения эффективности производства. В рыночных условиях многое зависит от внутренней кадровой политики предприятия, которая должна предусматривать систематический мониторинг качества персонала и проведение мероприятий, направленных на совершенствование оценки качества [1].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью наиболее полного использования кадрового потенциала, позволяющего повышать общие ре-

---

зультаты функционирования предприятия. Наиболее распространенной формой оценки персонала является аттестация. Основное отличие аттестации от оценки заключается в том, что это явление – строго формализованное, что защищает работников от субъективизма работодателей.

Аттестация персонала – это возможность выявить соответствие сотрудника требованиям, предъявляемым к занимаемой им должности. С другой стороны это – процесс определения эффективности выполнения сотрудниками организации своих должностных обязанностей и реализации организационных целей.

Критерии, которые используются для оценки работников всех категорий, можно разделить на три группы:

- качество работы – наиболее значимый критерий оценки деятельности, так как именно от того, насколько качественный товар выпускает сотрудник, зависит конкурентоспособность организации на рынке товаров. Выпуск некачественной продукции либо предоставление некачественной услуги могут не только повлечь финансовые потери организации, но и снизить авторитет предприятия среди потребителей;

- количественные показатели – количество выполненной работы за единицу времени. Чаще всего они являются наиболее наглядными результатами труда для работодателя. Именно поэтому количественные показатели – наиболее распространенные критерии оценки;

- личностные характеристики работников являются важными при оценке деловых качеств работников, их потенциальных возможностей. Оценка личностных характеристик плохо формализована и зачастую носит субъективный характер, чтобы этого избежать, в организациях, где есть подразделения, отвечающие за развитие персонала, должны проводиться наблюдения за поведением сотрудников в различных рабочих ситуациях [2].

Важную роль в процессе аттестации на взгляд специалистов должно играть собеседование. Чтобы повысить результативность аттестационного собеседования необходимо соблюдать определенные правила по его подготовке и проведению. К этим правилам относятся: четкая разработка технологии собеседования; проведение взвешенной и основанной на фактах оценки работы сотрудника с учетом должностной инструкции; изучение плана развития сотрудника.

Установлено что удовлетворенность трудом снижается, если он своевременно не оценивается или оценка носит субъективный характер негативного плана. Одним из основных условий эффективности аттестации является уверенность сотрудников в регулярности ее проведения.

Таким образом, основными задачами процедур аттестации являются: справедливое распределение заработной платы, определение потенциала подчиненных, повышение отдачи от подчиненных, создание атмосферы внутриорганизационной конкуренции.

Выделяют 2 группы целей при проведении аттестации:

1 группа – цели развития, среди которых:

- оценка деятельности сотрудников за прошедший период;
- улучшение текущей деятельности предприятия;
- оценка потребности в обучении сотрудников;
- повышение зарплаты;

- 
- оценка кадрового потенциала;
  - помощь в планировании карьерного роста.

2 группа – цели, направленные на:

- увольнение конкретного сотрудника,
- сокращение неэффективного штата.

Отличительной особенностью целей первой группы является их ориентированность на улучшение труда работников и повышение эффективности использования трудовых ресурсов, соответствие аттестуемого квалификации, проверка деловых и личностных качеств, среди них: коммуникабельность, лояльность, дисциплинированность, обучаемость и руководящие навыки.

Вторая группа целей, имеет для работников явно выраженные негативные последствия.

Очевидно, что работодатель стремится решить с помощью аттестации сразу две задачи: повысить эффективность труда и избавиться от неугодных или неэффективных работников.

Технология аттестации базируется на определенной нормативно-правовой базе. Нормативно-правовая основа аттестации состоит из 3 частей:

- федеральное законодательство;
- отраслевое законодательство;
- локальные нормативные акты.

На федеральном уровне аттестация регламентируется Трудовым кодексом РФ. Согласно п. 3 ст. 81 Трудового кодекса РФ от 30 декабря 2001 года (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.01.2013), недостаточная квалификация работника, подтвержденная результатами аттестации, может явиться причиной расторжения трудового договора по инициативе работодателя [3].

Трудовой кодекс не содержит ничего более конкретного по данному вопросу. Лишь статья 82 ТК РФ устанавливает один из процедурных компонентов аттестации – необходимость участия профсоюзного органа в составе аттестационной комиссии.

Таким образом, федеральное законодательство подтверждает необходимость выделения двух типов аттестации:

- 1 тип – обязательная профессиональная аттестация, направленная на принудительное подтверждение работниками определенного уровня знаний (квалификации). Ее особенностью является жесткая нормативно-правовая регламентация процедур и сроков;

- 2 тип – аттестация, добровольно иницируемая работодателем и направленная на проверку соответствия работником занимаемой должности.

Базовым отраслевым актом в области аттестации в ОАО «НПО ИТ» служит Приказ Федерального космического агентства от 19 апреля 2006 года № 150-к «О порядке проведения аттестации и конкурсов на замещение вакантных должностей руководителей федеральных государственных унитарных предприятий».

Важнейшую часть аттестации представляют локальные нормативные акты ОАО «НПО ИТ»:

- Правила внутреннего трудового распорядка.

- Положения о структурных подразделениях, (отделах, отделениях).
- Положение об аттестации и должностные инструкции работников.
- Приказы, распоряжения предприятия.

При организации аттестации в ОАО «НПО ИТ» можно выделить 4 организационно-правовых этапа:

1. Подготовка правовой основы аттестации;
2. Формирование аттестационной комиссии, и ее подготовительная работа;
3. Проведение аттестации как юридического факта;
4. Обобщение результатов и подведение итогов аттестации.

Процесс после проведения аттестаций не всегда соответствует правильной реакции руководства и сотрудников на позитивные и негативные элементы, выявленные в результате аттестации. При этом самый главный недостаток состоит в том, что результаты аттестации сказываются лишь на весьма ограниченном контингенте работников, не превышающих 3-5% аттестуемых.

Аттестация персонала в ОАО «НПО ИТ» основывается на следующих принципах:

- всеобщность аттестации (аттестация обязательна для всех и проводится не реже одного раза в два года для руководящего состава предприятия и не реже одного раза в три года для специалистов и других работников предприятия);

- результативность аттестации (на основании результатов проведённой аттестации руководством предприятия, руководителями структурных подразделений и управлением кадров принимается совместное решение о включении аттестуемого в резерв кадров на выдвижение). А также о необходимости проведения профессиональной подготовки или повышения квалификации, поощрении за достигнутые успехи, повышении или понижении заработной платы, о переводе на другую работу, об освобождении от занимаемой должности и др.

**Таблица 1 – Результаты проведения аттестации персонала в ОАО «НПО ИТ» за 2010-2014 год**

Категория	Количество персонала, прошедшего аттестацию					
	2010 год	2011	2012 год	2013год	2014	
	очередная аттестация ИТР и руководящего состава	внеочередная аттестация	внеочередная аттестация	внеочередная аттестация	Очередная аттестация руководящего состава	Внеочередная аттестация ИТР
Руководители	200	26	40	50	204	-
Специалисты (ИТР)	800	100	128	135	-	203
Другие служащие	2	3	3	3	-	4

Результаты исследования показали, что процедура аттестации, реализуемая в ОАО «НПО ИТ» является неполной, она не способствует включению эффективных методов стимулирования персонала. Процедура аттестации предусматривает оценку руководителем своего подчиненного по ряду критериев: вы-

полнение функциональных обязанностей, достигнутые результаты, организаторские способности и др. Каждый критерий оценивается по 5-балльной шкале и сумма оценок показывает качественный уровень сотрудника. Оценка руководителя представляется в аттестационную комиссию, где она должна быть обсуждена, утверждена и сообщена аттестуемому сотруднику.

Анализ деятельности аттестационной комиссии в ОАО «НПО ИТ» показал, что она не обсуждала результаты оценки непосредственно с каждым сотрудником, так как членам комиссии обычно раздавались уже обработанные бланки аттестации, которые они просматривали и, как правило, без комментариев подписывали. Если возникали споры и конфликты, то они рассматривались на заседании аттестационной комиссии в присутствии сотрудника, но результаты оценки практически оставались неизменными.

Данный вид аттестации обладает следующими недостатками:

- сравнительно высокая субъективность оценок, которые в значительной степени зависят от личности непосредственного руководителя и его отношения к сотруднику;
- слабое влияние членов аттестационной комиссии на результаты аттестации, так как они объективно не могут хорошо знать аттестуемых сотрудников и, в основном, опираются на мнение руководителя подразделения;
- небольшие возможности сотрудника влиять на результат аттестации;
- низкая информативность аттестации.

Возможность ошибки при оценке подчиненного может быть также связана с тем, что у руководителя нет достаточных навыков оценки. Аттестационная процедура должна определенным образом ограничивать этот субъективизм. Поэтому в оценке персонала должны участвовать не только непосредственные, но и вышестоящие руководители, и работники кадровой службы [4]. Одними из важных факторов, повышающих объективность оценки работника, являются его оценка по горизонтали, т.е. со стороны непосредственного производственного окружения, и самооценка. В тоже время, когда речь идет об оценке руководящего персонала, то кроме горизонтальной оценки и самооценки необходима и оценка снизу, т.е. со стороны подчиненных. Это подтверждается и результатами исследований, представленными в таблице 2.

**Таблица 2 – Оценка участвующих в аттестации сотрудников**

Варианты аттестационных оценок	в %
Только непосредственный руководитель	7
Непосредственный и вышестоящий руководители	18
Непосредственный руководитель и коллеги по работе (горизонтальная оценка)	35
Непосредственный и вышестоящий руководители, коллеги, самооценка	40

Исходя из цели аттестации, состоящей в том, чтобы наиболее рационально использовать потенциальные возможности работников, были выделены ее следующие задачи:

- оценка квалификации, профессиональных навыков и деятельности каждого отдельного работника и всего коллектива в целом;

- 
- выявление скрытых внутренних кадровых резервов для интенсивного развития предприятия;
  - стимулирование работников к повышению своего профессионального уровня и укреплению трудовой дисциплины.

Процесс проведения аттестации представляет собой три основных этапа: оценка руководителем, оценка по горизонтали и самооценка.

Данные об образовании сотрудника, его стаже и возрасте учитываются путем расчета коэффициента профессиональной перспективности по формуле:

$$K = O_{y.обр.} (1 + C/4 + B/18), \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент профессиональной перспективности;

$O_{y.обр.}$  – оценка уровня образования, которую предлагается принимать равной:

0,15 для лиц, имеющих незаконченное среднее образование; 0,60 – для лиц со средним образованием; 0,75 – для лиц со среднетехническим и незаконченным высшим образованием; 1,00 – для лиц с высшим образованием по специальности;

$C$  – стаж работы по специальности;

$B$  – возраст. При этом за верхний предел возраста для мужчин принимается 60 лет, для женщин – 55 лет.

Когда речь идет о формировании резерва или о поиске кандидатур на конкретную должность, величина коэффициента профессиональной перспективности суммируется с общей оценкой по деловым и организаторским качествам. Предпочтение отдается тому кандидату, который в итоге получит наибольшую оценку с учетом полученных оценок по группам личностных качеств.

Большое внимание должно уделяться отзыву руководителя, который предусматривает оценку подчиненного по 11 качественным критериям:

- выполнение задач, поставленных на аттестационный период;
- профессиональные знания, навыки и умения;
- качество выполняемой работы и отношение к работе;
- работоспособность; умение работать в команде, не конфликтность, готовность к взаимопониманию;
- стремление к самосовершенствованию и к профессиональному росту;
- потенциальные возможности продвижения по службе;
- целеустремленность, способность добиваться конкретного результата;
- лояльность по отношению к предприятию;
- общая удовлетворенность сотрудником.

При заполнении общего бланка аттестации для объективности оценок необходимо не только определить балл, но и ввести оценку «Рейтинг сотрудника в подразделении» (место в группе) для каждого сотрудника и дать пояснения по критериям с низким баллом или рейтингом.

Применение самооценки дает возможность понять, в чем расходятся оценки руководителя и подчиненного, оценить стиль управления руководителя, выявить, каких именно сотрудников высоко оценивает руководство и почему, а также предоставить работнику возможность влиять на оценку. Сотрудник заполняет на себя бланк аттестации. Критерии остаются теми же, что и при отзыве руководителя, за исключением пункта 11, который должен быть изменен на: «Степень Вашей удовлетворенности работой на предприятии».

---

Таким образом, на каждый критерий получаются три оценочных значения:  $O_p$  — оценка руководителя;  $O_c$  — оценка сотрудника;  $P$  — рейтинг сотрудника в группе.

Это позволяет при анализе результатов выделить количественную оценку рассогласования ( $K_p$  — коэффициент рассогласования) позиций руководителя и сотрудника, рассчитываемую по формуле:

$$(O_{p1}-O_{c1})+(O_{p2}-O_{c2})+\dots+(O_{p11}-O_{c11})=K_p \quad (2)$$

где  $O_{p1}\dots O_{p11}$  оценка руководителя по 11 качествам;

-  $O_{c1}\dots O_{c11}$  самооценка сотрудника по 11 качествам.

Использование такой процедуры позволит выявить прямую связь между величиной коэффициента рассогласования и рейтингом сотрудника. Чем выше коэффициент рассогласования, тем, как правило, ниже рейтинг сотрудника в группе, и тем, следовательно, выше вероятность возникновения конфликтов в ней. Например, с теми сотрудниками, у кого были большие расхождения собственных оценок с оценками руководителей, необходимо проводить беседу индивидуально с сотрудником и с руководителем о возможных причинах возникновения такой ситуации. С помощью собеседований удастся в некоторых случаях погасить назревавшие или уже существующие конфликты. Следовательно, данный показатель позволяет выявлять конфликты на ранних стадиях их зарождения [5].

Возможность сотрудника указать в бланке аттестации свое мнение и оценку деятельности своего руководителя и коллег позволяет судить о проблемах и настроениях в коллективе. В ОАО «НПО ИТ» около 15% сотрудников отмечали нежелание продолжать профессиональное образование, 45% из числа тех, кто хотел продолжать свое развитие, не смогли пояснить, каких именно знаний им не хватает. Это предопределило необходимость более тщательного подхода к организации второго этапа процедуры аттестации — оценки профессиональных знаний, навыков и умений.

Предлагаемые дополнения в процедуру аттестации позволяют собрать объективную информацию, позволяющую правильно подходить к формированию системы карьерного роста, развитию сотрудников, предупреждению конфликтов, снижению напряжения в рабочих группах. Дополнения в аттестацию дают возможность руководителям как бы со стороны, т.е. глазами своих сотрудников взглянуть и на свое место в коллективе, более объективно подойти к оценке своего вклада в деятельность подразделения. В зависимости от результатов аттестации определяются изменения в заработной плате, планируется карьерный рост сотрудника, констатируется соответствие занимаемой должности без каких-либо изменений и др.

Таким образом, в результате исследований предложенные в технологию аттестации персонала ОАО «НПО ИТ» элементы способствовали:

1. Появлению на предприятии единой системы объективной и регулярной оценки эффективности выполнения каждым сотрудником своих должностных функций.

2. Знанию руководителями потенциала каждого аттестованного работника и, как следствие, получению внутреннего резерва для развития предприятия.

3. Дополнительную мотивацию персонала к индивидуальному развитию

---

и самообучению.

*Литература*

1. Семенов, А. К. Человеческий капитал рыночного управления / А. К. Семенов // Вопросы региональной экономики. – 2010. – №1(10). – С. 98-107.
2. Буданова, О. В. Центр оценки персонала (Assessment Center) как базовая технология оценки и развития персонала / О. В. Буданова // Труд и социальные отношения. – 2002. – №2. – стр. 23-30.
3. Трудовой кодекс РФ: Федеральный закон № 197-ФЗ от 30 декабря 2001 года (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.01.2013) [Электронный ресурс]. URL: <http://referent.ru/1/206755>.
4. Исаев, В. Г. Оценка влияния неэкономической мотивации преподавателей высшей школы на качество их работы / Сборник трудов Международной научно-практической Интернет конференции «Современные образовательные технологии, используемые в очном, заочном и дополнительном образовании» // Королев МО: Изд-во «Канцлер». – ФТА. – 2014.
5. Аксенова, Е. Технологические аспекты проведения аттестации / Е. Аксенова // Управление персоналом. – 1999. – № 2. – С. 22-28.

## **Марковская модель обучения мобильного робота целесообразному поведению**

**В.Я. Вилисов**, д.э.н., профессор кафедры Математики и естественнонаучных дисциплин,

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

*Предложен алгоритм обучения мобильного робота, основанный на аппроксимации предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР), в интересах которого действует робот, управляемый марковской цепью. Настройка параметров модели происходит на основании данных о ситуациях и принимаемых решениях. Модель настраивается априори путем тестирования или в процессе функционирования робота. По данным имитационного моделирования выполнена настройка параметров модели, продемонстрирована работоспособность всех элементов алгоритма и эффективность адаптации.*

Робот, марковская цепь, адаптация, эффективность.

## **Markov model of the mobile robot training expedient behavior**

**V.Y. Vilisov**, D.Sc. in economics, Professor Department of Mathematics and Natural,

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

*An algorithm for mobile robot training, based on an approximation of the preferences of the decision maker (DM), which acts in the interests of robot controlled by a Markov chain. Setting parameters of the model occurs on the basis of data on the situation and make decisions. Model customizable priori by testing or during operation of the robot. According to the simulation model, the application is configured, demonstrated performance of all elements of the algorithm and the effectiveness of adaptation.*

Robot, Markov chain, adaptation, effectiveness.

### **Введение**

В работе рассмотрены вопросы обучения автономного мобильного робота (АМР) предпочтениям ЛПР [1] и выполнена оценка эффективности выполнения им целевой задачи для фиксированной (минимальной) конфигурации его сенсорной системы (СС). В качестве робототехнической системы (РТС) рассматривается АМР с двумя контактными (или иными, функционально аналогичными) датчиками и парой ведущих колес. Задание РТС заключается в сканировании не-

которой области (комнаты, территории и т.п.). Типичным примером подобного АМР является робот-пылесос (РП) или робот-газонокосильщик. Так РП может выполнять задание, сканируя помещение по одной из заложенных в него и выбранных ЛПП программ [4, 15, 16]. При этом эффективность выполнения задания по разным программам будет различной, что зависит как от самой программы, так и от конфигурации помещения. Логика работы РП такова, что по разным программам поведения в одинаковых состояниях (срабатываниях определенных датчиков) он принимает различные решения. Для РП решением при срабатывании, например, левого датчика может быть отъезд с правым поворотом и т.п. Сенсорное поле представлено двумя передними (левый и правый) датчиками столкновения/приближения, а два действия/решения - это реакция на столкновения (состояния). Решения реализуются как отъезд с левым поворотом и отъезд с правым поворотом. Увеличение множеств состояний и решений лишь увеличит разнообразие и эффективность поведения АМР, но на содержание предлагаемого алгоритма не повлияет. Все основные математические построения выполним для случая двух состояний и двух решений.

Задачи этого класса часто решаются с использованием дискретных марковских процессов принятия решений [5, 7-11] (*Markov Decision Processes – MDP*). В основе предлагаемого алгоритма адаптации РТС к целевым предпочтениям ЛПП лежит решение обратной задачи для марковской цепи с платежами [1-3, 12-14] (*Reverse Problem for MDP – RPMDP*). Она заключается в том, чтобы по наблюдениям за эффективными действиями ЛПП вычислить оценку платежной/целевой функции *MDP*. Тогда при решении прямой задачи [6, 9] (*Direct Problem for MDP – DPMDP*) оптимальные управления будут адаптированы к целевым предпочтениям ЛПП.

### **Марковские модели в управлении РТС**

*MDP* считается заданной, если известны такие ее элементы, как множество состояний  $i = \overline{1, m}$ , вектор вероятностей начальных состояний  $\bar{p}_0 = \|p_i\|_m$ , множество решений  $k = \overline{1, K}$ , матрица условных вероятностей перехода процесса за один шаг  $P^k = \|p_{ij}^k\|_{mm}^K$ , матрица условных платежей за один шаг  $R^k = \|r_{ij}^k\|_{mm}^K$ . Решением *MDP* является оптимальная стратегия  $f^*$ , как одна из множества  $S$  стратегий. Произвольная стратегия, имеющая индекс  $s = \overline{1, S}$  может быть представлена в виде вектор-столбца вида:  $f^s = [k_1^s \ k_2^s \ \dots \ k_m^s]^T$ . Оптимальная стратегия обеспечивает максимум накопленных или средних за шаг доходов/платежей. В структуре стратегии  $k_i^s$  – это решение, которое следует принять согласно  $s$ -ой стратегии, если процесс на текущем шаге  $n$  находится в состоянии  $i$ . В текущей реализации по структуре конкретной стратегии принятия решений могут быть синтезированы единственные матрицы соответственно  $P^s$  и  $R^s$ , которые являются рабочими для текущей реализации и заменяют множества матриц  $P^k$  и  $R^k$ .

При использовании *MDP* в задачах управления РТС платежные функции (ПФ), как правило полагаются известными, задаваемыми априори при разработке системы или управляющих алгоритмов. От структуры и параметров ПФ зависит, каким будет конкретное значение оптимального решения. Если ПФ не соответствует иерархии ценностей и системе предпочтений того ЛПП, в интересах которо-

го действует РТС, то и найденное решение не будет оптимальным относительно целевых предпочтений ЛПП.

### **Решение прямой задачи MDP (DPMDP)**

Алгоритм поиска решения строится на основе сравнения конкурирующих стратегий по величине *среднего платежа за один шаг* в установившемся режиме. Поиск ведется в классе стационарных стратегий. Определим средний платеж за один шаг  $V^s$  для произвольной  $s$ -ой стратегии в установившемся режиме. Для  $s$ -ой стратегии составим рабочие матрицы  $P^s$  и  $R^s$ . Они формируются из исходных множеств матриц перехода, где в качестве ключа используется конкретная конфигурация стратегии  $f^s = [k_1^s \ k_2^s \ \dots \ k_m^s]^T$ . Так первая строка в  $P^s$  переносится из первой строки матрицы  $P^{k_1^s}$ , вторая – из второй строки матрицы  $P^{k_2^s}$  и т.д. Аналогично конструируется и матрица  $R^s$ . Таким образом, для фиксированной  $s$ -ой стратегии по множеству матриц  $P^k$  и  $R^k$  можно построить единственную матрицу вероятностей перехода за один шаг  $P^s$  и единственную матрицу платежей за один шаг  $R^s$ . Тогда средний платеж за один шаг, при условии, что процесс находился в  $i$ -ом состоянии, определится как:

$$r_i^s = \sum_{j=1}^m p_{ij}^s r_{ij}^s.$$

Для вычисления безусловного среднего платежа необходимо определить вектор вероятностей состояний в установившемся режиме  $\bar{f}^N = [p_1^N \ p_2^N \ \dots \ p_m^N]^T$ , где  $N$  означает, что вероятности соответствуют большим номерам шагов, при которых процесс носит установившийся характер. Тогда средний платеж за один шаг  $V^s$  для  $s$ -ой стационарной стратегии определится как:

$$V^s = \sum_{i=1}^m p_i^N r_i^s = \sum_{i=1}^m p_i^N \sum_{j=1}^m p_{ij}^s r_{ij}^s.$$

Если платеж имеет смысл дохода, то критерий выбора оптимальную стратегии имеет вид:

$$s^* = \arg \max_{s \in \{1, \dots, S\}} V^s.$$

Вектор предельных вероятностей состояний марковского процесса  $\bar{p}^N$  удовлетворяет следующему матричному уравнению:

$$(P^s)^T \bar{p}^N = \bar{p}^N.$$

При этом для вероятностей состояний должно выполняться условие нормировки:

$$\sum_{i=1}^m p_i^N = 1.$$

Решение системы двух последних уравнений позволяет получить значения координат вектора  $\bar{p}^N$ .

### **Решение обратной задачи MDP (RPM DP)**

Рассмотрим, какие данные входят в состав наблюдений и что необходимо найти в результате решения RPM DP. Наблюдениям доступно множество реали-

заций. На каждом -ом шаге реализации для измерений доступны состояния цепи  $i_n$  и решения  $k_n$ , принятые ЛПП, где  $i_n, k_n \in \{1; 2\}$ . По окончании реализации измеряется значение полученного платежа  $v$ . В контексте рассматриваемого примера АМР (сканирующего робота) состоянием является срабатывание левого или правого датчика, а решением – отход с левым или правым поворотом. Платежом для каждой реализации может служить полезная (без учета отходов) продолжительность пути, пройденная роботом за фиксированный отрезок времени (что пропорционально отсканированной площади). Таким образом, одним элементом наблюдения, учитываемом в алгоритме решения обратной задачи, является одна реализация, т.е. совокупность чередующихся состояний, принятых решений и итоговых платежей по реализации.

Результатом решения  $RPMDP$  являются те элементы, которые необходимы для решения прямой задачи ( $DPMDP$ ), т.е. матрицы вероятностей и платежей.

Схема решения  $RPMDP$  представлена тремя этапами.

Этап 1. По каждой реализации выявляется та стратегия  $f^s \in \{f^1, f^2, f^3, f^4\}$ , которой придерживался ЛПП. Полное множество стратегий здесь имеет такой вид:  $f^1 = [1 \ 1]^T$ ;  $f^2 = [1 \ 2]^T$ ;  $f^3 = [2 \ 1]^T$ ;  $f^4 = [2 \ 2]^T$ . По каждой реализации оцениваются частоты принятия того или иного решения при том или ином состоянии. Затем по частотам определяется наиболее близкая стратегия, которая и ставится в соответствие данной реализации.

Этап 2. По каждой реализации оценивается все множество матриц вероятностей перехода:  $P^1, P^2, P^3, P^4$ . Поскольку каждая из этих матриц является условной (т.е. она применяется при условии выбора решения, соответствующего верхнему индексу матрицы). Как и на *этапе 1*, по каждой реализации отдельно вычисляются частоты перехода из одного состояния в другое (по парам шагов марковской цепи) с учетом принятого решения (условия перехода). Полученные таким образом частоты являются оценками условных вероятностей перехода  $MDP$  за один шаг. Затем эти вероятности расставляются по соответствующим местам матриц условного перехода.

Этап 3. Построение оценок платежей заключается в том, чтобы по наблюдаемым параметрам (оценкам) матриц условного перехода и по платежам в каждом наблюдении (реализации) вычислить оценки вектора платежей  $r_i^s$ . Для этого используется метод наименьших квадратов, рекуррентная форма которого [11], связывающая предыдущие ( $q$ -е) оценки наблюдений с текущими ( $(q+1)$ -ми), имеет следующий вид:

$$\hat{r}_{q+1} = \hat{r}_q + Q_q P_q [P_q^T Q_q P_q + 1]^{-1} [v_{q+1} - P_q^T \hat{r}_q],$$

$$Q_{q+1} = Q_q - Q_q P_q [P_q^T Q_q P_q + 1]^{-1} P_q^T Q_q,$$

где:

$Q_q = (P_q^T P_q)^{-1}$ ;  $v_{q+1}$  – платеж в  $(q+1)$ -м наблюдении;  $P_q$  – матрицы перехода, полученные на *этапе 2* в  $q$ -м наблюдении.

Для рекуррентных уравнений оценивания *шагом наблюдения* является реализация  $MDP$ , а шаг  $MDP$  – это один шаг марковской цепи в рамках конкретной реализации.

С появлением каждой новой -ой реализации оценки вектора платежей ре-

куррентно уточняются. В этом и заключается формализация положительного опыта ЛПП с помощью *MDP*. Т.е. текущие предпочтения ЛПП аппроксимируются *марковской цепью принятия решений*.

Алгоритм рекуррентного оценивания не только снимает априорную неопределенность, связанную с неполнотой информации о матрицах  $P^S$  и  $R^S$ , но и позволяет адаптироваться к дрейфу платежей, целей и предпочтений ЛПП, корректируя стратегии на основе векторов платежей, подстроенных по текущим наблюдениям за действиями ЛПП.

### Модельный пример

Обратная задача, являющаяся ядром адаптивной процедуры управления мобильным роботом, была апробирована в режиме имитационного эксперимента. Исходные данные для моделируемого *MDP* представлены в таблице.

Решение прямой задачи по данным табл. 1 методом полного перебора стратегий показало, что оптимальной является 2-я стратегия:  $f^2 = [1 \ 2]^T$ . Согласно ее логике, при первом состоянии процесса следует выбирать первое решение, а при втором - второе. В этом случае средний платеж за один шаг в установившемся режиме процесса составит 71 единицу.

**Таблица 1 – Параметры моделируемого *MDP***

Решения $k$	Состояния $i$	Вероятности перехода за 1 шаг $p_{ij}$		Платежи за 1 шаг $g_{ij}$	
		$j=1$	$j=2$	$j=1$	$j=2$
1	1	<b>0.05</b>	<b>0.95</b>	<b>45</b>	<b>79</b>
	2	<b>0.19</b>	<b>0.81</b>	<b>44</b>	<b>31</b>
2	1	<b>0.27</b>	<b>0.73</b>	<b>25</b>	<b>23</b>
	2	<b>0.48</b>	<b>0.52</b>	<b>93</b>	<b>45</b>

Для решения обратной задачи было смитировано 100 реализаций по 30 точек в каждой, т.е. моделируемый ЛПП 30 раз принимал решения по возникающим значениям текущих состояний в каждой из реализаций. На протяжении каждой реализации применялась одна из четырех чистых стратегий. Эти данные были обработаны в соответствии с тремя этапами приведенного выше алгоритма решения обратной задачи.

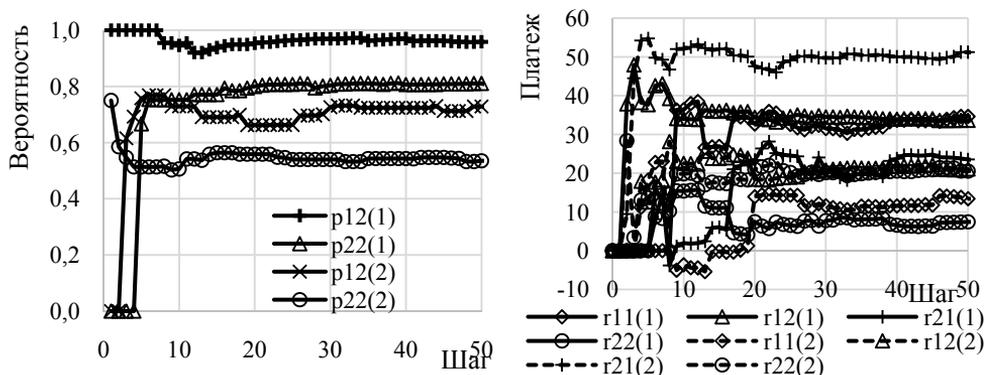


Рисунок 1 – Оценки вероятностей *MDP* Рисунок 2 – Оценки платежей *MDP*

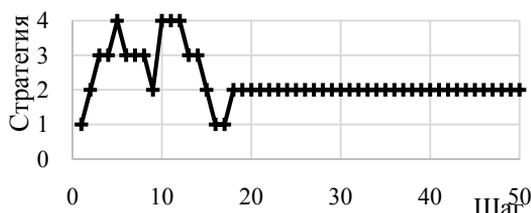


Рисунок 3 – Сходимость решений *MDP* по оценкам его параметров

Оценки  $r_i^k$  элементов, свернутых в векторы матриц платежей вычисляются на каждом шаге наблюдений (т.е. по каждой новой реализации) и с учетом платежа, соответствующего выполненной реализации, в соответствии с приведенными рекуррентными соотношениями. Графики сходимости этих оценок приведены на рисунках 1 и 2, а на рисунке 3 – решения прямой задачи *MDP* по данным пошаговых оценок.

### Выводы

Исследования для других размерностей пространства состояний (мощности сенсорного поля) пространства решений показали, что сходимость по решениям для рассматриваемого класса моделей остается высокой. Кроме того, использование инструментария оптимального планирования эксперимента в процессе обучения РТС позволяет сократить время настройки на предпочтения ЛПР.

Построенная модель предпочтений является в высокой степени адекватной предпочтениям и целевым установкам ЛПР, а принимаемые РТС решения не будут по качеству уступать решениям «учителя» *MDP*-модели. При появлении признаков изменчивости среды или при изменении предпочтений ЛПР, модель вновь может быть перенастроена и перезагружена в РТС. Процесс настройки/обучения модели может проходить на отдельной модели или специальном стенде, а настроенная для новых условий *MDP*-модель может быть загружена, как «горячее» обновление, не прерывая нормальное функционирование РТС.

### Литература

1. Вилисов, В. Я. Адаптивные модели исследования операций в экономике / В.

- 
- Я. Вилисов // М.: Энит. – 2007. – 286 с.
2. Вилисов, В. Я. Анализ динамики обучения робота в условиях нестационарности критериев / В. Я. Вилисов // Информационно-технологический вестник. – 2014. – № 2. – С. 34-39.
  3. Вилисов, В. Я. Анализ эффективности обучения робота в условиях целевой нестационарности / В. Я. Вилисов // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины. Сборник научных статей по материалам XI Международной научно-технической конференции: в 2 частях. – 2014. – Часть 2. – С. 282-287.
  4. Жданов, А. А. Автономный искусственный интеллект / А. А. Жданов // М.: БИНОМ. – 2008. – 359 с.
  5. Franklin, G. F. Digital Control of Dynamic Systems / G. F. Franklin, J. D. Powell, M. Workman // NY: Addison Wesley Longman. – 1998.
  6. Howard, R. A. Dynamic Programming and Markov Processes / R. A. Howard // NY-London: The M.I.T. – Press. – 1960.
  7. Koenig, S., Simmons R. G. Xavier: A Robot Navigation Architecture Based on Partially Observable Markov Decision Process Models [Электронный ресурс] / S. Koenig, R. G. Simmons. – Carnegie Mellon University. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.130.5088&rep=rep1&type=pdf>. [Дата обращения: 15. 10. 2015].
  8. Lopez, M. E. Global Navigation of Assistant Robots using Partially Observable Markov Decision Processes [Электронный ресурс] / M. E. Lopez, R. Barea, L. M. Bergasa. Режим доступа: [http://cdn.intechopen.com/pdfs/141/InTech-Global\\_navigation\\_of\\_assistant\\_robots\\_using\\_partially\\_observable\\_markov\\_decisions\\_processes.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/141/InTech-Global_navigation_of_assistant_robots_using_partially_observable_markov_decisions_processes.pdf). [Дата обращения: 15.10.2015].
  9. Mine, H. Markovian Decision Processes / H. Mine, S. Osaki // NY: American Elsevier Publishing Company, Inc. – 1970. – p. 176.
  10. Ong, S. POMDPs for Robotic Tasks with Mixed Observability [Электронный ресурс] / S. Ong, S.W. Png, D. Hsu, W.S. Lee. – Robotics: Science & Systems. – 2009. Режим доступа: <http://www.comp.nus.edu.sg/~leews/publications/rss09.pdf>. [Дата обращения: 15.10.2015].
  11. Sutton, R. S. Reinforcement Learning: An Introduction / R. S. Sutton, A. G. Barto, Cambridge: The M.I.T. Press. – 1998.
  12. Vilisov, V. Ya. Robot Training Under Conditions of Incomplete Information / V. Ya. Vilisov // Cornell University Library. – NY. – USA. – arXiv:1402.2996. – 14.02.2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1402/1402.2996.pdf>.
  13. Vilisov, V. Ya. Research of the Robot's Learning Effectiveness in the Changing Environment / V. Ya. Vilisov // Cornell University Library // NY. – USA. – arXiv:1509.01553. – 04.09.2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1509/1509.01553.pdf>. – DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3343.7926>.
  14. Vilisov, V. Ya. Learning Mobile Robot Based on Adaptive Controlled Markov Chains / V. Ya. Vilisov // Cornell University Library // NY. – USA. – arXiv:1509.01569. - 04.09.2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа:

---

<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1509/1509.01569.pdf>. – DOI:

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4462.0001>.

15. Woodward, M. P. Framing Human-Robot Task Communication as a POMDP [Электронный ресурс] / М. P. Woodward, R. J. Wood. Режим доступа: <http://arxiv.org/pdf/1204.0280.pdf>. [Дата обращения: 15. 10. 2015].
16. Woodward, M. P. Using Bayesian Inference to Learn High-Level Tasks from a Human Teacher / М. P. Woodward, R. J. Wood // Int. Conf. on Artificial Intelligence and Pattern Recognition, Orlando, FL. – July 2009. – pp. 138-145.

## **Определения местоположения объектов сети nanonet на открытой местности**

**П.А. Когтев**, магистр,

**А.В. Енин**, магистр,

**Р.А. Маржина**, магистр,

Государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье приводится пример построения сети малой области действия стандарта беспроводной связи nanonet. Для построения сети, были использованы условные чертежи местности.*

Nanonet, анализ, охрана, датчики nanonet, беспроводные сети, стандарт 802.15.4.

## **The identification of the location of network nanonet on the open area**

**P.A. Kogtev**, master,

**A.V. Enin**, master

**R.A. Marjina**, master,

State Educational Institution of Higher Education

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

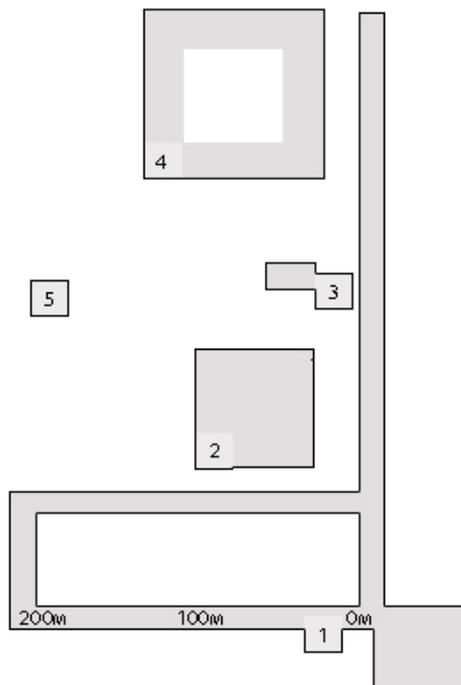
*The article gives an example of constructing a small area networks of the standard wireless nanonet. The conditional drawings area were used for network construction.*

Nanonet, analysis, guard, nanonet sensors, wireless networks, standard 802.15.4.

Современный уровень развития беспроводных технологий позволяет не только определить местоположение объекта, но и возможные пути его следования. До сих пор единственной общедоступной радиосистемой, способной решить задачу определения местоположения мобильных объектов, была спутниковая система глобального позиционирования GPS. Система обладает рядом неоспоримых преимуществ, в частности, точностью определения координат и малыми габаритами GPS-приемников. Но ее главный недостаток заключается в потере своей работоспособности внутри закрытых помещений.

### **1. Система определения местоположения объектов сети nanonet на открытой местности**

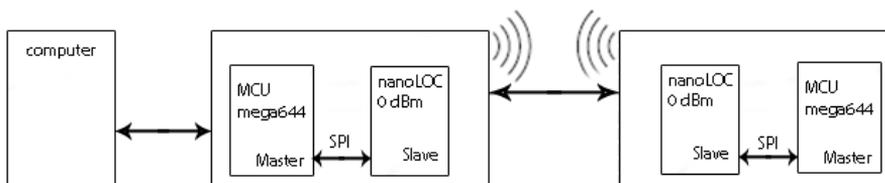
Все эксперименты проводились в лесной зоне, в нескольких километрах от ближайшей населенных пунктов, в складском помещении. Условный чертеж представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Чертеж местности**

Большинство эксперименты проводилось в точках 1, 4 и 5, обозначенных в прямоугольниках на условном чертеже местности. Эксперименты проводились в дневное время.

Во всех экспериментах использовались оборудование с радиомодулями, в которые входит трансивер nanoLOC и управляющий микроконтроллер ATmega644. Микроконтроллер выступал как ведущее устройство на шине SPI, приемопередатчик – как ведомое.



**Рисунок 2 – Расстояние между устройством Master и устройством Slave**

Модуль MCU mega644 был подключен к компьютеру через интерфейс RS-232 с программой для автоматической записи результатов измерений, поступивших во время экспериментов. В файл результатов эксперимента сохранялись:

- id эксперимента,
- id измерения,

- Точное время проведения эксперимента
- Расстояние между модулями
- Результат измерения.

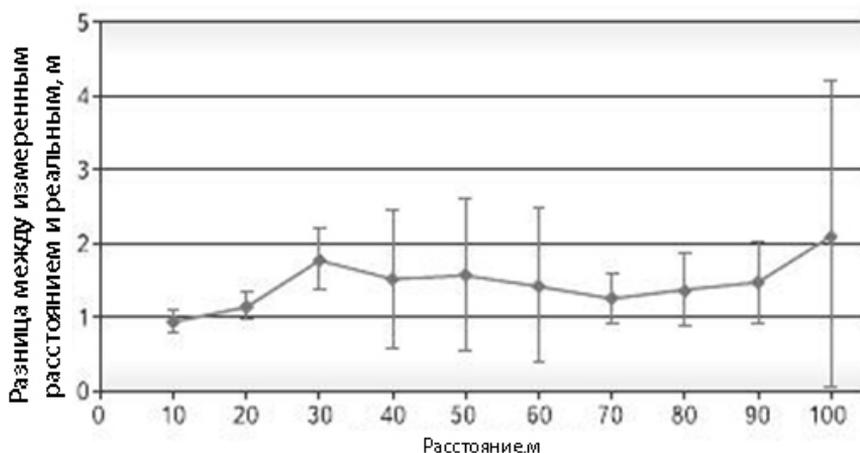
Модуль MCU mega644 чаще всего закреплялся на деревянных поверхностях высотой до одного метра, и мобильный nanoLOC – на такой же деревянной поверхности, длина которой, должна быть не больше двух метров. Все трансиверы были снабжены антеннами типа M04-S.

Первый эксперимент заключался в измерении расстояний на открытом пространстве асфальтовой дороги, проходящей на территории объекта. Оба модуля были закреплены на деревянных поверхностях, высотой 1,5 м. Модули были расположены в пределах прямой видимости.

Модуль MCU mega644 был подключен к компьютеру. Модуль nanoLOC был подвижным, он перемещался вдоль дороги. На рисунке можно видеть кривые, полученные путем усреднения результатов по 10 измерениям.

На горизонтальной оси отмечено реальное расстояние в метрах, а на вертикальной – разница показаний nanoLOC и замеренными в ручную: полученное расстояние в ходе эксперимента превышает реальное вследствие применяемой технологии засечек времени распространения пакета. Точки были выбраны среднестатистические. Все кривые на рисунке были получены в разные дни, на других модули nanoLOC менялись.

Исходя из полученных данных видно, что погрешность в измерениях существует, в основном она находится в пределах до 3 м, и случайная погрешность находится в пределах 90 сантиметров и не зависит от дальности и используемых модулей nanoLOC.



**Рисунок 3 – Усредненный результат по всем экспериментам**

Из-за малых показаний длины волны для частоты сигнала в 2,4 ГГц, такие волны имеют свойство отражаться и поглощаться препятствиями. Несмотря на то, что радиосвязь осуществима при наличии небольших препятствий, необходимым условием обеспечения наилучшего качества связи является прямая видимость. Наиболее вероятно, что небольшое завышение результатов измерений

заключается в дополнительных экспериментах пути распространения волн, из-за отражения от поверхности асфальтовой дороги.

По проделанным экспериментам можно сделать основной вывод: применяемые радиомодули стандарта nanoLOC позволяют достаточно точно измерять расстояния. При этом результаты измерений получаются немного завышенными (по-разному в зависимости от внешних условий). Однако в ряде случаев это может быть скорректировано путем предварительной калибровки системы или введением специальных градуировочных кривых.

## 2. Определение местоположения в помещении

Компания Nanotron, предложила свой метод определения локального местоположения объекта. Этот метод позволяет обойтись без жесткой временной синхронизации между объектами системы. Этот метод получил название Symmetric Double Sided Two Way Ranging (SDSTWR). Он основан на использовании теории оптимальной обработки сигналов. Суть метода заключается в следующем рисунке.

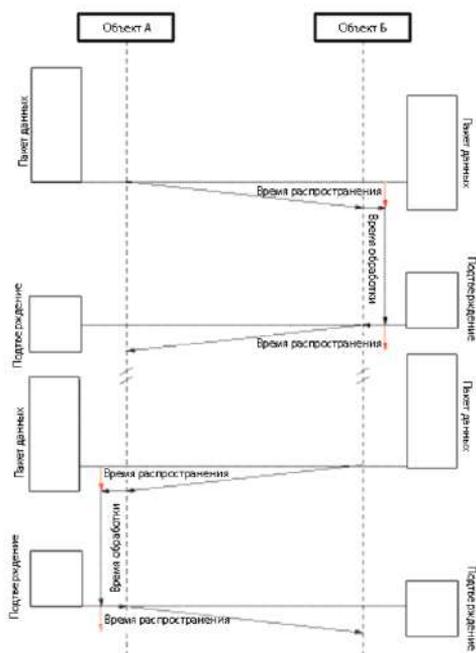


Рисунок 4 – Иллюстрация работы локального местоположения

Указанный метод измерения расстояния между объектами А и В для большей надежности можно выполнить еще несколько раз, а затем вычислить среднее значение. Рассчитав расстояния от движущегося объекта до нескольких контрольных точек с координатами, которые нам известны, можно точно определить его местоположение в трехмерном пространстве.

Для эксперимента по измерению расстояния в помещении были выбраны два соседних помещения. Все приборы в помещении отключены. Для регистрации использовались те же два модуля, что и в эксперименте в определении местоположения на открытой местности.

Датчики в помещениях отделяла только гипсокартонная стена толщиной не более полуметра с одним слоем минеральной ваты; никаких других препятствий между ними не было. Расстояние расположения модулей в комнате не превышает 2х метров.

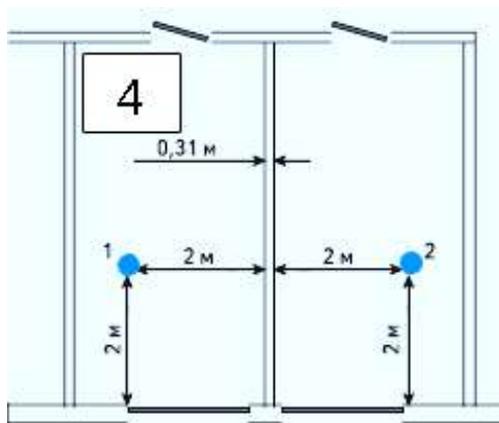


Рисунок 5 – Схема эксперимента измерения местоположения в помещении

По времени, эксперимент проходил за 18 часов, за это время было проведено 64 162 измерения.

Среднее значение –  $4,423 \pm 0,002$  м. Отклонение среднего от реального расстояния, замеренного рулеткой, – 0,11 м.

Данные были усреднены по 60 измерениям. На следующем рисунке приведен график, на котором для удобства отображения приведены усредненные значения за каждые полчаса. При этом 95%-ный доверительный интервал для средних значений составляет 0,04 м.

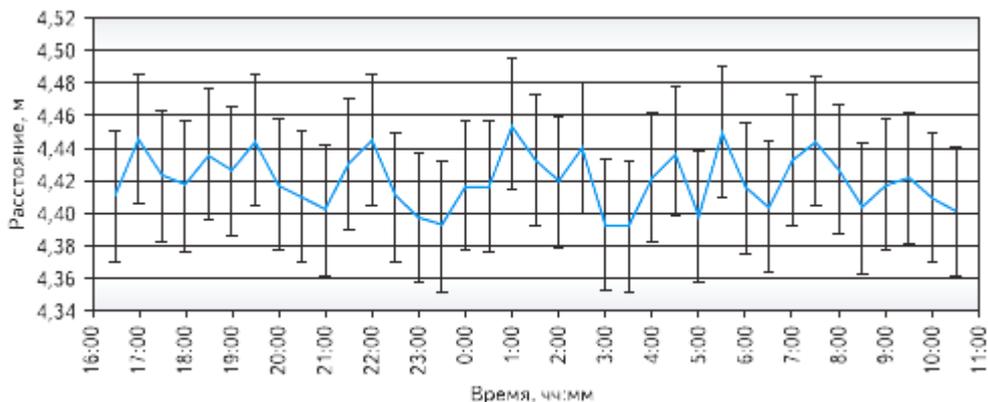


Рисунок 6 – Среднее по значимым данным

По горизонтальной оси на рисунке 6 указано время записи результатов измерений, по вертикальной оси – усредненные расстояния. Видно, что в пределах доверительного интервала результаты измерений не меняются со временем.

---

Описанный метод SDSTWR был использован фирмой Nanotron в кристаллах nanoLOC. Низкое энергопотребление, но вместе с тем высокая помехоустойчивость и надежность достигнуты за счет использования для передачи информации особого вида сигналов, называемых линейно-частотно-модулированными (ЛЧМ).

С учетом сказанного можно упрощенно пояснить процесс определения расстояния между объектами А и В в методе SDSTWR. Передатчик объекта А формирует ЛЧМ-сигнал путем подачи на дисперсионную линию задержки его АКФ. Одновременно фиксируется момент времени  $t_1$ , относительно которого будет измеряться запаздывание формируемого ЛЧМ-сигнала. Далее полученный ЛЧМ-сигнал  $U_2(t)$  на выходе дисперсионной линии задержки объекта А излучается, принимается объектом В, ретранслируется с задержкой  $T_{обр}$  и принимается снова объектом А. Приемник объекта А осуществляет обработку принятого сигнала пропусканием его через дисперсионную линию задержки и фиксирует его запаздывание  $\Delta T = t_2 - t_1$ . Далее расстояние D между объектами А и В вычисляется по простой формуле:

$$D = \frac{\Delta T - T_{обр}}{2C}$$

где  $C$  – скорость света.

Острота пика АКФ  $\delta$  определяет точность измерения времени запаздывания радиосигнала  $U_2(t)$  и является величиной, обратно пропорциональной ширине его частотной полосы  $\Delta F$ . При заданной частотной полосе  $\Delta F$  ЛЧМ-сигнал обладает наименьшей возможной шириной  $\delta$  главного пика своей АКФ.

Амплитуда главного пика АКФ пропорциональна площади спектра сигнала, попадающего в полосу  $\Delta F$ . Совершенно очевидно, что при заданной полосе частот  $\Delta F$  и прочих равных условиях, таких как амплитуда и длительность, ЛЧМ-сигнал обладает АКФ максимальной амплитуды по сравнению с сигналами, использующими другие виды модуляции. За счет этого достигается хорошая заметность (обнаруживаемость) отклика оптимального фильтра ЛЧМ-сигнала на фоне шумов и прочих помех, присутствующих в радиоэфире.

Информационная емкость канала связи или максимально достижимая скорость передачи данных согласно теореме Шеннона определяется как:

$$V = \Delta F \log_2 \left( \frac{E_s + E_0}{E} \right) (\text{бит/с})$$

где  $E_s$  – энергия сигнала, а  $E_0$  – энергия шумов, попадающих в полосу сигнала  $\Delta F$  за время приема сигнала. Теорема Шеннона позволяет оценить максимальную скорость передачи данных в определенной помеховой обстановке (заданной энергии шумов  $E_0$ ). Поскольку, как было отмечено ранее, при фиксированной частотной полосе  $\Delta F$  ЛЧМ-сигнал обладает наибольшей возможной энергетикой, вполне логично ожидать достижения максимально высоких скоростей передачи данных в заданном частотном диапазоне.

Эффективная ширина спектра передаваемого ЛЧМ-сигнала в приемопередатчиках nanoLOC составляет 20 МГц, в отличие от приемопередатчиков nanoNET с шириной спектральной полосы 64 МГц. Но зато nanoLOC предусматривает использование 3 неперекрывающихся или 7 перекрывающихся частотных

---

каналов FDMA (Frequency Division Multiple Access). Это позволяет использовать несколько локальных беспроводных сетей в пределах одного помещения. Максимальная мощность передатчика nanoLOC составляет 1 мВт.

## **Проектные решения для автоматизированной системы распределения средств управления космическими аппаратами**

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

*Рассматриваются вопросы, связанные с проектными решениями для автоматизированной системы распределения средств управления космическими аппаратами. Представлены проектные решения по информационному, программному и техническому обеспечению, а также по технологии сбора, передачи, обработки и выдачи информации. Отмечена важность подходящих проектных решения для соответствия создаваемой автоматизированной системы требованиям органа планирования.*

Космический аппарат, орган планирования, база данных, программное обеспечение, автоматизация.

## **Design solutions for automated system of allocation control facilities for spacecrafts**

**B.A. Kuchеров**, post-graduate student,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Issues related to design solutions for automated system of allocation control facilities for spacecrafts are considered. Design solutions for information support, software, hardware and for technology of acquisition, transmission, processing and delivery of information are presented. The importance of appropriate design solutions to meet the requirements of planning authority to the automated system is noted.*

Spacecraft, planning authority, database, software, autumation.

### **Введение**

В настоящее время наблюдается прогрессирующий рост количества космических аппаратов (КА) в составе группировок. При этом используется мало-пунктная технология их управления. В связи с этим предъявляются совершенно новые требования к процессу управления группировкой КА в целом и к распределению средств управления КА в частности [1-6].

В складывающихся условиях возрастает нагрузка на специалистов органов управления, в частности органа планирования. Одними из важнейших требований являются требования по оперативности решения задач органом планирования. Соответствовать предъявляемым требованиям возможно за счёт использо-

---

вания автоматизированной системы (АС) распределения средств управления КА [1, 3, 7, 8-11].

Одним из важных факторов, от которых зависит соответствие предъявляемых органом планирования требований к создаваемой АС распределения средств управления КА, является выбор подходящих проектных решения. Рассмотрим основные проектные решения по АС распределения средств управления КА.

### **Проектные решения по информационному обеспечению**

Информационное обеспечение автоматизированной системы – совокупность форм документов, классификаторов, нормативной базы и реализованных решений по объемам, размещению и формам существования информации, применяемой в автоматизированной системе при её функционировании [12].

Как известно, основными принципами построения информационного обеспечения являются [13]:

- принцип единой информационной базы данных;
- принцип одноразового ввода и накопления информации;
- принцип минимизации ввод и вывода;
- принцип централизации обработки информации;
- принцип гибкости информационной базы.

Обеспечение перечисленных выше принципов достигается за счёт использования базы данных.

Выделяют различные модели баз данных. Модель базы данных – это совокупность логических конструкций, используемых для представления структуры данных и отношений между ними внутри БД [14]. К моделям БД относятся: иерархическая, сетевая, реляционная, объектная, объектно-ориентированная и объектно-реляционная. В настоящее время реляционная модель БД (наряду с объектно-реляционной) является наиболее распространенной, вытеснив иерархическую и сетевую модели [15].

Достоинствами реляционного подхода принято считать следующие свойства [15]:

- реляционный подход основывается на небольшом числе интуитивно понятных абстракций, на основе которых возможно простое моделирование наиболее распространенных предметных областей; эти абстракции могут быть точно и формально определены;
- теоретическим базисом реляционного подхода к организации баз данных служит простой и мощный математически аппарат теории множеств и математической логики;
- реляционный подход обеспечивает возможность ненавигационного манипулирования данными без необходимости знания конкретной физической организации баз данных во внешней памяти.

В организации, эксплуатирующей орган планирования, накоплен большой опыт успешной эксплуатации системы управления базами данных (СУБД) Oracle. Данная СУБД успешно применяется в различных направлениях деятельности организации. Для тех направлений, где важны отказоустойчивость и масштабируемость, используются кластеры БД на основе Oracle Real Application Clusters (RAC). Имеется возможность привлечения квалифицированных специа-

---

листов организации для настройки и сопровождения кластера БД Oracle RAC. В организации существует тенденция перехода к использованию, по возможности, только этой СУБД. Стоит отметить, что по СУБД Oracle доступна информативная и удобная в использовании документация.

Oracle Database – это производительная, масштабируемая, функциональная СУБД для решения широкого спектра задач, доступная под различные архитектуры процессоров и для различных операционных систем. В настоящее время предлагается несколько редакций Oracle Database, удовлетворяющих бизнес и информационным потребностям организаций различного уровня и бюджета. Все редакции основаны на единой архитектуре, полностью совместимы друг с другом и отличаются лицензионными ограничениями. Кроме того, существуют дополнительные программные продукты («опции» и «пакеты»), расширяющие возможности Oracle Database при решении конкретных прикладных задач [16].

Редакции Oracle Database [16]:

- Oracle Database Express Edition – бесплатная редакция, имеющая ряд ограничений (11 Гб пользовательских данных, 1 Гб оперативной памяти, 1 ядро процессора, средства обеспечения высокой доступности и т.д.).

- Oracle Database Personal Edition – редакция для монопольного использования одним пользователем. Она включает в себя все опции, кроме кластеризации, в качестве стандартной функции, без дополнительной платы.

- Oracle Database Standard Edition One – бюджетная редакция для серверов оснащенных не более чем 2 сокетам.

- Oracle Database Standard Edition – редакция для серверов или групп серверов, оснащенных не более чем 4 сокетам. Она включает в себя опцию кластеризации (Oracle Real Application Cluster) в качестве стандартной функции, без дополнительной платы.

- Oracle Database Enterprise Edition – редакция без ограничений на количество сокетов, включает ряд возможностей, не входящих в другие редакции. Только к ней можно приобрести опции и пакеты.

Проведем сравнение СУБД Oracle и СУБД Microsoft SQL Server, используемой в организации, эксплуатирующей орган планирования, в меньшей степени.

СУБД Oracle является кроссплатформенной, в то время как СУБД Microsoft SQL Server поддерживает только ОС Windows [16]. В организации, эксплуатирующей орган планирования, предпочтительной серверной ОС является Linux. Обе СУБД поддерживают кластерные технологии (СУБД Oracle – начиная с редакции Standard Edition), но кластерные технологии применительно к СУБД Microsoft SQL Server – это поддержка кластера Active-Passive, когда второй сервер находится в резерве [16]. СУБД Oracle обеспечивает одновременную работу всех узлов кластера, распределяя нагрузку между ними, что повышает отказоустойчивость системы в целом и доступность данных. Помимо этого, СУБД Oracle обладает более широкой поддержкой разнообразных триггеров (в СУБД Microsoft SQL Server не поддерживаются триггеры «до», «после», «вместо» выполнения) [16]. Это является плюсом при разработке приложений БД. Выше были перечислены достоинства СУБД Oracle по сравнению с СУБД Microsoft SQL Server. К недостаткам СУБД Oracle по сравнению с СУБД Microsoft SQL Server можно отнести более высокую стоимость лицензий.

---

Для создания кластера БД в СУБД Oracle должна присутствовать опция Real Application Clusters. Опция Real Application Clusters (RAC) позволяет строить отказоустойчивые и хорошо масштабируемые системы на основе объединения нескольких серверов. В архитектуре RAC экземпляры СУБД Oracle одновременно выполняются на нескольких объединенных в кластер системах, производя совместное управление общей базой данных. По существу, с точки зрения приложения – это единая СУБД. Такой подход позволяет достичь исключительно высокой готовности и масштабируемости любых приложений. Гибкость и эффективность планирования ресурсов позволяют наращивать мощности до любого уровня по требованию, по мере изменения потребностей бизнеса.

Решение Oracle Real Application Clusters (RAC) обеспечивает прозрачную для пользователя работу нескольких серверов с одной базой данных, обеспечивая устойчивую работу в случае сбоев оборудования или плановых отключений. Oracle RAC, работая на кластере, обеспечивает высочайшие уровни готовности, масштабируемости при низких затратах на вычислительные операции.

Учитывая вышесказанное, в качестве СУБД для разрабатываемой автоматизированной системы была выбрана СУБД Oracle Database 11g Release 1 Standard Edition с опцией Oracle RAC. Выбор редакции Standard Edition обусловлен высокими требованиями к требованиям по отказоустойчивости, доступности данных, предъявляемыми к разрабатываемой АС (т.к. редакцией Standard Edition является минимальной редакцией, поддерживающей опцию RAC).

### **Проектные решения по технологии сбора, передачи, обработки и выдачи информации**

Технологический процесс принято делить на первичный, подготовительный и основной этапы. На первичном этапе обеспечиваются сбор первичной информации, ее регистрация и передача на обработку. В разрабатываемой автоматизированной системе будут использоваться как автоматизированный, так и автоматический способы сбора и регистрации информации. Но превалировать будет автоматизированный способ.

Реализация основного этапа позволяет выполнять обработку информации и получать необходимые результаты. От полноты, достоверности и своевременности получаемой первичной информации зависит не только решение конкретной задачи, но и эффективность функционирования органа планирования в целом. Поэтому важнейшей задачей организации сбора и регистрации данных является наличие системы контроля для обеспечения полноты, правильности, комплектности и непротиворечивости данных. Системой сбора и регистрации информации должны быть охвачены все точки возникновения информации, а также должны быть обеспечены требуемые степень полноты и достоверности.

Автоматизированная передача информации в автоматизированную систему может осуществляться из входящего факса или документа на бумажном носителе полученным лично оператором.

Автоматическая передача информации в автоматизированную систему может осуществляться из xml-документа или из базы данных абонента органа планирования.

Обработка исходных данных осуществляется при выборе соответствующего пункта меню прикладной программы или автоматически при наступлении

---

определенного события (получения xml-файла, оповещение из БД абонента о необходимости получения информации).

Результатная информация выдается в виде отчетов.

Отчёты выдаются непосредственно при выборе соответствующего пункта меню программы на принтер или на экран, по желанию пользователя.

### **Проектные решения по программному обеспечению**

Программное обеспечение – это совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ [17].

Как известно, программное обеспечение принято по назначению подразделять на системное (общее), прикладное и инструментальное [18].

Требования к общему программному обеспечению (ОПО) серверов составляются с учетом выбранной СУБД.

Так, ОС серверов должна быть сертифицирована корпорацией Oracle для построения кластера на основе СУБД Oracle Database 11g Release 1 с опцией Oracle RAC [19, 20].

Для работы Oracle RAC необходимо программное обеспечение (ПО) для объединения серверов в кластер. Таким ПО является Oracle Clusterware, включаемый в комплект дистрибутива СУБД Oracle начиная с версии 10g. Oracle Clusterware производит мониторинг и управления кластерными базами данных и другими программными компонентами, обеспечивающими их функционал [20, 21].

Oracle RAC строится на основе архитектуры с разделяемыми дисками, поэтому механизмы управления дисковым пространством и файловой системой в ОС на всех узлах должны поддерживать работу в кластере. Для работы с дисками рекомендуется использовать встроенную в СУБД систему автоматического управления дисковыми ресурсами для БД Oracle – Automatic Storage Management (ASM). ASM обеспечивает высокопроизводительные операции дискового ввода-вывода и простоту в управлении файловой системой и дисками. ASM автоматически производит оптимальное распределение данных между всеми дисковыми ресурсами для достижения наилучшей производительности, что исключает необходимость ручной настройки дискового ввода/вывода [20, 21].

На рисунке 1 [21] представлена схема кластера БД, построенного на основе Oracle RAC.

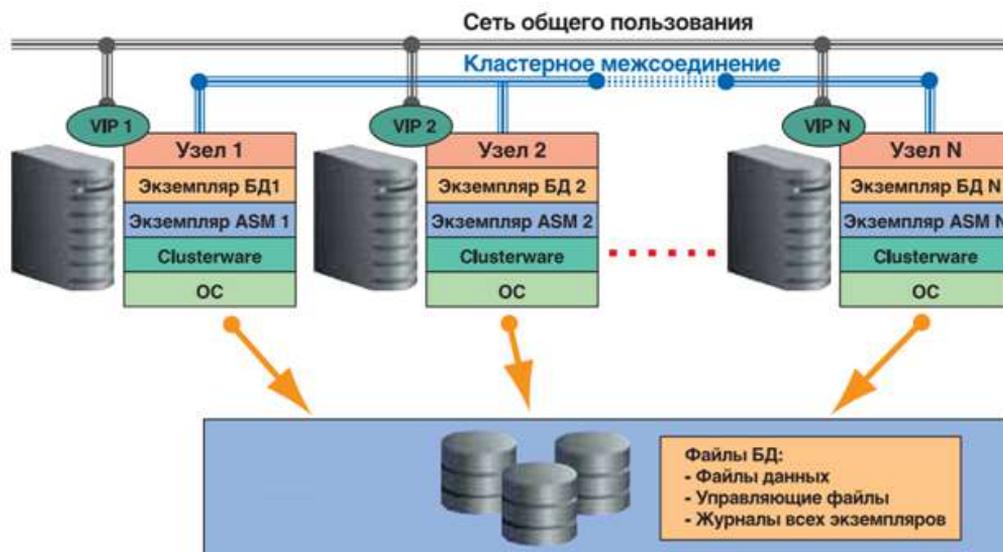


Рисунок 1 – Схема кластера БД, построенного на основе Oracle RAC

Учитывая вышесказанное, были сформулированы требования к программному обеспечению АС распределения средств управления КА.

Требования к общему программному обеспечению представлены в табл. 1, где ОС – операционная система, СУБД – система управления базами данных, ПО – программное обеспечение.

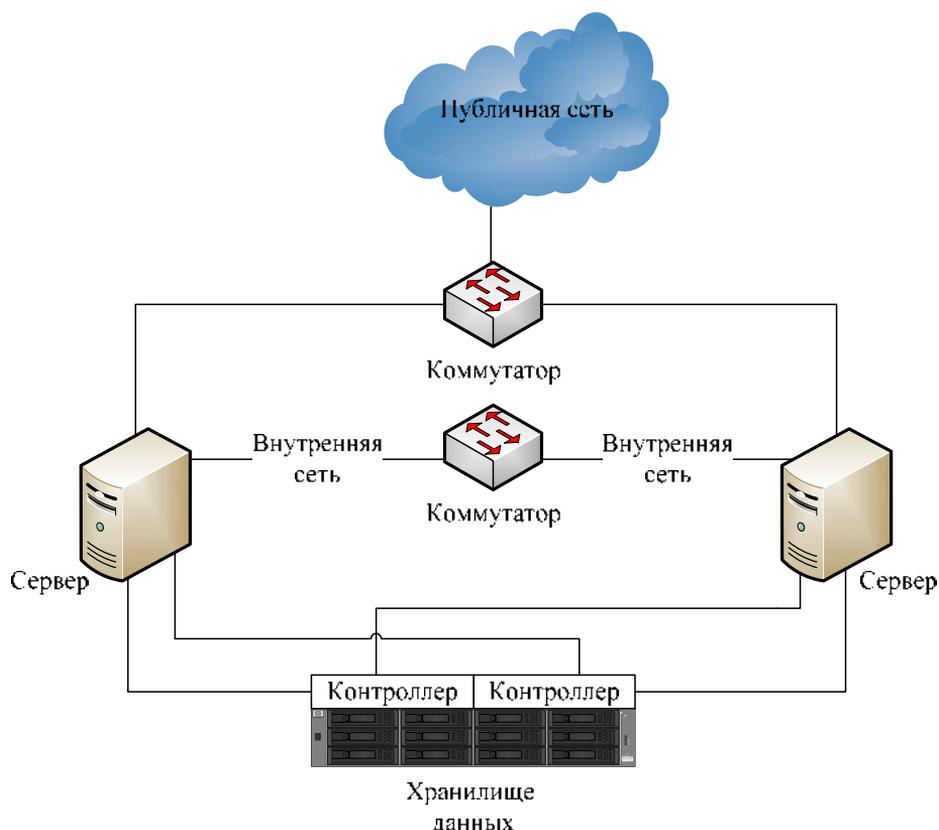
Таблица 1 – Требования к общему программному обеспечению

На серверах кластера БД:	
ОС	Oracle Enterprise Linux версии 5.5 или выше
СУБД	Oracle Database 11g Release 1 Standard Edition с опцией Real Application Cluster
Кластерное ПО	Oracle Clusterware
Прочее ПО	система автоматического управления дисковыми ресурсами Oracle Automatic Storage Management
На компьютерах специалистов органа планирования:	
ОС	Windows версии XP или 7
Офисное ПО	средства Microsoft Office 2007
Прочее ПО	Oracle Database Client 11g Release 1
Прочие требования	поддержка протокола TCP/IP

К преимуществам использования ОС Linux на серверах кластера БД можно отнести безопасность, стабильность работы, бесплатность [20].

#### Проектные решения по техническому обеспечению

Схема технических средств кластера БД представлена на рисунке 2 [20].



**Рисунок 2 – Схема технических средств кластера БД**

Для работы кластера необходимо две изолированных друг от друга сети [20, 21]:

- публичная сеть для связи между клиентами и серверами кластера. С использованием этой сети производится подключение клиентских сессий к базе данных, их балансировка между узлами и аварийное переключение в случае сбоя;

- приватная или внутренняя сеть, обычно называемая межсоединением (interconnect), необходимая для передачи сообщений между узлами. В RAC межсоединение используется для реализации технологии «слияния» кэш (Cache Fusion) различных узлов кластера. В большинстве случаев для обеспечения межсоединения в кластере вполне достаточно использование Gigabit Ethernet.

Учитывая вышесказанное, были сформулированы требования к техническому обеспечению АС РСУ КА (рис. 3, где БД – база данных, ПК – персональный компьютер, ЛВС – локальная вычислительная сеть, RAID – redundant array of independent disks, SATA – Serial Advanced Technology Attachment).



**Рисунок 3 – Техническое обеспечение АС РСУ КА**

Стоит отметить, что сервера кластера БД и персональные компьютеры специалистов органа планирования должны удовлетворять минимальным системным требованиям, предъявляемым системным программным обеспечением. Персональные компьютеры специалистов органа планирования должны обеспечивать эргономичное отображение информации. Для организации межсоединения между узлами кластера следует использовать коммутатор. Oracle рекомендует использовать отдельный коммутатор для этих целей. Организация межсоединения с помощью кросс-кабеля не сертифицировано компанией Oracle [22].

---

## Заключение

Таким образом, представлены основные проектные решения по автоматизированной системе распределения средств управления космическими аппаратами. Представленные проектные решения направлены на обеспечение удовлетворения требований к АС распределения средств управления КА, предъявляемы органов планирования, в частности требований по оперативности решения задач.

## Литература

1. Макаров, М. И. Анализ проблем создания перспективных технологий измерений и управления космическими средствами / М. И. Макаров, С. С. Кукушкин, В. Б. Рудков // Ракетно-космическая техника. Информационные системы и технологии. Научные труды. В 2-х т. Т. 1. М.: НИИ КС им.А.А. Максимова. – 2012. – С. 86-107.
2. Макатров, А. С. Технология глобального информационного обеспечения функционирования ракетно-космической техники / А. С. Макатров, В. Ф. Герастовский, В. П. Коновалов, В. С. Чаплинский, А. Т. Куцевалов // Ракетно-космическая техника. Информационные системы и технологии. Научные труды. В 2-х т. Т. 1. М.: НИИ КС им.А. А. Максимова. – 2012. – С. 177-190.
3. Артюшенко, В. М. Повышение оперативности бесконфликтного управления группировкой космических аппаратов в условиях ресурсных ограничений / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т. 9. № 3. – С. 59–66.
4. Артюшенко, В. М. Информатизация управления группировкой космических аппаратов / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Прикладная информатика. – 2013. – № 6 (48). – С. 6-14.
5. Артюшенко, В. М. Повышение эффективности систем спутниковой связи путем оптимизации параметров земных станций / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Б. А. Кучеров // Радиотехника. – 2015. – № 2. – С. 76-82.
6. Schmidt, M. Ground Station Networks for Distributed Satellite Systems, in Distributed Space Missions for Earth System Monitoring / M. Schmidt, K. Schilling // M. D'Errico, Editor. – 2013. – Springer New York. – p. 355-371.
7. Артюшенко, В. М. Роль информатизации в повышении оперативности распределения средств управления космическими аппаратами / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 4. – С. 67–72.
8. Artyushenko, V. M. Statistical Characteristics of Envelope Outliers Duration of non-Gaussian Information Processes / V. M. Artyushenko, V. I. Volovach // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013). – Rostov-on-Don, Russia, September 27-30, 2013. – Khar-kov: KNURE. – 2013. – pp. 137-140.
9. Артюшенко, В. М., Кучеров, Б. А. Организация информационного обмена между элементами наземного комплекса управления группировкой космических аппаратов // Прикладная информатика. – 2014. – №1 (49). – С. 33-43.
10. Артюшенко, В. М. Алгоритмы адаптации спутниковой связи по скорости передачи информации земных станций при работе в составе узловой сети /

- 
- В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Естественные и технические науки. – 2014. – № 7 (75). – С. 96–100.
11. Артюшенко, В. М. Оценка экономической эффективности использования автоматизированной системы распределения средств управления космическими аппаратами в условиях ресурсных ограничений / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Вестник поволжского государственного университета сервиса. Серия «Экономика». – 2013. – № 5 (31). – С. 131–136.
  12. Автоматизированные системы. Термины и определения: ГОСТ 34.003-90. Введ. 01.01.92. – М., 1990. – 14 с.
  13. Артюшенко, В. М., Аббасова, Т. С., Кучеров, Б. А. Современные направления развития корпоративных сетей спутниковой связи // Двойные технологии. – 2014. – №3 (68). – С.67-72.
  14. Роб, П., Коронел, К. Системы баз данных: проектирование, реализация и управление / П. Роб, К. Коронел // 5-е, перераб. и доп. изд. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2004. – 1040 с.
  15. Кузнецов, С. Д. Основы баз данных: учебное пособие / С. Д. Кузнецов // 2-е, испр. изд. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. – Лаборатория знаний. – 2007. – 484 с.
  16. Oracle Database производительная, масштабируемая, функциональная СУБД для среднего и малого бизнеса. OCS Distribution. [Электронный ресурс] URL: <http://ocs.ru/OCS/media/Products/Oracle/Сравнение-СУБД-Oracle-и-Microsoft.pdf>. Дата обращения: 21.07.2015.
  17. Обеспечение систем обработки информации программное. Термины и определения: ГОСТ 19781-90. Введ. 01.01.92. – М., 1990. – 15с.
  18. Avritzer, A. Survivability Models for Global Software Engineering / A. Avritzer, S. Beecham, J. Kroll, M. Sadoc, J. Noll, M. Paasivaara // Proceedings of Global Software Engineering (ICGSE). – 2014 IEEE 9th International Conference. – 2014. – pp. 100-109.
  19. Janet, Stern, Mark Bauer, Vivian Schupmann, Douglas Williams. Oracle Database 2 Day + Real Application Clusters Guide 11g Release 1 (11.1). – Oracle, 2012. – 224 p.
  20. Shaw, S., Bach, M. RAC Architecture, Pro Oracle Database 11g RAC on Linux. – Apress, 2010. – pp. 63-95.
  21. Преимущества СУБД Oracle. [Электронный ресурс]. URL: <http://oracle.axoft.ru/fordev/advantagesOracle.php>. Дата обращения: 21.07.2015.
  22. Douglas, W., Mark Bauer, Namrata Bhakthavatsalam, Jonathan Creighton, Barb Lundhild, Saar and M.M. Maoz, Hanlin Qian, Dipak Saggi, Ara Shakian, Oracle Clusterware Installation Guide, 11g Release 1 (11.1) for Linux. – Oracle, 2011. – 156 p.

## **Научная аппаратура «БАР-АРМ» для контроля мест утечки воздуха из отсеков МКС**

**Н.М. Пушкин**, д.т.н., главный конструктор по направлению,  
**С.В. Батцев**, к.т.н., начальник отдела,  
**К.О. Леушин**, инженер 1 кат.,  
ОАО «Научно-производственное объединение измерительной техники»,  
г. Королев, Московская область

*В статье изложены основные результаты разработки научной аппаратуры, предназначенной для отработки методов поиска утечки воздуха из гермоотсеков МКС. В процессе выполнения работы проведена разработка программно-аппаратного научного комплекса, состоящего из оптико-электронного блока (ОЭБ), пульта контроля и управления (ПКУ) и ноутбука. ОЭБ является внекорабельной частью комплекса, предназначенного для выявления различных эффектов и аномалий, имеющих место при разгерметизации станции. Результаты измерений и видеоданные через пульт передаются в бортовой ноутбук, в котором фиксируются показания камер УФ, ИК и видимого диапазонов, УФ – спектрометра, а также приборов контроля вакуума и напряженности электрического поля. Отдельные части научной аппаратуры прошли заводские и межведомственные испытания и подтвердили свою работоспособность. Научный комплекс позволит определить и отработать наиболее эффективный метод внекорабельного поиска мест утечки воздуха из гермоотсеков РС МКС.*

Утечка воздуха, разгерметизация, исследование, прибор, аппаратура.

## **The scientific BAR-ARM equipment for control of places of leak air from compartments ISS**

**N.M. Pushkin**, Dr. Sci. Tech., the chief designer in the direction,  
**S.V. Batsev**, Cand. Tech. Sci., head of department,  
**K.O. Leushin**, engineer of 2 categories,  
JSC «Scientific and Production Association measuring equipment»,  
Korolev, Moscow region

*In article report the main results of development of the scientific equipment intended for working off of methods of search of leak of air from ISS tight compartment are stated. In the course of performance of work it is developed the hardware-software scientific complex consisting of the optical-electronic block (OEB), the panel of control and management (PKM) and the laptop. OEB is extra ship part of the complex intended for identification of various effects and anomalies taking place at depressurization of station. Results of measurements and video data via the panel are transferred to the onboard laptop in which indications of the UF, IK chambers and seen ranges, by UF – a spectrometer are fixed, and also devices of control of vacuum and intensity of*

---

*electric field. Separate parts of the scientific equipment passed production and inter-departmental tests and confirmed the working capacity. The scientific complex will allow to define and fulfill the most effective method of extra ship search of places of leak of air from tight compartments RS ISS.*

Air leak, depressurization, research, device, equipment.

В процессе эксплуатации МКС может иметь место возникновение нештатной ситуации, обусловленной утечкой воздуха из гермоотсеков станции, например, при столкновениях МКС с другим аппаратом, при ударе крупной метеоритной частицы или столкновении с элементами космического мусора. С помощью разрабатываемой ОАО «НПО ИТ» научной аппаратурой «БАР-ARM» на международной космической станции (МКС) выполняется космический эксперимент (КЭ) «Экспресс», целью которого является отработка методов поиска мест утечки воздушной среды из отсеков МКС.

Аппаратура «БАР-ARM» состоит из оптико-электронного блока, пульта контроля и управления, а также бортового ноутбука, на экране которого отображаются показания датчиков и изображения, полученные с помощью оптических приборов аппаратуры.

Оптико-электронный блок (ОЭБ) является внекорабельной частью комплекса научной аппаратуры «БАР-ARM». 3D-модель ОЭБ представлен на рисунке 1. ОЭБ предназначен для выявления различных эффектов и аномалий на внешней поверхности МКС, имеющих место при истечении воздуха во внешнюю среду. Такими эффектами могут быть изменение давления собственной внешней атмосферы МКС, изменение температурного поля внешней поверхности, свечение газов и паров воды в ультрафиолетовом диапазоне, изменение напряженности электрического поля. Для контроля данных факторов ОЭБ включает в свой состав следующие приборы:

- телевизионную камеру видимого диапазона;
- телевизионную камеру инфракрасного (ИК) диапазона;
- камеру ультрафиолетового (УФ) диапазона;
- спектрометр УФ-диапазона;
- систему контроля вакуума с двумя разнесенными датчиками
- систему измерения напряженности переменного электрического поля.



**Рисунок 1 – Прототип оптико-электронного блока комплекта НА «БАР-ARM»**

В процессе выполнения эксперимента ОЭБ будет перемещаться вдоль

поверхности МКС с помощью управляемого манипулятора. Перед началом эксперимента аппаратура переводится из дежурного режима в режим функционирования. Дежурный режим включает в себя режим хранения НА «БАР- ARM» на борту и периодические проверки. В этом режиме задействована встроенная в ОЭБ система термостабилизации. При переводе аппаратуры в режим функционирования проводится подключение адаптера полезной нагрузки, на котором размещен ОЭБ, к активному стыковочному узлу манипулятора и его перенос в зону измерений. Затем проводится открытие защитных шторок оптических окон модулей ОЭБ и проведение сеансов измерений каждым модулем НА. По окончании сеанса измерений защитные шторки закрываются, и манипулятор переносит ОЭБ в зону хранения. Адаптер полезной нагрузки подключается к пассивному стыковочному узлу для активации системы термостабилизации ОЭБ при хранении.

Оптические приборы «СОМ» и «Томпсон» на рисунке 2 и рисунке 3 размещаются внутри гермобоксов рисунка 4 и компонуются в корпусе ОЭБ. Для пропускания оптического излучения видимого, ИК и УФ диапазонов корпус ОЭБ снабжен кварцевыми и германиевыми входными окнами. Для защиты от боковых засветок окна снабжены блендами. Для защиты от внешних загрязнений, обусловленных продуктами работы двигателей ориентации и коррекции, входные окна имеют управляемые шторки.

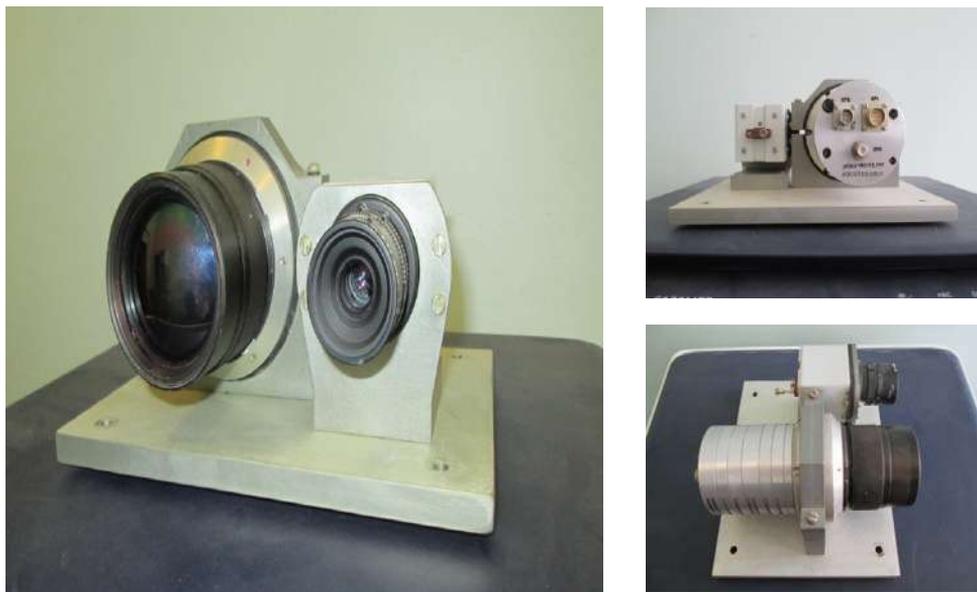
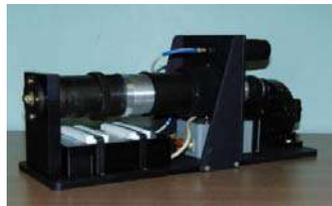


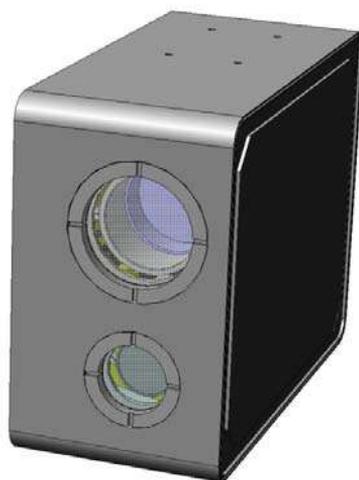
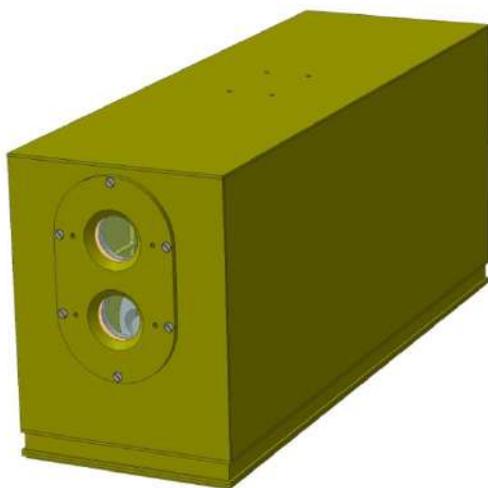
Рисунок 2 – Термовизионный модуль «Томпсон»



**Рисунок 3 – Спектрооптический модуль «СОМ»**

Результаты контроля теплового и ультрафиолетового излучения будут наноситься на изображение, полученное телевизионной камерой видимого диапазона. Для этого разрабатывается соответствующее ПМО. Результаты эксперимента выводятся на бортовой компьютер (ноутбук).

Сопряжение бортового компьютера с приборами ОЭБ выполняется через промежуточный пульт управления и контроля, в котором размещены необходимые устройства цифрового преобразования сигналов.



**Рисунок 4 – Герметические коробки оптических приборов для контроля поверхности МКС УФ, ИК и видимом диапазоне спектра**

В настоящее время компоненты оптико-электронного блока и аппаратуры

---

«БАР-АРМ», в целом, находятся на различных этапах разработки. В частности, телевизионные модули видимого и инфракрасного диапазонов прошли предварительные (заводские) испытания, а система контроля вакуума – межведомственные испытания.

Успешное завершение разработки аппаратуры «БАР-АРМ» позволит определить и отработать наиболее эффективный метод внекорабельного поиска мест утечки воздуха из гермоотсеков МКС.

#### *Литература*

1. Тарасов, В. В., Якушенков, Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков // М.: Логос. – 2004. – 444 с.
2. Несмелова, И. М., Андреев, В. А. Материалы для ИК приемников излучения, альтернативные CdHgTe // Оптический журнал. – 2007. – т. 74. – № 3. – 90-82 с.
3. Парвулюсов, Ю. Б., Солдатов, В. П., Якушенков, Ю. Г. Проектирование оптико-электронных приборов / Ю. Б. Парвулюсов, В. П. Солдатов, Ю. Г. Якушенков // М.: Машиностроение. – 1990. – 425 с.
4. Пронин, Ю. С., Пластинин, Ю. А., Епишкин, Ю. А., Шубралова, Е. В. Определение облика и структуры комплекса инструментальных средств поиска мест разгерметизации корпуса КС на базе приемлемых диагностических признаков с учетом этапности размещения на борту / Ю. С. Пронин, Ю. А. Пластинин, Ю. А. Епишкин, Е. В. Шубралова // ФГУП «ЦНИИМАШ». – НТО № 851-5074/97-4124-12. – НИР «Бар». – 1999 г.
5. Епишкин, Ю. А., Клепацкий, А. Р., Копяткевич, Р. М., Мишин, Г. С., Новиков, С. Б. Исследование истечения струи в вакуум и температурных полей в зоне микротечи в оболочке гермоотсека космического аппарата / Ю. А. Епишкин, А. Р. Клепацкий, Р. М. Копяткевич, Г. С. Мишин, С. Б. Новиков // Космонавтика и ракетостроение. – вып. 23. – ЦНИИМаш. – 2001 г.

## **Повышение эффективности лечения заболеваний желудка и двенадцатиперстной кишки с использованием информационных технологий**

**П.А. Рубцов**, магистр,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В наше время развитие медицины происходит непосредственно с совершенствованием информационных технологий. В данной статье предлагается решение, позволяющее повысить эффективность лечения пациентов в амбулаторных условиях, страдающих заболеваниями желудочно-кишечного тракта, используя программное обеспечение.*

Медицина, ЖКТ, амбулатория, смартфон, приложение.

## **Improving the efficiency of the treatment of diseases of the stomach and duodenum using information technology**

**P.A. Rubtsov**, master,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

*Nowadays, the development of medicine takes place directly to the improvement of information technology. This article proposes a solution to increase the effectiveness of treatment of patients in an outpatient setting, suffering from diseases of the gastrointestinal tract using the software.*

Medicine, gastrointestinal, outpatient clinic, a smartphone application.

### **Введение**

Информационные технологии с огромной скоростью входят в нашу жизнь, и поглощают всё больше её сторон. Куда бы мы не пошли в крупном городе, везде на пути встретится объект, который тем или иным способом будет задействовать информационные технологии в целях обеспечения комфорта жителей. Несомненно польза внедрения ИТ высока, они внедряются повсеместно, постоянно используя новые решения. Прогресс не стоит на месте, на данный момент информационные технологии в полной мере дошли и до медицины. В данной области существует большое количество систем, предназначенных для различных целей: от электронной записи пациентов к врачу, до систем, ассистирующих хирурга во время сложных операций.

В данной статье затронута проблема следования пациентами курса назначенного лечения вне стационара. Каждое заболевание для полного выздоровле-

---

ния, требует назначения курса лечения и точному следованию ему. Ни для кого не секрет, что вне условий стационара, при лечении заболеваний желудка, пациент часто забывает вовремя принять препарат или выполнить какое либо другое назначение врача, что ведет к длительному лечению, а иногда и к осложнениям. Вне стационара очень сложно контролировать выполнение предписаний, но вполне можно мотивировать пациента на следование курсу и в нужный момент напомнить о лечении.

### **Виды приложений**

С недавних пор, почти каждый житель крупного города имеет в своем распоряжении смартфон, что позволяет использовать различные приложения в любом месте. Для обеспечения лечения пациентов с помощью вышеописанного устройства существуют приложения следующих типов:

- Будильник-напоминание – эти приложения с помощью звука или вибрации напоминают пациенту о принятии лекарства в назначенное время; (на данный момент не существует ни одного стабильного, с удобным интерфейсом мобильного приложения этого типа);
- Информационные сборники – содержат в себе информацию о виде лечения и прочие информационные-медицинские данные. Многие приложения не содержат текстов написанных компетентным врачом, но многие пациенты доверяют больше мнению «Человека из сети», чем мнению лечащего врача, что часто приводит к неэффективному самолечению.

Не трудно заметить, что приложений для качественного использования при заболевании желудка и решения проблемы следования курсу лечения пациентами – не существует.

### **Предлагаемое решение**

В ходе решения поставленной проблемы, было проанализировано и практически применено большое количество приложений вышеописанных типов в магазинах приложений Google Play (магазин приложений ОС Android), а так же AppStore (магазин приложений ОС iOS). В следствии этого было принято решение: разработать концепцию приложения, позволяющего наиболее эффективно и с наибольшим комфортом для пациента решить поставленную проблему.

В целях обеспечения ведения учета приема лекарственных средств и выполнения врачебных предписаний, предлагается использовать систему списков совмещенную с системой CheckBox, что позволяет пользователю наглядно получать информацию о выполненных и не выполненных предписаниях. Данные о выполнении записываются в специальный дневник (базу данных), находящийся в самом приложении или на сервере, если приложение по архитектуре клиент-серверное.

Для напоминания предлагается использовать действенную систему звуковыми оповещениями, что повсеместно используется в системах «Будильник-напоминание».

Так же для адаптации приложения под определенный диагноз и для удобства использования пациентом, предлагается встроить интеллектуальную систему, разработанную совместно с квалифицированными врачами, которая на основании поставленного диагноза и предписанного курса лечения будет формировать подсказки пациенту, тем самым упрощая процесс выздоровления.

---

Для создания обстановки побуждающей к выполнению предписаний предлагается использовать систему вознаграждений/достижений (achievement), фиксирующую прогресс движения по курсу лечения. В каждом случае выполнения определенного количества предписаний, пациент будет в игровой форме вознагражден виртуальным призом, поднимется его уровень или будет использован какой-либо другой подход к поощрению для мотивации пользователя следовать курсу.

### **Варианты применения**

Данное решение может быть применено практически в любом случае заболеваний которое требует следования пациентом курса лечения вне стационара.

Например в случае постановления диагноза Гастродуоденит (воспаление слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки), в большинстве случаев пациенту назначается: препараты регулирующие кислотность, антибиотики для эрадикации *helicobacter pylori*, препараты регулирующие моторику ЖКТ, а так же предписывается диетическое питания исключая определенные продукты.

Данные по лечению, (названия лекарств, назначения врача по времени и количеству приема, длительность курса, вид диеты), вносятся в приложение или в случае клиент-серверной архитектуры приложения, возможен вариант ввода курса самим врачом через интернет.

Во время рекомендованное для приема препарата срабатывает напоминание, после успешного выполнения предписания пациент ставит галочку (checkbox) о выполнении «задания», данные заносятся в дневник.

Интеллектуальная система встроенная в приложение так же напоминает пациенту о том, что ему нужно придерживаться диетического питания, и в случае запроса пользователя формирует режим питания, относительно приема лекарств и прочих аспектов, а так же может сформировать примерное меню с предоставлением рецептов, которое полностью соответствует диете, назначенной врачом.

После того, как курс антибиотиков пройден на треть, система достижений информирует пациента об успешном завершении трети курса, мотивируя его к полному выполнению предписаний и следовательно к скорейшему выздоровлению.

### **Преимущества и недостатки системы**

Данная концепция имеет ряд преимуществ и недостатков. Присутствуют недостатки, для избавления от которых требуются исключительно ресурсы, такие как время и деньги.

Преимущества:

- Приложения подобного типа не подразумевают проблематичного внедрения, так как установка проводится на личные устройства пациентов по их желанию;
- Повышается мотивация пациента относительно следования курса лечения всвязи с использованием системы достижений;
- Большее количество предписаний исполняется вовремя за счет напоминаний;

---

- Пациент не забудет о курсе лечения, так как мобильный телефон в наше время является личной вещью и постоянно присутствует при пользователе.

Недостатки:

- Появляется проблема использования приложения пожилыми людьми (требуется время и деньги на обучение);
- Сложность отслеживания реальности следования курсу пациентом.

### **Выводы**

Данная идея многогранна и предполагает дальнейшее развитие и расширение функционала до полноценного внедрения концептуальной системы в медицинские учреждения, что позволит отслеживать ход лечения пациента, собирать данные для анализа, хранить, а так же обрабатывать различные введенные пациентом и врачом данные.

Несомненно реализация и внедрение вышеописанного решения, упрощает и ускоряет внестационарное лечение. Введение в действие подобной системы, должно привести к большему количеству выздоровевших пациентов находящихся на домашнем лечении.

### *Литература*

1. Мухаматзанова, М. Ш., Юдин, В. А., Карась, С. И., Захарова, М. А. Об актуальности применения информационных систем в медицине / М. Ш. Мухаматзанова, В. А. Юдин, С. И. Карась, М. А. Захарова // Медицина и образование в Сибири // Издательство: Новосибирский государственный медицинский университет (Новосибирск) ISSN: 1995-0020.
2. Титоренко, А. И., Кравченко, А. П., Федоренко, Д. К. Тенденции развития автоматизированных информационных систем медицины / А. И. Титоренко, А. П. Кравченко, Д. К. Федоренко // Вологодские чтения. – Издательство: Дальневосточный федеральный университет (Владивосток) ISSN: 2219-7389.
3. Сулейманов, С. Ш., Кирпичникова, Н. В., Горбачева, Е. В. Клиническая фармакология лекарственных средств, используемых для лечения гастродуоденитов, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки / С. Ш. Сулейманов, Н. В. Кирпичникова, Е. В. Горбачева // Хабаровск. – Издательство: Дальневосточный государственный медицинский университет (Хабаровск) ISBN: 5-85797-132-2.
4. Советов, В. М., Артющенко, В. М. Основы функционирования систем сервиса: учебное пособие / В. М. Советов, В. М. Артющенко // М.: Альфа-М: ИНФРА-М. – 2010. – 624 с.
5. Артющенко, В. М. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации // В. М. Артющенко, Т. С. Аббасова, И. М. Белюченко, Н. А. Васильев, В. Н. Зиновьев, Ю. В. Стрелюк, Г. Г. Вокин, К. Л. Самаров, М. Е. Ставровский, С. П. Посеренин, И. М. Разумовский, В. Ю. Фоминский. Монография / под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артющенко // Королев. – ГБОУ ВПО ФТА. – 2014. – 174 с.
6. Харламова, Е. С., Шевченко, Е. П. Технология управления распределенного интеллекта / Е. С. Харламова, Е. П. Шевченко // Сб. тр. II-ой Международной

---

заочной научно-технической конференции «Алгоритмические и программные средства в информационных технологиях, радиоэлектронике и телекоммуникациях». – Январь 2014 г. – Поволжский гос. ун-т сервиса. – г. Тольятти. – Россия. – С. 236-241.

## Улучшение массогабаритных характеристик типовых горизонтальных кабелей СКС

**А.Б. Семенов**, д.т.н., заведующий базовой кафедрой «Структурированные кабельные системы»,  
Московский технический институт связи и информатики, МТУСИ, г. Москва

*Проанализированы способы улучшения массогабаритных и электрических характеристик электрических кабельных трактов СКС для улучшения условий администрирования СКС и снижения требований в отношении требуемой емкости как горизонтальных, так и вертикальных кабельных организаторов. Проведены расчеты, доказывающие целесообразность предложенных организационно-технических мероприятий.*

Геометрические размеры кабеля, эффективный диаметр, стоимостная оптимизация.

## Improving weight and size characteristics of a typical horizontal cable SCS

**A.B. Semenov**, Ph.D., Head of the Department of Basic «Structured cabling systems»,  
Moscow Technical Institute of Communications and Informatics, Moscow

*Analyzed ways to improve the weight and dimensions and electrical characteristics of electrical cable paths to improve the SCS SCS administration and reduce the requirements for the required capacity of both horizontal and vertical cable managers. Calculations proving the feasibility of the proposed organizational and technical measures.*

Geometric dimensions of the cable, the effective diameter, cost optimization.

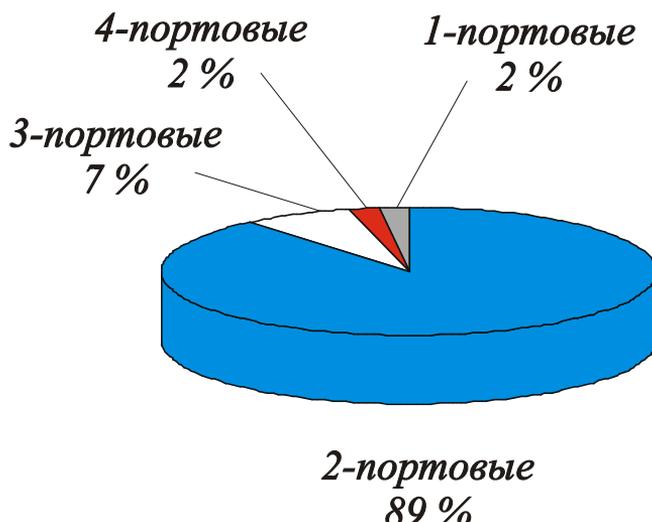
Техника структурированного каблирования получила очень широкое распространение на объектах недвижимости самого разнообразного назначения. Наиболее емкую часть этого сегмента ИТ-рынка образуют офисные системы. Его характерной чертой стал явно выраженный и устойчивый тренд наращивания количества горизонтальных кабелей, поэтому разработка методов и способов улучшения массогабаритных характеристик типовых горизонтальных кабелей структурированных кабельных систем (СКС) актуальна.

Рост объемов применения горизонтальных кабелей СКС в проекте как объективная тенденция.

Современные офисные здания характеризуются высокой плотностью размещения пользовательских рабочих мест. Каждое из них, согласно требованиям стандарта, обслуживается как минимум 2-портовой информационной розеткой (ИР) СКС и может располагаться на 4 м<sup>2</sup> офисной площади. В реальных условиях не редкостью является также увеличение количества портов пользова-

тельских ИР свыше двух, как показано на рисунке 1.

В открытых офисах за счет несколько более рационального использования пространства, в т.ч. из-за отсутствия перегородок предельная плотность размещения пользователей увеличивается еще примерно на 10%. Одновременно пользовательскими рабочими местами может быть занято до 80% от общей площади этажа (в среднем по проектам этот коэффициент оказывается чуть меньше 70%). На оставшихся 20-30% располагаются коридоры, лестничные марши и различные помещения вспомогательного характера (санузлы, вентиляционные камеры, технологические ниши и т.д.).



**Рисунок 1 – Доли ИР рабочих мест с различным количеством розеточных модулей в проектах СКС**

На первый взгляд достаточно парадоксально, но наблюдающийся в последние несколько лет рост популярности беспроводных сетей ведет не к уменьшению количества горизонтальных кабелей, а наоборот, сопровождается их ростом. Причина подобной метаморфозы этого заключается в том, что беспроводные решения не конкурируют с «проводными», а являются скорее их дополнением, решая ряд специфических задач. Кроме того, устойчивая связь по радиоканалу реально обеспечивается только при высокой плотности размещения точек радиодоступа [1].

Как мощный стимулирующий фактор следует рассматривать многочисленные системы автоматизации инженерных систем современного здания. Линейная часть их сетевой инфраструктуры образуется обычными горизонтальными кабелями СКС.

В силу ряда объективных причин пользовательские порты офисных СКС в основной массе случаев реализуются на основе электропроводной элементной базы, а решения класса «волокно до рабочего места» не получили какого либо существенного значения. Совокупность этих обстоятельств приводит не только к появлению в современном офисе большого количества симметричных горизонтальных кабелей, но и к выраженному тренду на наращивание их числа.

---

Необходимость уменьшения внешнего диаметра горизонтальных кабелей.

Подтвердим положение о большом количестве горизонтальных кабелей количественной оценкой этого параметра. Согласно стандартам одно техническое помещение нижнего уровня ИТС обслуживает не более 1000 м<sup>2</sup> офисной площади. При преобладающей на сегодняшний день 2-портовой конфигурации информационной розетки (см. статистику рисунка 1) в это помещение может сводиться порядка 500 только «чисто СКС-ных» горизонтальных кабелей. Относительные объемы «дополнительных» кабелей систем беспроводного доступа и оборудования инженерного обеспечения могут достигнуть нескольких десятков процентов от кабелей ИТС. В результате, выходим на плотность порядка 0,5 горизонтального кабеля на квадратный метр общей площади при средней длине его проброса около 40 метров.

Уменьшить это количество не представляется возможным без изменения самой концепции построения нижних уровней ИТС. В рамках работы в этом направлении известны довольно многочисленные предложения по внедрению решений, основанных на установке активного сетевого оборудования непосредственно вблизи рабочих мест (инсталляционные микрокоммутаторы, системы внутриофисной оптической беспроводной связи и аналогичные им). За счет мультиплексирования сигналов оно позволяет в разы уменьшить расход горизонтального кабеля. Тем не менее, в силу ряда причин такое оборудование не получило пока большого распространения.

Наличие многочисленных слаботочных кабельных изделий в офисной зоне делает весьма актуальной задачу улучшения их массогабаритных характеристик. Успешное решение этой задачи чрезвычайно ценно тем, что в современных офисных зданиях

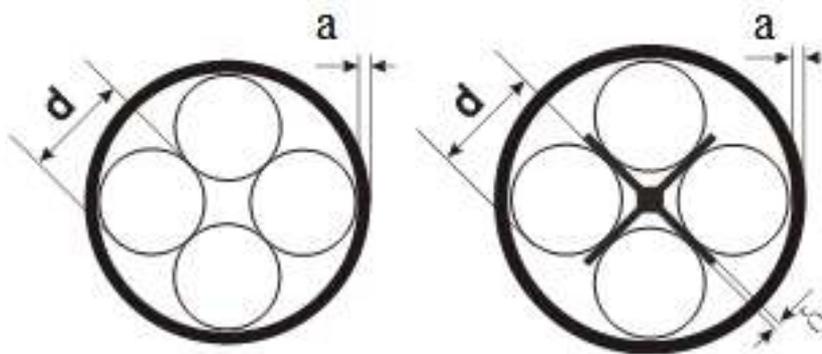
- уменьшаются габаритные размеры, упрощаются и удешевляются лотки, коробка и иные компоненты формирования горизонтальных кабельных трасс;
- за счет снижения массы пластика значительно уменьшается пожарная нагрузка на область инсталляции кабельной системы и становится менее сложным выполнение мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Таким образом, возможность применения кабелей меньшего диаметра обеспечивает значительный технико-экономический эффект.

Оценка диаметра типового кабеля СКС различных категорий.

Горизонтальные кабели СКС могут иметь парную и четверочную скрутку. Четверочная скрутка обеспечивает лучшие массогабаритные характеристики. Однако, из-за сложностей получения у нее характеристик категории 6 и выше, далее принимаются во внимание изделия только с парной скруткой.

Любой горизонтальный кабель представляет собой изделие, отличающееся достаточно большой площадью поперечного сечения. Для оценки величины его диаметра воспользуемся чертежами, представленными на рисунке 2.



а) б)  
**Рисунок 2 – К расчету диаметра горизонтального кабеля:  
 а) обычная конструкция; б) конструкция с 4-лучевым сепаратором**

В соответствии с рисунком 2, а получаем

$$D = d(\sqrt{2} + 1) + 2a, \quad (1)$$

где  $D$  – общий диаметр кабеля,  $d$  – эффективный диаметр витой пары,  $a$  – толщина оболочки.

Подстановка в (1) конкретных численных значений показывает, что типовая конструкция симметричного 4-парного горизонтального кабеля должна иметь внешний диаметр несколько выше 5 мм.

Для кабелей высоких категорий внешний диаметр неизбежно увеличивается. Это обусловлено ростом диаметра проводов, необходимостью применения в составе сердечника сепараторов, внедрения элементов экранирования и иных решений, нацеленных в первую очередь на ограничение внутри- и межкабельных переходных влияний. В этом случае расчетная модель модернизируется и принимает, например, вид, представленный на рисунке 2,б. Соответственно, оценка внешнего диаметра записывается как

$$D = d(\sqrt{2} + 1) + \sqrt{2}\delta + 2a, \quad (2)$$

где  $\delta$  – толщина луча звездообразного сепаратора.

Соотношения (1) и (2) позволяют произвести конкретные расчеты. Их результаты дают возможность констатировать следующее:

- даже небольшое, исчисляемое десятными долями миллиметра уменьшение эффективного диаметра витой пары значительно сказывается на массогабаритных показателях горизонтального кабеля;
- по мере роста пропускной способности кабеля, т.е. увеличения номера его категории или добавления к последней суффиксного индекса, неизбежно увеличивается внешний диаметр изделия;
- уменьшение эффективного диаметра витой пары технически более выгодно по сравнению с уменьшением толщины оболочки (примерно в 1,2 раза) и тем более, уменьшения толщины лучей сепаратора.

---

Способы улучшения массогабаритных характеристик электрических кабельных трактов СКС.

Задача минимизации внешнего диаметра кабеля во многом усложняется тем, что геометрические параметры проводов оказывают сильное влияние на его электрические параметры. Достаточно сослаться на известное выражение для волнового сопротивления симметричного кабеля, описываемого выражениями

$$Z_{\epsilon} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{120}{\epsilon} \ln \frac{2a-d}{d} = \frac{276}{\epsilon} \lg \frac{2a-d}{d} \quad (3)$$

для неэкранированного кабеля;

$$Z_{\epsilon} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{120}{\epsilon} \ln \frac{2a}{d} \cdot \frac{D^2-a^2}{D^2+a^2} = \frac{276}{\epsilon} \lg \frac{2a}{d} \cdot \frac{D^2-a^2}{D^2+a^2} \quad (4)$$

для экранированного кабеля, где  $L$  – индуктивная связь между парами,  $C$  – емкостная связь между парами,  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции.

Из анализа выражений (1) – (4) немедленно вытекает, что задача уменьшения внешнего диаметра горизонтального кабеля СКС может быть решена за счет уменьшения

- относительной диэлектрической проницаемости изоляции;
- эффективного диаметра изолирующих покрытий;
- диаметра проволоки при дополнительном ограничении  $d > 0,5$  мм согласно требованиям стандартов с целью обеспечения заданного значения сопротивления по постоянному току.

Введение последнего ограничения обусловлено необходимостью поддержания нормального функционирования аппаратуры дистанционного питания класса PoE+. В тех ситуациях, когда оконечные устройства данной разновидности востребованы крайне незначительно, от соблюдения этого условия можно отказаться, а образовавшиеся резервы направить на улучшение массогабаритных показателей изделия. Речь идет, например, о т.н. LAN-кабелях [2].

Представленные направления независимы друг от друга. В случае возникновения такой необходимости и наличия технической возможности они могут применяться совместно в произвольной комбинации для усиления результирующего эффекта.

Каждому из перечисленных направлений, за исключением последнего, соответствует своя основная конструкция или их группа.

Уменьшение диэлектрической проницаемости изоляции

Из выражения (3) вытекает, что при уменьшении  $a$  волновое сопротивление удерживается на своем 100-омном нормативном значении уменьшением  $d$ . На основании (1) и (2) это имеет своим прямым следствием уменьшение внешнего диаметра витой пары. Совершенствование витой пары за счет снижения диэлектрической проницаемости материала изоляции может осуществляться двумя различными путями.

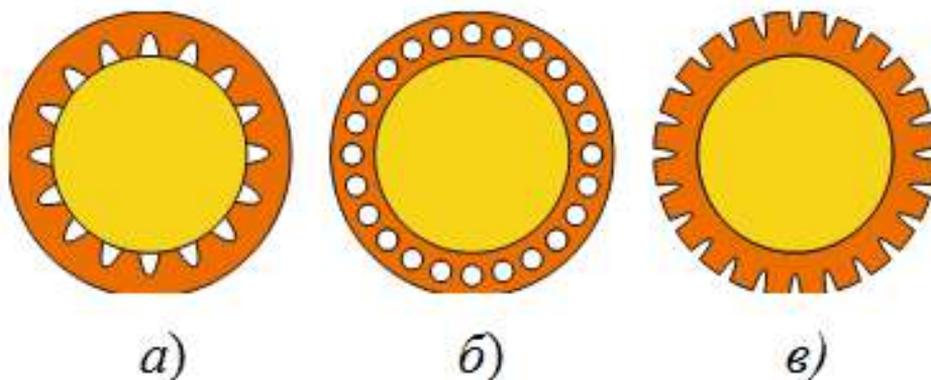
Первое из направлений развития заключается в применение вспененных материалов. Однако, резервы вспененных материалов уже во многом исчерпаны из-за ограничений по механической прочности.

Более перспективным на современном этапе развития техники

---

представляется структурирование изоляционного покрова. Иначе говоря, в симметричную технику внедряется полувоздушная изоляция в том смысле, который вкладывает в нее ГОСТ 15845-80 [3]. Данный прием не является абсолютной новинкой и ранее был достаточно популярен в коаксиальной технике в виде применения в их конструкции изоляции шайбового типа.

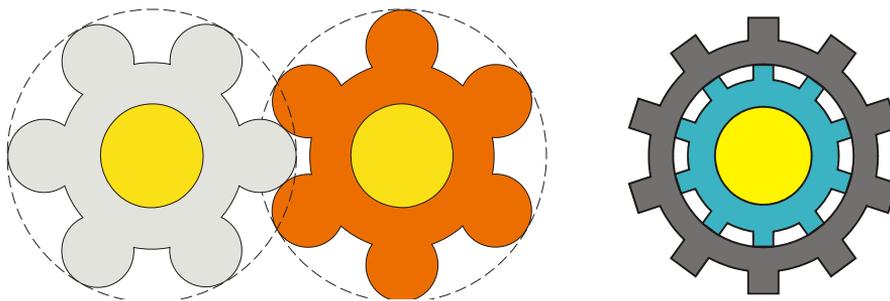
Еще одно направление уменьшения эффективного значения  $\epsilon$  заключается в возврате к монолитным материалам с одновременным увеличением количества воздуха в изолирующем покрытии за счет выполнения его регулярного макроструктурирования. Схемы структурирования отличаются большим разнообразием, а сами возможные подходы делятся на внутренние, скрытые и внешние со своими вариантами, рисунок 3.



**Рисунок 3 – Базовые варианты структурирования изоляции проводов витых пар  
а) внутреннее; б) скрытое; в) внешнее**

Исторически первым и пока единственным внедрением в серийную продукцию этого варианта изоляционных покровов стало структурирование по внутренней схеме, рисунок 3,а [4]. Оно известно под торговой маркой AirES и в настоящее время предлагается компанией TEConnectivity. Для изделий Категории 6А применение технологии AirES обеспечивает уменьшение площади поперечного сечения неэкранированного горизонтального кабеля на достаточно впечатляющую величину в 22%.

На уровне предложений встречаются также технологически более сложные варианты структурирования изоляции. Так, увеличение рельефных компонентов структуры внешней поверхности изоляции не только уменьшает эквивалентную диэлектрическую проницаемость, но и за счет зацепления проводов дополнительно усиливает механическую стабильность витой пары, рисунок 4 [5].



а)

б)

**Рисунок 4 – Примеры сложного структурирования изоляции проводов витых пар**  
**а) крупное структурирование верхней поверхности;**  
**б) двухслойное структурирование**

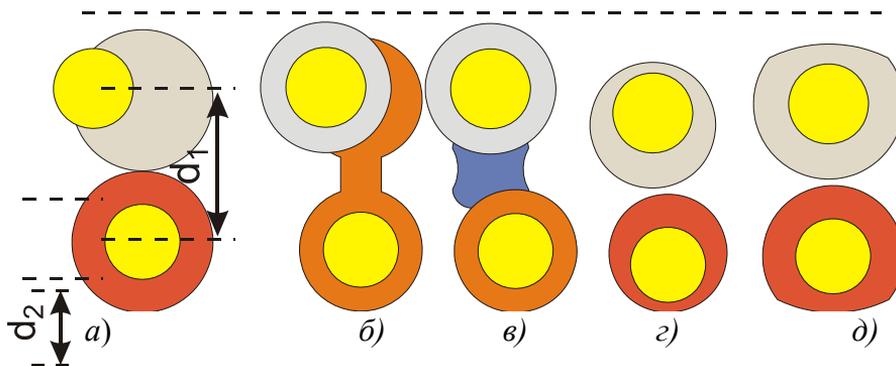
Последнее приобретает важное значение в условиях воздействия на кабель СКС различных раздавливающих нагрузок. Это стало полезным дополнительным эффектом от решения основной задачи, которая заключалась в уменьшении массы провода. По расчетам разработчиков достигаемый выигрыш по этому параметру вплотную приближается к 10%. Количество выступов и их высота могут меняться в довольно широких пределах. При этом форма их поперечного сечения по крайней мере не слишком сильно отличается от полукруглой.

Еще одним вариантом решений рассматриваемой группы является обращение к скрытому профилированию. Формы исполнения отверстий в толще изоляционного покрова и их количество могут быть самыми разнообразными [6]. Близким вариантом к структурированию оболочки рассмотренной разновидности является переход на двухслойные также структурированные оболочки [7]. Пример такого решения приведен на рисунке 4,б.

Уменьшение эффективного диаметра витой пары.

Твердая изоляция как конструктивный компонент выполняет в первую очередь вспомогательную роль, обеспечивая нормальные условия функционирования пары проводов как направляющей системы электромагнитных колебаний. С учетом этой особенности речь может вестись не только о фактическом, но и об эффективном диаметре. Сильной стороной такого подхода является то, что он затрагивает только геометрические параметры конструкции, т.е. не требует радикального изменения существующей технологии, внедрения новых материалов и т.д.

Первым решением в данной области стали сцепленные (англ. bonded) пары американской компании Belden, рисунок 5,б, внедренные в серийное производство в конце 90-х гг. прошлого века. Перемычка, соединяющая изоляционные покровы отдельных проводов, является интегральной составной частью их оболочек.



**Рисунок 5 – Варианты исполнения классических витых пар с уменьшенным диаметром: а) классическая витая пара; б) сцепленная витая пара; в) пара с дистанционным элементом; г) несимметричное расположение проводов в круглой изоляции; д) несимметричная изоляция**

Сцепленные пары неудобны при оконцевании кабеля розеткой разъемного соединителя. Для устранения этого недостатка компанией CommScope предложено выполнять пару с промежуточным дистанционным элементом, механически независимым от проводов. Данный элемент может быть выполнен в форме прокладки с полукруглыми вырезами-ложементами для укладки в них отдельных проводов, рисунок 5, Рисв или же в виде обычной разделительной ленты. Последний вариант данного решения используется в некоторых видах серийных горизонтальных кабелях СКС типа Systimax.

Задача уменьшения эффективного внешнего диаметра витой пары вполне может быть решена за счет осевого рассогласования жилы и изоляции при условии сохранения круглого поперечного сечения провода, рисунок 5,г. Еще одним направлением деятельности становится обращение к изоляции, неосесимметричной в плоскости поперечного сечения, рисунок 5, д [8].

Предпосылки уменьшения площади поперечного сечения шнуровых изделий

Появление шнуров малого диаметра с классическим круглым поперечным сечением следует рассматривать как результат естественной эволюции техники кабельных систем офисного назначения. В основу их разработки положено стремление к оптимизации горизонтальной подсистемы СКС, проводимой в рамках отказа от постулата безусловного обеспечения 100-метровой дальности связи. В данном случае разработчик берет за основу адаптацию этой части информационной проводки под фактические потребности практики, осуществляемую через оптимизацию конструкции различных кабельных изделий. Под оптимизацией в данном случае понимается такое изменение дизайна известных ранее линейных компонентов, которое устраняет из них функциональную избыточность. Последняя фактически является виртуальной, т.е. характеристики изделия во

---

многим вынужденно выбираются из-за наличия соответствующих требований нормативных документов. В реальной практике реализации и эксплуатации СКС обеспечиваемые параметры не могут быть в полной мере задействованы, в первую очередь, из-за экономической невыгодности 100-процентного использования имеющихся ресурсов. Возникающая разница мертвым грузом ложится на бюджет проекта.

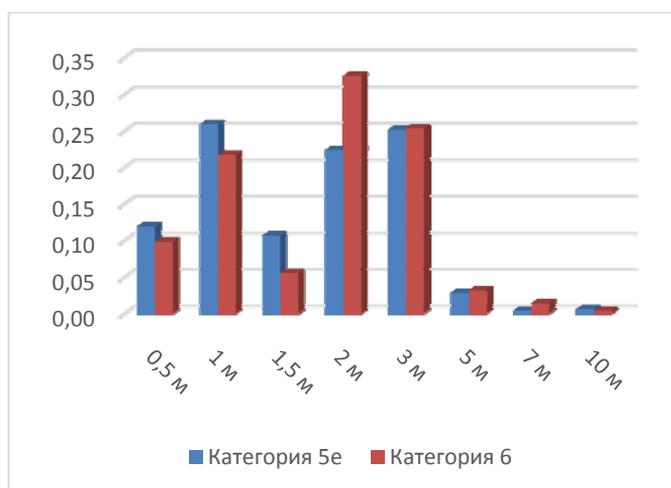
В рамках практического воплощения такого направления оптимизации в действительность допустимо определенное ухудшение характеристик отдельных компонентов, которое сопровождается выходом за пределы ограничений требований стандартов. Необходимым условием подобных действий становится наличие значимого технико-экономического эффекта.

Конкретизируем понятие функциональной избыточности. Практика реализации СКС свидетельствует о том, что функциональные возможности стандартной витой пары как направляющей системы электромагнитных колебаний крайне редко используются в полном объеме. Главными причинами подобного положения дел становятся следующие обстоятельства

- стоимостная оптимизация реализуемой проводки сопровождается принудительным ограничением предельной длины горизонтального кабеля примерно в 70 м за счет выбора соответствующей плотности размещения технических помещений или их аналогов;
- хорошие массогабаритные характеристики активного и пассивного коммутационного оборудования делают излишним применение аппаратных шнуров максимальной длины.

Правильный выбор плотности размещения пользовательских информационных розеток (примерно 4 м<sup>2</sup> рабочей области офиса на одно рабочее место) дает возможность заметно ограничить длину абонентского шнура.

Подтвердим справедливость высказанных положений ссылками на статистику реально построенных объектов. На рисунке 6 показаны гистограммы распределения длин коммутационных шнуров с усреднением по множеству реализованных проектов. Из них следует, что 95% этих изделий не превышает по длине 3 м, причем это утверждение справедливо для наиболее массовых систем категорий 5е и 6. Кроме того, известно, что в правильно спроектированной СКС стационарные линии с протяженностью свыше 70 м составляют не более 5% от их общего количества.



**Рисунок 6 – Статистика распределения длин коммутационных шнуров**

Таким образом, функциональная избыточность может отсутствовать на момент начала разработки элементной базы или даже внедрения ее в серийное производство. Временной лаг ее появления часто обусловлен изменением условий реализации проектов и подходов авторов проектных решений широкого применения, задействованных на реальных объектах.

Оценка внешнего диаметра кабеля оптимизированных шнуровых изделий Комплекс представленных там мер минимизации внешнего диаметра кабельных изделий, используемых при построении линейной части горизонтальной подсистемы СКС, вполне может быть распространен на гибкие шнуровые кабели.

Технически наиболее простым решением естественным образом становится применение токопроводящих жил, т.к. она не требует изменения хорошо отработанной ранее технологии. Дополнительно к диаметру токопроводящей жилы в обязательном порядке уменьшается также диаметр изоляции, что позволяет получить требуемую величину номинального значения волнового сопротивления.

При выборе диаметра проводов витых пар оптимизированного шнурового кабеля целесообразно остановиться на значении 0,4 мм (калибр 28AWG). Во-первых, такое значение не выходит за пределы разрешенных нормативными документами и еще допускается стандартами СКС для общего случая. Во-вторых, изготовления таких витых пар требует от производящего предприятия минимальной перестройки имеющегося технологического процесса. В-третьих, как будет показано далее, функциональные возможности создаваемой кабельной системы затрагиваются в минимальной степени.

Далеко не последнее значение приобретает также отсутствие потенциально серьезных возражений со стороны производства. Свою значимую роль играет то, что ранее жилы такого диаметра широко использовались в кабелях категории 3. Таким образом, для их изготовления имеется соответствующая технологическая оснастка. При отсутствии таковой документацию для ее изготовления

можно вполне затребовать из архивов. Сам процесс производства мало чем отличается от аналогичного в отношении пар категории 5е, т.е. может быть выполнен на тех же станках, и т.д.

Оценка диаметра витой пары при заданном диаметре проволоки вполне может быть выполнена с привлечением соотношений (1) и (2), а также (3) и (4). Проведенные расчеты показывают, что внешний диаметр оптимизированного шнурового изделия, предназначенного для эксплуатации в составе кабельных трактов класса D, уменьшится до менее 4 мм, а погонное затухание увеличится до 37,8 дБ/100 м на частоте 100 МГц. Соответственно, коэффициент электрического удлинения составит примерно 1,9 вместо обычных 1,2 – 1,5 для стандартных шнуровых изделий категории 5е и выше.

Одновременно площадь поперечного сечения уменьшается более чем на 40%. Шнуры с подобными геометрическими параметрами специалисты достаточно часто обозначают как «тонкие».

Эксплуатационные преимущества шнуров уменьшенного диаметра

На рисунке 7 показан график зависимостей максимально допустимых протяженностей стационарной линии и тракта от общей длины «тонких» шнуров. Из графических зависимостей вытекает, что длина стационарной линии может составлять привычные 90 м при ограничении общей длины шнуров в 6 м. Если снять ограничение на длину шнуров и использовать два окончных 5-метровых шнура, то максимальная протяженность стационарной линии падает всего до 83 м. Таким образом, внедрение шнуровых изделий данной разновидности крайне незначительно влияет на функциональные возможности и эксплуатационную гибкость структурированной проводки.



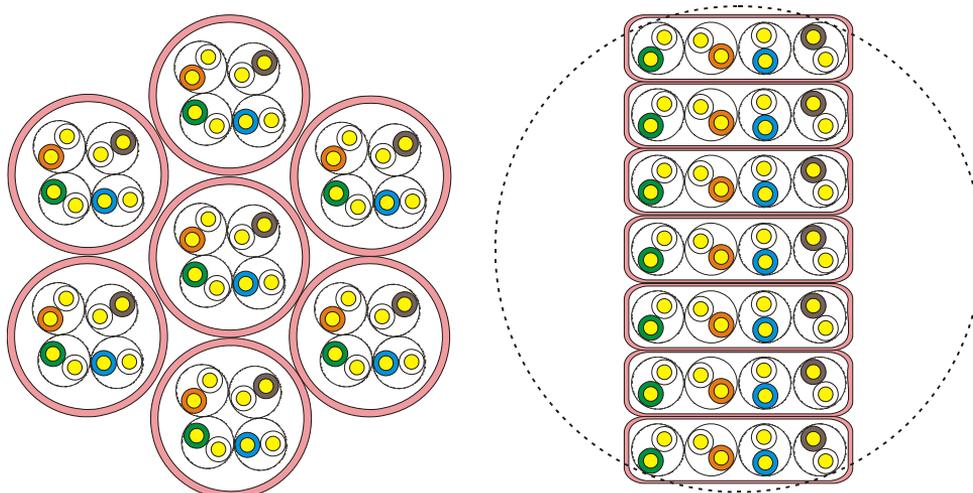
Рисунок 7 – Предельные длины основных комплексных объектов СКС в зависимости от длины «тонких» шнуров

Практическое внедрение таких изделий дает ряд серьезных преимуществ с точки зрения практики текущей эксплуатации информационной кабельной системы. Основные из них заключаются в следующем:

- улучшаются условия администрирования СКС за счет меньшего перекрытия штатной и сменной маркировки портов коммутационных панелей;
- снижается пожарная нагрузка на технические помещения за счет уменьшения количества пластика;
- уменьшение абсолютных величин радиуса изгиба шнура облегчает его укладку в организатор и снижает опасность деградации характеристик изделия из-за нарушения правил подключения и укладки шнуров.
- заметно снижаются требования в отношении требуемой емкости как горизонтальных, так и вертикальных кабельных организаторов.

Практически шнуры малого диаметра введены в состав штатного каталожного предложения компанией Panduit.

Определенные перспективы имеет также отказ от круглой формы кабелей шнуров в пользу плоской. Основным побудительным мотивом применения такого подхода считается то, что она дает возможность эффективно решить задачу уменьшения площади поперечного сечения кабельных жгутов. Необходимым условием достижения этого полезного свойства становится обязательное наличие регулярной структуры жгута. Выигрыш достигается за счет более плотной укладки плоских кабелей, что хорошо видно из рисунка 8.



**Рисунок 8 – Сравнение поперечных размеров регулярных жгутов из семи обычных круглых и плоских кабелей**

Проиллюстрируем положение о массогабаритных преимуществах плоских кабелей на численном примере [9]. Коммутационные шнуры категории 6 типа U/UTP производства компании Siemon имеют внешний диаметр 5,8 мм. Семь таких шнуров образуют жгут с эффективной общей площадью 230 мм<sup>2</sup>. Плоский кабель с аналогичными параметрами имеет размеры поперечного сечения 2,34 × 8,1 мм. При условии регулярной укладки семь таких кабелей зани-

---

мают площадь 150 мм<sup>2</sup>, т.е. примерно вполтину меньше по сравнению с традиционными круглыми изделиями.

По своим механическим и электрическим параметрам шнуры на основе плоских гибких кабелей полностью соответствуют своим широко распространенным аналогам на базе круглых шнуров. Все отличие сосредоточено только в форме поперечного сечения этого изделия. При изготовлении коммутационных шнуров данная особенность влечет за собой необходимость применения вилок с соответствующей формой входного гнезда.

Широкого распространения плоские шнуровые кабели не получили. Основная причина такого положения дел состоит в том, что при отсутствии регулярной укладки, что характерно для текущей эксплуатации СКС, плоские кабели неизбежно проигрывают круглым (следствие их большего эффективного диаметра) [10...14].

Дополнительным «бонусом» плоской конструкции может считаться несколько меньшая величина суммарной переходной помехи, что имеет существенное значение при скоростях передачи 1 Гбит/с и выше.

### **Выводы**

В распоряжении разработчика имеется ряд способов улучшения массогабаритных параметров линейных и шнуровых кабелей СКС. Обращение к этим приемам позволяет получить ряд практически значимых преимуществ: улучшить условия администрирования СКС; снизить пожарную нагрузку на здание за счет уменьшения количества пластика; уменьшить абсолютные величины радиуса изгиба и снизить опасность деградации характеристик изделия из-за нарушения правил подключения и укладки шнуров. Обращение к кабелям с улучшенными массогабаритными характеристиками оказывает малое (не более чем на 8 %) влияние на предельную длину горизонтального тракта, т.е. крайне незначительно ограничивает проектную гибкость применяемой техники.

### *Литература*

1. Большаков, С., Китаев, Р. Инфраструктурное обеспечение беспроводных решений нового поколения / С. Большаков, Р. Китаев // Журнал сетевых решений/LAN. – № 04. – 2014.
2. Семенов, А. Б. Целесообразность введения нового подкласса симметричных горизонтальных кабелей / А. Б. Семенов // Кабель-news. – 2013. – № 1. – с. 54-57.
3. ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные - термины и определения. Государственный комитет СССР по стандартам // М.:1988. – 29 с.
4. Патент 6 743 983 США/ МКИ H02G 15/100 / Communication wire // Wekhorst D., Juengst S., Dickman S., Kenny R. / заявл. 16.12.2002 /опубл. 1.06.2004. – 9 p.
5. Патент 8 245 397 США/ МКИ H04R 43/00 / Crush resistant conductor insulation // Thuot G., Young R.T., Netta J.L / заявл. 6.08.2010 /опубл. 21.08.2012. – 14 p.
6. Патент 7 993 568 США/ МКИ B29C 59/00 / Profiled insulation LAN cables // Heffner G./ Заявл. 27.10.2005 / Оpubл. 9.08.2011. – 11 p.
7. Патент 5 990 419 США/ МКИ H01 B 7/00 / Data cable // Bogese S./ Заявл. 26.08.1997 / Оpubл. 23.11.1999. – 9 p.
8. Патент 7 982 132 США/ МКИ H01B 7/00 / Reduced size in twisted pair cabling //

---

Hopkinson W.C., Hayes T.M., Wiebelhaus D.A., Parke D.J. / Заявл. 18.03.2009 /  
Опубл. 19.07.2011. – 17 р.

9. Семенов, А. Б. Горизонтальные кабели СКС – направления развития / А. Б. Семенов / ИКС. – 2015, январь – февраль. – № 1. – с. 86 – 88.
10. Аббасова, Т. С. Анализ влияния изменений параметров высокочастотных кабелей на характеристики мультимедийных кабельных сетей / Т. С. Аббасова, В. М. Артюшенко // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – № 4. – С. 32 – 36.
11. Аббасова, Т. С. Выбор структуры комплекса технических средств для сервисного обслуживания высокоскоростных электрических трактов структурированных кабельных систем / Т. С. Аббасова, О. Ф. Умудумов // Электротехнические и информационные комплексы и системы». – 2007. – № 4, т. 3. – С. 21 – 27.
12. Артюшенко, В. М. Количественная оценка электромагнитного влияния однопроводных линий электротехнического оборудования / В. М. Артюшенко, А. В. Малёнкин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – № 1,2, т.4. – 2008. – С.29 – 32.
13. Артюшенко, В. М. Анализ эффективности уменьшения межкабельных переходных помех в экранированных кабельных системах / В. М. Артюшенко, К. А. Енютин, М. Н. Буткевич // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – № 1. – т.5. – 2009. – С.19 – 23.
14. Умудумов, О. Ф. Технические средства для сервисного обслуживания высокоскоростных электрических трактов СКС / О. Ф. Умудумов, Т. С. Аббасова // Вестник МГУС. Научный журнал. – 2008. – №1(4). – С. 77 – 85.

**Исследование типовой системы сбора экспериментальных данных,  
методов и технологий её реализации**

**Н.П. Сидорова**, к.т.н.,

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

**В.В. Щербаков**, магистр,

ОАО «Корпорация ТРВ», г. Королев, Московской области

*Система сбора экспериментальных данных предназначена для преобразования и накопления данных, полученных от датчиков аппаратуры. Она обеспечивает возможность её дальнейшей обработки средствами вычислительной техники и позволяет использовать в различных системах управления. Использование таких систем позволяет существенно улучшить процессы разработки и внедрения новых видов информационных технологий для управления в технических системах.*

Системы сбора данных, источник сигнала, аналогово-цифровой преобразователь.

**The study sample collection system of the experimental data, methods and  
technologies for its implementation**

**N.P. Sidorova**, Ph.D,

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

**V.V. Shcherbakov**, master,

Tactical Missiles Corporation JSC, Korolev, Moscow region

*Experimental data acquisition system designed for the conversion and storage of data received from the sensor equipment. It provides the possibility of its further processing by means of computer technology and can be used in a variety of control systems. Using such systems can significantly improve the processes of development and introduction of new information technologies for management in technical systems.*

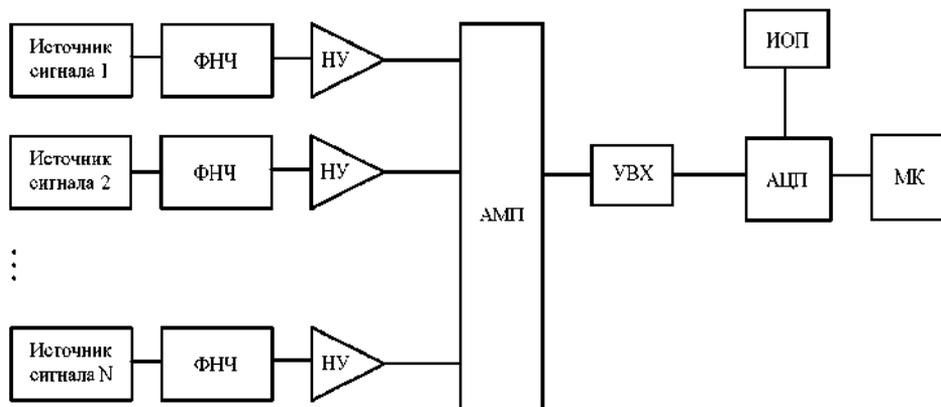
Data collection system, data source, analog-to-digital converter.

В процессе разработки и эксплуатации аппаратуры необходимо собирать и анализировать большое количество данных. Для эффективного решения этой задачи успешно используются информационные технологии [6, С. 1-2], [7] на основе распределенных систем сбора данных. Система сбора экспериментальных (ССД) обеспечивает преобразование выходных сигналов от одного или множества измерительных датчиков в цифровые сигналы для дальнейшей обработки,

отображения полученной информации, ее хранения и использования в различных системах управления. Возможности применения систем сбора данных очень широки – начиная с простейшего контроля текущих значений одной переменной и до организации контроля и управления множеством параметров при производстве различной продукции.

Система сбора данных представляет собой набор аппаратно-программных средств [6, С-3-4], [2,3] выполняющих функции выборки, преобразования, хранения и первоначальной обработки аналоговых сигналов и является центральным элементом многоканальных средств измерений экспериментальных данных. Она определяет основные технические характеристики систем управления объектами.

Типовая структура ССД (рис. 1), как правило, включает источник сигнала (ИС), фильтры нижних частот (ФНЧ), нормирующие усилители (НУ), аналоговый мультиплексор (АМП), устройство выборки и хранения данных, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), источник опорного напряжения (ИОП) и микроконтроллер (МК). Некоторые типы ССД содержат программируемый усилитель после мультиплексора, что позволяет настраивать диапазон измерений.



**Рисунок 1 – Структура типовой системы сбора данных**

При работе такой схемы на вход системы поступают аналоговые сигналы с различного рода датчиков физических величин. Уровень и тип аналогового сигнала определяется особенностями применяемых датчиков. Поступающий сигнал обладает, как правило, малой амплитудой и содержит нежелательные шумы и искажения необходимой информационной составляющей. Фильтр нижних частот обеспечивает фильтрацию и предотвращает наложение спектров сигнала. Нормирующий усилитель согласует по амплитуде сигнал с фильтра нижних частот с входным диапазоном АЦП. Аналоговый мультиплексор обеспечивает коммутацию выбранного аналогового канала с устройством выборки и хранения. УВХ обеспечивает хранение обработанного сигнала в течении всего периода времени преобразования АЦП. АЦП осуществляет преобразование поступающего на его вход аналогового сигнала в цифровой код. Далее полученный

код, пропорциональный входному сигналу с датчика, поступает в микроконтроллер, где происходит его первоначальная обработка.

ССД применяются в различных областях деятельности человека, начиная от простейших измерений физических величин (температура, влажность и т.д.) до высокоскоростных и высокоточных измерений различных научных экспериментов. В зависимости от области эксплуатации к ССД могут предъявляться различные требования. Это определяет наличие нескольких принципиальных структурных схем:

- структура с несколькими УВХ (рис. 2) – используется, когда производится синхронное считывание значений нескольких источников;

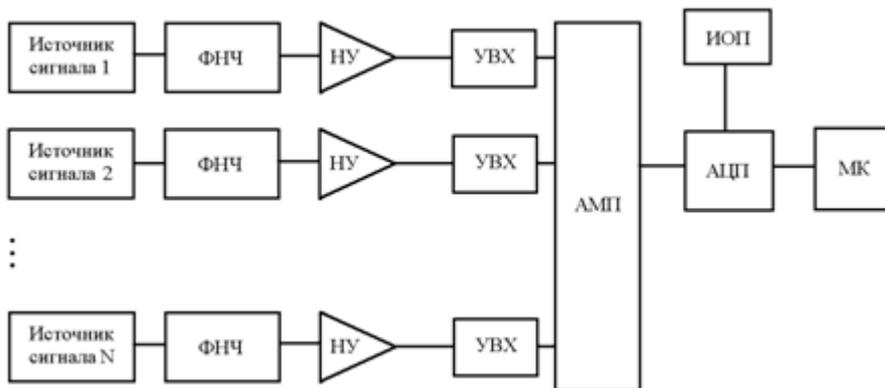


Рисунок 2 – Структура ССД с несколькими УВХ

- структура с параллельно работающими АЦП (рис. 3) – используется, когда требуется максимально быстрое преобразование сигналов в один момент времени. Применение отдельного АЦП для каждого канала информации обеспечивает более высокую частоту дискретизации в расчете на канал.

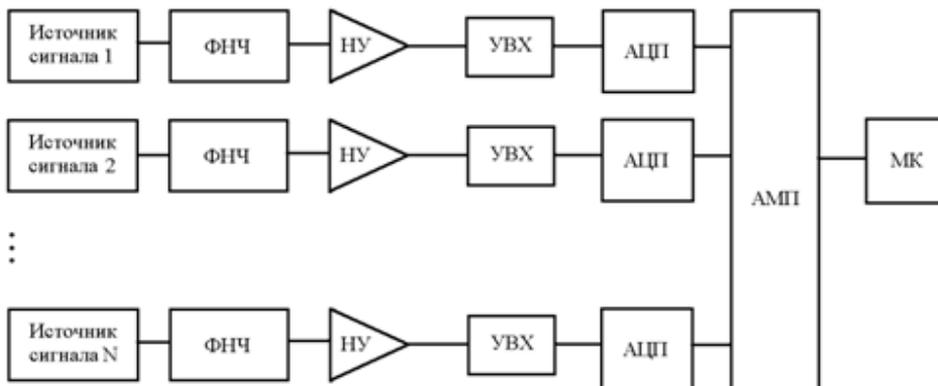


Рисунок 3 – Структура ССД с параллельно работающими АЦП

---

Под понятием сигнала понимается любая физическая величина, изменяющаяся во времени и несущая информацию об определенном объекте. Аналоговый сигнал является непрерывным по времени и амплитуде. Для того, чтобы его можно было использовать в ССД, необходимо его преобразование к цифровому формату. Цифровой код представляет собой дискретную последовательность чисел. Поэтому возникает необходимость в преобразовании аналогового сигнала в цифровой, которое предполагает выполнение следующих операций:

- дискретизация;
- квантование;
- кодирование.

Операция дискретизации предназначена для получения на основе непрерывного аналогового сигнала последовательности числовых значений. Для этого в определенные равномерно распределенные моменты времени снимаются сигналы. Временной интервал, определяющий промежутки времени между снятием сигналов, называется интервалом дискретизации. Величина, обратная ей, определяет частоту дискретизации. Эти характеристики определяют качество преобразования аналогового сигнала, уменьшение интервала дискретизации и увеличение частоты дискретизации и приводит к лучшему приближению дискретного представления к его аналоговому оригиналу. Дискретизация приводит к изменению частотного спектра. При этом необходимо учитывать необходимость выполнения обратного преобразования (из цифрового кода в аналоговый). Такое восстановление возможно, если частота дискретизации соответствует условиям, определенным в теореме В. А. Котельникова.

Операция непрерывного квантования связана с заменой величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин (уровней квантования), т.е. округлением этого значения – уровней квантования. Для квантования могут быть использованы как равномерные, так и неравномерные шкалы квантования.

Операция кодирования реализует формирование на основе квантованного сигнала набора числовых значений, которые можно представить в виде цифровых кодов. Правила преобразования определяются правилами кодирования. При этом, в соответствии с формулой Хартли, если квантованный сигнал может принимать  $N$  значений, то для его кодирования необходимо слово длиной  $n$ , где  $n \geq \log_2 N$ .

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой используются аппаратные средства – аналого-цифровые преобразователи.

В настоящее время известно большое число методов (рис. 4) преобразования аналогового сигнала в цифровой код. Различие методов определяется методами аппаратно-программной реализации, точностью и скоростью преобразования.



Рисунок 4 – Классификация АЦП

Применение АЦП связано с решением большого количества прикладных задач, в первую очередь в системах связи, медицине, измерительных приборах различного назначения и других областях науки и техники. Это связано, прежде всего, с повышением качества передаваемого цифрового сигнала. Преимущества цифровых систем обусловлены рядом факторов. Прежде всего, это фактор качества получаемого или передаваемого сигнала. Аналоговые реализации зачастую не позволяют обеспечить высоких показателей качества передачи и воспроизведения сигнала, а переход на мировые стандарты ужесточает требования, предъявляемые к таким параметрам систем, как помехоустойчивость, точность, быстродействие.

Построение оптимальной по всем критериям системы сбора данных является сложной инженерной задачей, требующей применения различных информационных технологий и специальных решений. Часто на предприятиях используется оборудование различных производителей. Задача проектировщика ССД состоит в объединении разнородных систем в единый информационно-технический комплекс.

Организация ССД на территориально распределенных и удаленных объектах, где прокладка кабеля нецелесообразна, дорога, может быть подвергнута разрушению, либо практически невозможна, используется беспроводная связь. На каждом удаленном объекте устанавливается промышленный контроллер с устройствами ввода информации от датчиков. К порту обмена данных контроллера подключается GSM/GPRS модем, который через Интернет передает данные на удаленный компьютер – сервер сбора данных.

---

Иногда бывает полезным рассмотреть вариант организации сети сбора данных с датчиков/контроллеров при помощи специализированных устройств, работающих по протоколу ZigBee и объединенных в Mesh-сеть для связи между территориально распределенными объектами с последующим выходом в Интернет через один узловой GSM/GPRS модем.

На сегодняшний день имеется целый ряд технологий с различными способами передачи информации на большие расстояния. Но наибольшую распространенность получили технологии передачи информации с использованием сетей сотовой связи, благодаря их широкой распространенности и доступности. Используемые технологии и способы передачи данных определяют возможности ССД – оперативность поступления данных, их ёмкость, надежность связи с объектом, возможность организации удаленного управления оборудованием путем задания установочных параметров, стоимость трафика передачи данных.

Основными устройствами для сбора и передачи информации с объектов через сети сотовых операторов являются GSM/GPRS модемы, которые подключаются к оборудованию обычно через интерфейс RS232. В некоторых моделях модемов имеются также дискретные входы и выходы, что позволяет подключать к ним напрямую, например, концевые выключатели и т.п., например, для организации контроля доступа на объект.

Для передачи информации через сети сотовых операторов на сегодняшний день используют пакетную передачу данных GPRS, как наименее затратный способ. При этом операторы сотовой связи предоставляют услуги доступа в сеть Интернет или же организацию виртуальных частных сетей VPN. Можно выделить следующие способы передачи информации через сеть Интернет и локальные сети.

**Использование централизованного сервера сбора данных.** На центральном сервере сбора данных устанавливается специальное ПО к которому подключаются модули программ-обработчиков протоколов. Сервер сбора данных последовательно опрашивает каждое устройство, которое подключено к модему. В этом случае модем работает в «прозрачном» режиме передачи данных. Достоинство такого способа – это однотипное оборудование на объектах, т.е. модем должен лишь транслировать на сервер то, что получает от прибора. Сам сервер здесь служит обработчиком протокола обмена [4,5].

**Использованием OPC-серверов.** Часто применяется в системах диспетчеризации ЖКХ благодаря универсальности подключения группы объектов к центральному серверу сбора данных. При использовании данного варианта на группу однотипных приборов устанавливается специальное программное обеспечение OPC-сервер, которое разрабатывается для конкретного типа оборудования или конкретного протокола. Для каждого нового типа оборудования необходима разработка нового OPC-сервера. Центральный сервер сбора данных подключается к OPC-серверам, которые для него являются унифицированными. Данный метод разрабатывался для передачи информации по проводным сетям Ethernet и для своей работы требует стабильной, надежной связи. В условиях беспроводной передачи информации возможны сбои, задержки в передаче информации, что негативно сказывается на стабильности сбора информации с объектов, возможны «зависания» и отсутствие части данных. Разработка программного обеспечения

---

ОРС-сервера для нового оборудования сама по себе очень трудоемкая и затратная задача. Стоимость ОРС-серверов высока и в большей части экономически не выгодна.

**Использование сервера базы данных.** На сервере сбора данных устанавливается база данных с возможностью доступа к ней через сеть Интернет, а на объектах устанавливаются программируемые модемы, которые в результате работы программы методами SQL-запросов записывают информацию на сервер.

Достоинство этого метода – разгрузка сервера сбора данных от необходимости обработки протоколов различных устройств. Обработка протоколов производится в программе самого модема, однако в данном случае остается проблема передачи большого объема данных через Интернет, а следовательно возрастает стоимость передачи информации. Кроме того, использование удаленного подключения к базе данных со стороны модемов не является оптимальным способом передачи информации с распределенных устройств через сети Интернет.

**Использование сервера сбора данных** предполагает использование стандартного сервера сбора данных, основанного на TCP/IP протоколе сбора/передачи информации с множества точек одновременно. На сервер сбора данных информация поступает в стандартном, унифицированном виде, специально созданном и оптимизированном для передачи по сетям Интернет, позволяя экономить трафик и время опроса устройств. В этом варианте преобразование протоколов приборов в унифицированный протокол происходит в программируемом GSM/GPRS модеме. В итоге получается система с распределенной вычислительной нагрузкой [1], при этом сервер позволяет опрашивать максимальное количество объектов за минимальное время. Особенность такого подхода – это необходимость программирования модема для каждого нового типа прибора. Наличие программируемого устройства на самом объекте позволяет реализовать ряд дополнительных функций. Например, создание внутри модема предварительного энергонезависимого архива информации прибора, если таковой в самом приборе на объекте отсутствует; создание логики обработки нештатных ситуаций (рассылка SMS-сообщений, e-mail на указанные адреса); возможность организации удаленного управления оборудованием путем задания установочных параметров.

#### *Литература*

1. Аббасова, Т. С. Электромагнитная совместимость электропроводных кабелей и коммутационного оборудования высокоскоростных структурированных кабельных систем / Т. С. Аббасова, В. М. Артюшенко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2008. – Т.4. – №4. – С.22 – 29.
2. Artyushenko, V. M., Volovach, V. I. Statistical Characteristics of Envelope Outliers Duration of non-Gaussian Information Processes. Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013) // Rostov-on-Don, Russia, September 27–30, 2013. – Kharkov: KNURE. – 2013. – P. 137 – 140.
3. Артюшенко, В. М., Воловач, В. И., Иванов, В. В. Статистические характеристики сигналов и помех радиотехнических устройств ближнего действия / В. М. Артюшенко, В. И. Воловач, В. В. Иванов / Известия вузов. Приборостроение. – 2014. – Т.57. – №7. С.46–50. ISBN 0021-3454.11.
4. Артюшенко, В. М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех / В. М. Артю-

---

шенко: монография // Королев МО: ФГБОУ ВПО ФТА. – Изд-во «Канцлер». – 2014 – 298 с.

5. Artyushenko, V. M., Kucherov, B. A. Assessment jamming environment on Board the spacecraft and earth stations in the corporate satellite communication systems. Materials of the X International scientific and practical conference «Trends of modern science», May 30 – June 7, 2014 – Volume 26. Technical sciences. Sheffield, Science and education LTD. – 2014. – PP.65–67. (96 p). ISBN 978-966-8736-05-6.
6. Орехов, Д. И., Чепурнов, А. С., Сабельников, А. А., Маймистов, Д. И. Распределенная система сбора и анализа данных на основе шины CAN-BAS / Д. И. Орехов, А. С. Чепурнов, А. А. Сабельников, Д. И. Маймистов / Приботы и техника эксперимента. – 2007. – №2. – С.1 – 8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://can.marathon.ru/system/files/upload/pte1\\_rus.pdf](http://can.marathon.ru/system/files/upload/pte1_rus.pdf) (дата обращения: 05.10.2015).
7. Шутенко, В. В. Система сбора и обработки данных экспериментального комплекса невод-декор: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.01 // М. – 2007. – 27 с.

**Методический аппарат оценки надежности и определения приоритетных направлений повышения долговечности многослойных печатных плат бортовой РЭА для ракет-носителей и разгонных блоков**

**Р.В. Скворцов**, ведущий инженер, заместитель начальника отдела,  
**А.П. Мороз**, д.т.н., с.н.с., заместитель генерального директора по научной работе,

АО «Научно-производственное объединение измерительной техники»,  
г. Королев, Московская область

*Статья посвящен анализу типа дефектов многослойных печатных плат (МПП) в процессе эксплуатации и разработке математического аппарата повышения их долговечности в результате совершенствования технологий изготовления. Тема исследования актуальна для специалистов, занимающихся вопросами обеспечения долговечности радиоэлектронной аппаратуры для изделий ракетно-космической техники.*

Многослойные печатные платы, показатель долговечность.

**The methodical device of an estimation of reliability and definition of priority directions of increase of durability of multilayered printed-circuit boards of onboard radio-electronic equipment for carrier rockets and разгонных blocks**

**R.V. Skvortsov**, Leading Engineer, Deputy Head of Department,  
**A.P. Moroz**, Ph.D., Senior Researcher, deputy general director for Research, JSC «Scientific and Production Association measuring equipment»,  
Korolev, Moscow region

*The report is devoted the analysis of type of defects multilayered printing плат.в process of operation and working out of algorithm of an estimation of increase of their durability as a result of perfection of manufacturing techniques. The research theme is actual for the experts, prosecuting subjects of maintenance of durability of radio-electronic equipment for products of space-rocket technics.*

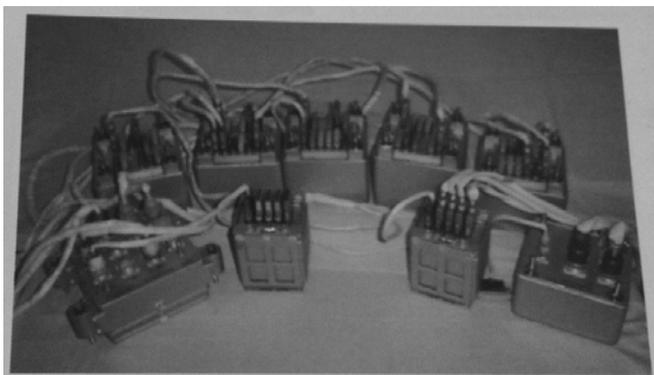
Multilayered printed-circuit boards, an indicator durability.

Постоянное усложнение и увеличение состава бортовой аппаратуры в электронных системах ракет, ракет-носителей (РН), разгонных блоков (РБ) и космических аппаратов при одновременном ужесточении требований к габаритам и массе привело к появлению новых направлений развития радиоэлектроники – микроэлектроники и микроминиатюризации. Преимуществами микроминиатюрной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), являются высокая надежность,

---

малые масса и габариты, низкая потребляемая мощность [1, С. 148].

Основным компонентом бортовой РЭА, в частности, аппаратуры «Пирит» являются печатные платы (ПП), содержащие в своем составе разнообразные радиоэлементы, соединенные между собой несколькими слоями проводников. Бортовая информационно-вычислительная аппаратура «Пирит» предназначена для решения задач информационно-телеметрического обеспечения при испытаниях и штатной эксплуатации объектов космической, ракетной и авиационной техники (рис. 1) [1, С. 148].



**Рисунок 1 – Бортовая информационно-вычислительная аппаратура «Пирит»**

В состав аппаратуры «Пирит» входят разнообразные блоки сбора, обработки и передачи информации, каждый из которых содержит две или более ячейки, изготовленные на печатных платах. На рисунке 2 представлена фотография блока устройства сбора информации. Блок содержит ячейки многослойные печатные платы (МПП), гибкие плоские кабели для соединений между платами, кожух и т.д. [2, С. 36].

В настоящее время широкое применение находят печатные платы, изготавливаемые по одно, двух или многослойной структуре [3, С. 159].



**Рисунок 2 – Блок устройства сбора информации**

Анализ результатов применения в бортовой РЭА «Пирит» МПП показал следующее. МПП в подавляющем большинстве случаев являются причинами отказов бортовых устройств и систем, в которых они используются. Проведенный анализ функционирования большого количества МПП (12983 шт. – общее количество МПП, изготовленных за 20 лет, из них для комплектования системы «Пирит» – около 8300 шт.) позволил выявить, что основной причиной возникновения их отказов до окончания гарантийного срока эксплуатации является несовершенство технологических процессов их изготовления. В связи с этим одним из основных направлений повышения долговечности МПП является совершенствование технологий их изготовления.

Разработана методика оценки надежности МПП, которая позволяет оценивать повышение надежности МПП по показателю долговечность в результате устранения каждого типа дефектов за счет совершенствования технологий изготовления. При этом обязательным условием является отсутствие отказов МПП в течение всего гарантийного срока эксплуатации. Методика позволяет также определять приоритетные направления совершенствования технологий изготовления МПП с целью устранения дефектов [1, С. 150].

Для разработки математического аппарата предлагается показатель долговечности МПП –  $D$  как отношение фактического суммарного времени функционирования всех МПП –  $T_{\phi}$  к суммарному времени их функционирования –  $T_{\text{норм.}\Sigma}$  при условии, что каждая МПП безотказно функционировала бы в течение всего нормативного срока службы:

$$D = \frac{T_{\phi\Sigma}}{T_{\text{норм.}\Sigma}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^n T_{\phi\kappa} + T_{\text{норм.}}(N - n)}{T_{\text{норм.}} * N} = 1 - \frac{n}{N} + \frac{\sum_{\kappa=1}^n T_{\phi\kappa}}{T_{\text{норм.}} * N} =$$

$$= 1 - \frac{1}{N} \left( n - \frac{\sum_{\kappa=1}^n T_{\phi\kappa}}{T_{\text{норм.}}} \right), \quad (1)$$

где:

$N$  – число анализируемых МПП;  
 $n$  – число отказавших МПП (по каждому дефекту) до истечения нормативного срока службы, за весь период эксплуатации;  
 $T_{\text{норм}}$  – нормативный срок службы одной МПП (20 лет);  
 $T_{\phi\Sigma}$  – фактический срок службы рассматриваемой совокупности МПП;  
 $T_{\phi\kappa}$  – фактический срок службы  $\kappa$ -ой отказавшей МПП до наступления отказа;

$\kappa$  – текущий номер отказавшей МПП,  $\kappa = \overline{1, n}$ .

Для анализа выбраны четырёхслойные МПП, так как они являются самыми распространенными при изготовлении бортовой телеметрической аппаратуры для РН и РБ.

Исследования проведены для репрезентативной выборки из генеральной совокупности МПП, изготовленной в 1994 году (т.е. со времени их изготовления

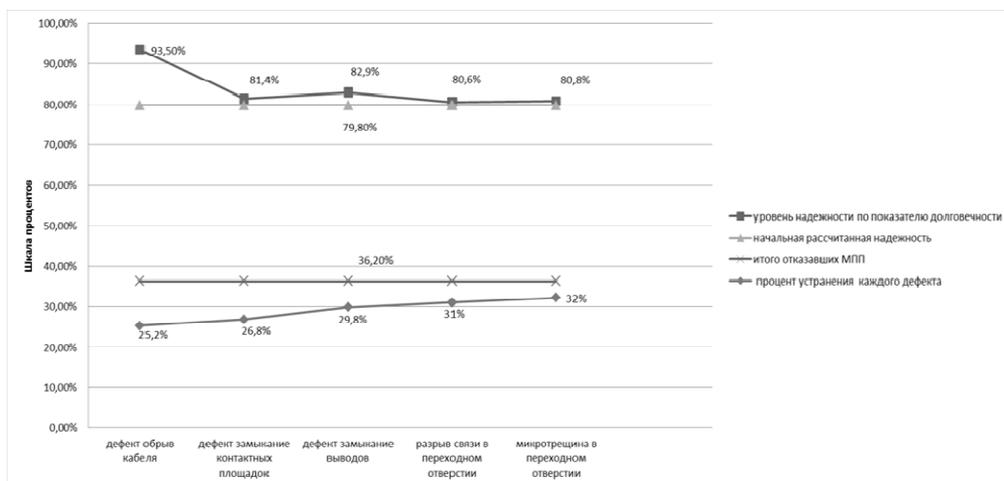
прошло более 20 лет). На основе проведенного анализа статистики отказов МПП построены причинно-следственная диаграмма Исикавы и диаграмма Парето.

На диаграммах отражены основные дефекты, возникшие при изготовлении и монтаже МПП [4, С. 53, 55].

В результате анализа потока отказов МПП за весь период эксплуатации определены:

- предельно возможное повышение надежности по показателю долговечность, получаемое при устранении каждого типа дефектов МПП;
- максимально возможное процентное соотношение снижения доли брака каждого типа дефекта.

Полученные результаты представлены в виде графиков на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Процентное соотношение типов дефектов МПП и предельно возможное повышение показателя долговечность**

На графике показано, что при устранении дефекта «обрыв кабеля» доля брака снизится на 11%, а уровень надежности по показателю долговечность увеличится на 13,7%; при устранении дефекта «замыкание контактных площадок» доля брака снизится на 9,4%, а уровень надежности по показателю долговечность увеличится на 1,6% и т.д.

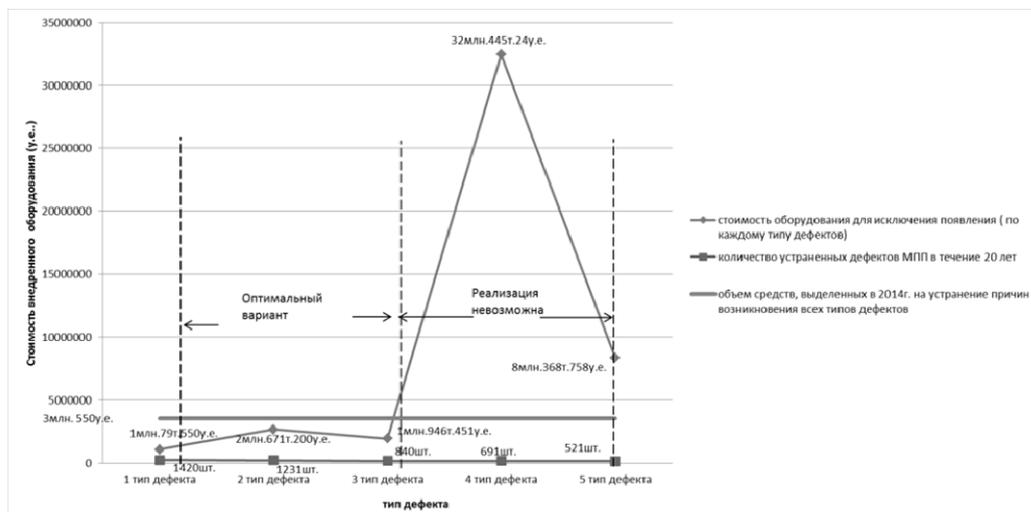
На основании анализа достижений в области технологических процессов рекомендовано наиболее подходящее оборудование и оценены затраты, внедрение которых должно привести к устранению каждого типа дефектов (табл. 1).

**Таблица 1 – рекомендуемое оборудование для устранения основных типов дефектов МПП**

Номер и тип дефекта	Рекомендуемое оборудование для устранения типа дефекта	Стоимость оборудования, у.е.
<b>№1.</b> Обрыв кабеля	Автоматическое оборудование волновой пайки	1079550
<b>№2.</b> Замыкание контактных площадок	Установка экспонирования с оптимизированным источником света повышенной мощности	2671200

<b>№3.</b> Замыкание выводов	Конвейерная линия струйного проявления фоторезиста и модуль теплой сушки	1946451
<b>№4.</b> Разрыв связи в переходном отверстии	Автоматическая однорядная химико-гальваническая линия для металлизации МПП	32445024
<b>№5.</b> Микротрещина в переходном отверстии	Автоматическая установка подготовки поверхности и снятия заусенцев с модулем промывки и высоким давлением	8368758

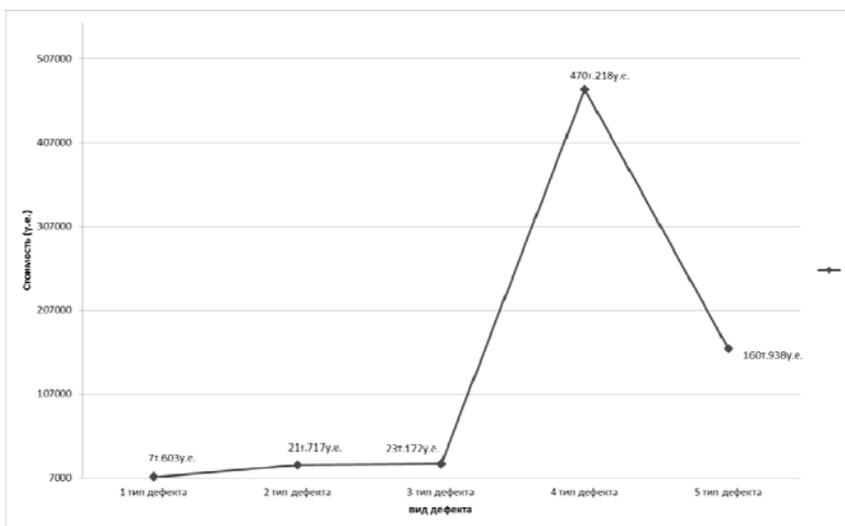
Предположим, что определен объем средств, выделенный на год для приобретения оборудования (например, некая фиктивная сумма 3,55 млн. условных единиц). С учетом этого построим графики потребного и фактического финансирования на устранение причин возникновения дефектов МПП (рис. 4).



**Рисунок 4 – Объемы средств, выделенных на год, и необходимых на устранение каждого типа дефектов, и количество устраненных дефектов каждого типа**

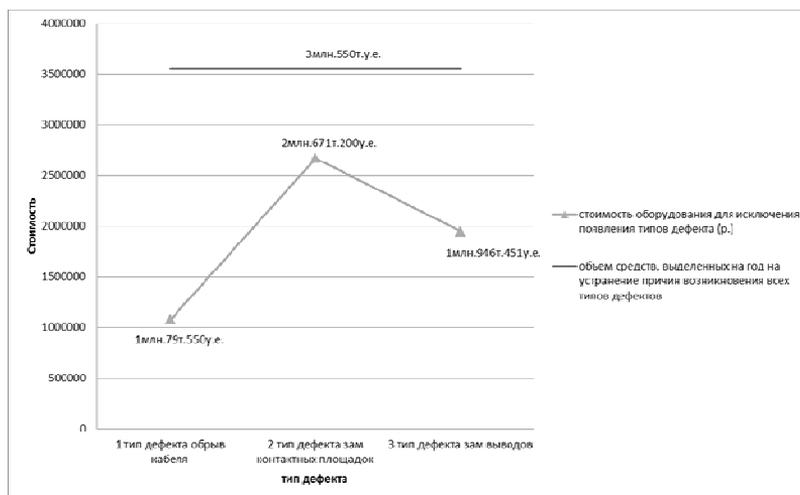
На графике отображено, что наилучшим вариантом при заложенной сумме на год является «Оптимальный вариант», где при внедрении оборудования дефекта № 1 количество дефектных плат сократится на 1420 штуки, при внедрении оборудования дефекта № 2 количество дефектных плат сократится на 1231 штуки, при внедрении оборудования дефекта № 3 количество дефектных плат сократится на 840 штук, и т.д.

На рисунке 5 представлена относительная стоимость устранения одного дефекта МПП каждого типа (на основе данных рис. 4)



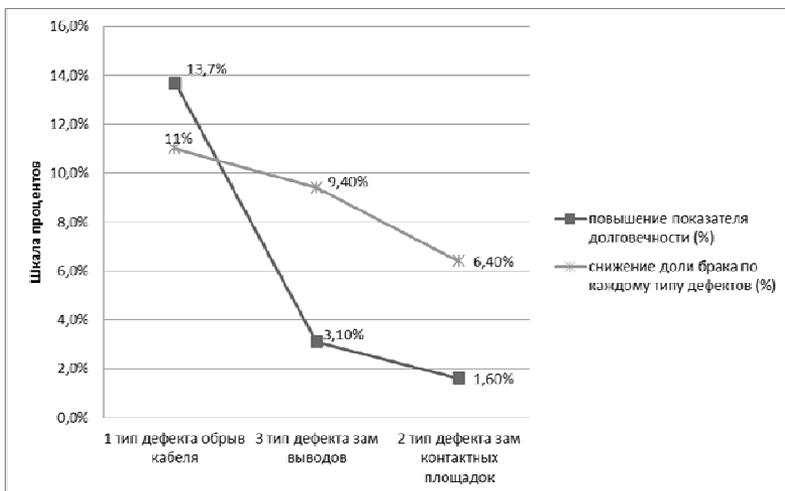
**Рисунок 5 – Относительная стоимость устранения одного типа дефекта МПП**

На основе сопоставления данных, представленных на рисунках 3, 4, 5 и в таблице 1, выбираем три основных типа дефектов (1, 2, 3). Данные типы дефектов являются более рентабельными по повышению показателя долговечности (13,7%, 3,1%, 1,6%), по снижению доли брака (11%, 9,4%, 6,4%). На рисунке 6 представлен обобщенный график, иллюстрирующий сопоставление стоимости оборудования для устранения первого, второго и третьего дефекта.



**Рисунок 6 – Сопоставление стоимости оборудования для устранения первого, второго и третьего типа дефектов**

На рисунке 7 представлен обобщенный график, иллюстрирующий сопоставление повышения показателя долговечности, снижение доли брака после устранения первого, второго и третьего дефекта.

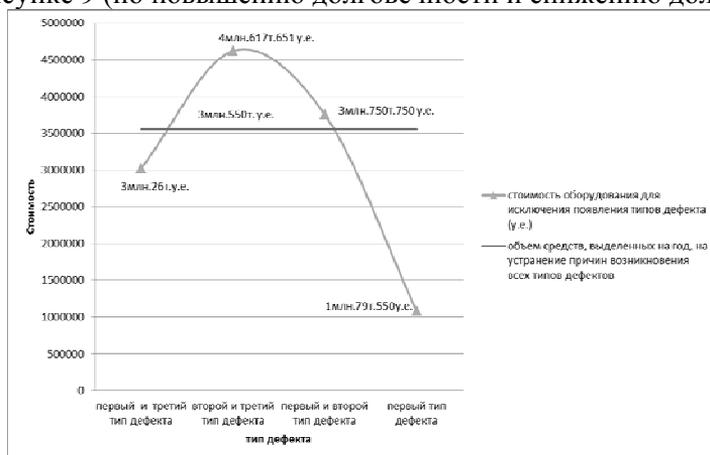


**Рисунок 7 – Сопоставление показателя долговечности, доли брака после устранения первого, второго и третьего типа дефектов**

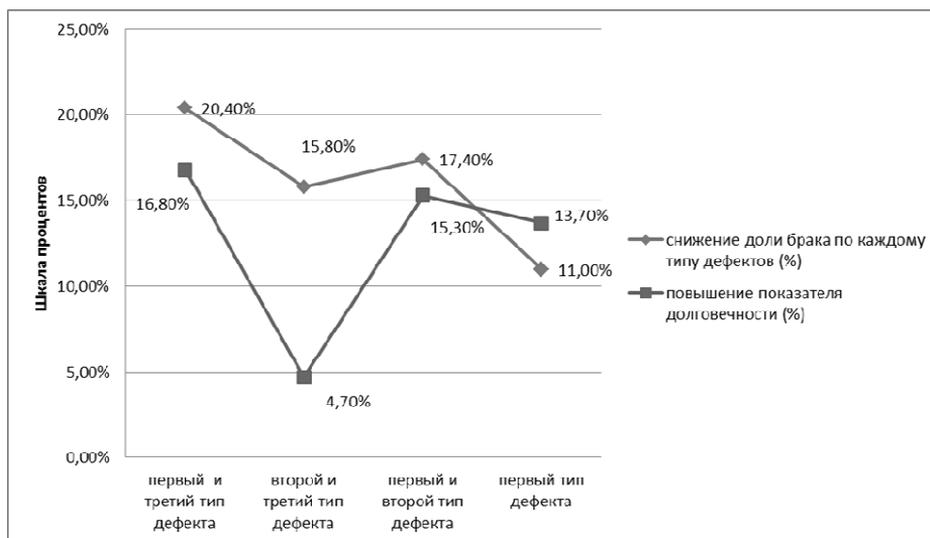
Анализ графиков, представленных на рисунке 7, позволяет сделать следующие выводы.

При внедрении оборудования для устранения первого типа дефектов показатель долговечности МПП повысится на 13,7%, а брак снизится на 11%. При внедрении оборудования для устранения второго типа дефектов показатель долговечности повысится на 1,6%, а брак снизится на 6,4%. При внедрении оборудования для устранения третьего типа дефектов показатель долговечности повысится на 3,1%, соответственно брак снизится на 9,4%.

На основе данных, представленных на рисунках 6, 7, проведено сопоставление стоимости оборудования для исключения первого и третьего, второго и третьего, первого и второго типа дефектов и отдельно первого типа дефектов. Полученные результаты представлены на рисунке 8 (по стоимости оборудования), и на рисунке 9 (по повышению долговечности и снижению доли брака).



**Рисунок 8 – Сопоставление стоимости оборудования для исключения первого и третьего, второго и третьего, первого и второго типа дефектов и отдельно первого типа дефектов**



**Рисунок 9 – Сопоставление стоимости оборудования для исключения первого и третьего, второго и третьего, первого и второго типа дефектов и отдельно первого типа дефектов**

Из графиков, представленных на рисунках 8, 9, видно:

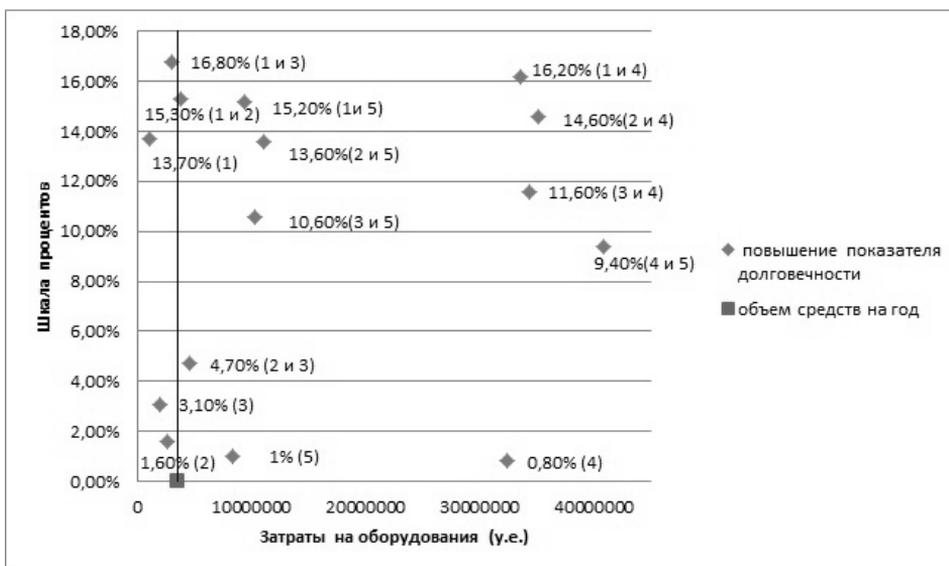
- при внедрении оборудования для устранения 1-го и 3-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 16,8%, брак снизится на 20,4%, а стоимость оборудования составит 3млн. 026 тыс. у.е., что входит в рамки объема рассматриваемых в нашем примере средств, выделенных на год на устранение дефектов;

- при внедрении оборудования для устранения 2-го и 3-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 4,7%, брак снизится на 15,8%, но стоимость оборудования составит 4 млн. 617 тыс. 651 у.е., что выходит за рамки объема выделенных средств;

- при внедрении оборудования для устранения 1-го и 2-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 15,3%, брак снизится на 17,4%, а стоимость оборудования составит 3 млн.750 тыс. 750 у.е., что немного превышает планку объема выделенных средств;

- при внедрении оборудования для устранения 1-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 13,7%, брак снизится на 11%, стоимость оборудования составит 1 млн. 079 тыс. 550 у.е., что не превышает объем выделенных средств.

Для наглядности при решении задачи выбора оптимального варианта оборудования, необходимого для устранения дефектов, нанесем на плоскости точки в координатах, отображающих повышение показателя долговечности (%) и необходимые затраты на оборудование для устранения всех возможных сочетаний типов дефектов. Кроме того, вертикальной линией представлена граница объема средств, выделенных на год на приобретение оборудования (рис. 10).



**Рисунок 10 – Требуемые затраты на повышение показателя долговечности для различных сочетаний типов дефектов**

На рисунке 10 в круглых скобках представлено сочетание различных типов дефектов, устранение которых приводит к соответствующему повышению долговечности МПП. Из рисунка 10 видно, что при заложенном объеме средств на год возможны следующие варианты приобретения оборудования: для устранения 2-го типа дефектов (при этом показатель долговечности повысится на 1,6%), для устранения 3-го типа дефектов (показатель долговечности повысится на 3,1%), для устранения 1-го типа дефектов (показатель долговечности повысится на 13,7%), для устранения 1-го и 3-го типа дефектов (показатель долговечности повысится на 16,8%).

Вместе с тем необходимо учитывать экономические затраты на проведение мероприятий по устранению причин возникновения каждого типа дефектов, а также экономическую выгоду, получаемую при реализации этих мероприятий. Для решения этой задачи разработаны алгоритм и методика определения приоритетных направлений повышения долговечности МПП бортовой РЭА для ракет-носителей и разгонных блоков. Будем считать приоритетными те направления, которые, в первую очередь, дадут наибольшее снижение количества дефектов в результате проведения мероприятий по устранению причин возникновения каждого типа дефектов, с учетом необходимых для этого затрат.

Алгоритм после реализаций мероприятий, направленных на устранение причин появления  $i$ -го типа дефектов определения приоритетных направлений, учитывает:

- разность между нормативным и фактическим временем работы каждой из отказавших  $j$  плат по  $i$ -му типу дефектов:

$$t_{ij} = T_{\text{норм.}} - T_{\text{факт.}ij}, \quad (2)$$

- оценку повышения среднего времени функционирования МПП после устра-

нения причины возникновения  $i$ -го типа дефектов, которая рассчитывается по формуле:

$$\bar{t}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} t_{ij}}{n_i} \quad (3)$$

где:  
 $\bar{t}_i$  – повышение среднего времени функционирования МПП после устранения причины возникновения  $i$ -го типа дефектов;  
 $n_i$  – количество неисправностей и отказов по  $i$  – му типу дефектов;  
 $j$  – номер платы в совокупности  $i$ -го типа дефектов.

Рассчитаем прибыль от продажи 1дм<sup>2</sup> МПП, получаемую в результате реализации мероприятий, направленных на устранения причин возникновения. Для решения этой задачи необходимо разработать соответствующий алгоритм. Алгоритм определения прибыли от продажи 1 дм<sup>2</sup> МПП до и после устранения причины возникновения  $i$ -го типа дефектов за весь период эксплуатации рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{приб. } i \text{ платы до}} = C_{\text{платы } i \text{ до}} - C_{\text{затр. платы } i \text{ до}} \quad (4)$$

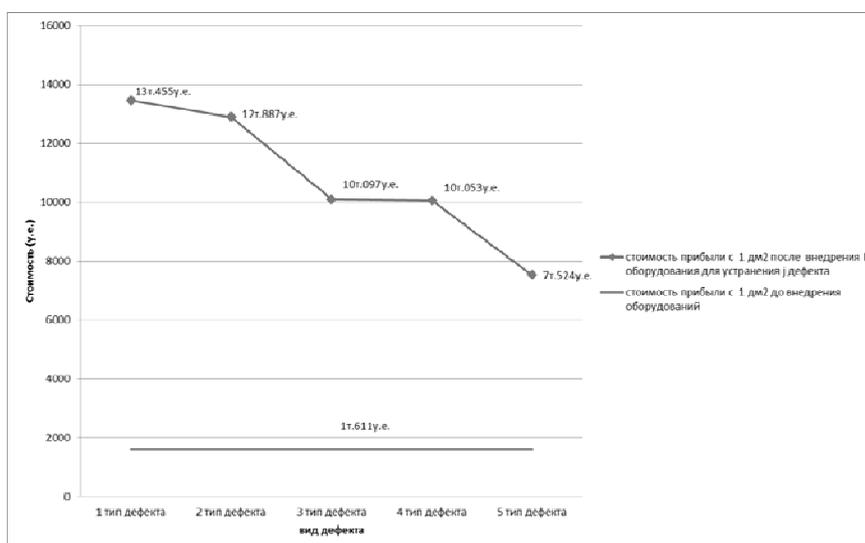
показатель

повышения  $C_{\text{платы после}}$   
 долговечности

$$C_{\text{приб. } i \text{ платы после}} = \left(1 + \frac{\bar{t}_i}{T_{\text{норм}}}\right) \left(C_{\text{платы } i \text{ до}} + \frac{C_{\text{затр. } i}}{N}\right) - \left(C_{\text{затр. } i \text{ платы до}} + \frac{C_{\text{затр. } i}}{N}\right) \quad (5)$$

где:  
 $C_{\text{затр. } i}$  – стоимость оборудования для устранения причин возникновения  $i$ -го типа дефектов;  
 $N$  – количество плат, планируемых для изготовления после покупки оборудования (до покупки следующего станка);  
 $T_{\text{норм}}$  – нормативный срок службы одной платы;  
 $\bar{t}_i$  – повышение среднего времени функционирования МПП после устранения причины возникновения  $i$ -го типа дефектов.

После расчета стоимости прибыли каждого типа дефекта получается следующий график (рис. 11).



**Рисунок 11 – Стоимость прибыли с 1 дм<sup>2</sup> до и после внедрения оборудования для устранения каждого из типов дефектов**

Из графика видно, что стоимость прибыли с 1 дм<sup>2</sup> до внедрения каждого оборудования составляет около 1611 у.е. Стоимость прибыли после устранения 1-го типа дефектов составляет 13 тыс.455 у.е., стоимость прибыли после устранения 2-го типа дефектов составляет 12 тыс. 887 у.е., стоимость прибыли после устранения 3-го типа дефектов составляет 10 тыс.097 у.е., стоимость прибыли после устранения 4-го типа дефектов составляет 10 тыс. 053 у.е., стоимость прибыли после устранения 5-го типа дефектов составляет 7 тыс. 524 у.е.

Анализ данных, представленных на рисунках 3...11, позволяет сделать следующие выводы.

При устранении 1-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 13,7%, доля брака снизится на 11%, стоимость прибыли с 1 дм<sup>2</sup> составит 13 тыс. 455 у.е.

При устранении 2-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 1,6%, доля брака снизится на 9,4%, стоимость прибыли с 1 дм<sup>2</sup> составит 12 тыс. 887 у.е.

При устранении 3-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 3,1%, доля брака снизится на 6,4%, стоимость прибыли с 1 дм<sup>2</sup> составит 10 тыс. 097 у.е.

При устранении 4-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 0,8%, доля брака снизится на 5,2%, стоимость прибыли с 1 дм<sup>2</sup> составит 10 тыс. 053 у.е.

При устранении 5-го типа дефектов показатель долговечности повысится на 1%, доля брака снизится на 4,2%, стоимость прибыли с 1 дм<sup>2</sup> составит 7 тыс. 524 у.е.

Таким образом, при запланированном объеме средств в сумме 3 млн.550 тыс. у.е., выделенных на год на техперевооружение, целесообразно приобрести оборудование для устранения причин возникновения 1-го и 3-го типов дефектов. В этом случае доля брака снизится на 20,4%, а показатель долговечности повы-

---

сится на 16,8%.

### **Заключение**

Результаты проведенных исследований показывают, что основными причинами отказов многослойных печатных плат, применяемых в бортовой телеметрической аппаратуре для РН и РБ, являются: обрыв гибкого кабеля, соединяющего печатные платы; замыкание контактных площадок; замыкание выводов; разрыв связи в переходном отверстии.

Разработана методика оценки фактической долговечности многослойных печатных плат бортовой РЭА для ракет-носителей и разгонных блоков, позволяющая оценивать сопоставление фактического срока службы каждой многослойной печатной платы с нормативным.

Получена оценка предельно возможного повышения надёжности (по показателю долговечность), получаемого в результате реализации отдельных мероприятий по совершенствованию технологических операций изготовления многослойных печатных плат бортовой РЭА телеметрических систем для ракет-носителей и разгонных блоков.

Для определения перспективных направлений совершенствования технологии изготовления многослойных печатных плат разработан математический аппарат, учитывающий оценку предельно возможного повышения показателя долговечности, соотношение затрат на совершенствование отдельных технологических операций (или приобретение необходимого оборудования) и увеличение относительной прибыли от реализации проведенных мероприятий по совершенствованию технологических операций.

Разработанный математический аппарат позволяет эффективно определять мероприятия для устранения причин возникновения дефектов многослойных печатных плат, возникающих при эксплуатации.

### *Литературы*

1. Скворцов, Р. В., Мороз, А. П. Математический аппарат по повышению долговечности многослойных печатных плат бортовой РЭА для ракет-носителей и разгонных блоков / Качество в производственных и социально-экономических системах: сборник научных трудов 3-й Международной научно-технической конференции (28-29 апреля 2015 года) // редкол.: Павлов Е. В. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск. – 2015. – 203с. – С. 148 – 153.
2. Скворцов, Р. В. Преимущества использования гибко-жесткой печатной платы в блоке радиоэлектронной аппаратуры. Научно-техническое издание. Материалы XIX научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Под редакцией В. В. Синявского // Сборник научных трудов РКК «Энергия» им. С. П. Королева. – Серия XII. – Выпуск 4. – Королев. – 2012. – 128 с. – С. 35-39.
3. Скворцов, Р. В. Методика оценки надежности и приоритетных направлений многослойной печатной платы радиоэлектронной аппаратуры. Материалы XXXIX научно-технической конференции молодых ученых и специалистов военных метрологов // ФГБУ «Главный научный метрологический центр» г. Мытищи. – 14 апреля 2014 г. – 236 с. – С. 158-162.

- 
4. Скворцов, Р. В. Методика оценки повышения надежности многослойной печатной платы за счет совершенствования технологического процесса ее изготовления. Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 150-летия со дня рождения В. И. Вернадского. Под ред. Старцевой Т. Е. // Королев: ФТА. – 2013. – 320 с. – С. 51-58.
  5. Отчёт «Надежность и качество измерительной аппаратуры, разработанной НПО ИТ и изготовленной серийными заводами в 1994-2014 г.» // С.3250 г. Королев ОАО «НПО ИТ».
  6. Журнал «Федеральное государственной унитарное предприятие научно-производственное объединение измерительной техники» // г. Королев. – 2008 г. – 49 с.

**Метод повышения чувствительности датчика электрического тока на кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$   $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  путем оптимального выбора его оптических компонентов**

**В.И. Смыслов**, к.т.н., Акционерное общество «Научно-производственное предприятие измерительной техники» (АО НПО ИТ),  
г. Королев, Московская область,

**А.Н. Демин**, инженер, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет леса (ФГБОУ ВПО МГУЛ),  
г. Мытищи, Московская область

*В настоящее время все более широкое применение находят волоконно-оптические датчики электрического тока на основе кристаллов типа  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  с чувствительным элементом однопроходного типа. Чувствительность таких датчиков к электрическому току определяется коэффициентом преобразования ЧЭ, который пропорционален углу Фарадея  $\varphi$ . Коэффициент преобразования при заданных интенсивности света на входе ЧЭ может быть определен с помощью матрицы Джонса. Критической с точки зрения обеспечения высоких эксплуатационных характеристик ВОДТ являются параметры поляризаторов чувствительного элемента. Для обеспечения высокой величины коэффициента преобразования целесообразно применять поляризаторы с коэффициентом экстинкции не менее  $10^2$ .*

Электрический ток, волоконно-оптический датчик тока, чувствительный элемент, передаточная функция.

**A method of increasing the sensitivity of the sensor of the electric current on the crystals  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$   $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  by optimal choice of optical components**

**V.I. Smyslov**, Joint stock company «Measurement tecknics institute»  
(JCD «NPO IT»), Korolev, Moscow region,

**A.N. Damin**, ingeneer, Federal state educational establishment of higher professional education Moscow state University of forest, Mytisch, Moscow region

*The conversion factor for a given light intensity at the input sensor can be defined by using the Jones matrix. Critical from the viewpoint of ensuring high performance VOGT are settings of the polarizers sensitive element. For high values of conversion factor it is advisable to use polarizers with an extinction coefficient of not less than  $10^2$ . Currently more and more widely used fiber-optic sensors of electric current on the basis of type crystals  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  and  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  with a sensitive element single-pass type. The sensitivity of such sensors to electrical current is determined by the conversion factor of the sensor cable, which is proportional to the angle of Faraday.*

---

Electricity, fiber-optic current sensor, the sensitive element, the transfer function.

Волоконно-оптические датчики электрического тока (ВОДТ) находят в настоящее время все более широкое применение благодаря целому ряду своих преимуществ (отсутствие электропитания чувствительного элемента (ЧЭ), дистанционность измерений, надежная гальваническая развязка, высокая чувствительность и быстродействие, малый вес и габариты и пр.) перед традиционными методами измерений и датчиками.

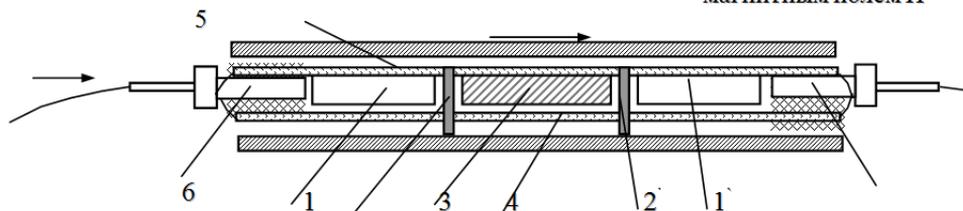
Весьма перспективными являются ВОДТ, в которых чувствительным элементом является включенный в тракт материал, обладающий магнитооптическими или электрооптическими свойствами [1]. В качестве таких материалов используются парамагнетики – кристаллы и пленки ферритов – гранатов, диамагнитные стекла и кристаллы со структурой силленита –  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  [2,3]. Кубическая структура этих кристаллов обуславливает изотропность диэлектрической проницаемости и, как следствие этого, отсутствие естественного линейного двулучепреломления. Отсутствие естественного линейного двулучепреломления, в свою очередь, снимает жесткие ограничения на апертуры световых пучков в кристаллах, что позволяет согласовывать чувствительные элементы с многомодовыми оптическими трактами с достаточно малыми потерями. Кроме этого, отсутствие естественного линейного двулучепреломления, которое весьма чувствительно к температуре, существенно упрощает задачу создания термостабильных чувствительных элементов ВОДТ [4]. Кристаллы  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  обладают значительной величиной константы Верде ( $V=0,1$  мин/Гс·см для  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  и  $V=0,188$  мин/Гс·см для  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ).

Из существующих оптических схем ЧЭ ВОДТ на активных кристаллах с кубической симметрией  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  (однопроходная схема, схема с отражением, многопроходная схема) предпочтительной является схема однопроходного типа, которая при относительной простоте реализации позволяет оптимизировать вышеуказанные свойства ВОДТ в сочетании с высокими метрологическими характеристиками.

В такой схеме поступающее по волокну на вход ЧЭ излучение коллимируется градиентной линзой (коллиматором), преобразуется в линейно-поляризованное с помощью входного поляризатора, проходит через кристалл  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  и далее, проходя через выходной поляризатор, с помощью градиентной линзы (второго коллиматора) вводится в выходное оптическое волокно, подключенное к входу фотоприемного устройства (ФПУ).

неполяризованное  
излучение с  
интенсивностью  $I_0$

излучение  
промодулированное  
магнитным полем  $H$



**Рисунок 1 – Схема чувствительного элемента однопроходного типа**  
**1 – коллиматоры; 2 – поляризатор; 3 – кристалл  $Bi_{12}GeO_{20}$ ; 4 – стеклянная оправа;**  
**5 – защитная кварцевая трубка; 6 – керамический наконечник волоконно-оптического коннектора**

Второй поляризатор, устанавливаемый после кристалла  $Bi_{12}GeO_{20}$  на его выходе, выполняет роль анализатора, позволяющего преобразовать поворот плоскости поляризации света в изменение амплитуды (или интенсивности) света на выходе ЧЭ. Угол между осями входного и выходного поляризаторов выбирается таким образом, чтобы получить максимальный коэффициент преобразования поляризационной модуляции на ФПУ. В отсутствии магнитного поля свет проходит через ЧЭ, не изменяя направления вектора поляризации, интенсивность света на входе ФПУ является постоянной и определяется углом между осями поляризаторов (при определенных углах (скрещенные поляризаторы), она может быть равна 0). При наложении на кристалл магнитного поля  $\vec{H}$ , направление поляризации света изменяется, что приводит к изменению интенсивности света на выходе ЧЭ. Таким образом, с помощью магнитного поля осуществляется модуляция света, проходящего через ЧЭ.

Чувствительность ВОДТ к электрическому току определяется коэффициентом преобразования ЧЭ, который пропорционален углу Фарадея  $\varphi$ . Коэффициент преобразования при заданных интенсивности света на входе ЧЭ определяется с помощью матрицы Джонса.

Матрица Джонса для среды, обладающей как линейным, так и круговым двулучепреломлением (эллиптической фазовой пластины в базисе осей линейного двулучепреломления), имеет вид [4,5]:

$$M = \begin{pmatrix} \cos(mL) + i \frac{\beta}{m} \sin(mL) & \frac{C}{m} \sin(mL) \\ -\frac{C}{m} \sin(mL) & \cos(mL) - i \frac{\beta}{m} \sin(mL) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $m = \sqrt{C^2 + \beta^2}$ ,  $C$  – коэффициент кругового двулучепреломления,  $\beta$  – коэффициент линейного двулучепреломления,  $L$  – длина кристалла.

Для кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  в магнитном поле суммарное круговое двулучепреломление складывается из собственного и наведенного полем (эффект Фарадея) двулучепреломлений:  $C = \Theta + F$ , где:  $\Theta$  - коэффициент собственного кругового двулучепреломления (оптической активности) в кристалле;  $F = V \cdot H$ ,  $V$  - константа Верде,  $H$  - проекция приложенного магнитного поля на направление распространения световой волны. В идеальных кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  собственное линейное двулучепреломление  $\beta$  отсутствует, так как кристалл имеет кубическую симметрию и является изотропным. На практике, вследствие несовершенства кристаллов, возникают внутренние напряжения и, как следствие этого, возникает линейное двулучепреломление. Однако для ограниченных длин оптического пути света в кристалле величина его мала по сравнению с величиной собственного кругового двулучепреломления  $\Theta$  [4,5], что позволяет упростить расчеты коэффициентов преобразования чувствительных элементов.

Так, для приведенной конструкции матрица Джонса принимает вид:

$$M = R(\alpha) \cdot P \cdot R(-\alpha) \cdot M_{BSO}, \quad (2)$$

где:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} - \text{матрица идеального линейного поляризатора};$$

$M_{BSO}$  - матрица кристалла;

$R(\alpha)$  - матрица поворота на угол  $\alpha$ ,  $\alpha$  - угол между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов.

Расчет состояния поляризации и интенсивности света на выходе такой системы с учетом особенностей схемы дает следующие значения для интенсивности света  $I$  на выходе:

$$I = I_0 \left[ \frac{1}{2} (1 + \cos(2\alpha + 2CL)) - \beta L \frac{\beta}{2C} \sin(2\alpha + 2CL) + \frac{\beta^2}{4C^2} [2 \cos(2\alpha) - \cos(2\alpha + 2CL) + \sin(2\alpha) \sin(2CL)] \right] \quad (3)$$

Для того, чтобы коэффициент преобразования и глубина модуляции магнитным полем были максимальными, необходимо выбрать значения  $L$  и  $\alpha$  так, чтобы величина  $\theta L + \alpha$  была близка к  $\pi/4$ .

В этом случае:

$$I = \frac{1}{2} I_0 \left[ 1 - 2FL \sin(2\alpha + 2L) + \cos(2\alpha + \Theta L) - \beta L \frac{\beta}{\Theta + F} \sin(2\alpha + 2CL) \right] \quad (4)$$

При получении выражения мы пренебрегли членами порядка  $\frac{\beta^2}{C^2}$ .

В приведенных расчетах мы считали, что поляризаторы являются «идеальными» т.е. имеют бесконечно большой коэффициент экстинкции. На практике такая ситуация обычно не достигается.

Оценим влияние неидеальности поляризаторов на коэффициент преобразования датчика. Для этого рассмотрим случай когда  $\theta_L + \alpha = \pi/4$  (коэффициент преобразования максимален), и не будем учитывать наличие в кристалле линейного двулучепреломления. Матрица поляризатора будет иметь вид:

$$P = \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & \varepsilon \end{pmatrix}$$

где  $E$  и  $\varepsilon$  коэффициенты пропускания по разрешенному и запрещенному направлениям поляризатора, соответственно,  $E_2 + \varepsilon_2 = 1$ ,  $\varepsilon \ll E_2$ . В таком случае вектор Максвелла для световой волны на выходе системы будет иметь вид:

$$\vec{A} = \hat{P}_{\pi/4} \cdot \hat{M}_{BSO} \cdot \begin{pmatrix} E_1 \\ \varepsilon_1 \end{pmatrix}$$

где:  $E_1$ ,  $\varepsilon_1$  – компоненты вектора Максвелла, полученные после прохождения света через входной поляризатор (для простоты будем считать интенсивность излучения источника  $I_0 = 1$ );

$$\hat{M}_{BSO} = \begin{pmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) \\ -\sin(\phi) & \cos(\phi) \end{pmatrix}$$

– матрица кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  (без учета линейного двулучепреломления),  $\phi = VHL$ .

$$\hat{P}_{\pi/4} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} E_2 + \varepsilon_2 & E_2 - \varepsilon_2 \\ E_2 - \varepsilon_2 & E_2 + \varepsilon_2 \end{pmatrix}$$

– матрица анализатора, развернутого на угол  $45^\circ$  относительно входного поляризатора,  $E_2$ ,  $\varepsilon_2$  – коэффициенты пропускания выходного поляризатора. Интенсивность излучения на выходе системы будет иметь вид:

$$I = \vec{A}^+ \vec{A} = \frac{1}{2} E_1^2 E_2^2 \left\{ \left( 1 + \frac{\varepsilon_1^2}{E_1^2} + \frac{\varepsilon_2^2}{E_2^2} \right) - \left( 1 - \frac{\varepsilon_1^2}{E_1^2} - \frac{\varepsilon_2^2}{E_2^2} \right) \sin(2\phi) \right\}$$

Запишем коэффициент преобразования датчика:

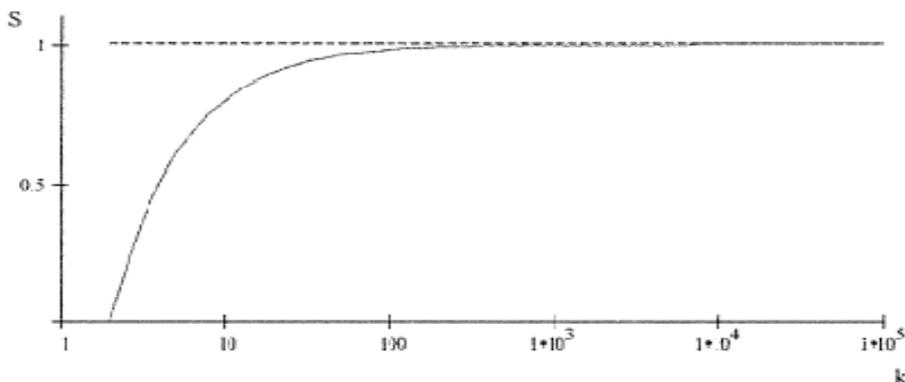
Полагая, что  $S = \left. \frac{dI(H)}{dH} \right|_{H=0} = E_1^2 E_2^2 \left( 1 - \frac{\varepsilon_1^2}{E_1^2} - \frac{\varepsilon_2^2}{E_2^2} \right) \cdot HL = k_1 \frac{E_2^2}{\varepsilon_2^2} = k_2$

можно записать:

$$S \cong \left( 1 - \frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right) \cdot HL$$

где  $k_1$ ,  $k_2$  – коэффициенты экстинкции входного и выходного поляризаторов, соответственно.

На рисунке 1 приведена зависимость нормированного коэффициента экстинкции поляризаторов (для простоты предполагалось, что  $k_1 = k_2$ , т.е. входной и выходной поляризаторы одинаковы).



**Рисунок 2 – Зависимость нормированного коэффициента преобразования чувствительного элемента от коэффициента экстинкции поляризаторов**

Как видно из графика, качество поляризаторов начинает сказываться, когда их коэффициенты экстинкции меньше, чем  $10^2$ . С уменьшением коэффициента экстинкции до 10 коэффициент преобразования уменьшается на 20%. Таким образом, для сохранения величины коэффициента преобразования целесообразно применять поляризаторы с коэффициентом экстинкции не менее  $10^2$ . Полученные аналитические зависимости получили подтверждение в результате проведенных затем экспериментальных исследований.

#### Выводы

1. Наиболее перспективным для создания бесконтактных датчиков электрического тока является использование эффекта Фарадея в магнитооптическом кристалле со структурой силленита ( $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ), расположенном в разрыве волоконно-оптического тракта. Их преимуществами являются высокое значение константы Верде, слабая зависимость от температуры, стабильность оптических свойств, малые габариты, доступность и технологичность.

2. Существующие и сформулированные в статье аналитические зависимости позволяют провести расчет передаточной характеристики таких ВОДТ.

3. Критической с точки зрения обеспечения высоких эксплуатационных характеристик ВОДТ являются параметры поляризаторов чувствительного элемента. Для обеспечения необходимой величины коэффициента преобразования целесообразно применять поляризаторы с коэффициентом экстинкции не менее  $10^2$ .

#### Литература

1. Бурков, В. Д., Иванов, Г. А. Научные основы создания устройств и систем волоконно-оптической техники / В. Д. Бурков, Г. А. Иванов // М.: Изд-во МГУЛ. – 2008. – 232 с.
2. Бурков, В. Д., Крапивин, В. Ф. Экоинформатика: Алгоритмы, методы и технологии / В. Д. Бурков, В. Ф. Крапивин // М.: Изд-во МГУЛ. – 2009. – 428 с.

- 
3. Кухта, А. В., Потапов, В. Т., Потапов, Т. В. Волоконно-оптический датчик магнитного поля и электрического тока с термостабильным чувствительным элементом на основе  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  / А. В. Кухта, В. Т. Потапов, Т. В. Потапов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. Вып. 294(II) // М.: Изд-во МГУЛ – 1998. – стр. 129 -138.
  4. Бурков, В. Д., Потапов, В. Т. Теория, расчет и проектирование волоконно-оптических приборов и систем: практикум / В. Д. Бурков, В. Т. Потапов // М.: Изд-во МГУЛ. – 2011. – 88 с.
  5. Бурков, В. Д и др. Лабораторный комплекс «Математическое моделирование чувствительного элемента волоконно-оптического датчика магнитного поля и электрического тока / В. Д. Бурков // М.: Свидетельство ОФАП об отраслевой регистрации разработки МГУЛ № 2561 от 17.06.2003.

**Перспектива развития среды передачи данных локальных сетей  
– кабели категории 7 (7a)**

**Ю.В. Стреналюк**, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры ИТУС,

**Р.А. Маржина**, магистр,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье проводится анализ материала по назначению, конструктивным особенностям и частотным характеристикам кабеля 7 категории.*

Кабель, категория 7, анализ, витая пара.

**The prospect of the development of communication media Ethernet  
– category cable 7 (7a)**

**Iy.V. Strenalyuk**, doctor of science, professor,  
Professor of the Department ITUS,

**R.A. Margina**, master,

State Educational Institution of Higher Education

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

*In the article the analysis of the material on the purpose, design features and frequency characteristics of the cable 7 categories.*

Cable, category 7, analysis, twisted pair.

Важнейшая задача телекоммуникационных кабельных сетей – повышение их пропускной способности и быстродействия. Согласно международным стандартам, применительно к структурированным кабельным сетям, это определяется их категорией (или классом) [1-3].

Чем выше категория кабельной линии, тем лучшие у нее электротехнические характеристики и предельная рабочая частота.

В таблице 1 представлены соответствия категорий в зависимости от предельной рабочей частоты

**Таблица 1 – Предельные частоты для различных категорий витых пар**

Категория витой пары	Предельная частота, МГц
Категория 3	16
Категория 5e	100
Категория 6	250
Категория 6A	500

Категория 7	600...700
Категория 7A	1000...1200

Рассмотрим и проанализируем кабели категории 7 более подробно.

Область применения кабеля весьма широка – это и локальные сети общего назначения; домашние сети; компьютерные сети; сети передачи данных; телефония; цифровое телевидение; системы видеонаблюдения (IP-камеры); системы охраны и контроля доступа; узкоспециализированные сети (торговое оборудование, складские сети, производственные сети с использованием нестандартного периферийного оборудования, такого как, станки, вариаторы, типографские машины) [4-7].

Внешний вид кабеля представлен на рисунке 1.

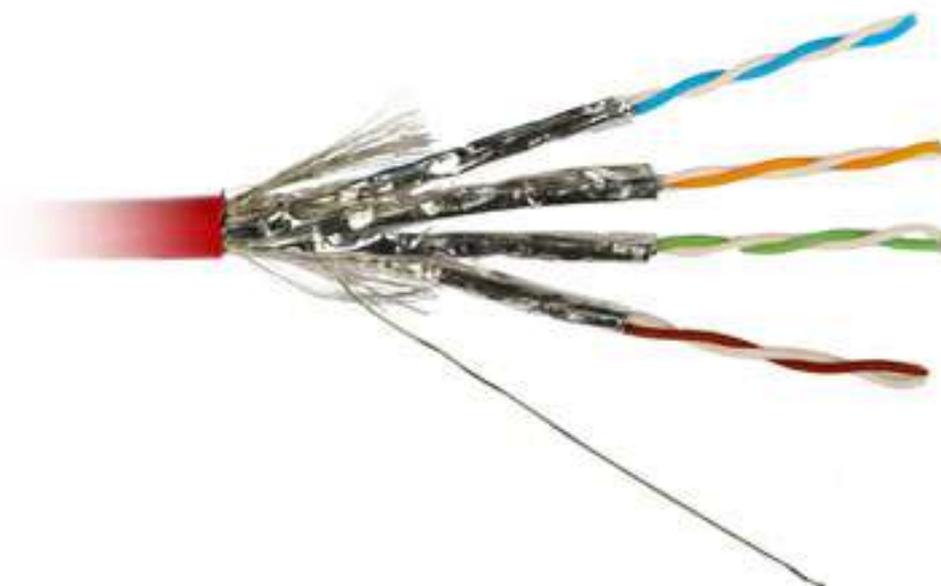
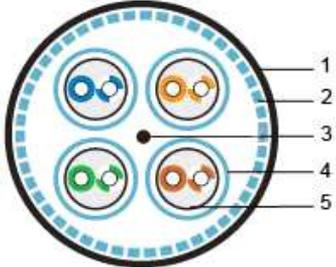
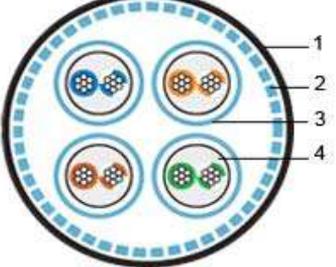


Рисунок 1 – Внешний вид кабеля витая пара категории 7

Конструктивные особенности кабеля приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Конструктивные особенности витой пары категории 7

<i>Одножильный (solid)</i>	<i>Многожильный (patch)</i>
<b>Описание</b>	
Экранированный медный кабель, 4 пары индивидуально экранированные алюминиевой фольгой. Общий экран: проволочная оплетка. Подходит для использования внутри помещения	
<b>Материал</b>	
<i>Проводящий материал:</i> проволока из мягкой отожженной электролитической меди <i>Изоляция жил:</i> пористый полиолефин <i>Внешняя оболочка:</i> малодымный безгалогенный компаунд (FR-LSZH)	<i>Проводник:</i> проволока из отожженной электролитической меди, многожильный <i>Изоляция жил:</i> полиолефин <i>Внешняя оболочка:</i> малодымный безгалогенный компаунд (FR-LSZH)

<p><i>Экран:</i> каждая пара индивидуально экранирована полиэфир-алюминиевой фольгой (фольга снаружи), обеспечивающей 100% покрытие витой пары</p> <p><i>Общий экран:</i> луженая медная оплетка, обеспечивающая 60% покрытие кабеля</p> <p><i>Дренажный провод:</i> луженая медь</p>	<p><i>Экран:</i> каждая пара индивидуально экранирована полиэфир-алюминиевой фольгой (фольга снаружи), обеспечивающей 100% покрытие.</p> <p><i>Общий экран:</i> луженая медная оплетка, обеспечивающая 51% покрытие кабеля</p>
<b>Технические характеристики</b>	
<p>Диаметр проводника с оболочкой: 1,34 мм          Диаметр проводника: 0,57 мм (23 AWG)          Внешний диаметр (размер) кабеля: 8,0 мм          Диаметр дренажного провода: 24 AWG          Минимальный радиус изгиба: 120 мм          Растягивающее усилие: не более 140 Н          Рабочая температура: -40°C – +70°C          Вес 1 км кабеля: 65 кг</p>	<p>Диаметр проводника: 0,48 мм (26 AWG)          Площадь сечения проводника: 0,142 мм<sup>2</sup>          Количество и диаметр жил: 7 x 0,16 мм          Диаметр проводника с оболочкой: 1,0 мм          Внешний диаметр (размер) кабеля: 6,5 мм          Рабочая температура: -20°C – +70°C          Вес 1 км кабеля: 45 кг</p>
<b>Пожарная безопасность</b>	
<p>Класс пожарной безопасности: СМ          Соответствует стандарту пожарной безопасности: UL 1581 VW-1, IEC 60332-1</p>	<p>Класс пожарной безопасности: СМ          Соответствует стандарту пожарной безопасности: IEC 332-1</p>
<b>Вид в разрезе</b>	
<p>1 Внешняя оболочка          2 Экран-сетка          3 Дренажный провод          4 Экран-фольга          5 Витая пара solid</p> 	<p>1 Внешняя оболочка          2 Экран-сетка          3 Экран-фольга          4 Витая пара patch</p> 

Пример электротехнических характеристик для кабеля приведен в таблице 3.

**Таблица 3 – Электротехнические характеристики витой пары категории 7**

Максимальное сопротивление проводника при температуре 20°C	80.0 Ом/км
Дисбаланс сопротивления	2% максимум
Сопротивление на частоте 1-600 МГц	100±15 Ом
Передаточное полное сопротивление на частоте 1-10 МГц	5 мОм/м max
Емкостной дисбаланс на частоте 1 КГц	1.2 пФ/м max
Максимальное напряжение	60 В RMS
Диэлектрическая прочность	700 В/1 мин
Сопротивление изоляции при температуре 20°C	152 МОм*км min
Скорость распространения	79-80%

Максимальная задержка распространения на частоте 1 МГц	5.3 нс/м
Максимальная задержка распространения на частоте 10 МГц	5.0 нс/м
Максимальная задержка распространения на частоте 100-600 МГц	5.0 нс/м
Максимальное отклонение задержки распротр. на частоте 1-600 Гц	16 нс/100м

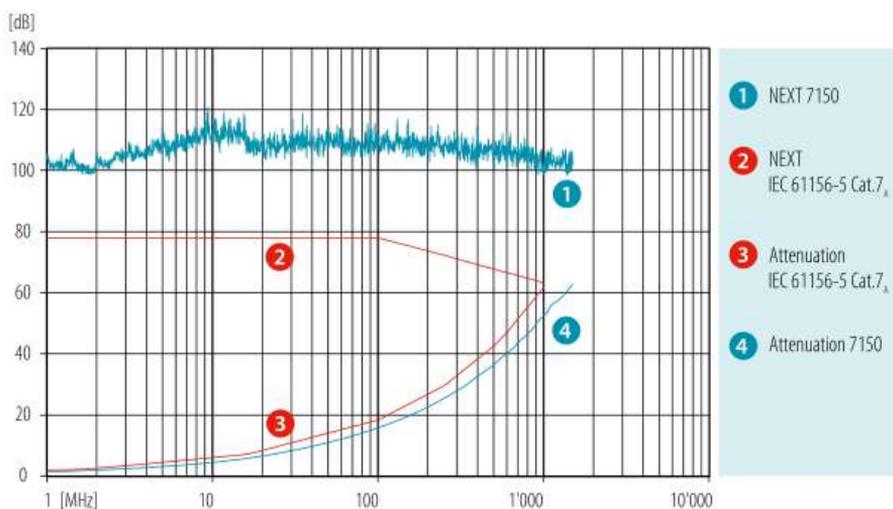
Наиболее перспективными являются кабели категории 7А, выпускаемые такими фирмами как DATWYLER 7150 4P S/FTP кат. 7А AWG22 1500MHz. Они успешно могут работать на частотах до 1500 МГц.

Рабочие характеристики таких кабелей представлены на рисунке 2.

Однако, стоимость такого кабеля довольно высока (см. табл. 4).

**Таблица 4 – Сравнительные цены кабеля различных категорий на сентябрь 2015г.**

Безгалогенные кабели	Цена	Относит-я цена
ParLan U/UTP Cat5e 4x2x0,52 ZH нг(А)-HF	18 160р.	0,34
ParLan F/UTP Cat5e 4x2x0,52 ZH нг(А)-HF	25 670р.	0,48
ParLan SF/UTP Cat5e 4x2x0,52 ZH нг(А)-HF	42 630р.	0,80
ParLan U/UTP Cat6 4x2x0,57 ZH нг(А)-HF	29 830р.	0,56
ParLan S/FTP Cat6A 4x2x0,57 PVC	41 030р.	0,77
ParLan S/FTP Cat6A 4x2x0,57 ZH нг(А)-HF	49 410р.	0,93
ParLan S/FTP Cat7 4x2x0,60 ZH нг(А)-HF*	53 360р.	1,00



**Рисунок 2 – Рабочие характеристики кабеля категории 7А**

Так, стоимость кабеля категории 5е (в зависимости от отсутствия или разных типов экрана, соответственно, U/UTP, F/UTP и SF/UTP) составляет 34/48/80% от стоимости кабеля категории 7. Интервал относительных стоимостей кабеля категории 6 составляет 56%, а 6А – 77-93%

Однако в настоящее время, при работе в области сверхвысоких скоростей, например в дата-центрах и/или серверных стойках, альтернативы таким ка-

---

белям просто нет.

*Литература*

1. Артюшенко, В. М. Сервис информационных систем в электротехнических комплексах / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова // Монография / под науч. ред. док. технич. наук, проф. В. М. Артюшенко, ФГОУВПО РГУТиС. – М., – 2010. – 98 с.
2. Артюшенко, В. М. Структурированные кабельные системы / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова // Учебное пособие / Под ред. д-ра техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // ГОУ ВПО «МГУС». – М., – 2005. – 150 с.
3. Артюшенко, В. М. Проектирование мультисервисных систем в условиях воздействия внешних электромагнитных помех / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова // Монография / под науч. ред. док. технич. наук, проф. В. М. Артюшенко // ФГОУ ВПО РГУТиС. – М., – 2011. – 110 с.
4. Стреналюк, Ю. В. Облачные вычисления в вузе / Ю. В. Стреналюк, В. М. Артюшенко, Е. Д. Федотова // Информационно-технологический вестник. – 2014. – №2(02). – С. 107–124.
5. Стреналюк, Ю. В. Интеграционные процессы в банковских информационных системах – облачные технологии / Ю. В. Стреналюк, И. Г. Орехова // Сборник трудов конференции. – Королев: ФТА. – 2014. – 12 с.
6. Аббасова, Т. С. Обеспечение эффективного функционирования систем управления кабельной инфраструктурой / Т. С. Аббасова, Ю. В. Стреналюк, Н. А. Васильев // В сборнике: исследования в области теоретических основ информатики и системного анализа / Под научной редакцией д.т.н., проф. В. М. Артюшенко // Королев. – 2014. – С. 5-24.
7. Стреналюк, Ю. В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / О. А. Копылов, Ю. В. Стреналюк, Е. Д. Штрафина // Королев: ФТА. – 318 с.
8. Артюшенко, В. М. Информационные технологии и управляющие системы: монография / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Ю. В. Стреналюк, В. И. Привалов, В. И. Воловач, Е. П. Шевченко, В.М. Зимин, Е.С. Харламова, А.Э. Аббасов, Б.А. Кучеров /под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // М.: Издательство «Научный консультант». – 2015. – 185 с.

## **Градуировка дозаторов ВДУ-65, 80 на воде с использованием метода гидродинамического подобия**

**В.А. Чернышев**, начальник сектора,  
АО «Научно-производственное объединение измерительной техники»,  
г. Королев, Московская область

*Рассматривается проблема градуировки вихревых дозаторов ВДУ-65, 80, применяемых при заправке ракет-носителей и разгонных блоков компонентами ракетных топлив (КРТ) типа амил и гептил. Предлагается проводить градуировку на водяном расходомерном стенде в диапазонах расходов и температур, рассчитанных исходя из принципа гидродинамического подобия. Дозатор гептила предполагается градуировать при комнатной температуре воды, дозатор амила – на подогретой воде (при пониженной вязкости). Определены требования, предъявляемые к расходомерному стенду для проведения градуировки дозаторов.*

Число Струхала, число Рейнольдса, вихревой дозатор, градуировочная характеристика, принцип гидродинамического подобия.

## **Calibration of the dispensers HDE-65, 80 on the water using the method of hydrodynamic similarity**

**V.A. Chernyshev**, head of sector,  
Joint Stock Company «Scientific production association of measuring equipment»,  
Korolev, Moscow region

*Concerning the problem of calibrating of the vortex dispensers HDE-65, 80, which used when refueling rockets and boosters by the components of rocket fuel (CRF) such as amyl and heptyl. Calibration characteristics of dispenser is a relationship between the Strouhal number and the Reynolds number. It is proposed to carry out on the water flowmetering stand in the range of flow and temperature, calculated on the basis of the principle of hydrodynamic similarity. Dispenser of heptyl assumed to calibrate at room temperature, dispenser of amyl – on heated water (at low viscosity). The requirements imposed on the flowmetering stand, using for calibrating.*

Strouhal number, Reynolds number, swirl dispenser, calibration characteristic, principle of hydrodynamic similarity.

В настоящее время производится постепенная замена находящихся в эксплуатации около 40 лет, разработанных еще в СССР в СКБ «Нефтехимприбор» (Баку) дозаторов КРТ Омега 2, 3 [1] на современные высокоточные дозаторы вихревого типа ВДУ-65, 80 (ВДУ), поставляемые АО «НПО ИТ». Дозаторы ВДУ и Омега имеют идентичные габаритно-установочные размеры и схемы подклю-

чения, что позволяет осуществлять замену без доработки агрегатов заправки. Характеристики дозаторов приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Характеристики дозаторов Омега-2, 3 и ВДУ-65, 80**

Характеристика	Численное значение			
	Омега-2	Омега-3	ВДУ-65	ВДУ-80
Диаметр рабочего трубопровода, мм	65	80	65	80
Рабочий диапазон расходов, м <sup>3</sup> /ч	11,3-15,9-15,9-22,4	18,5-25,7-25,7-35,6	3,5...24	8,0...40
Задаваемая доза, т	2-1000	4-1000	0,5-1000	
Погрешность измерения массы дозы, %	±0,3		±0,2	
Дискретность задания дозы, кг	1,0			
Диапазон температур КРТ, оС	0...20		минус 3.....20	
Назначенный срок службы, лет	10		15	
Вероятность безотказной работы	0,985		0,9995	
Назначенный ресурс, ч	5000		6000	
Число измерительных каналов	2			
Количество блоков вторичной электроники, шт.	3		1	
Возможность архивирования данных	отсутствует		имеется	
Количество встроенных микроконтроллеров, шт.	-		5	

В комплект дозаторов Омега и ВДУ каждого типоразмера входят два идентичных преобразователя расхода и температуры (ПРТ) – отдельно для амила и гептила. Ранее ПРТ дозаторов Омега при выпуске из производства градуировались непосредственно на КРТ на двух специально созданных для этого стендах, гидравлические схемы которых в основном повторяли схемы агрегатов заправки. В настоящее время стенд гептила находится в неработоспособном состоянии, а градуировка на стенде амила возможна только в указанных в таблице 1 для дозаторов Омега поддиапазонах (определяемых производительностью насосов и особенностями стендовой системы регулирования). Таким образом, градуировка дозаторов ВДУ на КРТ в полных рабочих диапазонах расходов в настоящее время невозможна. Наша задача – показать возможность проведения градуировки ПРТ гептила и амила дозатора ВДУ на воде, что позволило бы решить проблему градуировки и получить при этом значительную экономию.

Рассмотрим алгоритм измерений ВДУ, реализуемый в ПРТ. ПРТ представляет собой двухканальный вихревой счетчик массы КРТ, содержащий измерительный патрубок (ИП) с установленным в нем генератором вихрей - телом обтекания (ТО) трапецидального сечения, рисунок 1. Непосредственно за ТО расположены друг против друга два детектора вихрей (ДВ) типа «лопасть в потоке» с оптическим датчиком, далее вниз по потоку – два термодатчика. При на-

личии расхода в потоке за ТО формируется регулярная последовательности вихрей (вихревая дорожка Кармана). Каждый переносимый потоком вихрь регистрируется с помощью ДВ в виде одиночного электрического импульса. Частота следования этих импульсов  $f$  пропорциональна скорости обтекания потоком ТО в самом узком сечении потока  $V_T$ :

$$f = \frac{Sh \cdot V_T}{d}, \quad (1)$$

где  $Sh$  – безразмерное число Струхалия,  $d$  – характерный размер (фронтальная ширина) ТО.

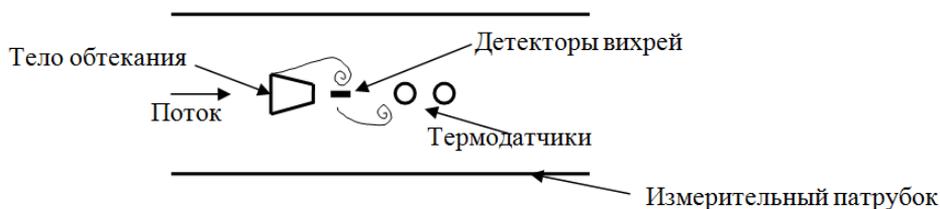


Рисунок 1 – Схема проточной части преобразователя расхода и температуры

Скорость  $V_T$  связана со средней скоростью потока  $V$  на входе в ИП соотношением:

$$V_T = \frac{V}{1 - \frac{4}{\pi} \beta}, \quad (2)$$

где  $\beta = d / D$ ,  $D$  – внутренний диаметр ИП.

Одновременно с помощью термодатчика измеряется температура КРТ  $\theta$ , по которой вычисляется кинематическая вязкость КРТ  $\nu$  по обобщенной формуле:

$$\nu = \chi \cdot e^{\frac{\gamma}{273+\theta}} \quad (3)$$

и плотность КРТ  $\rho$  – по обобщенной формуле:

$$\rho = \eta + \mu \cdot \theta + \lambda \cdot \theta^2 \quad (4)$$

Далее вычисляется объем КРТ  $\Delta W$ , приходящийся на один импульс ДВ, по формуле:

$$\Delta W = \frac{K}{Sh}, \quad (5)$$

где  $K$  – геометрический коэффициент ПРТ:

$$K = D^3 \cdot \left(1 - \frac{4}{\pi} \beta\right) \cdot \beta, \quad (6)$$

Согласно [2] число  $Sh$  зависит только от числа Рейнольдса  $Re$  потока:

$$\mathbf{Sh} = \frac{f \cdot d}{V_T} = F(\mathbf{Re}), \quad (7)$$

В свою очередь, число Рейнольдса  $\mathbf{Re}$  для ТО с размером  $d$  равно:

$$\mathbf{Re} = \frac{d \cdot V_T}{\nu} = \frac{d \cdot Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \left(1 - \frac{4}{\pi} \beta\right) \cdot \nu} = \frac{d \cdot Q}{S \cdot \nu}, \quad (8)$$

где  $Q$  – объемный расход,  $\nu$  – кинематическая вязкость КРТ,  $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \left(1 - \frac{4}{\pi} \beta\right)$  – площадь сечения потока в самом узком месте ИП.

Далее вычисляется масса КРТ  $\Delta M$ , приходящаяся на один импульс ДВ, по формуле:

$$\Delta M = \Delta W \cdot \rho = \frac{K \cdot \rho}{\mathbf{Sh}} \quad (9)$$

и определяется текущее значение массы  $M$  прошедшего через ПМР КРТ путем суммирования  $\Delta M$  нарастающим итогом в соответствии с выражением [3]:

$$M = \sum_{i=1}^N \Delta M_i = \sum_{i=1}^N \frac{K \cdot \rho(\theta_i)}{\mathbf{Sh}\{\mathbf{Re}[Q_i, \nu(\theta_i)]\}} \approx \frac{K \cdot \rho \cdot N}{\mathbf{Sh}}, \quad (10)$$

где  $N$  – число импульсов, зарегистрированных за время дозирования,  $i$  – порядковый номер импульса,  $Q_i$  и  $\theta_i$  – текущие значения расхода и температуры.

Суммирование заканчивается, когда через ПРТ пройдет запрограммированное количество КРТ (доза).

Из (10) следует, что ГХ вихревого дозатора имеет вид:

$$N = \left(\frac{\mathbf{Sh}}{K \cdot \rho}\right) \cdot M, \quad (11)$$

т.е. фактически ГХ ВДУ является зависимость  $\mathbf{Sh} = F(\mathbf{Re})$ , определенная во всем диапазоне возможных значений  $\mathbf{Re}$  (см. табл. 3). При величине погрешности дозатора  $\pm 0,2\%$  погрешность определения зависимости  $\mathbf{Sh} = F(\mathbf{Re})$  должна составлять не более  $\pm(0,03-0,05)\%$ .

Обоснуем возможность определения ГХ дозаторов ВДУ-65, 80 на воде. Согласно теории гидродинамического подобия течения вязкой несжимаемой жидкости являются подобными, если они характеризуются одинаковыми значениями  $\mathbf{Re}$  [2] и, соответственно, одинаковыми значениями  $\mathbf{Sh}$ . Таким образом, вода может использоваться при испытаниях ВДУ в качестве жидкости-имитатора КРТ, если диапазон значений числа Рейнольдса, рассчитанный для заданных максимальных и минимальных значений расходов и температур КРТ, находится внутри диапазона значений числа Рейнольдса, рассчитанного для допускаемых значений скорости и температуры воды. Допускаемые значения скорости потока для вихревого счетчика составляют от 0,3 до 9 м/с, а допускаемые значения температуры – от 0 до 50°C (максимальная рабочая температура размещенной в ПРТ вторичной электроники). Рассчитаем значения  $\mathbf{Re}$  для параметров ВДУ, приве-

денных в таблице 1. Необходимые для расчета дополнительные данные приведены в таблице 2. Кроме того, необходимо учесть, что ВДУ нормально функционирует в диапазоне скоростей потока от 0,3 до 9 м/с.

**Таблица 2 – Дополнительные данные для расчета параметров ВДУ**

Параметр	Обозн.	Ед. изм.	Значение (зависимость)	
			ВДУ-65	ВДУ-80
Внутренний диаметр ИУ	D	м	0,04	0,05
Ширина тела обтекания	h	м	0,0112	0,014
Геометрический коэффициент	K	м <sup>3</sup>	1,153·10 <sup>-5</sup>	2,252·10 <sup>-5</sup>
Отношение d/D	β	-	0,28	
Кинематическая вязкость амила	ν <sub>О</sub>	м <sup>2</sup> /с	$\nu_O = 0,023442 \cdot e^{\frac{749,8}{273+\theta}} \cdot 10^{-6}$	
Кинематическая вязкость гептила	ν <sub>Г</sub>	м <sup>2</sup> /с	$\nu_G = 0,012397 \cdot 10^{\frac{1175}{273+\theta}} \cdot 10^{-6}$	
Кинематическая вязкость воды*	ν <sub>В</sub>	м <sup>2</sup> /с	$\nu_B = 0,0010693 \cdot e^{\frac{2007}{273+\theta}} \cdot 10^{-6}$	
* – зависимость вязкости воды от температуры построена путем аппроксимации данных, приведенных в [4]				

В таблице 3 приведены рассчитанные по формуле (8) минимальные и максимальные значения числа Рейнольдса для рабочих продуктов, а также значения расхода воды, обеспечивающие соблюдение принципа подобия. Расчет скорости потока и расхода воды проводился для температур 20°C и 50°C. Средняя скорость потока вычислялась по формуле  $V = Q / (\pi D^2 / 4)$ .

**Таблица 3 – Максимальные и минимальные значения числа Рейнольдса**

Рабочая жидкость	Расход, Q, м <sup>3</sup> /ч		Средняя скорость потока в ИП, V, м/с		Кинематическая вязкость, ν·10 <sup>6</sup> , м <sup>2</sup> /с		Число Рейнольдса Re ·10 <sup>-5</sup>	
	min	max	min	max	min	max	min	max
ВДУ-65								
Амил	3,5	24	0,77	5,31	0,303	0,377	1,276	11,034
Вода как имитатор амила	4,96	33,8	1,10	7,49	0,5340*			
Гептил	3,5	24	0,77	5,31	0,683	0,961	0,500	4,833
Вода как имитатор гептила	2,93	28,3	0,65	6,26	0,8047**			
ВДУ-80								
Амил	8	40	1,13	5,66	0,303	0,377	2,331	10,889

Вода как имитатор амила	11,3	52,9	1,60	7,48	0,5340*			
Гептил	8	40	1,13	5,66	0,683	0,961		
Вода как имитатор гептила	6,73	47,1	0,95	6,67	0,8047**		0,914	6,438

\* – вязкость воды при температуре 50°C, \*\* – вязкость воды при температуре 20°C.

Из таблицы 3 следует, что вода может использоваться в качестве жидкости-имитатора как гептила, так и амила, т. к. суммарному диапазону значений  $Re$  соответствуют скорости потока воды, которые лежат внутри диапазона допустимых скоростей (0,3...9) м/с. При этом испытания на гептиле могут проводиться при комнатной температуре, составляющей на расходомерном стенде ~ (20...30)°C. Для имитации работы ВДУ на амиле необходимо использовать воду, подогретую до ~ 50 °C: при этой температуре вязкость воды уменьшается в 1,5 раза. Расчетные значения скорости потока при этом также находятся в пределах диапазона (0,3...9) м/с.

Замечание. При проведении испытаний в диапазоне от 20 до 50 °C необходимо вводить поправку на линейное расширение ИП, которое влияет на величину геометрического коэффициента  $K$ , см. (6). Если  $K$  – его значение при градуировочной температуре  $\theta_0$  (например, 20 °C), то при температуре  $\theta$  коэффициент равен:

$$K_{\theta} = K [1 + 3\alpha(\theta - \theta_0)] \quad (11)$$

Вносимая при этом систематическая погрешность равна  $3\alpha(\theta - \theta_0)$ . Подставляя  $(\theta - \theta_0)=30^{\circ}\text{C}$  и  $\alpha=16,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$  (см. [5]), получаем 0,15 %, что сопоставимо с погрешностью ВДУ.

Рассмотрим возможную технологию экспериментального определения зависимости  $Sh = F(Re)$ . Эксперимент состоит в воспроизведении некоторого числа значений  $Re$  из заданного диапазона и определении соответствующих им значений  $Sh$ . Из (8) следует, что установить определенное значения  $Re$  может путем изменения как расхода  $Q$ , так и температуры воды  $\theta$ . Формулу для вычисления  $Re$  получаем из (8):

$$Re = \frac{d \cdot Q}{S \cdot v(\theta)} = \frac{d \cdot W}{S \cdot v(\theta) \cdot T} = \frac{d}{S \cdot v(\theta) \cdot T} \left[ \frac{M}{\rho(\theta)} \right], \quad (12)$$

где  $T$  – время слива дозы.

Формулу для вычисления  $Sh$  получаем из (9):

$$Sh = \frac{N \cdot K}{\left[ M / \rho(\theta) \right]} = \frac{N \cdot K}{W}, \quad (13)$$

где  $W=M/\rho$  – объем дозы.

Согласно (12), (13) для вычисления значений  $Sh$  и  $Re$  используются величины, допускающие прямое измерение с высокой точностью: масса  $M$  или объем  $W$  дозы, температура воды  $\theta$ , количество выходных импульсов  $N$ , время слива

---

дозы на весы  $T$ , а также плотность  $\rho$  и вязкость  $\nu$ , вычисляемые на основании точных данных об их зависимости от температуры.

Из (12) и (13) следует, что дозатор может градуироваться как массовым, так и объемным методом, причем объемный метод, вообще говоря, является предпочтительным, поскольку в этом случае отсутствует операция деления массы на плотность, являющаяся источником дополнительной погрешности. Объемную градуировку можно провести на расходомерном стенде (РС), оборудованном трубопоршневой установкой (прувером), которая имеет погрешность  $\pm 0,05\%$  [6]. Применение образцовых мерников нецелесообразно, т.к. не позволяет автоматизировать процесс градуировки (снятие характеристики  $Sh = F(Re)$  требует большого числа измерений). Недостатком прuverа является его небольшой объем: так, прuver на расходы до  $114 \text{ м}^3/\text{ч}$  имеет объем  $18,9 \text{ л}$  [6], в то время как нижний предел измерений ВДУ составляет  $500 \text{ кг}$ . Между тем известно [7], что поскольку частота вихреобразования подвержена случайным колебаниям относительно среднего значения, для достижения заданной точности необходимо накопить определенное количество импульсов детектора вихрей. Соответствующий ему объем протекшей жидкости заведомо больше объема прuverа. В связи с этим градуировка дозатора весовым методом является, на наш взгляд, предпочтительной.

Градуировка массовым методом должна проводиться на РС циркуляционного типа, имеющем прецизионное весоизмерительное устройство (ВУ) с баком для слива дозы, систему настройки и стабилизации расхода, быстродействующее устройство переключения потока, водоподогреватель, систему настройки и стабилизации температуры. В качестве силоизмерителей ВУ обычно используются прецизионные тензодатчики, погрешность лучших из которых составляет  $\pm 0,012\%$  и менее [8]. Преимуществом ВУ перед прuverом является более низкая стоимость, более высокая точность измерения основной измеряемой величины – массы дозы, возможность однократного слива большего количества воды, простота поверки с помощью аттестованных гирь. Кроме того, за счет сужения диапазона измерений ВУ можно уменьшить его погрешность до  $\pm(0,015...0,02)\%$ . Основным недостатком РС с ВУ – значительные затраты времени на градуировку, поскольку к времени слива дозы добавляется время успокоения ВУ перед взвешиваниями пустого бака и полного бака, а также время откачки воды из бака.

На рисунке 2 приведен внешний вид вновь введенного в эксплуатацию в АО «НПО ИТ» РС УПСЖМ300 [9], оборудованного системой нагрева рабочей жидкости (предприятие-изготовитель – ООО «ПФ «Гидродинамика», г. Киров). В состав системы нагрева входит проточный резервуар с набором электронагревателей суммарной мощностью  $30 \text{ кВт}$ , входной и выходной трубопроводы которого сварены в стенку накопительной емкости. Циркуляционный насос непрерывно забирает воду из накопительной емкости и прокачивает нагретую воду через резервуар с нагревателями до получения необходимой температуры. Дальше температура поддерживается на заданном уровне системой автоматики РС. Основные характеристики РС УПСЖМ300 приведены в таблице 4.



Рисунок 2 – Расходомерный стенд УПСЖМ300

Таблица 4 – Основные характеристики стенда УПСЖМ300

Характеристика	Значение характеристики
Условный диаметр испытуемого преобразователя расхода, мм	от 15 до 100
Минимальный воспроизводимый расход, м <sup>3</sup> /ч (т/ч)	0,4
Максимальный воспроизводимый расход, м <sup>3</sup> /ч (т/ч)	300
Максимальная температура рабочей жидкости, °С	60
Пределы взвешивания, кг	от 100 до 1500
Пределы допускаемой основной относительной погрешности при измерении объема или массы, %	± 0,045
Пределы допускаемой относительной погрешности в диапазоне измерения массы от 950 до 1050 кг, %	± 0,02
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры воды на выходе испытуемого преобразователя расхода, °С	± 0,1
Пределы допускаемой приведенной погрешности канала измерения давления на входе и выходе испытуемого преобразователя расхода, %	± 0,5
Нестабильность воспроизведения расхода, %, не более	± 0,2
Погрешность автоматической настройки на заданный расход при плавном (дискретном) регулировании величины расхода, %, не более	± 2 (-)
Время нагрева воды на 10 °С, ч	2,5
Погрешность поддержания температуры воды в режиме нагрева, °С	± 2

На рисунке 3 приведена зависимость  $Sh = F(Re)$ , полученная при градуировке ПРТ дозатора ВДУ-65. Требуемый диапазон  $Re$  был разбит на 17 сечений, в каждом из которых осуществлялся 5-кратный слив воды на весы с определением массы дозы  $M$ , времени слива  $T$ , числа выходных импульсов  $N$  за время слива, а также средней температуры воды  $\theta$ . Значения  $Sh$  и  $Re$  вычислялись как средние в сечении. Градуировка проводилась в два этапа: вначале осуществлялось определение зависимости  $Sh = F(Re)$  при комнатной температуре в полном доступном диапазоне расходов (при скоростях до 9 м/с), затем вода нагревалась до 50°C и снималась оставшаяся часть зависимости вплоть до максимального значения  $Re$ .



Рисунок 3 – Зависимость  $Sh = F(Re)$

#### Выводы

1 Вода может быть использована в качестве жидкости-имитатора компонентов ракетного топлива при градуировке высокоточных дозирующих установок типа ВДУ.

2 Градуировка массовым методом должна проводиться на расходомерном стенде циркуляционного типа, имеющем прецизионное весоизмерительное устройство с баком для слива дозы, систему настройки и стабилизации расхода, быстроедействующее устройство переключения потока, водоподогреватель, систему настройки и стабилизации температуры. Масса воды, однократно сливаемой в бак весового устройства, должна превышать нижний предел измерений ВДУ. Система измерений расходомерного стенда должна обеспечивать:

- стабильность расхода и температуры в течение слива дозы;
- измерение с требуемой точностью следующих величин: массы дозы, времени слива дозы, средней за время слива температуры воды, количества импульсов за время слива.

3 Градуировка ВДУ на воде как имитаторе гептила проводится при комнатной температуре в рабочем диапазоне расходов.

4 Градуировка ВДУ на воде как имитаторе амила должна проводиться в

---

диапазоне температур от комнатной до  $\sim 50^{\circ}\text{C}$  при максимальном расходе, превышающем максимальный рабочий расход ВДУ в  $\sim 1,5$  раза.

5 Для обеспечения возможности градуировки на воде верхний предел измерений преобразователя расхода амила (соответствующий скорости 9 м/с) должен в (1,5...2) раза превышать верхний предел рабочего диапазона расходов.

6 При обработке экспериментальных данных, полученных на горячей воде, необходимо вводить поправку на линейное расширение корпуса преобразователя расхода.

#### *Литература*

1. Киясбейли, А. Ш., Перельштейн, М. Е. Вихревые измерительные приборы / А. Ш. Киясбейли, М. Е. Перельштейн // Машиностроение. – 1978.
2. Седов, Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов // Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука». – 1967 г.
3. Чернышев, В. А., Горбаткин, Ю. Б., Дерденков, Е. А., Михайлов, С. Л. // Вихревой способ измерения объема протекшего вещества. Патент РФ № 2515129. БИ №13, 2014.
4. ГСССД, Плотность, энтальпия и вязкость воды, М.: Изд-во ВНИИЦ СП В. – 1993.
5. ГОСТ 5949-75. Сталь сортовая и калиброванная коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия.
6. Установки поверочные SINCROTRAK (CALIBRON) серии S и O. Описание типа средства измерений. Госреестр, №44420-10.
7. Bentley, J. P., Nichols, A. R., Advantages of and developments in dual bluff-body vortex flowmeters // Trans Inst MC. – Vol. 12. – № 4. – 1990.
8. Датчики силоизмерительные тензорезисторные Shear Beam. Описание типа средства измерений. Госреестр, №58367-14.
9. Установки поверочные автоматизированные УПСЖМ. Описание типа средства измерений. Госреестр, №53855-13.

## **Моделирование систем автоматического управления в среде multisim**

**Е.Д. Штрафина**, доцент,

**Г.А. Стрельцова**, к.т.н., доцент,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

*В статье представлены основные алгоритмы управления техническими объектами, входящими в группу Advanced Peripherals среды Multisim, и пример их реализации на основе релейно-переключательных схем РКС. Разработка таких проектов позволяет сформировать знания, умения и навыки проектно-исследовательской деятельности бакалаврам технического направления первых лет обучения.*

Технический объект, моделирование виртуальной цепи лаборатории, схема переключения реле.

## **Modeling of automatic control systems in the multisim environment**

**E.D. Stravina**, docent,

**G.A. Streltsova**, Ph.D.,

State Educational Institution of Higher Education

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

*The article presents the main algorithms of management of technical objects belonging to the group of Advanced Peripherals Multisim environment, and their implementation based on relay-switching circuits CSW. The development of such projects allows you to build knowledge, skills and abilities research and project activities technical bachelors-th directions of the first years of teaching.*

Technical object, virtual lab circuit simulation, relay switching scheme.

В конце прошлого века на рынок информационных технологий поступил компьютерный продукт, названный Electronics Workbench (дословно переводимый, как рабочий стол электронщика), позволяющий обеспечить выполнение основных функций проектировщика в процессе им разработки разнообразных электронных устройств. Данная среда проектирования являлась стандартным набором инструментальных средств Electronic Design Automation EDA (Проектная Автоматизация Электроники), имела дружественный интуитивный интерфейс, простой мощный графический редактор электрических схем, отличную интеграцию с системой Windows. Основной особенностью продукта как полноценной системы автоматизации проектирования электроники следует указать

---

возможность моделирования разрабатываемого устройства и исследования его работы до того, как оно будет воплощено в реальный физический макет.

В течение последующих десятилетий успешно разрабатывались и развивались похожие программные продукты, которые в настоящее время получили название виртуальных лабораторий схемотехнического моделирования. Из них можно указать в качестве примеров MicroCap (разработка фирмы Spectrum Software), DesinLab (интегрированный пакет корпорации MicroSim), SystemView (программа фирмы Elanix), CircuitMaker (фирмы MicroCode Engineering), LabView (разработчик National Instruments) и другие. Однако в данной статье нами рассматриваются некоторые дополнительные возможности программного пакета фирмы Electronics Workbench – Multisim.

Кроме обеспечения схемотехнических решений данная среда позволяет без привлечения внешних компонентов создавать проекты систем автоматического управления встроенных в среду технических объектов. Объекты находятся в группе Advanced Peripherals (Периферия). В базовых версиях Multisim имеется следующий список объектов:

1. Светофор одного направления TRAFFIC\_LIGHT\_SNOLE
2. Светофор TRAFFIC\_LIGHT
3. Резервуар HOLDING\_TANK
4. Ленточный конвейер CONVEYOR\_BELT

В некоторых справочных источниках по Multisim (например, в [1]) представлены алгоритмы работы данных объектов.

Например, для объекта TRAFFIC\_LIGHT\_SNOLE алгоритм работы логического устройства светофора следующий:

1. Запуск процесса производится нажатием некоторой клавишей, которая активизируется ключом с фиксацией.
2. Включается зелёный свет в светофоре на период времени  $t_1$ .
3. После выключения зеленого на период  $t_2$  включается жёлтый свет.
4. Затем жёлтый свет меняется красным на период  $t_3$ .
5. После выключения красного света включается желтый, при этом период его включения также обычно равен  $t_2$ .
6. Цикл повторяется, пока процесс моделирования не будет остановлен или прерван соответствующей клавишей, которой активизируется ключом без фиксации.

Для объекта TRAFFIC\_LIGHT алгоритм работы логического устройства аналогичен предыдущему, при этом добавляется переход на правую и левую сторону направления движения.

Алгоритм работы логического устройства, управляющего наполнением жидкости в резервуар HOLDING\_TANK последующем ее сливом представлен последовательностью:

1. Нажатием клавиши, отображающей ключ временного запуска, резервуар начинает заполняться жидкостью с помощью насоса PUMPCNTR1 из емкости при открытой заглушке FLOW на трубопроводе.
2. Как только уровень жидкости достигнет заданной уставки SP, накачка жидкости в резервуар прекратится: насос PUMPCNTR1 перестает работать, заглушка FLOW закрывается.
3. Затем после заданной временной задержки  $t$ , жидкость начинает выли-

---

ваться через открытую заглушку FLOW, закачиваясь насосом PUMPCNTR1 обратно в емкость.

4. Движение жидкости после опустошения резервуара прекращается.

Для исследования системы управления работой резервуара обычно организуется цикл с помощью автоматического нажатия клавиши временного запуска.

Алгоритм работы логического устройства, управляющего ленточным конвейером CONVEYOR\_BELT, заключается в следующем:

1. Нажатием клавиши, отображающей ключ временного запуска, ящик, находящийся у первого датчика положения SENSOR 1, начинает перемещаться по движущему конвейеру до тех пор, пока не достигнет положения второго датчика положения SENSOR 2.

2. Конвейер останавливается, и из бункера в ящика начинают падать шарики.

3. После падения некоторого числа шариков (количество которых подсчитывается датчиком COUNTSENSOR и блоком С1), бункер закрывается.

4. Конвейер начинает движение, ящик начинает перемещаться, остановка конвейера осуществляется, когда ящик достигнет положения третьего датчика положения SENSOR 3.

Проектирование системы автоматического управления данными объектами осуществляется в среде Multisim обычно двумя способами:

1. Применением так называемой жесткой логики – релейно-контактной схемотехникой и цифровыми устройствами.

2. Применением программируемой (мягкой логики) – микропроцессорами или микропроцессорными устройствами.

По определению, релейно-контактная схема (РКС) формально представляет собой математическую модель электротехнических устройств, состоящих из контактов и промежуточных реле, функционирующих в дискретные моменты времени. РКС является одной из первых классов управляющих систем, имеющих строгое математическое описание, а также одной из первых вариантов понятия конечного автомата. Теория РКС обычно изучается в разделах дискретной математики, при этом существует множество источников по теории РКС [например, 2, 3, 4]. Существует так называемый язык LD или РКС, который представляет собой записи логических выражений в графической форме в виде контактов и обмоток реле.

На практике релейно-контактные схемы или переключательные схемы широко используются в технике автоматического управления. По определению, переключательная схема – это схематическое изображение некоторого устройства, состоящее из следующих элементов:

1) переключателей, которыми могут быть механические устройства, электромагнитные реле, полупроводники и т.д.;

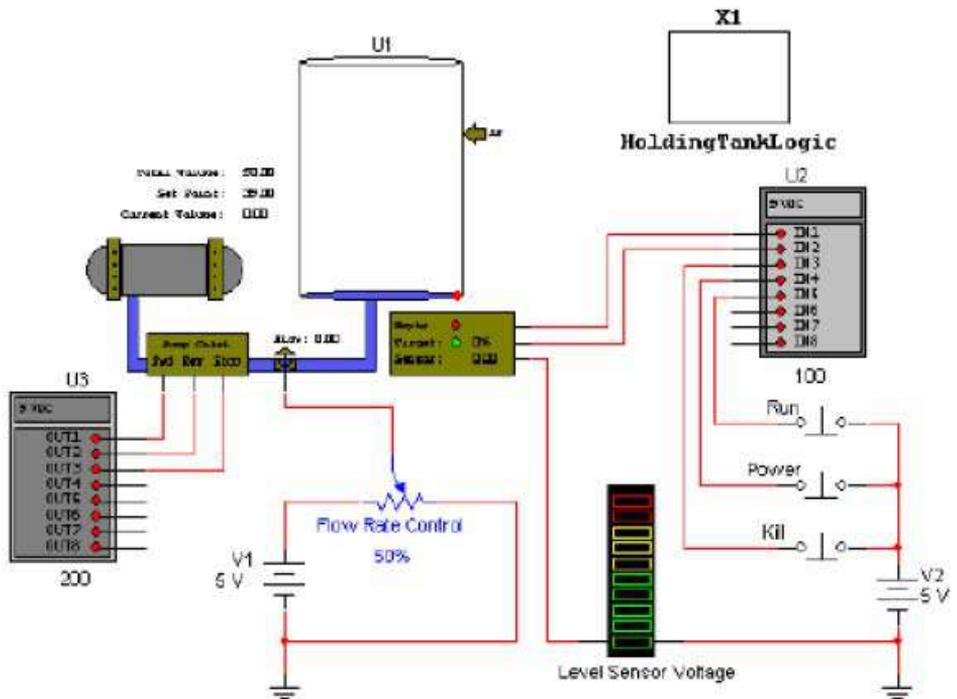
2) соединяющих их проводников;

3) входов в схему и выходов из нее (клемм, на которые подается электрическое напряжение), которых называют полюсами.

В настоящее время системы управления на электромеханических реле практически не применяются [5]. Однако языки РКС широко распространены

при программировании логических контроллеров, так как релейные структуры имеют преимущества перед схемами на бесконтактных логических элементах, например, при анализе процессов протекания автоматического цикла. При этом РКС – вариант системы управления является промежуточной моделью [6], которую затем легко реализуется на бесконтактных логических элементах.

В качестве примера рассмотрим Multisim – систему логического управления резервуаром HOLDING\_TANK, интерфейс которой представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Интерфейс Multisim -модели управления резервуаром HOLDING\_TANK**

Согласно рисунку 1, на схеме кроме мнемосхемы, изображающей данный объект управления, имеются модули ввода-вывода U2 и U3, которые выбираются в группе LadderDiagrams, семействе IOmodules. Ключи Run, Power и Kill управляют подачей постоянного напряжения 5 В на контакты модуля ввода U2. С помощью потенциометра FlowRateControl регулируется напряжение с источника постоянного напряжения на заглушку Flow. РКС на рисунке 1 представлена иерархическим блоком HoldingTankLogic, интерфейс которого показан на рисунке 2. Для визуализации протекания процесса используется индикатор LevelSensorVoltage, который выбирается из группы Indicators как семейство UNDCD\_BARGRAPH.

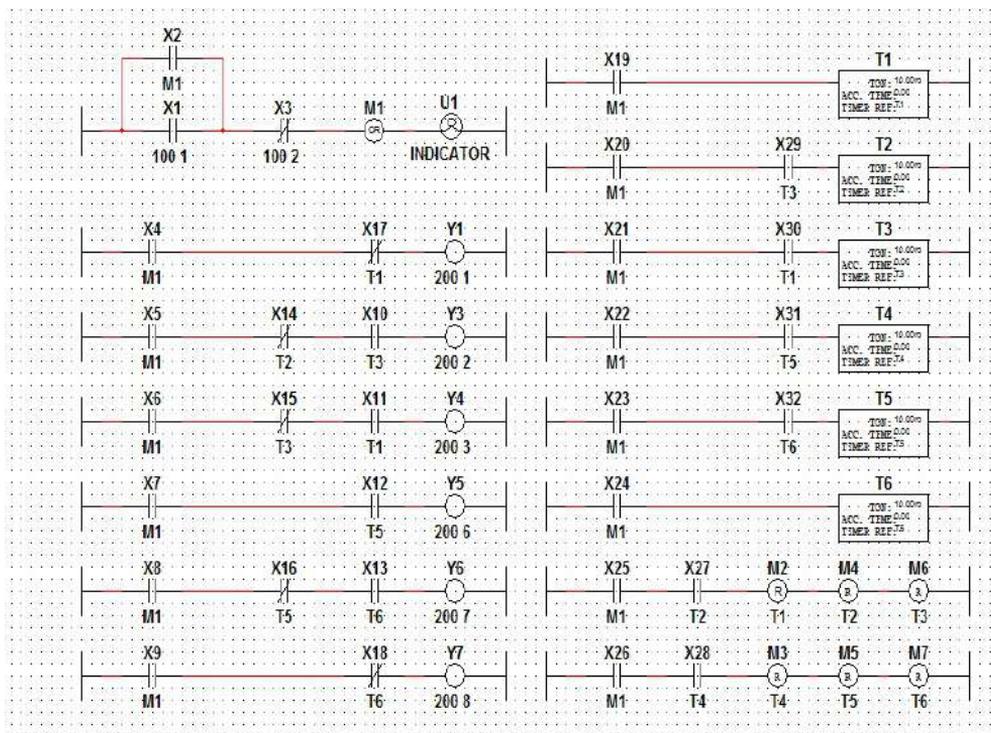


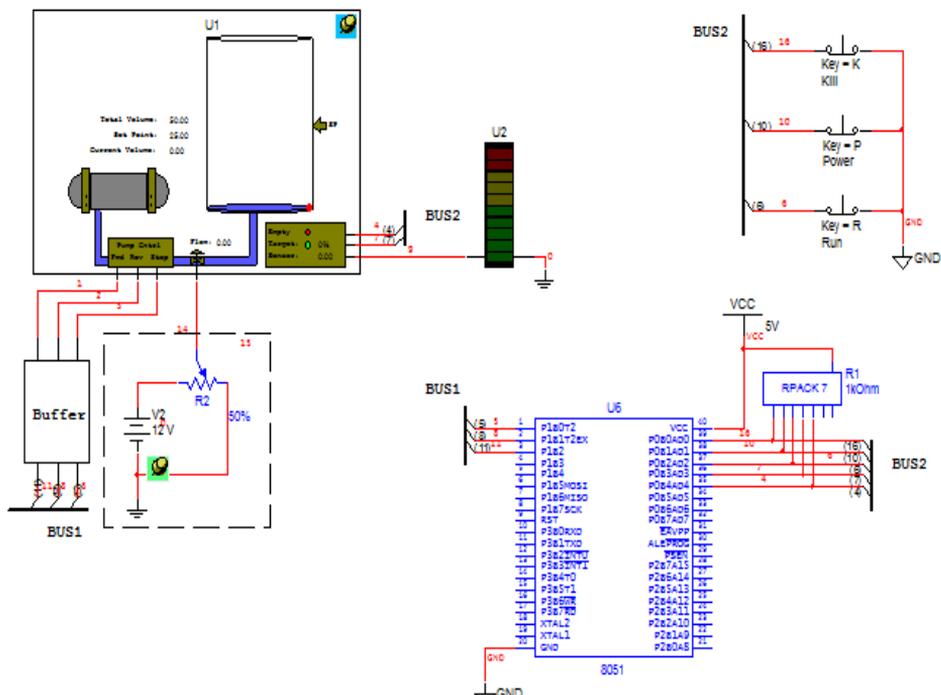
Рисунок 2 – Интерфейс переключательной схемы в блоке HoldingTankLogic

Выбор соответствующих контактов и катушек реле осуществляется в группе LadderDiagrams семействами LadderRungs, LadderContacts, LadderRelayCoil, LadderOutputCoils.

Для организации временных задержек используется семейство таймеров LadderTimers из группы LadderDiagrams (компонент TIMER\_TON\_RETENTION\_RESET).

На рисунке 3 представлен интерфейс Multisim – модели управления резервуаром HOLDING\_TANK с помощью микропроцессора MCU 51, который является однокристальным контроллером, применяемым во встраиваемых системах. В некоторых версиях Multisim не имеется компонентов микропроцессоров в группе MCU [7, 8].

В этом случае используют компоненты MCU NationalInstruments (LabView), которые автоматически интегрируются в модели Multisim.



**Рисунок 3 – Интерфейс Multisim -модели управления резервуаром HOLDING\_TANK на основе MCU**

При применении MCU можно создавать разнообразные системы автоматического управления на основе объектов, входящих в состав группы AdvancedPeripherals.

Таким образом, основы по проектированию систем автоматического управления техническими объектами достаточно наглядно реализуются в среде Multisim на приведенных практических примерах, которые позволяют сформировать знания, умения и навыки проектно-исследовательской деятельности бакалаврам технического направления первых лет обучения.

### *Литература*

1. Multisim 9 для преподавателей. Электронный ресурс <http://www.twirpx.com/file/623769/>.
2. Аляев, Ю. А. Дискретная математика и математическая логика. [Текст] / Ю.А. Аляев, С.Ф. Тюрин // – М.: Финансы и статистика. – 2006. – 368 с.
3. Белоусов, А. И., Ткачев С.Б. Дискретная математика / А. И. Белоусов, С. Б. Ткачев // Учеб. для вузов / Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. 3-е изд., стереотип. // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2004. – 744 с.
4. Ковалева, Л. Ф. Дискретная математика / Л. Ф. Ковалева // Московский государственный университет экономики, статистики и информатики // М., – 2001 г. – 84 с.

- 
5. Стреналюк, Ю. В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / О. А. Копылов, Ю. В. Стреналюк, Е. Д. Штрафина // Королев: ФТА. – 318 с.
  6. Строителев, В. Н. Построение и анализ модели процесса по статистическим данным / В. Н. Строителев, Е. Д. Штрафина, Е. А. Жидкова // Информационно-технологический вестник. – 2014. – Т.01. – №1. – С.95-103.
  7. Артюшенко, В. М. Системный анализ в области управления и обработки информации: монография / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Ю. В. Стреналюк, Н. А. Васильев, И. М. Белюченко, К. Л. Самаров, В. Н. Зиновьев, С. П. Посеренин, Г. Г. Вокин, А. П. Мороз, В. С. Шайдуров, С. С. Шаврин /под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // Королев МО: МГОТУ. – 2015. – 168 с.
  8. Артюшенко, В. М. Информационные технологии и управляющие системы: монография / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, Ю. В. Стреналюк, В. И. Привалов, В. И. Воловач, Е. П. Шевченко, В. М. Зимин, Е. С. Харламова, А. Э. Аббасов, Б. А. Кучеров /под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // М.: Издательство «Научный консультант». – 2015. – 185 с.

## **Анализ методов космического мониторинга экологической среды**

**К.В. Щурин**, д.т.н., профессор,  
**Д.В. Александрычев**, аспирант,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет», г. Королев, Московская область,  
**Е.Е. Ханжина**, студентка 4 курса ИТФ по направлению «Инноватика»,  
**А.В. Сериков**, аспирант,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением космического экологического мониторинга, в основе которого лежат дистанционные методы зондирования. Представлена классификация сенсоров, используемых в дистанционном зондировании, а так же классификация лазерных локаторов.*

Атмосфера, загрязняющие вещества, мониторинг, дистанционное зондирование, спектральный анализ.

## **Analysis of methods of space monitoring of the ecological environment**

**K.V. Shchurin**, doctor of Engineering Science, professor,  
**D.V. Aleksandrychev**, postgraduate,  
State Educational Institution of Higher Education  
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region,  
**E.E. Khanzhina**, 4 ITF course students in «Innovation»,  
**A.V. Serikov**, postgraduate,  
State budgetary educational institution of higher professional education «Orenburg  
State University», Orenburg

*The questions related to the provision of space for environmental monitoring, which is based on remote sensing methods. The classification of the sensor used in remote sensing, as well as the classification of lasers.*

Atmosphere, pollutants, monitoring, remote sensing, spectral analysis.

Одним из критических последствий развития техносферы и связанного с ним интенсивного использования природных ресурсов является загрязнение природных систем, всё чаще переходящее в их разрушение. Воздействие человека на природную среду и негативные последствия его деятельности создали для социума проблему регулирования качества среды.

Ещё в 1972 г. на I Международной конференции ООН по оценке состоя-

---

ния природной среды в Стокгольме было признано, что в промышленных странах экологическая ситуация стала угрожать не только здоровью населения, но и самому его существованию. С тех пор проблема усугубилась, и её решению отводится центральное место при выработке стратегии экологически устойчивого социально-экономического развития промышленно развитых стран, в том числе и России.

Термин и понятие мониторинга окружающей среды, или экомониторинга, начали употребляться в научной литературе в начале 70-х гг. прошлого столетия. Под экомониторингом понимают систематические измерения параметров окружающей природной среды, результатом которых, во-первых, является постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и других биологических объектов, а так же оценка состояния и функциональной целостности и ценности экосистем, а, во-вторых, создаются условия для определения корректирующих воздействий в тех случаях, когда нормируемые показатели экологических параметров не соблюдаются [1, 3].

Основные задачи экологического мониторинга [4]:

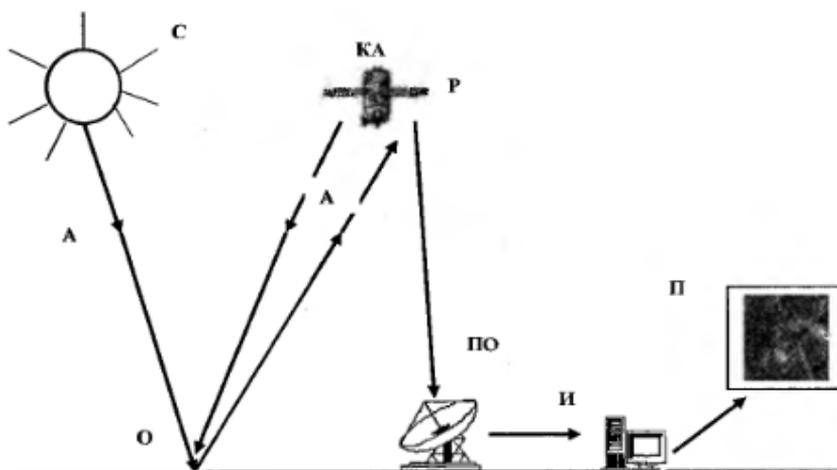
- организация широких наблюдений за изменением состояния биосферы, особенно, обусловленного деятельностью человека;
- обнаружение источников воздействия, а так же причин этих изменений;
- оценка наблюдаемых изменений, выявление антропогенных эффектов;
- прогноз и определение тенденций в изменении состояния биосферы.

В настоящее время существует большое разнообразие методов экологического мониторинга окружающей среды. Среди них постоянно возрастает роль космического экологического мониторинга, под которым принято понимать систему целенаправленных плановых измерений и наблюдений за естественными и антропогенными изменениями окружающей среды, основанных на использовании информации, получаемой с помощью космических аппаратов [1, 4].

Преимуществами космического экомониторинга являются [2]:

- доступность любой территории;
- площадное обеспечение данными;
- широкая полоса захвата;
- высокая периодичность съемки;
- комплексность данных.

В основе космического экомониторинга лежат методы дистанционного зондирования – получения информации об объекте по данным измерений, сделанных на расстоянии от объекта без прямого контакта с ним. Зондирование производится путем регистрации отражаемой или излучаемой объектом энергии с дальнейшей обработкой сигнала, анализом и применением полученных измерений (рисунок 1 [4]).



**Рисунок 1 – Схема дистанционного зондирования**

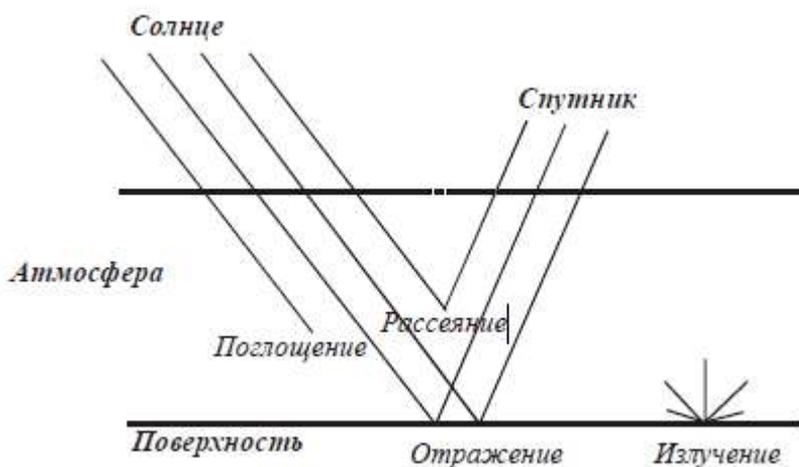
Здесь С – источник излучения (Солнце); А – атмосфера; О – наблюдаемый объект; Р – регистратор излучения; КА – космический аппарат; ПО – станция обработки первичных данных; И – станция обработки вторичных данных (интерпретация и анализ); П – обработанные полученные характеристики.

Основу дистанционного зондирования объектов составляет регистрация отражаемой или излучаемой объектом электромагнитной энергии. Полученные измерения в дальнейшем обрабатываются, анализируются и применяются для решения конкретных задач. Физической основой построения бортовой зондирующей аппаратуры является теория электромагнитного спектра, теория излучения, законы оптики, закономерности влияния атмосферы на проходящее через нее излучение [2]. Электромагнитное излучение характеризуется двумя взаимосвязанными величинами – длиной волны ( $\lambda$ ) и частотой ( $\nu$ ). Связь между этими величинами определяется по формуле

$$\lambda = c/\nu,$$

где  $c$  – скорость света в вакууме.

Обычно источником электромагнитного излучения в дистанционном зондировании является Солнце или подстилающая поверхность (рисунок 2). Излучение Солнца рассеивается и поглощается атмосферой Земли, а так же отражается от земной поверхности и частично поглощается ею. Отраженное излучение несет информацию о свойствах участка подстилающей поверхности (объекта), на котором произошло отражение. Это излучение собирается приемной системой спутника, трансформируется в электрический сигнал и передается на Землю для дальнейшей обработки [4].



**Рисунок 2 – Трансформации электромагнитного излучения в дистанционном зондировании**

Излучение, регистрируемое приборами дистанционного зондирования, проходит через атмосферу Земли прежде, чем оно достигнет спутника. Атмосфера может влиять на излучение двумя способами: путем рассеяния и поглощения энергии. Уменьшение энергии излучения в результате молекулярных или электронных реакций называется поглощением (абсорбцией). При этом часть поглощенной энергии вторично испускается объектом с некоторым увеличением длины волны излучения (явление эмиссии). Отражением (рефлексом) называется возвращение электромагнитного излучения от поверхности объекта без изменения частоты составляющих излучение монохроматических волн. Различают два типа отражения, которые в природе обычно происходят одновременно: направленное или зеркальное и диффузное или рассеянное. Направленное отражение – это отражение в одном направлении в плоскости падения излучения. Оно наблюдается на гладких поверхностях и может быть описано законами линейной оптики. При полном диффузном отражении интенсивность потока отраженного излучения одинакова во всех направлениях. Влияние обусловлено наличием в атмосфере взвешенных твердых частиц (пыль, дым, снежинки, ледяные кристаллы и др.) или капелек жидкости (туман, облака, дождевые капли и др.), называемых в широком смысле атмосферными аэрозолями. Так же на проходящее излучение влияют крупные молекулы атмосферных газов: кислорода –  $O_2$ , озона –  $O_3$ , водяного пара –  $H_2O$ , углекислого газа –  $CO_2$  и др. В результате взаимодействия с ними излучение либо поглощается, либо изменяет направление движения.

Для краткости зондирующее оборудование принято называть сенсором. На рисунке 3 приведена классификация сенсоров, используемых в настоящее время в дистанционном зондировании:

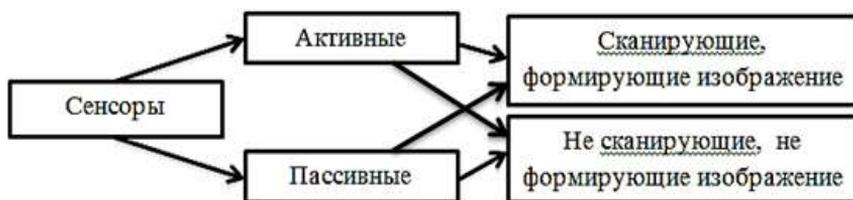


Рисунок 3 – Классификация сенсоров дистанционного зондирования

Самые обширные классы сенсоров – это пассивные, которые измеряют электромагнитное излучение внешних источников, и активные, измеряющие излучение, генерированное самими сенсорами, а затем полученное в виде отраженного от объекта сигнала. Сенсоры могут формировать изображение или не формировать его, измеряют излучение, полученное от всех точек зондируемого объекта (или от его части, являющейся результатом дефрагментации на меньшие пространственные элементы), суммируют его и представляют в виде численного значения. Изображения преобразуются в фотографии, образы на видеомониторах, телевизорах, матрицах электронных детекторов и др. [2].

Наиболее распространенным методом дистанционного зондирования является лазерное зондирование, которое производится с помощью лазерных локаторов (лидаров). В атмосферу посылается лазерное излучение. Сравнительный анализ параметров посылаемого и принимаемого лазерным локатором излучения позволяет определить дальность, фазовый состав, форму, размеры, концентрацию и т.д. Классификация лазерных локаторов приведена на рисунке 4 [4]:

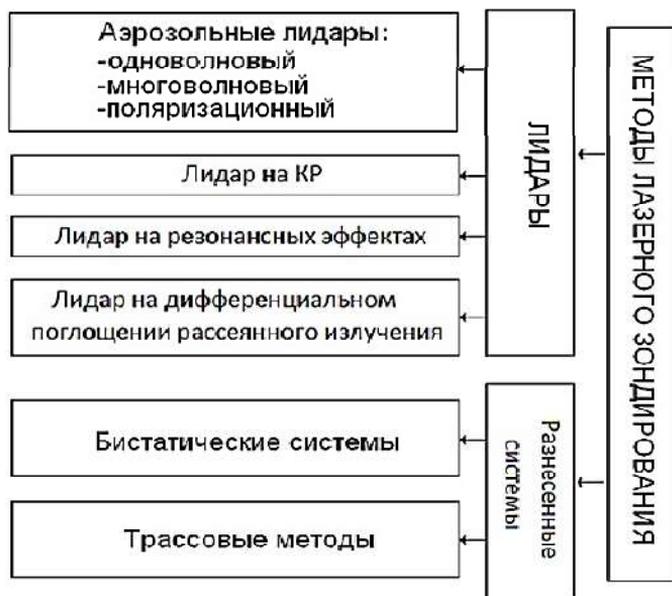


Рисунок 4 – Классификация лазерных локаторов

Особенностью функционирования аэрозольного лидара является совме-

---

щение источника и приемника излучения – их расположение в одном месте.

Лидар на комбинационном рассеянии используется для измерений параметров излучения ряда молекул атмосферы, включая  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}_2$ . Его использование требует мощных лазеров, больших телескопов, длительных времен накопления и, как правило, ограничено измерениями высоких концентраций молекул.

Лидар на резонансных эффектах характеризуется тщательным подбором как длины волны излучения лазера, так и длины волны излучения, регистрируемого приемником, для того чтобы они совпадали с длиной волны линии поглощения исследуемого компонента атмосферы. Возбуждение молекулы на частоте поглощения приводит к резонансному рассеянию, которое может быть значительно более интенсивным, чем нерезонансное рассеяние. Этот метод успешно применяется для измерения концентраций атомарных натрия и калия на больших высотах.

Работа лидара на дифференциальном поглощении рассеянного излучения зависит от рассеяния на аэрозолях атмосферы, но измерения выбранного вида молекул осуществляются по их поглощению. В основу применения заложено использование по крайней мере двух лазерных пучков с различными длинами волн, которые последовательно или одновременно посылаются вдоль одного и того же направления в атмосферу. Первый лазерный пучок поглощается исследуемыми молекулами, в то время как второй пучок с близким значением длины волны поглощается менее интенсивно. Анализ зарегистрированных сигналов от обоих лучей как функция времени позволяет осуществлять пространственно-разрешенные измерения концентрации поглощающих молекул.

Бистатические системы в общем случае тоже можно назвать лидарными, однако в бистатическом лидаре лазерный пучок источника входит в поле зрения приемника только на некотором расстоянии, которое определяется заранее, поэтому измерения проводятся только в ограниченной области пространства. Характерной особенностью этой схемы является большая база между источником и приемником. Оптические оси приемника и источника в такой схеме пересекаются на определенном расстоянии. Если зафиксировать высоту пересечения, то, соответственно, можно будет получать информацию от одного и того же участка атмосферы.

Трассовые методы получения значения концентрации молекул использует в качестве измеряемого параметра поглощение лазерного луча при его распространении в атмосфере [5].

Выбрать один, наиболее эффективный, из перечисленных лидаров невозможно, поскольку каждое исследование атмосферы преследует свои конкретные цели.

Основной причиной превышения допустимых концентраций токсичных веществ и канцерогенов в атмосфере крупных городов, образования смогов, являющихся частой причиной отравления в замкнутых пространствах, являются выбросы выхлопных газов двигателей транспортных средств. В таблице 1 представлен перечень состава автомобильных выхлопных газов:

**Таблица 1 – Состав автомобильных выхлопных газов**

	Бензиновые двигатели	Дизели
N <sub>2</sub> , об. %	74–77	76–78
O <sub>2</sub> , об. %	0,3–8,0	2,0–18,0
H <sub>2</sub> O (пары), об. %	3,0–5,5	0,5–4,0
CO <sub>2</sub> , об. %	0,0–16,0	1,0–10,0
CO*, об. %	0,1–5,0	0,01–0,5
Оксиды азота*, об. %	0,0–0,8	0,0002–0,5
Углеводороды*, об. %	0,2–3,0	0,09–0,5
Альдегиды*, об. %	0,0–0,2	0,001–0,009
Сажа**, г/м <sup>3</sup>	0,0–0,04	0,01–1,10
Бенз(а)пирен–3,4**, г/м <sup>3</sup>	10–20·10 <sup>-6</sup>	10×10 <sup>-6</sup>

\* Токсичные компоненты; \*\* Канцерогены

Нормирование, контроль и управление концентрациями загрязняющих веществ в условиях России включают:

- контроль качества топлива;
- контроль технического состояния и регулировок транспортных средств;
- контроль нормируемых показателей компонентов выхлопных газов;
- применением повышенных ставок транспортного налога на двигатели высокой мощности, акцизов на топливо и др.

Перечисленные и другие организационно-технические мероприятия являются реактивными, предусматривающими обеспечение соответствия эксплуатационных показателей транспортных средств установленным экологическим нормативам.

В европейских странах, в том числе России, приняты стандарты ЕВРО, назначающие предельные количественные показатели компонентов выхлопных газов, например, по Евро–4 выбросы СН до 0,1 г/км, СО до 1,0 г/км и NO<sub>y</sub> до 0,08 г/км и др.

При этом космический экомониторинг, имея разрешающую способность измерений в радиусе 0,5 м, позволяет с высокой точностью оценить текущее значение количества вредных выбросов любого объекта, оперативно обнаружить несоответствия и идентифицировать нарушителя.

Обработка данных дистанционного зондирования включает несколько последовательных уровней, представленных в таблице 2.

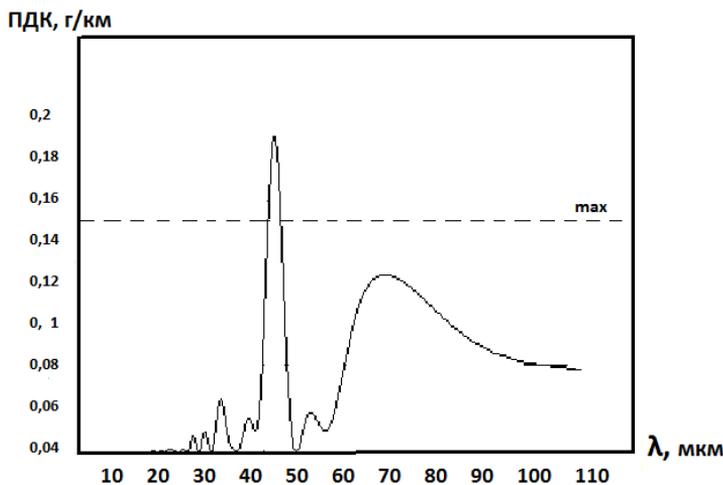
Обработка данных дистанционного зондирования в общем случае включает три этапа:

1. предварительную обработку (прием спутниковых данных, преобразование данных в изображение с учетом калибровок);
2. первичную обработку (радиометрические и геометрические преобразования для исправления искажений, геометрическая привязка изображения с наложением на него сетки координат, изменение масштаба и представление в необходимой проекции);
3. вторичную (тематическую) обработку (цифровой анализ и визуальное дешифрирование и интерпретация).

**Таблица 2 – Уровни обработки данных в дистанционном зондировании**

Уровень	Описание
0	первичные данные, дополненные орбитальной информацией
1	радиометрически откорректированное и географически привязанное изображение (дополнительно устраняются искажения, вносимые аппаратурой и вращением Земли)
2	преобразованное в заданную картографическую проекцию изображение с учетом координат опорных точек
3	геометрически преобразованное изображение с учетом цифровой модели местности (для суши)
4	мультиспектральная обработка, включающая в себя совместную обработку разновременных данных или данных, полученных с различных датчиков

Полученные данные можно представить в виде графика. На рисунке 5 в качестве примера изображен график спектральной плотности концентрации  $\text{NO}_y$  [4].



**Рисунок 5 – График спектральной плотности концентрации  $\text{NO}_y$  по ЕВРО-3**

Необходимо отметить, что учитывая многокомпонентность загрязнений, определение количественных характеристик каждого из них производится в границах соответствующей ему частотной полосы, то есть в общем случае здесь решается задача фильтрации измерительных сигналов, представляющих собой случайные процессы [6].

В заключение следует отметить, что в настоящее время не существует единой системы, которая в полной мере обеспечила бы решение всех названных здесь задач. Однако объединение ряда имеющихся и разрабатываемых систем, решающих различные частные задачи, позволит уже в ближайшее время подойти к созданию комплексных средств экологического мониторинга. Нам представля-

---

ется, что в первую очередь следует рассмотреть комплексную систему на объединенной платформе, включающей подсистемы спутниковой навигации и экомониторинга и имеющей многоуровневую структуру сбора, обработки и оперативного адресного распространения информации.

*Литература*

1. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль // СПб.: Гидрометеиздат. – 2003. – 376 с.
2. Копылов, В. Н. Космический мониторинг окружающей среды: монография / В. Н. Копылов // Ханты–Мансийск: Полиграфист. – 2008. – 216 с.
3. Кузенкова, Г. В. Введение в экологический мониторинг: учебное пособие / Г. В. Кузенкова // Н. Новгород: НФ УРАО. – 2002. – 72 с.
4. Толмачева, Н. И. Космические методы экологического мониторинга: учебное пособие / Н. И. Толмачева, Л. С. Шкляева // Пермь. – 2006. – 296 с.
5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://all4study.ru/raznoe/lazernoe-zondirovanie-atmosfery.html> (дата обращения: 11.08.15).
6. Щурин, К. В. Фильтрация измерительных сигналов методом группового преобразования Фурье / К. В. Щурин, В. И. Чепасов, В. Д. Шевеленко, В. А. Лукоянов // Контроль. Диагностика. – № 3. – 2013. – С. 42-46.