

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

ISSN 2409-1650

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

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

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

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

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

Материалы авторам не возвращаются

Подписано в печать
27.06.2016

Отпечатано
в типографии

издательства «Научный консультант» г. Москва,
Хорошевское шоссе, д.35, к.2

Тираж 300 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

О.А. Воейко
**О ВОПРОСАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ
СМЕСИ.....3**

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Э.М. Аббасов
**РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТБОРА ЭНЕРГИИ ОТ
ГЕЛИОУСТАНОВКИ В СРЕДЕ МАТЛАВ.....9**

Д.В. Александрьев
**ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ.....22**

В.Я. Вилисов, О.И. Баранчикова
**МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ БАЗЫ ТИПОВЫХ
ПОГРЕШНОСТЕЙ ГИРОСКОПОВ.....29**

Б.А. Кучеров
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЁТА КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ ПО ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ.....36**

Н.М. Пушкин, С.В. Бацев, А.Н. Филиппов
**ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ПРИБОРОВ
КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ (КА) И
УСТАНОВЛЕНИЯ ВАКУУМА В ЗОНЕ
ВОЗМОЖНЫХ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....42**

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Т.С. Аббасова, К.Л. Самаров
**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....49**

Э.Э. Акимкина, А.Э. Аббасов
**АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ.....61**

А.А. Афанасьев, И.М. Белюченко
**ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....75**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Д.С. Белов, А.И. Сухотерин
ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЛИЯНИЯ СЕНСОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ.....84

В.И. Переяславский
ШЕННОВСКИЕ ОЦЕНКИ ЛИНЕЙНОЙ ОТДЕЛИМОСТИ ПАРЫ ТАБЛИЦ.....92

Н.Н. Теодорович, С.М. Строганова
АРХИТЕКТУРА 32-РАЗРЯДНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ И МЕТОДОЛОГИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ.....100

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

А.Т. Погосян, А.Р. Обертаев, А.В. Каракозов
ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ШТАТНЫХ СТРУКТУР.....109

А.Б. Семенов, Т.С. Аббасова
РАЗВИТИЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ.....117

УДК 691.168

**О вопросах совершенствования системы контроля
качества асфальтобетонной смеси**

О.А. Воейко, к.т.н., доцент,
доцент кафедры управления качеством и стандартизации,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Низкий срок службы асфальтобетонных покрытий – большая проблема для всего народного хозяйства. Математическая статистика в контроле качества продукции дорожного строительства дает возможность установить необходимый уровень качества. В работе проведен сравнительный анализ испытаний смесей по традиционной и ускоренной методике.

Асфальтобетон, контроль качества, дисперсионный анализ.

**About Improving the Quality Control System of Asphalt
Concrete Mixtures**

O.A. Voeйко, PhD senior lecturer,
Chair of Quality Management and Standardization,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Low service life of asphalt concrete pavements is the great problem of national economy. Mathematical statistics makes the setting of necessary level of quality possible. The article describes the comparative analysis of the test compounds by traditional and accelerated procedure.

Asphalt concrete mixtures, quality control, variance analysis.

Срок службы асфальтобетонных покрытий в Российской Федерации существенно ниже срока службы покрытий в других странах. Поэтому одной из первоочередных задач является – обеспечение качества дорожного покрытия. Это позволит снизить затраты на эксплуатацию дорожных одежд и повысить безопасность дорожного движения. Однако процесс осложняется тем, что на увеличение срока службы дорожного покрытия оказывает влияние огромное количество факторов, разнесенное по времени от проектирования смеси до набора прочности при уплотнении. Много научных трудов посвящено этой проблеме, однако пока проблема далека от разрешения. Многие ученые предлагают использовать методы математической статистики в контроле качества продукции дорожного строительства. Это поможет установить необходимый уровень качества дорожного покрытия и увеличит его срок службы.

Применение в дорожном строительстве методов математической статисти-

стики не может устранить все те недостатки и ошибки, которые были допущены в технологии или организации работ. Нельзя надеяться, что на основании малого количества образцов или данных испытаний какими-либо статистическими ухищрениями можно получить достоверные выводы. Статистические методы не могут возместить неточность в испытаниях или неправильную методику отбора проб [1].

Значение статистических методов контроля заключается в том, что с их помощью можно определить, где и когда имеется возможность повысить качество путем изменения конструкции или технологического процесса. Они способствуют не только выявлению источников появления брака, но и целенаправленному регулированию технологических процессов с тем, чтобы отклонения качественных показателей продукции от проектных величин были наименьшими.

Низкий срок службы вызван, в том числе и особенностями проведения контроля качества асфальтобетонной смеси с лаборатории.

Согласно действующим нормативным документам [2, 3] для контроля качества отбирают одну пробу от каждой выпущенной партии, т.е. от асфальтобетонной смеси одного состава, выпущенное на одной асфальтосмесительной установке в течение одной смены, но не более 600 тонн. Согласно ГОСТ [2] отбор проб следует начинать не ранее, чем через 30 минут после начала выпуска смесей.

Для испытаний отбирают одну объединенную пробу, которая составляется из трех-четырёх точечных проб, тщательно перемешанных между собой. А результат при существующем традиционном подходе лабораторного контроля можно узнать лишь через 16 часов после отбора проб. Это значит, что смесь уже выпущена, отгружена, доставлена на объект, уложена в покрытие, и уже открыто движение. Согласно несложным расчетам получается, что уложено около 1,5 км покрытия. По правилам в случае получения лабораторией отрицательного результата, такое покрытие нужно отфрезеровать и заново уложить. На практике так практически никто не поступает и значит, на покрытии появляются и развиваются деформации и разрушения. И поскольку в силу особенностей производства дорожно-строительных материалов, убрать эту проблему невозможно, её нужно постараться минимизировать. Значит, нужно сократить время проведения лабораторных испытаний.

Внимательно проанализировав существующий подход (рис. 1), можно заменить последовательный порядок проведения испытаний параллельным (где это возможно). В результате время сократилось на 2,5 часа и составляет 13,5 часов (рис. 2). При этом до 30% времени занимает процесс остывания образцов - 5 часов. По стандарту [2] образцы должны остывать на воздухе при комнатной температуре. Достаточно часто появляются предложения ускорить этот процесс путем охлаждения образцов, например, в холодильнике, так называемым ускоренным методом. Время остывания можно сократить при этом до 1,5-2 часов.

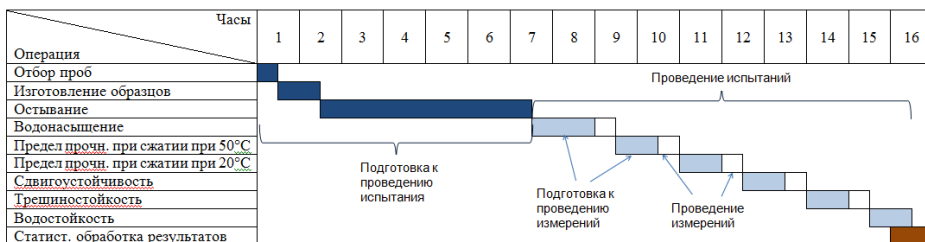


Рисунок 1 – График Ганта при традиционном способе проведения испытаний



Рисунок 2 – График Ганта при предлагаемом способе проведения испытаний

Повлияет ли ускоренное остывание образцов на результаты испытаний? Для решения поставленной задачи можно использовать однофакторный дисперсионный анализ – один из методов математической статистики. Поскольку экспериментальные данные являются случайными и независимыми, имеют нормальное распределение, а их дисперсии одинаковыми, то применение однофакторного F-критерия правомочно [4].

Для решения задачи по дисперсионному анализу была использована программа под названием DISPAN, разработанной Малаховой Н.Н. под руководством доцента кафедры «Управления качеством и стандартизации» «Технологического университета» к.т.н. Копылова О. А.

Данная программа была разработана для решения двух задач:

- Проверка математического ожидания (МО) по однофакторному анализу;
- Проверка равенства дисперсий по Левенэ.

Цель эксперимента – определить, влияет ли выбор метода остывания образцов на свойства асфальтобетонной смеси. Результаты испытаний на примере предела прочности при 20 °С представлены в таблице 1.

При принятом уровне значимости, равном 0,05, верхнее $F_{кр} = 4,30$.

Вычисленная F-статистика (равная 2,01) не превышает верхнего критического значения $F_{кр}$. Значит, нулевая гипотеза не отклоняется (рис. 3).

Таблица 1 – Исходная таблица дисперсионного анализа

Номер испытания	Предел прочности при сжатии при 20°C, МПА	
	Традиционный метод	Ускоренный метод
1	3,45	3,56
2	3,74	3,81

3	4,02	3,49
4	3,89	3,80
5	4,65	3,62
6	3,21	2,97
7	5,54	3,55
8	3,65	3,48
9	4,33	4,87
10	4,12	3,66
11	4,35	4,08
12	3,96	4,23

Задача "Проверка МО по однофакторному анализу"

ИТОГИ

Группа	Сумма	Среднее	Станд.отклон.	Дисперсия
1	48.910	4.076	0.611	0.373
2	45.120	3.760	0.472	0.223

Дисперсионный анализ при уровне значимости

Источ.вариаци.	Сумма кв-тов	Степ.свободы	Дисперсия
Между гр-п	0.599	1	0.599
Внутри гр-п	6.550	22	0.298
ИТОГО:	7.149	23	0.311

F-реальное

F-критическое

P-значение

Рисунок 3 – Результаты проверки математического ожидания по однофакторному анализу

P-значение – вероятность того, что при истинной нулевой гипотезе F-статистика не меньше 2,01. Данная вероятность равна 0,17 (17%). Поскольку эта величина превышает уровень значимости, нулевая гипотеза не отклоняется.

Для проверки первой задачи существует вторая задача «Проверка равенства дисперсий по Левенэ».

Для вывода результатов задачи проверка равенства дисперсий по Левенэ.
 $F=0,45 < 4,30$;

P-значение = 0,5 \gg 0,05.

Вывод: гипотеза H_0 отклонена быть не может, т.к. между дисперсиями существенной разницы нет.

Это означает, что выбор метода остывания образцов не влияет на основ-

ные параметры асфальтобетонных смесей, а, следовательно, и на качество готового покрытия. Поэтому можно рекомендовать к использованию ускоренный метод остывания образцов в холодильнике в течение 2 часов (рис. 5).

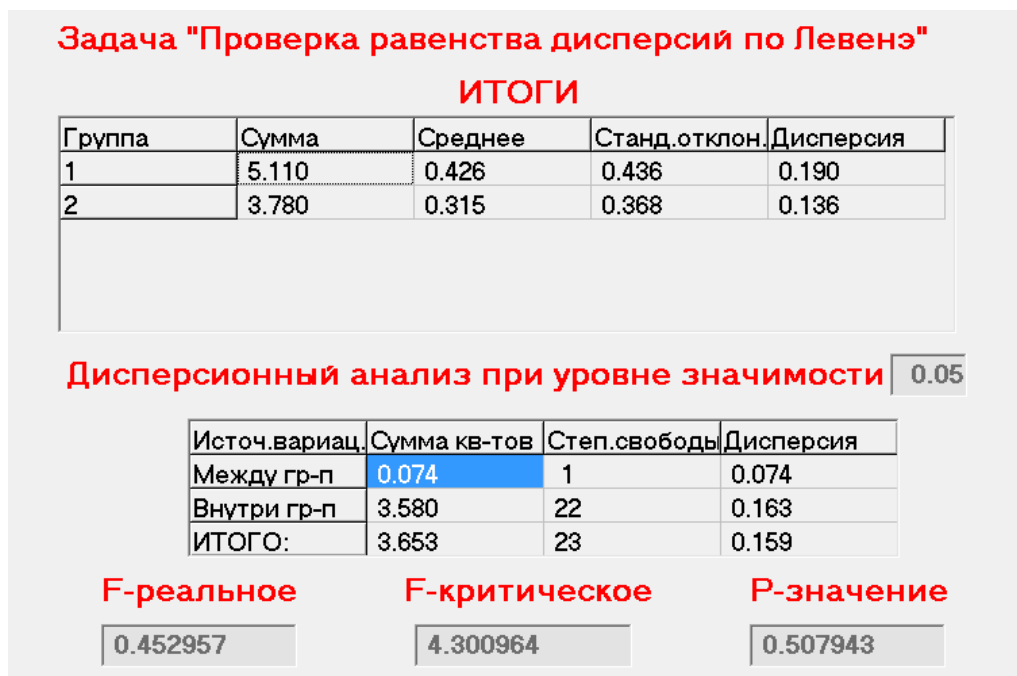


Рисунок 4 – Результаты проверки равенства дисперсий по Левенэ



Рисунок 5 – Технологическая карта процесса испытания смеси при ускоренном методе испытаний образцов

После применения данного метода процесс определения качества смеси сократится до 10,5 часов. Это значит, что в случае выпуска смеси ненадлежащего качества, лаборатория сможет узнать об этом, принять корректирующие действия в течение 12 часов, т.е. половины смены.

Литература

1. Рокас, С. Ю. Статистический контроль качества в дорожном строительстве / С. Ю.

- Рокас // М.: Транспорт. – 1977. – 150 с.
2. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.
 3. ГОСТ 12801-98* Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.
 4. Холомеева, Н. В. Статистика строительства / Н. В. Холомеева, С. М. Кузнецов; Н. В. Холомеева; С. М. Кузнецов // М. Берлин: Директ-Медиа. – 2015. – 83 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=375249>.

УДК 629.7

Расчет эффективности отбора энергии от гелиоустановки в среде MATLAB

Э.М. Аббасов, доцент,

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

В схеме управления мощностью накопителя гелиоустановки проанализированы потери вследствие рассогласования мощности нагрузки и гелиоустановки, связанные с недостаточным быстродействием корректирующих устройств, принцип действия которых основывается на измерении и сопоставлении величин токов и напряжений и наличием во всех импульсных системах импульса «выключено», соизмеримого по времени с импульсом «включено». Проведено исследование качества регулирования напряжения при отборе максимальной энергии от гелиоустановки с помощью компьютерного моделирования в среде Matlab. Представлены результаты моделирования на Matlab-модели.

Компьютерное моделирование, вольтамперная характеристика, регулирование мощности.

Calculation of the Energy Efficiency of Selection in the Environment Solar Systems

E.M. Abbasov, Ph.D., Associate Professor,

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

In the scheme of power control drive solar analyzed loss due to mismatch load power and solar related to insufficient speed corrective device, whose operation is based on measuring and comparing the values of voltage and current, and the presence of all impulse systems «off» pulse commensurate in time with the pulse «inclusive». A study of voltage quality control in the selection of the maximum energy from the solar thermal system using computer simulation in Matlab environment. The simulation results on Matlab-model.

Computer simulation, the current voltage characteristic, power control.

Введение

Существующие принципы и средства управления гелиоустановки (ГУ) позволяют снизить стоимость преобразованной солнечной энергии и поддержать качество функционирования в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях (погодные и ветровые воздействия) [1...3]. Их недостаток – невысокий КПД зарядного контура, использование свинцово-кислотных АКБ.

Для повышения эффективности использования запасенной энергии применяется технология определения точки отбора максимальной энергии, с помощью которой отслеживаются такие уровни напряжения и тока на входе нелинейного элемента (НЭ), при которых эффективность заряда НЭ ГУ максимальна, как показано на рисунке 1. Использование этой технологии увеличивает общую производительность системы более чем на 30% в зимнее время, когда дополнительная энергия особенно необходима [1]. На рисунке 2 показано, как определение точки максимальной энергии может зависеть от различных условий.

Рассмотрим энергетическую оптимизацию, основанную на отборе максимальной энергии от ГЭ. Мощность ГУ всегда ниже, чем сумма мощностей модулей ГЭ, из которых состоит ГУ, – из-за потерь на рассогласование из-за различия характеристик однотипных модулей. Проанализируем параметры быстродействия и использования запасенной энергии для схемы управления мощностью накопителя ГУ [4].

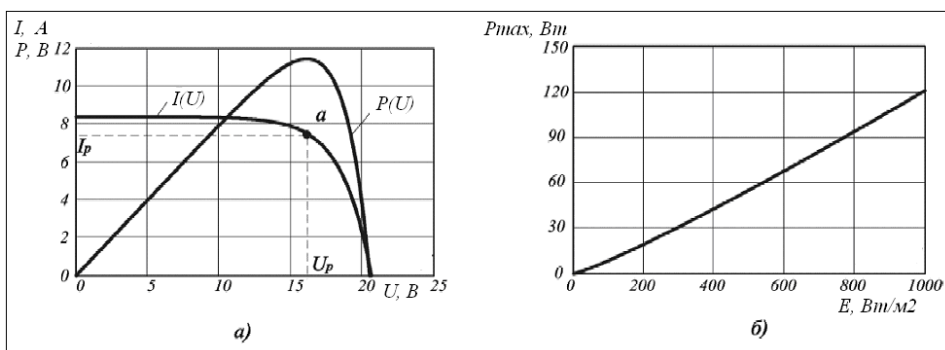


Рисунок 1 – Электрические параметры гелиоэлемента a – ВАХ солнечного модуля, b – зависимость мощности, рассеиваемой в нагрузке, от уровня освещенности

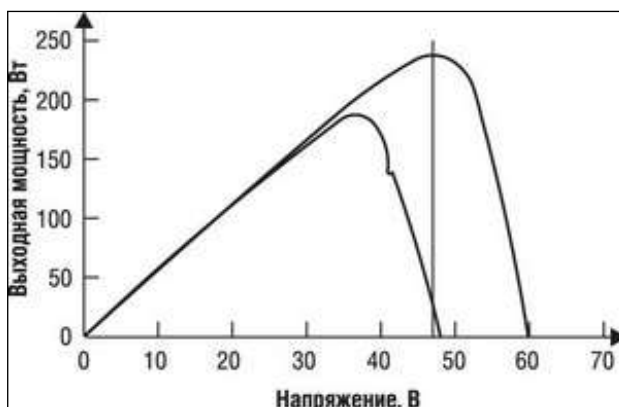


Рисунок 2 – Определение точки максимальной энергии при различных условиях эксплуатации

Быстродействие систем с импульсной стабилизацией с помощью ШИМ выходного напряжения находится в пределах 10^{-1} - 10^{-4} с. Быстродействие гелио

элемента (ГЭ) находится в пределах 10^{-6} - 10^{-8} с [5]. Потери электрической энергии в этом случае будут складываться из следующих составляющих:

1) потери вследствие рассогласования мощности нагрузки и ГЭ, связанные с недостаточным быстродействием корректирующих устройств, принцип действия которых основывается на измерении и сопоставлении величин токов и напряжений, что составляет временной интервал $10^{-2} \dots 1$ с;

2) наличие во всех импульсных системах импульса «выключено», соизмеримого по времени с импульсом «включено», т.е. $10^{-1} \dots 10^{-4}$ с, во время которого отбор энергии от ГЭ не производится.

Для обеспечения постоянного отбора энергии от ГЭ в условиях, близких к точке отбора максимальной энергии, используется конденсатор большой емкости, заряженный до напряжения, соответствующего точке максимальной энергии ГЭ. Напряжение на конденсаторе большой емкости может непрерывно изменяться в пределах от 0 до U_{xx} ГЭ, что позволяет схмотехническими средствами [6...15] обеспечить его согласование с точкой отбора максимальной энергии от каждого ГЭ. Такое согласование осуществляется введением в блок управления пороговых устройств, фиксирующих нижнее и верхнее допустимые значения напряжения на конденсаторе. Величины допустимых значений на конденсаторе определяются из вольт-амперной характеристики ГЭ. Величина емкости конденсатора $C2$ для ГЭ определяется

$$C2 = \frac{I_{\text{ГЭ}} \cdot \tau_{\text{в}}}{\Delta U}, \quad (1)$$

где $C2$ – емкость конденсатора; $I_{\text{ГЭ}}$ – величина максимального тока ГЭ в точке отбора максимальной энергии (для оценок можно допустить $I_{\text{ГЭ}}=I_{\text{кз}}$); ΔU – максимально допустимое отклонение напряжения ГЭ от точки максимальной мощности; $\tau_{\text{в}}$ – время импульса «выключено».

Если значение $U_{\text{ГЭ}}=5$ В, то получим, что допустимое отклонение по напряжению не более 3%, т.е. $\Delta U_{\text{ГЭ}}=0,15$ В, ток ГЭ 10 и 1 А в случаях концентрации солнечного излучения и без него, при $\tau_{\text{в}}=1$ и 0,1 с, соответственно, получим величину емкости конденсатора 67 и 0,67 Ф. При этом разовые потери на начальный заряд емкости конденсатора до напряжения максимальной мощности составят соответственно 837 и 8,4 Дж, что требует работы ГЭ в соответствующем режиме в продолжении 17 и 1,7 с. Для сравнения, потери энергии за каждый импульс «выключено» в системах без применения конденсатора большой емкости составят, [Вт·ч].

$$E = P_{\text{ГЭ}} \cdot \tau_{\text{в}}, \quad (2)$$

соответственно 50 и 0,5 Дж.

Потери в результате тока потерь конденсатора при его величине 20 мкА/Ф составит 6,7 и 0,067 мВА, и ими можно пренебречь в сравнении с соответствующей мощностью ГЭ.

Таким образом, определены условия пригодности конденсатора большой емкости для использования в качестве промежуточного накопителя энергии.

Энергия, накопленная в конденсаторе большой емкости, может эффективно использоваться при изменении величины тока на индуктивной и емкостной нагрузках.

При изменении освещенности в 15 раз $I_{кз}$ изменяется в 12,5 раза, напряжение холостого хода ГЭ U_{xx} в 1,2 раза, мощность ГЭ в 15 раз. Уменьшение $I_{кз}$ при почти постоянном значении U_{xx} означает увеличение внутреннего сопротивления ГЭ $R_{ГЭ}$, которое обратно пропорционально $I_{кз}$. В этом случае эффективность использования запасенной энергии (КПД) определяется, [%]

$$\eta = \frac{R_H}{R_H + R_{ВН}} \cdot 100, \quad (3)$$

где η – КПД при использовании источника энергии; $R_{ВН}$, R_H – внутреннее сопротивление источника и нагрузки, соответственно, резко уменьшается.

В случае применения в качестве промежуточного НЭ конденсатора большой емкости внутреннее сопротивление такого комбинированного источника энергии по отношению к внешней нагрузке определяется параллельным соединением внутренних сопротивлений ГЭ и конденсатора

$$R_{ВН} = \frac{R_{ГЭ} \cdot R_K}{R_{ГЭ} + R_K}, \quad (4)$$

где R_K , $R_{ГЭ}$ – внутреннее сопротивление конденсатора и ГЭ, соответственно.

В том случае, если $R_K \ll R_{ГЭ}$, то $R_{ВН} \approx R_K$ и, соответственно

$$\eta = \frac{R_H}{R_H + R_K} \cdot 100, \quad (5)$$

т.е. КПД преобразования солнечной энергии в электрическую энергию перестает зависеть от уровня освещенности ГЭ.

Таким образом, необходимым условием пригодности конденсатора для использования в качестве промежуточного накопителя энергии является его низкое, по отношению к ГЭ, внутреннее сопротивление.

При разработке средств управления отбором максимальной энергии от ГУ надо учитывать следующие факторы:

1) Конденсатор большой емкости более целесообразно использовать для накопления энергии от ГЭ, чем АКБ, так как конденсатор позволяет непрерывно изменять рабочее напряжение от 0 до U_{xx} ГЭ в сочетании с широким диапазоном токов заряда и разряда, а АКБ обеспечивает возможность только дискретного согласования напряжения с ГЭ и имеет ограниченный диапазон токов заряда.

2) Параметры конденсатора по емкости предложено выбирать исходя из величины тока при максимальной освещенности $I_{кз \max}$, максимальной длительности импульса «выключено» $\tau_{В \max}$ и отклонении значения напряжения ΔU_{\max} .

3) Для определения верхнего ограничения емкости C необходимо учесть потери энергии на первоначальный заряд конденсатора. Допустив, что потери на конденсаторе не должны превышать 1% энергии, выработанной ГЭ при минимальном уровне освещенности, получим

$$C \leq \frac{0,02 \cdot I_{кз \min} \cdot t_0}{U_{ГЭ}}, \quad (6)$$

где t_0 – общее время непрерывного освещения ГЭ; $i_{кз \min}$ – ток короткого замыкания ГЭ при минимальном уровне освещенности; $U_{ГЭ}$ – рабочее напряжение ГЭ.

Поскольку в условиях ШИС напряжения величина $\tau_{B \max}$ в значительной степени не определена и может изменяться в диапазоне $10^{-1} \dots 10^{-5}$ с [5], то для числовых оценок возьмем ее максимальное значение 0,1 с. В таком случае для ФЭП на основе монокристаллического кремния диаметром 100 мм, напряжением 0,53 В, током 2 А без концентрирования солнечного излучения и 5 А с концентрированием солнечного излучения, отклонением от напряжения максимальной мощности 3%, т.е. 0,016 В, необходимые емкости составят 12,5 Ф и 31,2 Ф соответственно для токов 2 и 5 А. Допустивши, что минимальный ток ГЭ в 50 раз меньше максимального, т.е. составляет 40 мА, а ГЭ находится в условиях освещенности 10 часов, получим из формулы (4) величину емкости 54 Ф. В отличие от нижнего ограничения емкости, отвечающего за потери энергии в условиях максимальной электрической мощности ГЭ, когда продуктивность ее максимальна, верхнее ограничение отвечает за потери энергии при минимальных мощностях ГЭ и не является жестким. Внутреннее сопротивление $R_{ГЭ}$ описанного выше ФЭП на основе монокристаллического кремния при определенных ранее условиях его освещенности изменяется в пределах от 13,25 до 0,26 Ом без концентрирования солнечного излучения и от 13,25 до 0,11 Ом при концентрировании солнечного излучения. Для реализации условия $R_k < R_{ГЭ}$, необходимого для повышения КПД преобразования электрической энергии при низких уровнях светового потока, в случае описанного выше ФЭП R_k должно быть меньше 0,11 Ом.

Выполнить условия относительно конденсатора емкостью, большей или равной 31,2 Ф с внутренним сопротивлением меньше 0,11 Ом, можно, применив в качестве первичного накопителя энергии конденсатор на двойном электрическом слое [5]. Например, конденсатор, изготовленный по данной технологии, имел диапазон рабочих напряжений от 0 до 1,25 В, емкость 180 Ф и внутреннее сопротивление 0,02 Ом.

Таким образом, в качестве первичного накопителя энергии предложено использовать конденсатор (конденсаторную батарею) на двойном электрическом слое, емкость и внутреннее сопротивление которого (которой) удовлетворяет следующим условиям

$$C \leq \frac{I_{кз \max} \cdot \tau_{B \max}}{\Delta U_{\max}} \quad (7)$$

$$R_k \leq R_{ГЭ \min}, \quad (8)$$

где C – емкость конденсатора (конденсаторной батареи); $I_{кз \max}$ – ток короткого замыкания ГЭ при максимальном уровне освещенности; $\tau_{B \max}$ – максимальное значение импульса «выключено» ППН или интервала между двумя измерениями параметров системой управления; ΔU_{\max} – максимально допустимое отклонение напряжения на конденсаторе от точки максимальной мощности ГЭ; R_k – внутреннее сопротивление конденсатора; $R_{ГЭ \min}$ – минимальное внутреннее сопротивление ГЭ при максимальной освещенности.

В том случае, если вольтамперная характеристика гелио элемента отсутствует, для оценки величины емкости по формуле (7) вместо ΔU_{\max} можно использовать величину 1...3% от напряжения холостого хода ГЭ. Расширение диапазона величины светового потока, воспринимаемого системой отбора электрической энергии ГЭ, до одного-двух порядков величины требует также опреде-

ленности в выборе мощности ППН. Очевидно, ППН должен обеспечивать эффективный отбор энергии от ГЭ в точке максимальной мощности при условии максимальной величины светового потока. Следовательно, мощность ППН должна быть большей или равной максимальной мощности ГЭ. В этом случае, при уменьшении величины светового потока, мощность ППН становится большей, а на нижней границе диапазона светового потока значительно большей, чем мощность ГЭ. Поскольку в случае применения конденсатора большой емкости с низким внутренним сопротивлением в качестве первичного накопителя энергии КПД преобразования электрической энергии не зависит от мощности ГЭ, согласно формуле (4), то при ее уменьшении для поддержания мощности на выходе ППН будет использоваться энергия, собранная первичным накопителем. Это приведет к понижению напряжения на первичном накопителе. Для предотвращения отклонения напряжения на конденсаторе большой емкости от напряжения максимальной мощности ГЭ в том случае, если мощность ППН больше реальной мощности ГЭ, предложено с помощью порогового устройства выключать ППН при достижении напряжением на конденсаторе нижнего допустимого значения. При выключенном ППН энергия ГЭ отводится исключительно в конденсатор большой емкости, что приводит к возрастанию напряжения на нем. При достижении верхнего допустимого значения пороговое устройство включает ППН и обеспечивает отвод энергии от первичного накопителя. В этом случае количество энергии, отводимой с помощью ППН, составляет

$$E_0 = \frac{C(U_{\text{ВК}}^2 - U_{\text{НК}}^2)}{2}, \quad (9)$$

время отведения этой энергии будет равно

$$\tau_i = \frac{C(U_{\text{ВК}}^2 - U_{\text{НК}}^2)}{2P_{\text{п}}}, \quad (10)$$

а время накопления

$$\tau_{\text{н}} = \frac{E_0}{P_{\text{ГЭ}}}, \quad (11)$$

где E_0 – величина энергии, отводимой от первичного накопителя за один раз; C – емкость конденсатора; $P_{\text{ГЭ}}$, $P_{\text{п}}$ – реальная мощность ГЭ в интервале времени $\tau_{\text{н}}$ и ППН, соответственно; $U_{\text{НК}}$, $U_{\text{ВК}}$ – нижнее и верхнее допустимые значения напряжения конденсатора, соответственно; τ_i , $\tau_{\text{н}}$ – время накопления и отведения энергии ГЭ, соответственно.

Таким образом, разработанная система управления выходной мощностью ГЭ из непрерывного слабого потока световой энергии с произвольным часовым распределением с помощью предварительного накопителя энергии, пороговых устройств и ППН формирует импульсы электрической энергии, величина которых задается емкостью первичного накопителя и напряжениями срабатывания пороговых устройств, а мощность и выходное напряжение – параметрами ППН. Величина формируемых электрических импульсов не зависит от изменения параметров ГЭ во времени. Средняя мощность ГЭ за время задает $\tau_{\text{н}}$ скважность этих импульсов.

ППН большой мощности может работать с несколькими ГЭ при произвольной освещенности, осуществляя поочередно отбор энергии от первичного накопителя каждой из них. При этом алгоритм подключения ППН для отбора энергии от каждого из ГЭ может быть различным:

- 1) по максимальному значению напряжения в момент переключения ППН;
- 2) по замкнутому циклу;
- 3) по заранее заданному алгоритму работы.

Первый алгоритм наиболее целесообразно применять в случае существенной разницы в емкостях первичного накопителя и реальных мощностей ГЭ, поскольку скважность каждой реальной пары будет разной, в соответствии с формулой (11).

Второй алгоритм наиболее целесообразно применять при подключении ППН к первичным накопителям при одинаковой скважности работы каждой реальной пары «ГЭ – первичный накопитель».

Третий алгоритм реализуется при необходимости формировать произвольную, заданную наперед, последовательность импульсов.

Предложенное применение конденсатора большой емкости с низким внутренним сопротивлением для первичного накопления электрической энергии от ГЭ, совмещенное с ППН с ШИС, позволяет: схемотехническими средствами легко согласовать ГЭ с нагрузкой в точке отбора максимальной энергии; обеспечить непрерывный отбор электрической энергии от ГЭ в широком диапазоне интенсивностей светового потока; повысить и сделать независимым от интенсивности светового потока КПД при дальнейшем преобразовании солнечной энергии в электрическую энергию в схеме нагрузки; при условии слабого светового потока с произвольным часовым распределением осуществить это преобразование в импульсы электрической энергии заданной величины напряжения и мощности.

Исследование качества регулирования напряжения при отборе максимальной энергии от ГЭ в среде Matlab

Проведено компьютерное моделирование схемы преобразования выходного напряжения ГЭ в среде Matlab для проверки работы повышающего широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение. На рисунке 3 представлена Matlab-модель солнечной энергоустановки с четырехтактным преобразователем напряжения, работающим на активную нагрузку.

Во входную цепь преобразователя включена солнечная панель (блок 1), состоящая из 2260 солнечных модулей. При максимальной мощности модуля 120 Вт и габаритных размерах 1,411x0,691 м, максимальная мощность солнечной электростанции составит 271,2 кВт при общей занимаемой площади 2204 м². Блок 1 реализует солнечную панель, ВАХ которой соответствуют соотношению

$$\frac{dP}{dU_{ППН}} = I_n \left(e^{\frac{qU_p}{kt}} \cdot \left(\frac{qU_p}{kt} + 1 \right) - 1 \right) - \frac{E}{\alpha} = 0. \quad (12)$$

где U_p – рабочее напряжение модуля, при котором его выходная мощность принимает максимально возможное значение.

Во входной порт солнечной панели в качестве задания подается сигнал уровня освещенности E_{ref} .

В качестве IGBT-транзисторов выбраны транзисторные модули фирмы АВВ типа 5SNE 0800M170100, позволяющие шунтировать обратный диод дополнительным диодом, встроенным в модуль. Коллекторный ток такого модуля $I_{кТ}=800$ А, а коллекторно-эмиттерное напряжение $U_{cesкЭ}=1700$ В. Используя 4 модуля 5SNE 0800M170100, получим солнечную панель из 113 параллельно включенных рядов солнечных модулей по 20 последовательно соединенных модулей в ряду. При 8 транзисторах, включенных по 2 в параллель, – 226 рядов по 10 модулей.

Проведено исследование качества регулирования напряжения при отборе максимальной энергии от ГУ, с помощью компьютерного моделирования в среде Matlab. На рисунке 4 представлены результаты моделирования на Matlab-модели ЭКБЭ локального объекта: солнечная энергоустановка – схема преобразования выходной мощности ГЭ – нагрузка.

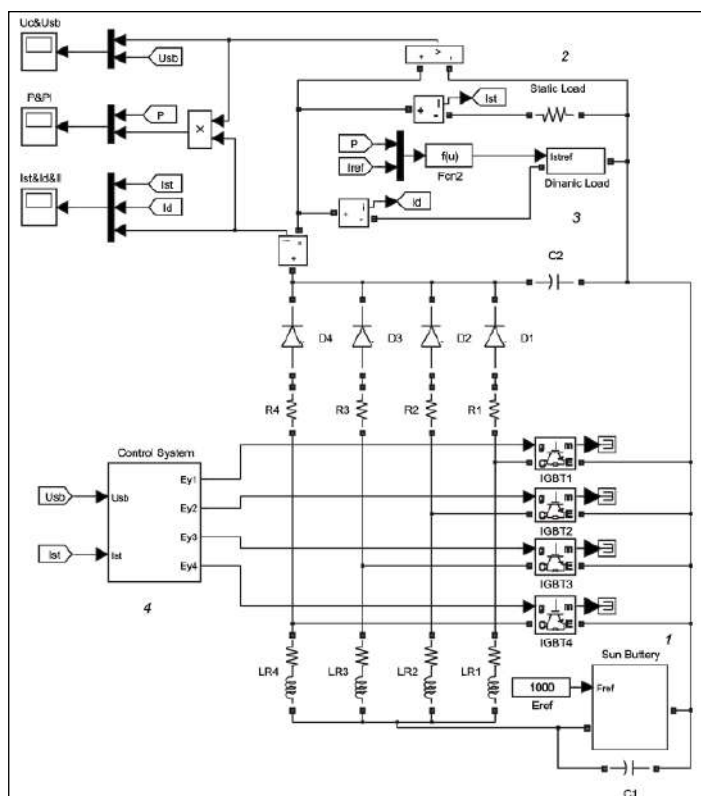


Рисунок 3 – Matlab-модель ГУ, работающей в режиме отбора максимальной энергии

На рисунке 5 приведены осциллограммы для различных условий эксплуатации: июньского и декабрьского дня.

Как видно из осциллограмм рисунков 4 и 5, выходное напряжение для июньского дня U_C и выходное напряжение для декабрьского дня U_C' остается неизменным в течение времени работы ФЭП (для июньского дня около 13 часов, для декабрьского дня около 6 часов)

$$T_p = T_1 - T_2 \quad , \quad T_p' = T_1' - T_2' \quad (13)$$

где T_1, T_2 – соответственно утреннее время включения электроустановки и вечернее время выключения электроустановки в июньский день; T_1', T_2' – соответственно утреннее время включения электроустановки и вечернее время выключения ГУ в декабрьский день, обусловленные критическим уровнем освещенности, ниже которого электроустановка выключена или находится в режиме ожидания.

Таким образом, выходное напряжение остается неизменным и поддерживается на уровне 700 В при скачкообразном изменении напряжения ГЭ. При снижении освещенности солнечных модулей ниже $E_{кр}$, напряжение на выходном конденсаторе преобразователя напряжения начинает снижаться, и поэтому энергоустановка должна быть отключена.

Следует отметить, что уменьшение тока нагрузки при неизменном уровне освещенности модулей, спровоцирует выход ГУ из режима отбора максимальной мощности. Увеличение сопротивления нагрузки вызовет смещение рабочей точки вправо по ВАХ (см. рисунок 1, а). Для того чтобы вернуться в режим отбора максимальной мощности, избыток вырабатываемой мощности целесообразно накапливать в аккумуляторе, подключенном к силовым зажимам энергоустановки.

В таблице 1 приведено сопоставление результатов расчета по (2.15)...(2.17) с результатами, полученными на Matlab-модели ЭКБЭ при изменении освещенности солнечного модуля от 1000 до 387 Вт/м² для июня, в таблице 2 приведены данные для декабря. Расчет и эксперимент проводились для указанных выше характеристик преобразователя.

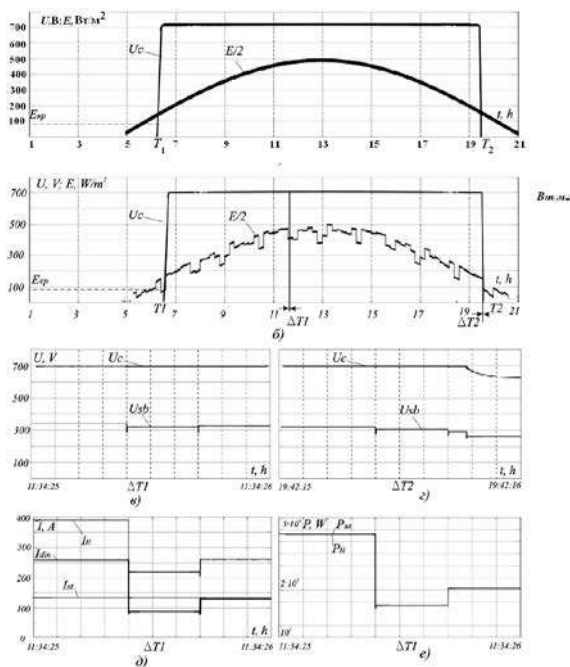


Рисунок 4 – Результаты моделирования работы системы для отбора максимальной энергии от ГЭ в программе MATLAB & Simulink

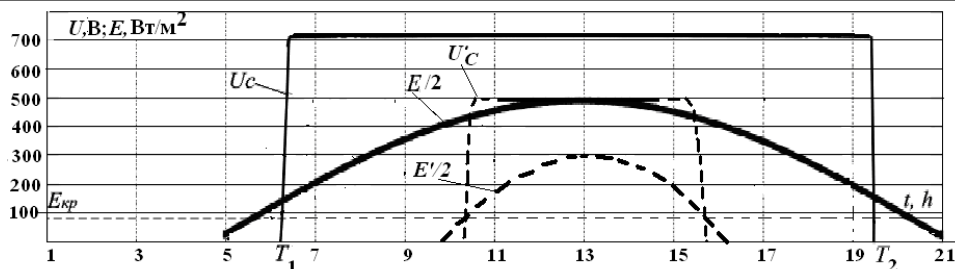


Рисунок 5 – Оциллограммы, соответствующие Matlab-модели солнечных модулей на основе кремниевых ФЭП для июньского и декабрьского дня

Таблица 1 – Анализ расчетных и экспериментальных значений для летнего июньского дня

E, Вт/м ²	1000		900		800		700	
	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.
I _{вх} , А	844,6	845,3	759,3	759,4	673,9	674,1	588,8	588,8
I _н , А	355,8	356	318,9	319,2	281,3	281,3	243,3	243,4
P _н , кВт	248,9	249,1	223,2	223,3	196,8	196,9	170,3	170,5
η, %	91	91	92	92	92	92	93	93
E, Вт/м ²	600		500		400		390	
	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.
I _{вх} , А	503,4	503,5	418,4	418,6	335,6	335,7	138,2	135,5
I _н , А	205,9	206,1	168,7	168,8	132,5	132,7	129,9	133,3
P _н , кВт	144,3	144,4	118,2	118,3	91,9	92,1	88,9	92,1
η, %	94	94	94	95	95	96	95	97

Таблица 2 – Анализ расчетных и экспериментальных значений для зимнего декабрьского дня

E, Вт/м ²	350		300		250		200	
	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.	Расчет.	Экспер.
I _{вх} , А	190,3	198,4	174,8	175,8	158,2	158,2	138,2	135,5
I _н , А	116,1	114,3	81,3	81,5	68,3	68,4	129,9	133,3
P _н , кВт	88,9	92,1	36,6	36,8	28,8	28,9	88,9	92,1
η, %	95	97	92	92	94	95	95	97

Из данных таблиц 2 и 3 видно, что малая интенсивность солнечной энергии при плохих погодных условиях эксплуатации окупается длительностью ее воздействия на окружающую среду, даже в пасмурную погоду уровень солнечной энергии превышает 250...300 Вт/м² (в ясные дни эта величина составляет более 1000 Вт/м²).

На рисунке 6 приведены расчетные и экспериментальные зависимости для входного тока преобразователя, тока нагрузки и мощности нагрузки от различных условий освещенности. На рисунке 7 приведены расчетные и экспериментальные зависимости для КПД от различных условий освещенности.

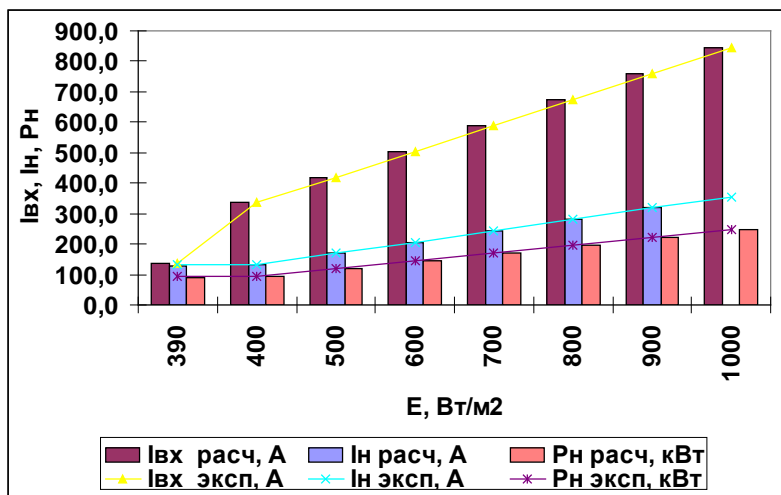


Рисунок 6 – Анализ расчетных и экспериментальных значений параметров при режиме отбора максимальной энергии, при нормальных условиях эксплуатации

Для различных условий эксплуатации нужны дополнительные резервные источники. Работа БПИ может обеспечивать резервное время работы до двух недель.

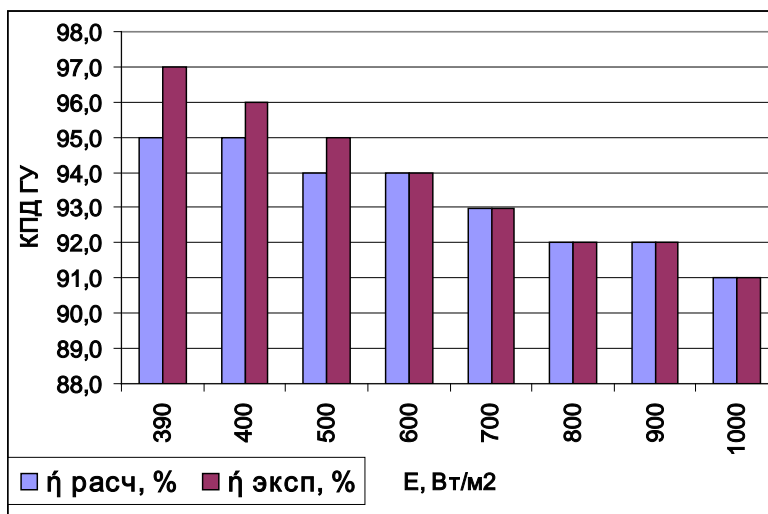


Рисунок 7 – Анализ экспериментальных и расчетных значений КПД при режиме отбора максимальной энергии, при нормальных условиях эксплуатации

Таким образом, результаты, полученные из расчетных формул, совпада-

ют с результатами эксперимента на модели. Эксперимент на модели подтвердил, что в указанном диапазоне изменения освещенности, выходное напряжение поддерживается постоянным.

Выводы

Построена компьютерная Matlab-модель ЭКБЭ локального объекта, включающая в себя ГУ, схему преобразования выходной мощности ГУ и активную нагрузку. Экспериментальная проверка на Matlab-модели расчетных соотношений, определяющих параметры разработанной схемы, подтвердила их справедливость.

Литература

1. Аббасова, Т. С. Оценка влияния КПД гелиоустановки на экологические и экономические показатели / Т. С. Аббасова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2011. – № 2. – т. 7. – с. 3-9.
2. Овсянников, Е. М., Пшеннов, В. Б., Аббасов, Э. М. Расчет гелиоустановки с концентрацией лучистого потока энергии / Е. М. Овсянников, В. Б. Пшеннов, Э. М. Аббасов // Промышленная энергетика. – № 8. – М.: НТФ «Энергопресс». – 2008. – С.46-48.
3. Аббасов, Э. М., Аббасова, Т. С. Исследование структуры и условий работы следящих электроприводов гелиоустановок / Э. М. Аббасов, Т. С. Аббасова // Промышленная энергетика. – 2011. – № 1. – с. 45-49.
4. Аббасова, Т. С. Повышение качества регулирования мощности в системе электропитания с солнечной батареей / Т. С. Аббасова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – № 2. – т.6. – С. 3-10.
5. Аббасова, Т. С. Повышение эффективности систем преобразования солнечной энергии / Т. С. Аббасова // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 3. – с. 38-44.
6. Аббасов, А. Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации / А. Э. Аббасов, Т. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – № 3(05). – 2015. – С. 15-27.
7. Аббасова, Т. С. Оптимизация схемы электропитания вычислительного оборудования / Т. С. Аббасова // Нелинейный мир. – 2011. – № 3. – т. 9, с. 137-144.
8. Аббасов, А. Э. Оптимизация параметров моделируемых устройств / Инновационные аспекты социально-экономического развития региона / А. Э. Аббасов // сб. тр. по материалам V ежегодной научной конференции аспирантов ФТА. – Королев МО. – 18.12.2014. – С. 10-19.
9. Аббасова, Т. С. Резервирование электропитания вычислительного оборудования электротехнических комплексов / Т. С. Аббасова // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 4, с. 35-40.
10. Аббасова, Т. С. Гелиоустановки для автономных объектов / Т. С. Аббасова // Мир транспорта. – 2012. – № 1 (39). – с. 42-51.
11. Аббасова, Т. С. Система наведения концентратора на солнце / Т. С. Аббасова // Мир транспорта. – 2012. – № 3 (41). – с. 44-53.
12. Аббасова, Т. С. Оценка эффективности средств управления отбором энергии от гелиоэлемента и согласования его с нагрузкой / Т. С. Аббасова // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 1. – с. 32-36.
13. Овсянников, Е. М., Аббасов, Э. М., Аббасова, Т. С. Техничко-экономический анализ использования систем преобразования солнечной энергии в другие виды энергии / Е. М. Овсянников, Э. М. Аббасов, Т. С. Аббасова // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 3. – с. 2-6.

14. Артюшенко, В. М., Аббасова, Т. С. On-line расчет показателей качества электроэнергии в режиме реального времени / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова // Мир транспорта. – 2013. – № 1 (39). – С. 18-23.
15. Аббасова, Т. С. Оценка экономической эффективности возобновляемых источников энергии для информационно-вычислительных комплексов и управляющих систем / Т. С. Аббасова, Н. П. Сидорова, Н. В. Логачева // Вопросы региональной экономики. – № 4. – 2015. – С. 167-177.

УДК 621.371

Особенности функционирования и перспективы применения глобальных навигационных спутниковых систем

Д.В. Александрычев, аспирант,

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

Измерительные комплексы, в основе которых лежат принципы использования пространственных методов измерений с применением в качестве опорных точек мгновенных положений искусственных спутников Земли, получили название глобальных систем позиционирования. Их первоначальное назначение состояло, прежде всего, в решении навигационных задач. Однако за счёт модернизации аппаратного и программного обеспечения, учитывая совершенствованные технологии использования этих систем, они могут с полным успехом применяться в различных областях науки и производства.

Глобальная навигационная спутниковая система, навигационные технологии.

Features of Functioning and Prospects of Application of Global Navigation Satellite Systems

D.V. Aleksandrychev, postgraduate first year of the department of «Quality Management and Standardization»,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

Measurement systems, which are based on the principles of using spatial methods of measurements used as reference points of instantaneous positions of satellites, called global positioning systems. Their original purpose was, first of all, in solving navigation tasks. However, they have successfully applied in various fields of science and production, by improving hardware and software, and the technology of using such systems.

Global satellite navigation system, navigation technologies.

Специфика традиционных измерений, проводимых в среде с постоянно меняющимися параметрами, к которой с полным основанием могут быть отнесены приземные слои атмосферы, сводится к высокому уровню требований к точности. При этом количество требований увеличивается постоянно, что обуславливает необходимость постоянного совершенствования технических средств и методов обработки.

Измерительные комплексы, в основе которых лежат принципы использования пространственных методов измерений с применением в качестве опорных точек мгновенных положений искусственных спутников Земли, получили назва-

ние глобальных систем позиционирования [4]. Их первоначальное назначение состояло, прежде всего, в решении навигационных задач. Однако за счёт модернизации аппаратного и программного обеспечения, учитывая совершенствование технологии использования этих систем, они могут с полным успехом применяться в различных областях науки и производства.

В настоящий момент находят широкое применение технологии, основанные на использовании глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Наиболее широкое распространение получили: российская ГЛОНАСС, американская NAVSTAR GPS и европейская Galileo. Их работоспособность обеспечивается функционированием на околоземных орбитах искусственных спутников, видимых из любой точки Земли.

Данные спутники непрерывно передают высокоточные измерительные сигналы и создают, таким образом, вокруг нашей планеты информационное координатно-временное поле. Используя данное поле, с помощью специального приемника и программного обеспечения можно определять положение точек и объектов в пространстве и времени [1].

Метод определения местоположения точек, применяемый в ГНСС, основан на линейной геодезической засечке, суть которой сводится к известной геометрической задаче, а именно нахождение на плоскости положения точки К, если известны положения двух других точек А и В и расстояния от них до точки К, соответственно, S1 и S2 (рис. 1).

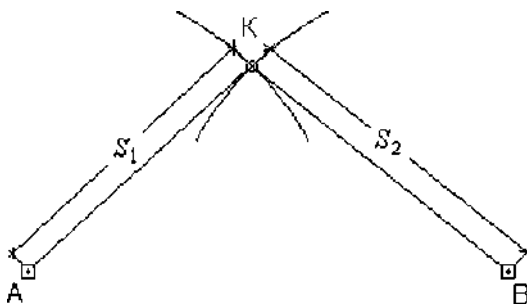


Рисунок 1 – Линейная засечка

Аналитическое представление этой задачи выражено в виде системы двух уравнений:

$$\begin{cases} S_1 = \sqrt{(X_A - X_K)^2 - (Y_A - Y_K)^2} \\ S_2 = \sqrt{(X_B - X_K)^2 - (Y_B - Y_K)^2} \end{cases},$$

где X_A, Y_A, X_B, Y_B и X_K, Y_K – прямоугольные координаты точек на плоскости.

Преобразование этой задачи от плоского построения к пространственному осуществляется вводом третьей координаты Z, и для определения теперь уже

трех искомым координат X_K, Y_K, Z_K точки К необходимо решить систему из трех уравнений:

$$\begin{cases} S_1 = \sqrt{(X_1 - X_K)^2 - (Y_1 - Y_K)^2 + (Z_1 - Z_K)^2} \\ S_2 = \sqrt{(X_2 - X_K)^2 - (Y_2 - Y_K)^2 + (Z_2 - Z_K)^2} \\ S_3 = \sqrt{(X_3 - X_K)^2 - (Y_3 - Y_K)^2 + (Z_3 - Z_K)^2} \end{cases}$$

В случае пространственного построения обязательно наличие трёх исходных пунктов, не лежащих на одной прямой, иначе у системы уравнений не будет определенного решения.

Повышение точности навигационных определений является одним из основных направлений в части дальнейшего развития навигационных спутниковых систем. Необходимо принять во внимание и ещё один важный момент, такой как повышение надёжности системы.

По мере развития навигационных технологий растёт и число возможных угроз для спутниковой навигации. Это не только ионосферные возмущения естественного происхождения, но и, к примеру, помехи вследствие активного распространения в мире систем широкополосной передачи данных и цифрового телевидения. К слову, существуют и иные преднамеренные помехи, связанные с удешевлением систем подавления, искажения или имитации спутниковых навигационных сигналов.

Для проведения высокоточных спутниковых измерений необходимо принять во внимание тот факт, что на качество полученных данных огромное влияние может оказать правильность обоснования методов учёта возникающих ошибок, необходимо тщательно изучить влияние всех возможных источников ошибок, изучить особенности их проявления.

Основываясь на анализе измерительного процесса, характерного для систем GPS и ГЛОНАСС, источником ошибок может послужить многолучевая интерференция – явление, возникающее при отражении сигнала от объектов расположенных на земной поверхности, вследствие чего создаётся заметная интерференция с сигналами, приходящими непосредственно со спутников. В то же время к ошибкам в измерении дальности приводит уменьшение скорости распространения сигнала при прохождении его через ионосферу и тропосферу. К возникновению ошибок может привести недостоверность исходных данных, из которых определяющая роль принадлежит погрешностям знания эфемерид спутников, значения которых должны быть известны на момент измерений.

Источником ошибки может стать сама измерительная техника. К подобного рода ошибкам, как правило, относят неучтенные временные задержки при прохождении информационных сигналов через аппаратуру, а также погрешности, связанные с работой регистрирующих устройств. Основная же ошибка заключается в асинхронном ходе часов приемника и спутников [4, 2].

Приходится принимать во внимание и наличие отдельных факторов, обуславливающих появление ошибок, нехарактерных ни для одной из перечисленных выше групп. Возникновение погрешности может являться результатом неоптимального взаимного расположения наблюдаемых спутников (геометриче-

ский фактор). Целый ряд ошибок может возникать в процессе перехода от одной координатной системы, в которой работает конкретная группировка КА, к другой – к местной, интересующей потребителя.

Для компенсации ошибок предназначены элементы наземной и космической инфраструктуры, такие как глобальные и региональные дифференциально-коррекционные сети SBAS и СДКМ, в том числе базирующиеся на телекоммуникационном КА «Луч», геодезические и картографические спутниковые системы и прочие. Кроме этих фундаментальных средств функционального дополнения, существуют и прикладные – специализированные ПО и программные алгоритмы оптимизации навигационного сигнала под требования сферы применения отраслевых решений и систем. Базовая точность сигнала – это усреднённый показатель, значение которого всегда зависит от внешних условий.

С целью обеспечения наиболее высокой точности разрабатываются новые технологические решения. На начальном этапе для повышения точности измерений координат был предложен статический метод измерений с использованием дифференциальных поправок (DGPS). DGPS исключает атмосферные искажения сигнала на приёмниках. Основные источники сигналов DGPS – это радионавигационные маяки и спутники на геостационарной орбите, выступающее в качестве дополнительного приёмника, помещенного на местности в точке, координаты которой определены заранее. Это даёт возможность вычислить погрешности, возникающие в дальномерных спутниковых сигналах.

Дальнейшее развитие DGPS привело к появлению кинематического метода. Его суть заключается в стационарном расположении одного приёмника (локальная базовая станция) при проведении измерений, в то время как другой приёмник перемещается по заданному маршруту.

Результатом интеграции спутниковых технологий со средствами радиосвязи стала разработка быстрого кинематического метода, работающего в режиме реального времени (RTK). Метод RTK позволяет получить координаты подвижного приемника на расстоянии до 50 км с точностью до 1 см буквально в течение нескольких секунд непосредственно во время выполнения съёмки.

Средства функционального дополнения на текущем этапе развития ГНСС обеспечивают точность для полноценного решения всего диапазона целевых задач – от надёжного управления подвижными объектами до миллиметрового контроля состояния стационарных. Обработка и редактирование спутниковой информации осуществляется сетью базовых станций, обменивающихся потоками данных с помощью специализированного ПО. Полученный одной из станций спутниковый сигнал обрабатывается компьютером в соответствии с программными алгоритмами и на основе накопленной статистики спутниковых эфемерид вычисляется и передаётся на базовую станцию дифференциальная поправка, уточняющая спутниковый сигнал.

Эксплуатация навигационных спутниковых систем, в первую очередь GPS, показала их неопределимые возможности в определении высокоточных координат для геодезии, геофизики, космоса, авиации.

С целью поддержания постоянной работоспособности без ухудшения основных технических показателей современные спутниковые системы позицио-

нирования разделяются на три основные составляющие: космический сегмент, сегмент управления и контроля, сегмент потребителя [6].

Передачу на Землю радиосигналов, на основе которых измеряется расстояние между спутником и наземным пунктом наблюдения, равно как и навигационное сообщение, в котором содержится информация о поправках к показаниям часов, усеченная информация обо всех входящих в группировку спутниках, а также некоторую другую служебную информацию, осуществляет установленная на спутниках аппаратура.

Контроль и управление осуществляется центральной (ведущей) станцией при взаимодействии со вспомогательными, расположенными на значительных расстояниях друг от друга, станциями слежения, причем некоторые из них одновременно выполняют роль и загружающих станций.

Главной задачей сегмента управления и контроля является обеспечение работоспособности спутников. Ведущая станция непрерывно оперирует с большим количеством параметров системы, важнейшими из которых являются текущие координаты спутников и сигналы точного времени. Входящие в состав ведущей станции высокоточные часы выполняют функцию опорных часов для всей системы ГНСС. Все другие часы оцениваются посредством сравнения с опорными часами, что обеспечивает общую синхронизацию.

Через станции загрузки ведущая станция может корректировать орбиты спутников, как за счет введения соответствующих поправок, так и с помощью управления находящимся на борту спутника реактивным двигателем. Кроме того, данная станция может управлять режимом работы активных резервных спутников, переводя их в необходимых случаях в рабочий режим.

Основу сегмента потребителя составляет приёмно-вычислительный комплекс. Этот сегмент объединяет в себе всю совокупность широко распространенной аппаратуры пользователей, позволяющей получать интересующую потребителя информацию о местонахождении пункта наблюдений, о показаниях точного времени, а применительно к движущимся объектам – скорость и направление их перемещения.

На специфику работы приёмно-вычислительного комплекса огромное влияние оказывает конкретная категория потребителей. В частности эксплуатируемые в настоящее время системы GPS и ГЛОНАСС ориентированы на их применение как в гражданских, так и в военных целях. От точности позиционирования и определения скорости движения объекта мониторинга зависит, прежде всего, его безопасность, обеспечение которой является основной целью использования ГНСС. Характерной особенностью работы аппаратуры военного назначения является наличие жёстких требований оперативности и надёжности в условиях боевых действий, обеспечивая при этом требуемую точность местонахождения не только неподвижных пунктов наблюдения, но также и движущихся объектов, таких как летательные аппараты, различного рода плавсредства и наземный транспорт. Эксплуатация в подобных условиях предполагает принятие мер для того, чтобы использование рассматриваемой системы позиционирования было недоступным для потенциального противника.

Развитие спутниковых навигационных технологий не самоцель. Двигательная сила этого процесса и залог его дальнейшего роста – увеличение потреб-

ностей общества, появление новых информационных услуг для массового потребления. К слову, система ГЛОНАСС является беззапросной, следовательно ограничение количества потребителей системы попросту отсутствует. Практически в каждом субъекте РФ создаются региональные навигационно-информационные центры. Однако пока рынок навигационных услуг у нас не стал действительно массовым. Несмотря на продолжительную многолетнюю стабильную работу навигационной системы ГЛОНАСС, в России большинство населения мало об этом знает. В СМИ чаще говорится о неудачах и авариях и практически ничего об успехах и достижениях в этой сфере. Именно это, в первую очередь, формирует общественное сознание и влияет на принятие решений о выборе навигационной системы.

Для использования в широких слоях общества продукции и услуг спутниковой навигации необходима победа в честной конкуренции над зарубежными аналогами. К сожалению, недостаток информации о ГЛОНАСС, а тем более положительной информации, привёл к тому, что люди, пользующиеся навигационными данными для бытовых целей, чаще выбирают GPS. При этом их выбор основан не на сравнении возможностей или технических характеристик той или иной системы. Несмотря на то, что ведущие научно-производственные объединения, российские операторы мобильной связи, фондовая биржа, банки пользуются сигналами точного времени, полученными с помощью ГЛОНАСС, по-прежнему бытует мнение, что сигнал GPS точнее.

Сегодня мало что известно об иных услугах спутниковых навигационных систем, поэтому нужно больше освещать практическую сторону применения ГНСС для различных групп пользователей, рассказывать о современных возможностях, об их влиянии на развитие существующих технологий в самых различных областях промышленности, энергетики, сфере экологического контроля. Департаменты природопользования и охраны окружающей среды уже давно используют систему ГЛОНАСС/GPS при ведении реестра особо охраняемых природных территорий.

Значительное количество низкоорбитальных космических аппаратов составляют спутники дистанционного зондирования Земли, предназначенные для решения прикладных задач различного назначения. Это задачи разведки, картографирования, метеорологии, а также ряд фундаментальных научных задач в области изучения Земли и мирового океана. ГНСС целесообразно использовать, прежде всего, при определении координатно-временных параметров объектов. Такими объектами являются и сами космические аппараты. С развитием технологий и средств наблюдения повышаются требования к точности привязки получаемой целевой информации к координатам спутника в момент съёмки, что, в свою очередь, способствует увеличению эффективности мониторинга. Точность положения космического аппарата требуется знать на уровне сантиметров на всём витке орбиты. Речь идёт об апостериорной точности.

Это непростая задача для космической баллистики. Пожалуй, единственный способ, который может обеспечить решение этой задачи, – использование измерений бортового навигационного приёмника ГНСС и соответствующих средств высокоточной обработки навигационной информации на земле [5].

С целью достижения максимально точного результата измерений производителями разрабатываются универсальные устройства, позволяющие опера-

тивно взаимодействовать сразу с несколькими системами. В перспективе комбинированный приёмник пользователя, принимающий и дешифрирующий сигналы трёх независимых спутниковых систем Galileo, GPS и ГЛОНАСС, получает техническую возможность одновременно наблюдать и использовать для местоопределения и навигации более 30 НКА без потери реальной способности вычисления координат в любых условиях затенения горизонта в городах, горных и лесных массивах. Однако сигналы, используемые в системах спутниковой навигации, отличаются крайне низкой мощностью на уровне поверхности Земли, во много раз меньше естественных шумов в этом же диапазоне. За счет этого в одном и том же частотном диапазоне несколько навигационных сигналов могут помешать друг другу – в том случае, если не выполнено согласованное проектирование систем. Если при взаимной координации допущены ошибки, то могут возникнуть помехи [3].

Нужно понимать, что широкое использование систем спутниковой навигации может привести к повышению безопасности жизни как отдельного человека, так и государства в целом.

Литература

1. Бакитько, Р. В. Глонасс. Принципы построения и функционирования / Р. В. Бакитько [и др.]; под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова // Изд. 3-е, перераб. – М: Радиотехника. – 2005.
2. Валяльщикова, А. А., Базарский, О. В. О принципах функционирования глобальных навигационных спутниковых систем и возможностях их применения в геодинاميческом мониторинге / А. А. Валяльщикова, О. В. Базарский // Материалы научной сессии воронежского государственного университета. – Воронеж. – 2011.
3. Возможные противоречия при использовании сигналов ГНСС [сайт]: Вестник ГЛОНАСС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vestnik-glonass.ru> (дата обращения: 29.09.15).
4. Генике, А. А., Побединский, Г. Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский // Изд. 2-е, перераб. и доп. – М: Картгеоцентр. – 2004.
5. ГЛОНАСС для космических применений [сайт]: Вестник ГЛОНАСС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vestnik-glonass.ru> (дата обращения: 11.05.15).
6. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.geodinamika.ru> (дата обращения: 19.04.15).

УДК 620.92

Метод построения базы типовых погрешностей гироскопов

В.Я. Вилисов, д.э.н., к.т.н.,

О.И. Баранчикова, аспирант,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Выполнен анализ случайных факторов, влияющих на показатели качества работы гироскопов. Для оценивания воздействия различных видов возмущений и их удобного представления используется вариация Аллана. Для построения базы типовых погрешностей гироскопов выполнена имитация различных видов случайных возмущений и их комбинации. Предложенный метод позволит более точно выявлять типы случайных факторов при выходных и входных испытаниях гироскопов в производственных условиях.

Гироскоп, погрешности, вариация Аллана, испытания.

The Method of Constructing the Base of Typical Errors of Gyroscopes

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

O.I. Baranchikova, Graduate Student,

State Educational Institution of Higher Education

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

The analysis of random factors affecting the quality of work performance gyroscopes. Allan variance-estimation of the impact on the for the different wi-ing disturbances and convenient representation is used. To build a database of typical errors made gyroscopes simulation of various types of random perturbations, and combinations thereof. Pre-position method will more accurately identify the type of random factor-tori for output and input tests gyroscopic devices in production-governmental conditions.

Gyro, error, Allan deviation, tests.

Введение

Гироскопические приборы (гироскопы) в настоящее время очень широко используются в самых различных устройствах в широком спектре прикладных областей, в том числе в робототехнике [2, 3, 4].

При выходном контроле гироскопов, помимо определения фактических характеристик, существует важная задача выявления (идентификации) тех или иных типов погрешностей (шумов) т.к. каждый из них имеет свою природу. Зная состав шума, можно выявить его природу и при возможности устранить воздействие негативных факторов, обеспечив максимальную потенциально достижимую точность.

В практике анализа случайных составляющих погрешностей гиросприборов широкое распространение получили программные инструментальные средства, использующие в своей основе вариацию Аллана [9], и в частности, программа AlaVar 5.2 [8] и многочисленные ее аналоги. Они позволяют представить статистику испытаний конкретного образца в виде (σ - τ)-диаграммы. При этом для классических вариантов шумов внешний вид диаграммы известен [10], однако, на практике могут возникать самые разнообразные смеси по составу шумов, в том числе и неклассические, а также ранее неизвестные или не принимавшиеся во внимание [5].

Поэтому актуальной является задача исследования отображения различных смесей шумов на (σ - τ)-диаграмме, что можно выполнить на основе имитационного моделирования. Эта задача и решается в данной работе.

Разновидности гиросприборов

В различных прикладных системах, использующих гиросприборы, основанные на различных физических принципах, обладающих различными массогабаритными, точностными и иными характеристиками. Приведем некоторые наиболее важные из признаков классификации гиросприборов.

По типу измеряемых показателей: указатели направления (гироскопы); датчики угловой скорости; датчики ускорения (акселерометры).

Наиболее важным из всех классификационных признаков является их физический принцип действия, по которому выделяют такие, наиболее востребованные в последнее время, как: механические (роторные, микромеханические); оптические (лазерные, волоконно-оптические).

Приведем особенности этих вариантов ГП.

Разные конструкции ГП имеют свои потенциально достижимые пределы точности измерений. В таблице 1 приведены [1, 2] интервалы варьирования точности измерения угла поворота (ухода в единицу времени) относительно рабочей оси чувствительности ГП.

Разновидности погрешностей

Погрешности (шумы) ГП могут иметь весьма разнообразную природу.

Погрешности (шумы) гиросприборов имеют несколько представлений:

1. источники шумов, в числе которых могут быть, например:
 - a. особенности конструкции ГП;
 - b. производственные факторы (дефекты материалов и комплектующих, качество технологии изготовления);
 - c. факторы эксплуатации (внешней среды);
2. проявление воздействия шумов в искажении показаний ГП;
3. математическое описание (представление) шумов.

Каждое из этих представлений используется для разных целей.

Таблица 1 – Пределы точности типов гиросприборов (по данным интернет-изданий)

№ п/п	Тип гиросприбора	Пределы точности (уход), град/час	
		минимальная (от)	максимальная (до)
1	Электростатические	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
2	На магнитных подвесах	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$

3	Поплавковые интегрирующие	$7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$
4	На воздушном подвесе	$3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-2}$
5	Волновые твердотельные	$2 \cdot 10^{-2}$	1
6	Лазерные	$3 \cdot 10^{-3}$	1
7	Волоконно-оптические	$3 \cdot 10^{-3}$	1
8	Динамически настраиваемые	$5 \cdot 10^{-2}$	5
9	Механические	$7 \cdot 10^{-2}$	5
10	Микромеханические	5	100

Основные проявления погрешностей, возникающих в ГП, можно представить следующим выражением:

$$\theta = \varepsilon + (k + \xi)\Theta \quad (1)$$

Здесь Θ – фактическое значение измеряемого угла; θ – значение угла, полученное на выходе ГП; k – коэффициент преобразования; ξ – погрешность коэффициента преобразования; ε – погрешность смещения нуля.

В процессе разработки ГП обычно задаются его паспортные характеристики, в числе которых предельная точность (табл. 1).

Постановка задачи

При анализе шумов ГП, как правило, решают следующие задачи:

1. выявление, по возможности, всех разновидностей шумов, которые возникают в конкретном экземпляре (или в партии) ГП для:
 - a. устранения источников и причин шумов, и при возможности – следствий (собственно погрешностей);
 - b. компенсация погрешностей, например, введением поправочных коэффициентов и специальных алгоритмов обработки, при невозможности устранения причины, а значит и самих погрешностей в измерениях;
2. установление причинно-следственной связи между разновидностями шумов и их источниками (причинами).

В работе рассмотрена одна из подзадач второй задачи – выявление типов частных (элементарных) шумов, составляющих поток погрешностей измерений по данным испытаний ГП.

Использование вариации Аллана для анализа погрешностей ГП

Вариация Аллана – это статистика второго порядка (некоторый аналог выборочной дисперсии), применяемая для анализа временных последовательностей и содержащихся в них случайных составляющих [9, 10]. Этот инструмент в настоящее время применяется при анализе случайных составляющих в различных системах, в том числе в ГП.

Основная формула для расчета вариации Аллана имеет следующий вид [10]:

$$\sigma^2(nT_0) = \frac{1}{2(M - 2n)(nT_0)^2} \sum_{m=1}^{M-2n} (\theta_{m+2n} - 2\theta_{m+n} + \theta_m)^2 \quad (2)$$

где M – размер выборки; T_0 – интервал дискретизации (времени между наблюдениями); n – номер наблюдения ($n = 1, 2, \dots, n_{max} \leq (M - 1)/2$); θ_i – значение измерения на i -ом шаге.

Чаще на практике используется не вариация Аллана, а отклонение Аллана (*Allan Deviation (AD)*) $\sigma(nT_0)$ как корень квадратный из вариации Аллана. Затем строится график отклонения Аллана, причем по оси абсцисс откладывается десятичный логарифм времени осреднения $\tau = nT_0$, а по оси ординат – десятичный логарифм отклонения Аллана $\sigma(nT_0)$. Особенность применения вариации Аллана для анализа типов шумов заключается в том, что некоторые конкретные типы шумов имеют определенный вид на диаграмме в осях $(\sigma - \tau)$ (рис. 1).

На рисунке 1 указаны участки, наклон которых отражает наличие в погрешности конкретного экземпляра ГП того или иного вида шума, в частности: белый шум с фазовой модуляцией (White PM) или фликкер-шуму с фазовой модуляцией (Flicker PM); белый шум с частотной модуляцией (White FM); фликкер-шум с частотной модуляцией (Flicker FM); шум в виде случайных блужданий частотной модуляции (Random Walk FM); уход частоты (Frequency Drift). Этот перечень далеко не полный [5], хотя часто рассматривают, как наиболее важные, лишь три средних вида шума, имеющие соответственно наклоны на $(\sigma - \tau)$ -диаграмме: $-1/2$; 0 ; $+1/2$.

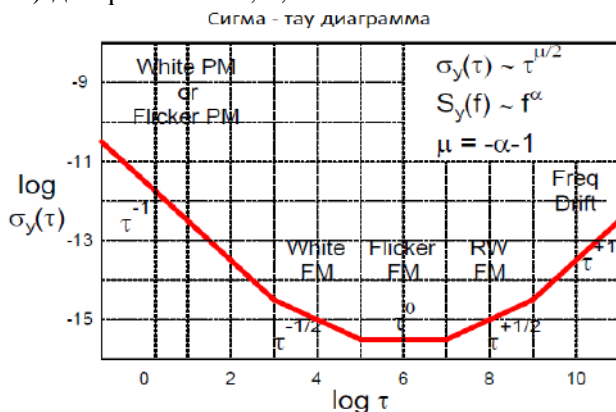


Рисунок 1 – Типичный вид графика отклонения Аллана для комбинированного шума

Анализ смесей типов погрешности ГП и их отображение на плоскости $(\sigma - \tau)$

На основе имитационного моделирования [1] проанализированы различные виды частных шумов с последующим формированием их аддитивных смесей (комбинаций) различного состава и в различных долях мощности (амплитуды).

В качестве инструментальных вычислительных средств были использованы, кроме универсальных - MS Excel, такие специализированные программы как AlaVar 5.2 [2, 3], позволяющая по временному ряду наблюдений строить диаграмму отклонения Аллана в осях $(\sigma - \tau)$, а также программа-

генератор AlaNoise 3.0 [8], позволяющая формировать временные ряды, соответствующие типичным для ГП частным шумам.

Были сформированы семь частных шумов, имеющих различную спектральную плотность ($S(\omega) = \omega^\alpha$), наиболее часто рассматриваемых в гироскопии [3]: White PM ($\alpha = 2$), Flicker PM ($\alpha = 1$), White FM ($\alpha = 0$), Flicker FM ($\alpha = -1$), Random Walk FM ($\alpha = -2$), Flicker Walk FM ($\alpha = -3$), Random Run FM ($\alpha = -4$). Два из них приведены на рисунке 2.

Формирование аддитивных смесей частных шумов в различных амплитудных долях позволяет подобрать такой комбинированный шум, который максимально соответствует наблюдаемым в конкретном экземпляре (или в серии) ГП. На рисунке 3 приведены два из множества полученных в процессе анализа графиков отклонения Аллана, соответствующих той или иной смеси исходных шумов.

Путем смешивания различных частных шумов можно обеспечить максимальную степень приближения смеси к фактической диаграммы Аллана, построенной по результатам испытаний конкретного экземпляра ГП. Это позволит считать, что в составе фактически наблюдаемой смеси присутствуют выявленные частные варианты шумов. Построенный таким образом каталог типовых смесей позволит оперативно устранять [1] или компенсировать воздействие факторов, снижающих точность ГП.

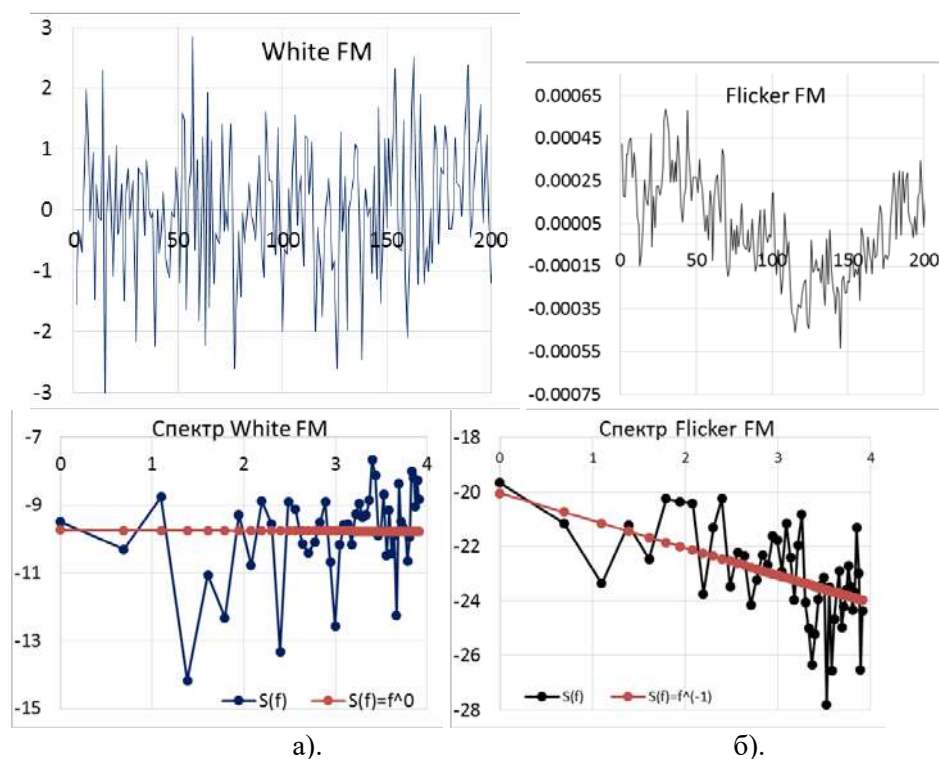


Рисунок 2 – Частные шумы в выходном сигнале гироскопов и их отклонения Аллана: а – белый шум; б – случайные блуждания

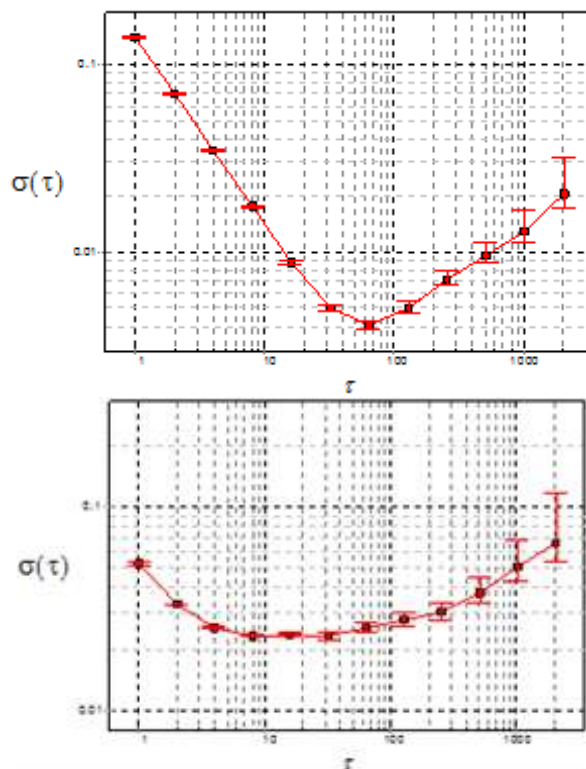


Рисунок 3 – Диаграммы отклонений Аллана для комбинированных шумов

Выводы

На основе имитационного моделирования широкого спектра отдельных погрешностей giroприборов, а также их комбинаций сформирован каталог типовых вариантов отображения спектров погрешностей в виде вариации Аллана. Это позволяет более эффективно проводить мониторинг и идентификацию негативных факторов производства и эксплуатации, что существенно упрощает задачу распознавания источников погрешностей, способствует повышению качества выпускаемых giroприборов.

Литература

1. Вилисов, В. Я. Адаптивный выбор управленческих решений. Модели исследования операций как средство хранения знаний ЛППР / В. Я. Вилисов. // Саарбрюккен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2011. – 376 с.
2. Вилисов, В. Я. Анализ динамики обучения робота в условиях нестационарности критериев модель / 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. Вилисов, В. Я. Марковская модель обучения робота целесообразному поведению / В. Я. Вилисов // Информационно-технологический вестник. – 2015. – № 4. – С. 11-18.
5. Кробка, Н. И. Дифференциальные методы идентификации шумов гироскопов // Гироскопия и навигация. – 2011. – № 1(72). – С. 59-77.
6. Кутовой, Д. А. Оценка основных характеристик бесплатформенного инерциального блока с использованием вариации Аллана / Д. А. Кутовой, П. В. Ситников, А. А. Федотов, В. Л. Якимов // Вестник Самарского ГАУ. – 2014. – № 1(43). – с. 201-209.
7. Матвеев, В. В. Анализ погрешностей микромеханических гироскопов методом вариации Аллана / В. В. Матвеев, М. Г. Погорелов // Известия ТулГУ. – Технические науки. – 2015. – Вып. 3. – С. 123-135.
8. Сайт разработчика программ AlaVar 5.2 и AlaNoise 3.0 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alamath.com>.
9. Allan, D. W. Statistics of Atomic Frequency Standards // Proceedings of the IEEE. – 1966. – Vol. 5. – № 2. – pp. 221-230.
10. Riley, W. J. Handbook of Frequency Stability Analysis. – Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 1065 (July 2008). – p. 136.

УДК 629.78; 629.7.08; 681.5.034

Моделирование полёта космических аппаратов по околоземной орбите

Б.А. Кучеров, аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем,

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

В статье проанализировано использование информационных технологий при организации модели полёта космических аппаратов по околоземной орбите. Отмечено, что модель может найти применение при подготовке специалистов, связанных с ракетно-космической отраслью, и проведении научных исследований. Приведены возможные варианты использования разработанной модели в других областях, в частности в системах спутниковой связи и при распределении средств управления космическими аппаратами.

Модель полёта, космический аппарат, визуализация результатов моделирования, орбитальные элементы, наземная станция.

Modeling Spacecrafts Flight in Near-Earth Orbit

B.A. Kuchеров, post-graduate student of the Department of Information Technology and Control Systems,

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

The article analyses the usage of information technology in the organization of the flight model of spacecrafts on near-Earth orbit. It is noted that the model can be used in learning of specialists involved in the rocket and space industry as well as in scientific researches. The possible variants of using the developed model in other areas are given, in particular in satellite communication systems and in the allocation control facilities for spacecrafts.

Flight model, spacecraft, visualization of modeling results, orbital elements, ground station.

Для повышения эффективности ракетно-космической техники и связанных с ней различных производств, необходимо использование современных информационных технологий, в том числе унифицированных подходов к моделированию объектов ракетно-космического комплекса. К таким объектам относятся и космические аппараты (КА).

Задача моделирования их полёта по околоземной орбите является весьма актуальной, и может найти применение при решении таких задач, как обеспечение планирования дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), обеспечение

управления полётом КА, обеспечение использования систем спутниковой связи, различные научно-исследовательские и образовательные задачи. При этом важную роль играют удобство и наглядность задания параметров и просмотра результатов моделирования. Также важную роль играют унифицированность и общедоступность исходных данных [1-5].

Для решения указанных задач была разработана модель полёта КА по околоземной орбите, позволяющая осуществлять не только баллистический прогноз движения КА, но и визуализацию результатов моделирования с использованием трехмерной графики [3-6].

Программное обеспечение, реализующее описанную модель, было разработано в среде Embarcadero RAD (Rapid Application Development) Studio XE3. Для создания пользовательского интерфейса использовалась сторонняя библиотека компонентов Developer Express VCL (Visual Component Library). Для работы с трехмерной графикой использовалась библиотека GLScene.

В дальнейшем предполагается реализовать запись результатов моделирования в базу данных. Это существенно расширит возможности по их обработке и подготовке для последующего анализа.

Исходными данными для баллистических расчетов являются орбитальные элементы в формате TLE (Two-line element set) – двухстрочные наборы усредненных кеплеровых орбитальных элементов, генерируемые службой North American Aerospace Defense Command (NORAD) и свободно распространяемые в Интернете.

Орбитальные элементы в формате TLE включают в себя следующие параметры: номер объекта по каталогу NORAD, международное обозначение объекта, эпохальное время, коэффициент торможения, наклонение орбиты, долготу эпохального восходящего узла, эксцентриситет орбиты, аргумент перигея, среднюю аномалию, число оборотов за сутки, номер витка в эпохальное время. Эпохальное время определяет момент времени, к которому привязаны все изменяющиеся во времени поля набора элементов [3-6].

В качестве орбитальной модели для баллистических расчетов по низкоорбитальным КА использовалась модель SGP4 (Simplified General Perturbations – обобщенные упрощенные возмущения). Как известно, к низкоорбитальным относятся КА, период обращения которых менее 225 минут [3-7].

Для высокоорбитальных КА используется модель SDP4 (Simplified Deep Space Perturbations – упрощенные возмущения дальнего космоса) [3-7].

Средние величины для каждого орбитального элемента КА генерируются NORAD с использованием орбитальной модели SGP4/SDP4. Воздействие главных возмущающих сил включено в эти средние величины очень специфичным способом использования указанных моделей, и поэтому именно SGP4/SDP4 должны использоваться для генерации точных прогнозов [3-7].

К главным возмущающим силам, влияющим на низкоорбитальные КА, относятся гравитация Земли (включая некоторые из главных возмущений из-за ее несферической формы и неравномерной плотности) и атмосферное торможение. Влияние солнечного и лунного гравитационного полей и давления солнечного излучения имеет незначительный эффект на этих орбитах [3-7].

На высоких орбитах степень влияния возмущающих факторов меняется. Так, влияние возмущений, вызванных притяжением Солнца и Луны, а также дав-

лением солнечного излучения, возрастает, а возмущения, вызванные торможением КА в атмосфере, становятся не такими значительными [3-7].

Заметим, что в данной модели принят ряд допущений. Так, влияние на КА других объектов на околоземной орбите не учитывается. Как известно, при управлении полётом КА может выполняться коррекция его орбиты путем включения двигательной установки. Принято, что на моделируемом временном интервале такие управляющие воздействия на КА отсутствуют. После проведения коррекции орбиты КА в модель должны быть загружены новые орбитальные элементы в формате TLE.

При расчете зон радиовидимости считается, что приемно-передающие наземные средства обладает достаточной мощностью для работы с заданными КА на любой высоте (принято, что максимальная дальность работы составляет 47 тыс.км.) [3-6].

Модели SGP4/SDP4 позволяют по орбитальным элементам в формате TLE получить координаты КА на заданный момент времени в геоцентрической инерциальной системе координат [3-6].

По координатам КА в указанной системе координат рассчитываются географические координаты его подспутниковой точки, а также топоцентрические координаты КА относительно заданной точки на поверхности Земли. Координаты точки на поверхности Земли задаются в географической системе координат. Топоцентрические координаты КА используются, в том числе, при расчете зон радиовидимости.

В модели присутствует возможность управления ходом модельного времени, который может быть естественным, может быть ускорен, а может быть остановлен (отображение результатов моделирования на фиксированный момент времени) [3-6].

Стоит отметить, что использование общедоступного унифицированного формата TLE и согласованных баллистических моделей расширяет возможности научных коллективов различных образовательных учреждений, оказывая положительное влияние на их взаимодействие и совместную работу.

Вместе с эти, использование TLE накладывает некоторые ограничения на использование модели в научно-исследовательских целях. Как известно, орбитальные элементы в формате TLE формируются службой NORAD только для тех КА, которые находятся на орбите. В связи с этим моделирование полета перспективных КА с произвольно заданными параметрами орбиты возможно только путем подбора из существующих таких КА, параметры орбиты которых наиболее близки к перспективным [7-10].

Использование трехмерной графики для визуализации результатов моделирования зачастую способствует лучшему восприятию информации. Положительный эффект может быть замечен как при использовании в образовательном процессе, так и при использовании в научно-исследовательских и практических целях.

Разработанная модель может найти применение во многих областях помимо образовательного процесса и научно-исследовательских задач. Так, она может быть использована в спутниковых системах связи для расчёта количества спутников, видимых из заданной точки в определенный момент или период времени [11-13].

К другим возможным областям применения данной модели можно отнести использование результатов моделирования полета КА в интересах ДЗЗ. Модель позволяет определить время пролета КА ДЗЗ над территорией, съемку которой необходимо произвести. Имеется возможность определения полосы обзора КА для заданного периода времени.

Представляет интерес наглядное отображение на трехмерной модели зон обзора бортовой аппаратуры КА. Возможно проведение моделирования для нескольких КА ДЗЗ и использование полученных результатов при выборе оптимального варианта для выполнения съемки. Это может быть актуально при мониторинге сельскохозяйственных угодий области, а также в случае различных чрезвычайных ситуаций (например, лесные пожары, весенние паводки). Результаты моделирования могут быть использованы при формировании задания на съемку территории с КА ДЗЗ [3-6].

Помимо этого, данная модель может использоваться радиолюбителями и астрономами при наблюдениях КА. Так, топоцентрические координаты КА могут быть использованы при наблюдении КА, а также при получении сигнала от них. Эта возможность модели может быть востребована в образовательных задачах, при проведении практических или лабораторных занятий по изучению связи со спутниками [3-6].

Особенно стоит отметить возможность применения данной модели при распределении средств управления КА. В условиях бурного наращивания группировки КА и использования малопунктной технологии их управления большое значение приобретает заблаговременное прогнозирование ситуации и оценка загрузки средств управления. Достижению этого может способствовать использование разработанной модели полёта КА.

Результаты моделирования также могут быть использованы для подготовки альтернативных вариантов распределения средств управления КА [14-16]. Помимо этого, моделирование может использоваться при проведении тренировок и обучения персонала органа планирования [17-20].

Таким образом, дано описание возможностей разработанной модели полёта КА по околоземной орбите. Рассмотрены области её возможного применения в образовательных учреждениях, в частности при подготовке специалистов, связанных с ракетно-космической отраслью, и проведении научных исследований. Отмечено, что разработанная модель также может найти применение при решении различных практических задач в других областях.

Литература

1. Артющенко, В. М. Повышение эффективности систем спутниковой связи путем оптимизации параметров земных станций / В. М. Артющенко, Т. С. Аббасова, Б. А. Кучеров // Радиотехника. – 2015. – № 2. – С. 76-82.
2. Артющенко, В. М. Современные направления развития корпоративных сетей спутниковой связи / В. М. Артющенко, Т. С. Аббасова, Б. А. Кучеров // Двойные технологии. – 2014. – № 3(68). – С. 67-72.
3. Кучеров, Б. А. Использование модели полёта космических аппаратов в образовательной и научно-исследовательской деятельности специализированных ВУЗов. Перспективы, организационные формы и эффективность развития сотрудничества российских и зарубежных ВУЗов / Б. А. Кучеров // Сборник материалов Международной научно-практической конференции 24-25 апреля 2014 г.: Королев МО: ФТА.

- Изд-во «Канцлер». – 2014. – С.370-375 (512 с.).
4. 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.
 5. Артюшенко, В. М. Анализ влияния наращивания группировки космических аппаратов на распределение средств управления / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 4(32). – С. 42-45.
 6. Кучеров, Б. А. Имитационная модель полёта искусственного спутника Земли по низкой орбите / Б. А. Кучеров, В. Б. Коптев // Сб. материалов XII Ежегодной научной конференции студентов Королёвского института управления, экономики и социологии «Ресурсам области – эффективное использование». – 2012. – С. 121–125.
 7. Vallado, D. A. Revisiting spacetrack report #3: rev 2. AIAA-2006-6753-Rev2. [Text] / D. A. Vallado, P. Crawford, R. Hujzak, T. S. Kelso // AIAA Astrodynamics Specialists Conference and Exhibit. Keystone, CO: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006. 94p.
 8. Artuschenko, V. M. Modeling transmission rate of ground stations when working as part of a meshed network / V. M. Artuschenko, B.A. KucheroV // Austrian Journal of Technical and Natural sciences. – 2014. – № 7-8. – pp. 96–99.
 9. Artyushenko, V. M., Volovach, V. I. Threshold method of measurement of extended objects speed of radio engineering devices of short-range detection // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014). Kiev, Ukraine, September 26-29, 2014 – 2014. KNURE, Kharkov. – PP. 220-223.
 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. Алгоритмы адаптации линий спутниковой связи по мощности передающих устройств земных станций при работе в составе узловой сети / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – № 4, т. 10. – С. 64–73.
 12. Артюшенко, В. М. Анализ энергетических характеристик линий корпоративной сети спутниковой связи / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Информационно-технологический вестник. – 2014. – № 01(01). – С. 13–19.
 13. Артюшенко, В. М. Сбор и обработка виброакустических процессов на борту ракетно-космической техники / В. М. Артюшенко, В. А. Бекетов, С. В. Кузьмин, А. Ю. Майданов, А. П. Мороз, В. И. Привалов // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 4(32). – С.23-28.
 14. Артюшенко, В. М. Организация информационного обмена между элементами наземного комплекса управления группировкой космических аппаратов / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Прикладная информатика. – 2014. – № 1(49). – С. 33–43.
 15. Артюшенко, В. М. Роль информатизации в повышении оперативности распределения средств управления космическими аппаратами / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 4(157). – С. 67–72.
 16. 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.
 17. Артюшенко, В. М. Информатизация управления группировкой космических аппаратов / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Прикладная информатика. – 2013. – № 6(48). – С. 6-14.

18. Артюшенко, В. М. Оценка требуемой пропускной способности каналов управления в корпоративной сети спутниковой связи с регулируемыми параметрами / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Информационно-технологический вестник. – 2015. – № 02(02) – С. 23-29.
19. Артюшенко, В. М. Анализ состояния автоматизации распределения средств управления космическими аппаратами / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 3-1(31). – С. 14-17.
20. Кучеров, Б. А. Адаптация мощности земных станций узловой сети спутниковой связи при работе в стволе с прямой ретрансляцией / Б. А. Кучеров // Двойные технологии. – 2015. – № 1(70). – С. 53-58.

УДК 533.5

Физические аспекты создания приборов контроля процессов дегазации космических аппаратов (КА) и установления вакуума в зоне возможных разрядных процессов

Н.М. Пушкин, д.т.н., главный конструктор по направлению,
С.В. Бацев, к.т.н., начальник отдела,
А.Н. Филиппов, начальник сектора,

Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники» г. Королев, Московская область, (АО «НПО ИТ»)

Рассмотрены вопросы разработки ионизационных датчиков вакуума. Проанализированы схемы организации разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях. Приведена оптимальная конструкция датчика вакуума. Кратко изложены вопросы измерения и преобразования сигналов датчика.

Датчик вакуума, дегазация КА, разрядный процесс.

Physical Aspects of Creation of Control Devices of Space Vehicle (KA) Degassing Processes and Vacuum Installation in Zone of Possible Discharge Processes

N.M. Pushkin, Dr. Sci. Tech., the Chief Designer in the direction,
S.V. Batshev, Cand. Tech. Sci., Head of Department,
A.N. Filippov, Head of Sector,

Joint Stock Company «Scientific and Production Association of Measuring Equipment», Korolev, Moscow region

Problems of development of vacuum ionized sensors are considered. Schemes of the discharge structure in the crossed electric and magnetic fields are analyzed. The optimum design of the vacuum sensor is given. Questions of measurement and signal conversion of the sensor are briefly stated.

Vacuum sensor, space vehicle degassing, discharge process.

При запуске космических аппаратов (КА) с электронной аппаратурой (РЭА), имеющей значительную мощность, актуальной является задача контроля процессов дегазации конструкции КА и установления вокруг КА давления окружающей ионосферной среды. Это обусловлено тем, что повышенное, по сравнению с окружающей, давление газовой среды может оказать влияние, в соответствии с законом Пашена, на развитие разрядных процессов на узлах РЭА с высокими уровнями мощности и напряжения и, как следствие, может оказать существенное влияние на качество и надежность функционирования бортовой аппаратуры [1].

Дегазация поверхности КА имеет место непосредственно после запуска КА, а также после работы двигателей ориентации и коррекции. Контроль про-

цессов дегазации является одним из элементов обеспечения надежной эксплуатации целевой аппаратуры КА.

Как показал проведенный анализ известных методов, одним из наиболее оптимальных методов контроля процессов дегазации и вакуума в диапазоне давления 10^{-6} - 10^{-3} мм рт.ст. является ионизационный метод [2]. Для выявления факта повышения давления наиболее рационально использовать ионизационный датчик, в котором используется разряд в скрещенных магнитном и электрических полях. В пространстве между электродами датчика, в этом случае, будет реализовываться кольцевой тлеющий разряд с замкнутым дрейфом электронов.

Принцип действия магниторазрядных измерительных преобразователей (датчиков) низких давлений основан на зависимости тока самостоятельного газового разряда в скрещенных магнитном и электрическом полях от давления внешней среды.

Электродные системы, обеспечивающие поддержание самостоятельного газового разряда можно выполнить в различных конструктивных вариантах.

Электроны, возникающие в датчике в результате автоэлектронной эмиссии, движутся в скрещенных электрическом и магнитном полях по циклоиде, образованной окружностью диаметром

$$D=2m E (qB^2), \quad (1)$$

где: E – напряженность электрического поля;

B – магнитная индукция;

m и q – масса и заряд электрона.

При проектировании датчика вакуума магнитная индукция B выбирается больше критического значения, препятствующего непосредственному попаданию электрона на анод, соответствующего значению $V_{крит} \geq 0,1$ Тл. При соударении с молекулой электрон теряет часть энергии на ее ионизацию и перемещается в радиальном направлении к аноду. В связи с тем, что радиальная скорость электрона значительно меньше тангенсальной, при низких давлениях в разрядном промежутке образуется отрицательный объемный заряд.

Положительные ионы, образовавшиеся в результате столкновения с электронами, движутся к катоду. Так как их масса значительно больше, чем у электрона, их траектория в магнитном поле не искривляется до соударения с катодом, из которого они выбивают вторичные электроны, ток которых пропорционален ионному току.

Таким образом, разрядный ток датчика будет равен:

$$I_p = I_f + I_u + I_v, \quad (2)$$

где: I_f – фоновый ток автоэлектронной эмиссии;

I_u – ионный ток;

I_v – ток вторичной электронной эмиссии.

При этом фоновый ток не зависит от давления. Ионный ток и ток вторичной электронной эмиссии зависит от давления:

$$I_u + I_v = ap^n, \quad (3)$$

где: a и n – постоянные.

Учитывая эту зависимость и пренебрегая фоновым током, получим уравнение магнитного преобразователя:

$$I_p = K_u \cdot ap^n, \quad (4)$$

где: I_p – ток разряда датчика;

K_u – коэффициент, определяющий электрофизические параметры прибора.

В целом разрядный ток магниторазрядного датчика нелинейно зависит от давления.

Верхний предел измерения связан с ограничением максимального разрядного тока балластным сопротивлением, защищающим измерительный прибор от возникновения дугового разряда. Для расширения верхнего предела измерения следует уменьшить анодное напряжение и размеры разрядного промежутка. Обычно верхний предел измерения находится в области давлений 0,1 мм рт.ст.

Нижний предел измерения определяется временем зажигания разряда и значением фонового тока. В современных приборах он составляет $\sim 10^{-9}$ мм рт.ст. Для уменьшения фонового тока катоды экранируют от анода в области, где напряженность электрического поля максимальна (где сближаются аноды и катоды). Тогда большая часть фонового тока замыкается на экраны и минует измеряемый разрядный ток, который идентифицируется с давлением.

Для обеспечения зажигания разряда при низких давлениях, когда электрический пробой согласно закону Пашена затруднен, необходимо повышать анодное напряжение и увеличивать размеры разрядного промежутка (левая ветвь кривой Пашена) и применять другие меры для облегчения зажигания разряда (иголки на экранах, подогрев катода и др.).

При применении сильных магнитных полей ($B > 0,1$ Тл) значение постоянной в формуле, описывающей чувствительность прибора, стремится к 1. При этом зависимость разрядного тока от давления становится линейной, а диапазон измерений расширяется как в области низких, так и в области высоких давлений.

Результаты исследования потенциала зажигания самостоятельного электрического разряда с замкнутым дрейфом электронов при коаксиальной геометрии электродов в однородном магнитном поле представлены в работе [3]. В ней приведено выражение для таунсендовского коэффициента ионизации α в поперечном магнитном поле при учете только ионизационных столкновений электронов с атомами. Предполагается, что каждое столкновение электрона с атомом при энергии электрона, превосходящей энергию ионизации атома, приводит к его ионизации. Есть работы, где не все столкновения электронов с атомами полагались ионизационными, при этом учитывается влияние на коэффициент ионизации α упруго рассеянных электронов.

Выражение, определяющее α , получено в приближении постоянной длины свободного пробега электрона. Данное выражение имеет вид:

$$\alpha \frac{3E}{q \left(\frac{4E^2}{\eta B^2} + V_i \right)}, \quad (5)$$

где: E – напряженность электрического поля;

B – индукция магнитного поля;

V_i – потенциал ионизации атома;

η – отношение заряда электрона к его массе;

q – множитель, больший единицы, характеризующий вероятность

$w = \frac{1}{q}$ ионизации электрона при столкновении с атомом.

В ионизационном датчике вакуума возможны различные схемы организации разряда в скрещенных магнитном и электрическом полях. От варианта организации разряда во многом будет зависеть его мощность, сложность конструкции, габариты и вес датчика.

Одной из широко применяемых схем организации разряда в скрещенных полях является магнитная схема с полюсными магнитными наконечниками и concentрически расположенными электродами. Такая схема приведена на рисунке 1.

Другим возможным вариантом конструкции датчика вакуума является вариант, в котором реализуется схема с плоскопараллельным расположением магнитов. Схемно-конструктивный вариант такого датчика приведен на рисунке 2 [4].

Как показали выполненные экспериментальные работы, второй вариант организации схемы магниторазрядного процесса позволяет обеспечить более оптимальную и компактную, для бортовых условий, конструкцию датчика.

Основным параметром магниторазрядного датчика является нижний предел давления, при котором в нем еще зажигается разряд. Этот предел определяется величинами индукции магнитного поля и напряженностью электрического поля в полости датчика.

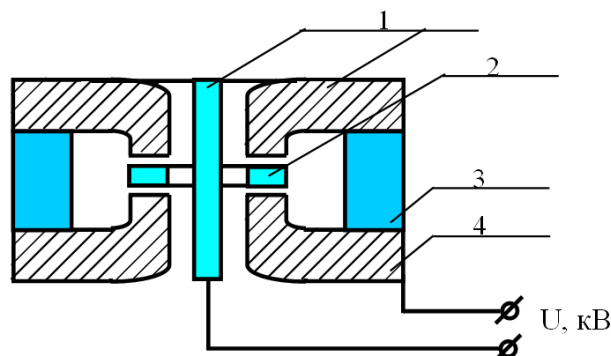


Рисунок 1 – Конструктивная схема магниторазрядного датчика

Здесь: 1 – электроды; 2 – зона разряда;

3 – магнит кольцевой; 4 – магнитопровод

При заданном значении индукции магнитного поля величина необходимой величины напряженности электрического поля для различных предельных значений давлений будет различная.

На основе выполненных оценок можно заключить, что величина необходимой для контроля давления до ($P_{\max} \sim 104-105$ мм рт.ст.) напряженности электрического поля составляет ≥ 35 кВ/м. Такая напряженность может быть получена в датчике с расстоянием между электродами ~ 1 см. при напряжении на них ≥ 350 В.

Величина токов разряда, возникающих в датчике и схеме его питающей при высоких ($\sim 10-2$ мм рт.ст.) давлениях, составляет 0,3-0,4 ма. Мощность переменной составляющей разрядного процесса составляет $\sim P = V \cdot I = 350 \text{ В} \cdot 0,4-10-3 \text{ А} = 140$ мВт. Данная величина уточняется при отработке конкретной конструкции датчика и системы в целом. Электромагнитное излучение разрядного процесса ослабляется за счет металлического корпуса датчика и применения экранированных соединительных проводов.

На рисунке 3 приведена экспериментально полученная зависимость необходимой в магнитоэлектрическом датчике напряженности электрического поля для измерения давлений различного уровня. Магнитное поле в датчике имеет индукцию равную $\sim 0,2$ Тл.

Величину токов, возникающих в датчике и схеме его питающей при различных давлениях, можно оценить исходя из экспериментальной зависимости, приведенной на рисунке 4. Ориентировочная величина максимальных токов разряда составляет величину порядка 1 мА для давления $\sim 10^{-2}$ мм рт.ст., а минимальное значение 1 мкА – для давлений порядка 10^{-6} мм рт.ст. Таким образом, в датчике осуществляется перекрытие трех порядков измерения величины микро-токов электрического разряда между электродами.

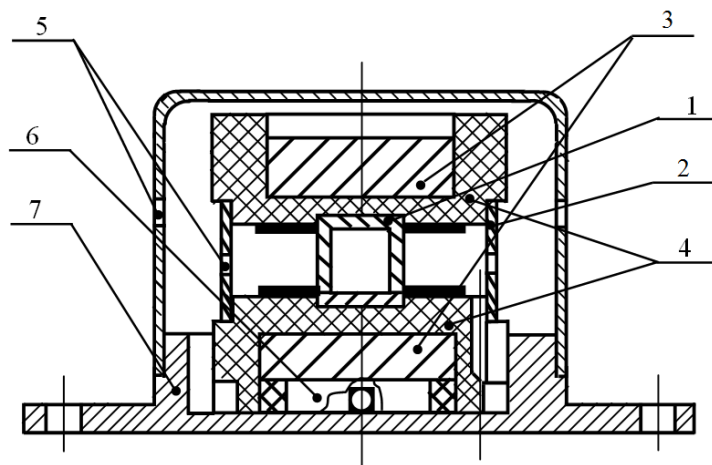


Рисунок 2 – Датчик вакуума

Здесь: 1 – катод; 2 – анод; 3 – дисковые магниты;
4 – диэлектрические держатели; 5 – отверстия;
6 – отсек; 7 – корпус.

На рисунке 3 приведена экспериментально полученная зависимость необходимой в магниторазрядном датчике напряженности электрического поля для измерения давлений различного уровня. Магнитное поле в датчике имеет индукцию равную $\sim 0,2$ Тл.

Величину токов, возникающих в датчике и схеме его питающей при различных давлениях, можно оценить исходя из экспериментальной зависимости, приведенной на рисунке 4. Ориентировочная величина максимальных токов разряда составляет величину порядка 1 мА для давления $\sim 10^{-2}$ мм рт.ст., а минимальное значение 1 мкА – для давлений порядка 10^{-6} мм рт.ст. Таким образом, в датчике осуществляется перекрытие трех порядков измерения величины микротоков электрического разряда между электродами.

Систему контроля вакуума целесообразно выполнить состоящей из датчика (датчиков) и преобразователя, соединенными между собой кабелем. Существенной проблемой при создании модуля контроля вакуума является проблема передачи из преобразователя в датчик высоковольтного ($1 \div 2$ кВ) напряжения. Задача обеспечения высоковольтных разъемных соединений требует частного конструктивного решения.

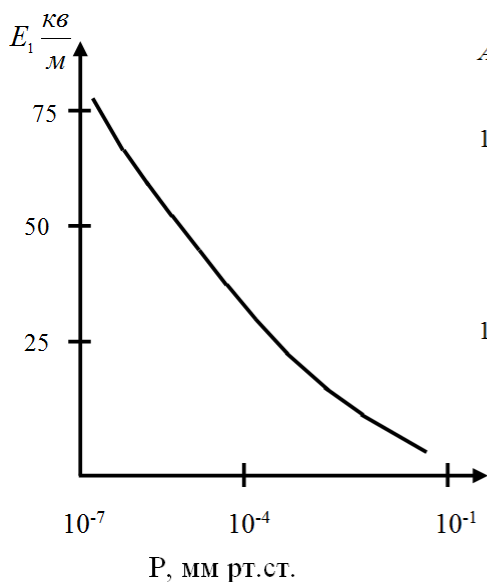


Рисунок 3 – Зависимость необходимой в магниторазрядном датчике напряженности электрического поля от уровня вакуума

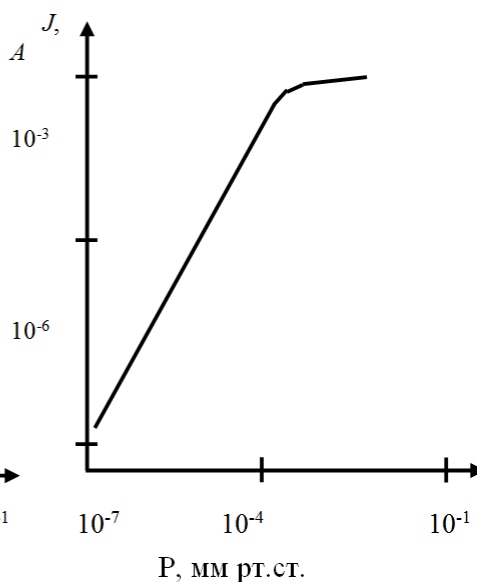


Рисунок 4 – Зависимость величины токов в магниторазрядном датчике от уровня вакуума

Преобразователь к датчику вакуума включает в свой состав следующие узлы:

- высоковольтный источник питания;
- схемы опторазвязки электронных компонентов преобразователя от высоковольтного напряжения датчика;

- схемы преобразования сигналов датчика;
- схему питания электронных компонентов.

Принцип конструктивного исполнения магниторазрядного датчика изложен выше. В соответствии с этим электрическая часть датчика состоит из двух электродов, на которые подается высоковольтное напряжение. Согласно расчетам величина высоковольтного напряжения, необходимого для обеспечения работы датчика в заданном диапазоне, должна быть $\sim 2,5$ кВ.

Высоковольтный источник выполнен по схеме импульсного преобразователя напряжения с повышающим трансформатором и широтно-импульсной стабилизацией выходного напряжения. Высоковольтный источник имеет в своем составе схему токовой защиты от больших токов и токов короткого замыкания, которые возникают при давлениях порядка $1 \div 0,1$ мм рт.ст.

Высоковольтное напряжение на электроды датчика подается через нагрузочное сопротивление величиной порядка 1 Мом, которое выполнено составным, при этом полезный сигнал снимается с части этого составного сопротивления. Полезный сигнал датчика подается на схему преобразования.

Измерительная часть преобразователя выполняется на операционных усилителях и оптопарах. Разрядный ток датчика сначала преобразуется оптопарами в световой сигнал, а затем в выходное напряжение, изолированное от высоковольтного напряжения.

Литература

1. Кузьмин, В. В., Левина, Л. Е., Творогов, И. В. Вакуумметрическая аппаратура техники высокого вакуума и течеискания / В. В. Кузьмин, Л. Е. Левина, И. В. Творогов // М.: Энергоиздат. – 1984. – 240 с.
2. Попов, Ю. С. Зажигание электрического разряда с замкнутым дрейфом электронов в неоднородном магнитном поле / Ю. С. Попов // Сб. Физика плазмы и некоторые вопросы общей физики. ЦНИИмаш. – 1990 г.
3. Пушкин, Н. М. Электрофизика ракетно-космического полета и ее основные аспекты / Н. М. Пушкин // Космонавтика и ракетостроение. – 1997. – № 8 с. 131-135.
4. Пушкин, Н. М., Юлдашев, Э. М. Датчик вакуума / Н. М. Пушкин, Э. М. Юлдашев // Патент РФ № 242813 от 27.08.2011 г.

УДК 629.7

Системный анализ параметров эффективности телекоммуникационного оборудования

Т.С. Аббасова, к.т.н. доцент,

К.Л. Самаров, д.т.н. профессор,

Государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Построены математические модели системы для контроля состояния электромагнитной безопасности телекоммуникаций, осуществлена формальная постановка задачи эффективного контроля электромагнитной безопасности в терминах построенной модели, а также системный анализ ошибок принятия решения о состоянии электромагнитной безопасности телекоммуникаций в условиях неполной информации и получение ряда оценок для них; полученные результаты показывают, что предлагаемая модель согласуется с практическими соображениями; результаты данной работы могут быть использованы при практическом создании систем контроля электромагнитной совместимости телекоммуникационного оборудования.

Электромагнитная совместимость, системный анализ, условия эксплуатации, множество контролируемых параметров, политика контроля.

System Analysis of the Parameters of the Telecommunication Equipment to Improve Operational Efficiency

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

K.L. Samarov, Ph.D. Professor,

State Educational Institution of Higher Education

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

The mathematical model of a system to monitor the status of electromagnetic safety of telecommunications carried out a formal statement of the problem of effective control of electromagnetic safety in terms of the constructed model, as well as a systematic analysis of errors a decision on the status of telecommunications in the electromagnetic safety conditions of incomplete information and to obtain a number of estimates for them; the results show that the proposed model is consistent with practical considerations; the results of this work can be used in the practice of creating control systems electromagnetic compatibility of telecommunications equipment.

Electromagnetic compatibility, system analysis, operating conditions, the set of monitored parameters, control policy.

Проблемы контроля электромагнитной безопасности телекоммуникаций

Вопросы сокращения экономических затрат на минимизацию воздействия электромагнитных помех на сотрудников, обслуживающих телекоммуникационное оборудование, а также вопросы экономической оценки негативного воздействия электромагнитного поля на состояние окружающей среды и введения компенсационных платежей за данное негативное воздействие, исследованы недостаточно и требуют своего научного обоснования. Автоматизация контроля электромагнитной безопасности телекоммуникационного оборудования с использованием компьютерных систем поддержки принятия решений позволит сократить расходы на диагностику и мониторинг за счет уменьшения времени на эти процедуры и высвобождения обслуживающего персонала, уменьшить (в идеале – устранить) компенсационные платежи за негативные воздействия.

Одним из перспективных направлений автоматизации контроля телекоммуникационных сетей в сложных условиях эксплуатации (высокий уровень электромагнитных помех, ЭМП) является разработка адаптивных отказоустойчивых систем, обеспечивающих повышение эффективности эксплуатации путем автоматического обнаружения, локализации и исправления ошибок, возникающих из-за нарушения электромагнитной совместимости оборудования.

В данной статье термин «электромагнитная безопасность» рассматривается как система знаний (методов, способов), направленная на устранение вреда, наносимого телекоммуникационному оборудованию электромагнитным излучением. Отличительной чертой воздействия ЭМП на оборудование телекоммуникационной инфраструктуры является не физическое разрушение элементной базы и каналов связи, а нарушение логической целостности передаваемой и обрабатываемой информации. Поэтому нарушение требований электромагнитной безопасности может привести к большим экономическим потерям при обработке важной финансовой и стратегической информации. По существу, рассмотрены вопросы информационной безопасности, имеющие электромагнитную природу, которые по своей сути близки к задачам обеспечения электромагнитной совместимости технических средств.

В работах [1...3] разъясняются базовые теоретические моменты общих вопросов обеспечения информационной безопасности и электромагнитной совместимости, приводятся примеры отдельных технических решений, справочный материал по техническим средствам мониторинга электромагнитной обстановки, проблемы защиты персональных данных без учета электромагнитной природы помех. Для полноценного контроля электромагнитной совместимости телекоммуникационного оборудования необходим системный анализ параметров электромагнитной безопасности для составления и принятия решений об уровне электромагнитной безопасности, а также для принятия мер по локализации и устранению возникающих из-за нарушения электромагнитной совместимости ошибок.

Логика и принципы работы системы, осуществляющей контроль электромагнитной безопасности телекоммуникаций

Согласно стандарту [4] для обеспечения электромагнитной безопасности телекоммуникационного оборудования необходимо предотвращать влияния помех не только на стадии проектирования телекоммуникационных систем, но и при их монтаже, с учетом взаимовлияния следующих подсистем: экранирования, заземления, интерфейсов, кабельной, питания.

Для оценки электромагнитной безопасности телекоммуникационной системы при помощи виртуальных сред, основанных на широко распространенных пакетах моделирования, предлагается итерационный алгоритм, который позволяет принимать решение о правильности выбора параметров. Схема работы алгоритма приведена на рисунке 1. С помощью данного алгоритма предлагается оценивать ЭМС оборудования и каналов связи для целей мониторинга и управления телекоммуникационными объектами. Интеллектуальная система поддержки решений должна обеспечить устранение проблем ЭМС на участках телекоммуникационной инфраструктуры [3].

Для визуализации типов данных, характеризующих параметры помех, применяются стандартные 2D/3D-образы, линейные графики, гистограммы, которые формируются в визуальные отчеты [5].

Параметры ЭМП, критичные с точки зрения электромагнитной безопасности телекоммуникационной системы, будем называть параметрами электромагнитной безопасности. Автоматизированная система контроля состояния защищённости запоминает эталонные настройки данных параметров в своей базе данных. Значения эталонных настроек определяются требованиями стандартов. При осуществлении проверки состояния защищённости производится сравнение текущих параметров с эталонными параметрами. В случае выявления несоответствия выдаётся предупреждения о том, что уровень электромагнитной безопасности является неадекватным.

Каждый раз при осуществлении проверки производить сравнение абсолютно всех параметров, сохранённых в базе данных, не представляется возможным из-за того, что на проведение такого сравнения требуются существенные вычислительные и временные ресурсы, которые отнимаются у автоматизированной системы в процессе проведения проверки. Если число проверяемых параметров неоправданно велико, это может приводить к существенному снижению работоспособности автоматизированной системы и даже в ряде случаев к отказу в обслуживании. Поэтому среди всех параметров выделяется некоторое подмножество наиболее критичных, они подлежат сравнению, остальные параметры остаются неконтролируемыми. Перечень параметров, подлежащих контролю, в дальнейшем именуется политикой контроля.



Рисунок 1 – Алгоритм оценки выбора параметров телекоммуникационного оборудования для обеспечения ЭМС

При отклонении какого-либо параметра от эталонного значения имеет место потенциальный ущерб, связанный с возможностью реализации угроз электромагнитной безопасности, имеющих отношение к этому параметру. Например, даже при случайных переключениях из-за незначительных помех чувствительно к ЭМП телекоммуникационного оборудования или переводе электронных приборов (например, логических элементов) в режим самозащиты происходит нарушения функционирования телекоммуникаций, которые могут закончиться аварийными ситуациями. Чаще всего возникающие проблемы связаны с кабельной или заземляющей системами [6...12]. Ущерб от нарушения функционирования имеет место для контролируемых и неконтролируемых параметров. Разница лишь в том, что с отклонениями неконтролируемых параметров приходится «мириться», значения же отклонений контролируемых параметров известны, и есть возможность вносить коррективы в регулирование этих параметров.

Приведённое выше неформальное описание логики и принципов работы для автоматизированной системы контроля состояния электромагнитной безопасности будет использовано для создания формальной математической модели данной системы, которая может быть полезна при непосредственной реализации систем данного класса.

Формальная модель системы контроля электромагнитной безопасности телекоммуникационной системы

Пусть телекоммуникационная система имеет N параметров электромагнитной безопасности (например, для телекоммуникационной сети на основе электрических кабелей: межкабельные наводки, переходные наводки на ближнем и дальнем конце кабеля, целостность проводов кабеля, отсутствие замыканий между ними и правильность заделки проводов в разъемы, волновое сопротивление кабеля, утечка и другие электрические параметры кабеля). Эта система описывается переменными $\{\pi_1, \dots, \pi_N\}$, где для всех $i = 1, N$ π_i принадлежит некоторому множеству Σ_i (носителю i -го параметра). Как уже говорилось выше, в реальных системах число параметров электромагнитной безопасности весьма велико. На всех множествах Σ_i некоторым образом вводится функция расстояния между двумя элементами: это вещественная неотрицательная симметричная функция, равная нулю исключительно в случае совпадения элементов. Практически такую функцию ввести нетрудно, поскольку множества Σ_i зачастую являются либо подмножествами множеств целых или вещественных чисел (числовые параметры систем, например минимальная длина пароля), либо множествами строк определённой длины (строковые параметры систем), либо массивами опять же чисел или строк (например, списки контроля доступа). Таким образом, мы имеем возможность измерить, насколько близко текущее значение измеряемого параметра безопасности к эталонному, сохранённому в базе данных системы контроля защищённости.

Будем считать, что на измерение отклонения параметра π_i от эталона требуется $t_i > 0$ времени, стоимость потери времени на измерение отклонения параметра π_i обозначим через $h_i = h_i(\pi_i) > 0$. Стоимость потерь одного и того же количества времени может быть существенно различной, поскольку отклонения некоторых параметров (например, параметров, связанных с производительностью

того или иного компонента автоматизированной системы) возможно измерять исключительно в рамках определённых циклов работы системы. Стоимость прерывания различных циклов, связанных с измерениями параметров, очевидно, может быть совершенно различной (например, стоимость прерывания консолидированных отчётов о деятельности предприятия гораздо выше стоимости прерывания процесса подготовки к печати офисных документов). В связи с тем, что, как было сказано выше, практически измерять в системе не все параметры электромагнитной безопасности, а лишь их часть, вводится следующее понятие.

Определение 1. Любое подмножество $Y \subset \{1, \dots, N\}$ назовём политикой контроля или множеством контролируемых параметров. При заданной политике контроля Y параметры $\{\pi_i / i \in Y\}$ будем называть контролируемыми параметрами, остальные – неконтролируемыми (в рамках политики контроля Y). Для любой политики контроля Y определим временные затраты на контроль, выраженные в некоторых условных единицах (например, в деньгах), следующим образом.

Определение 2. Временные затраты на контроль по политике Y есть

$$L_i(Y) = \sum_{i \in Y} h_i t_i. \quad (1)$$

Таким образом, в данной модели мы считаем, что измерения отклонения каждого параметра вносят затраты по отдельности. Это допущение представляется оправданным, поскольку при детальном рассмотрении механизма мультизадачности становится понятным, что время параллельного выполнения задач (особенно чисто вычислительных задач, не использующих аппаратных возможностей устройств ввода-вывода) есть сумма времён их отдельного выполнения.

Отметим, что в дальнейшем все рассматриваемые величины, имеющие смысл потерь, выражаются в тех же условных единицах, что и величина L_i .

Определим семейство случайных величин $\{X_i / i = 1, N\}$, отражающих возможное значение отклонения i -го параметра электромагнитной безопасности от эталонного значения. Для каждого $i = 1, N$ определим вещественную неотрицательную функцию $C_i(x)$, отражающую стоимость отклонения i -го параметра от эталона на величину x , при этом $x C_i(x)$ – значение потерь, которые несёт предприятие в случае, если значение i -го параметра безопасности отклонилось на x от эталона. Природу этих потерь мы не рассматриваем в данной работе, полагая лишь, что в них входят все возможные потери (прямые финансовые, косвенные финансовые, репутационные и т. д.). Из практических соображений ясно, что функцию $C_i(x)$ можно считать монотонно неубывающей (а также борелевской) при каждом $i = 1, N$.

Будем считать, что величины X_i независимы в совокупности. Данное допущение связано с тем, что если какая-либо взаимосвязь между отклонениями имеется, мы будем учитывать её в виде отдельных слагаемых, а также в виде стоимости отклонений для каждого из параметров. Введём следующие случайные величины.

Определение 3. Величины

$$\xi(Y) = \sum_{i \in Y} X_i C_i(X_i), \quad (2)$$

$$\eta(Y) = \sum_{i \in \{1, \dots, N\} \setminus Y} X_i C_i(X_i), \quad (3)$$

выраженные в условных единицах, имеют смысл величины ущерба от отклонения контролируемых параметров безопасности от эталона и величины ущерба от отклонения неконтролируемых параметров безопасности от эталона соответственно. Таким образом, будем считать, что ущерб от отклонения совокупности параметров от эталонных значений есть сумма ущербов от отклонения каждого из параметров. Ущерб считается случайной величиной, поскольку неизвестно, к чему именно приведут расхождения в настройках параметров безопасности: это расхождение может быть использовано злоумышленниками, а может и не быть замечено.

Поскольку реальное число параметров безопасности (значение параметра N модели) в реальной системе очень велико, количество контролируемых параметров велико (иначе смысл самого процесса контроля теряется) и при этом практически невозможно контролировать все параметры, то будем считать, что мощности множеств Y и $\{1, \dots, N\} \setminus Y$ тоже достаточно велики. Тогда можно считать, что в каждую из сумм для $\zeta(Y)$ и $\eta(Y)$ входит большое число слагаемых, а значит, будем в данной модели системы контроля полагать, что случайные величины $\zeta(Y)$ и $\eta(Y)$ имеют нормальные распределения:

$$\begin{aligned} \zeta(Y) &= N(a(Y), \sigma(Y)^2), \quad a(Y), \sigma(Y) > 0, \\ \eta(Y) &= N(b(Y), \rho(Y)^2), \quad b(Y), \rho(Y) > 0. \end{aligned}$$

Пусть U – предельное допустимое значение общих потерь (связанных с отклонениями как контролируемых, так и неконтролируемых параметров), т. е. потери, меньшие U , считаются приемлемыми, большие – неприемлемыми, требующими принятия контрмер. Соответственно, если $\zeta(Y) + \eta(Y) \leq U$, то ситуация считается неопасной, в противном случае ситуация считается опасной.

Основная проблема связана с тем, что мы контролируем не все параметры, а только их часть, поэтому о значении величины $\eta(Y)$ мы однозначно ничего не знаем (более того, мы даже можем не располагать сведениями о значении параметров $b(Y), \rho(Y)$). В то же время система контроля должна принимать решение об уровне опасности ситуации и соответствующим образом реагировать. Критерий принятия решений, основанный лишь на значении величины $\zeta(Y)$ (вернее, её конкретной реализации в данный конкретный момент времени), следующий.

Если значение ущерба от отклонения контролируемых параметров $\zeta(Y)$ превышает некоторое заранее заданное значение V , то есть если выполнено неравенство $\zeta(Y) > V$, система контроля считает ситуацию опасной и принимает адекватные меры (способы принятия этих мер выходят за рамки данной работы и не рассматриваются – по данной проблеме существует множество специализированной литературы).

Как и любой статистический критерий принятия решений, данный критерий характеризуется двумя основными параметрами: ошибками первого и второго рода. Ошибка первого рода $q_1(Y)$ (соответствует ситуации «пропуск цели») – принятие решения об отсутствии опасности в реально опасной ситуации, ошибка второго рода $q_2(Y)$ («ложная тревога») – наоборот, принятие безопасной ситуации за опасную ситуацию. Каждая ошибка принятия решения характеризуется затратами (потерями), которые зависят от величин ошибок первого и второго рода. В

случае ошибки первого рода $q_1(Y)$ это в первую очередь затраты, связанные с нарушением электромагнитной безопасности (например, несанкционированный доступ к информации), в случае ошибки второго рода $q_2(Y)$ – затраты, связанные с реакцией на ложное событие (накладные расходы на ложное реагирование).

В рассматриваемой модели системы контроля мы будем считать, что затраты, связанные с ошибками принятия решения, являются линейными функциями от величин этих ошибок, выраженных в условных единицах, т.е.

$$L_1(Y) = L_1 q_1(Y),$$

$$L_2(Y) = L_2 q_2(Y),$$

где параметры L_1, L_2 считаются постоянными.

Общие потери в результате ошибок контроля будем выражать в условных единицах и считать суммой потерь от ошибок первого и второго рода:

$$L_{\text{err}}(Y) = L_1(Y) + L_2(Y) = L_1 q_1(Y) + L_2 q_2(Y).$$

Система контроля защищённости приносит совокупные затраты, связанные

с осуществлением этого контроля. Это затраты на измерение отклонений параметров и затраты, связанные с ошибками принятия решения. Будем считать эти затраты независимыми (поскольку они имеют совершенно различную природу) и общие затраты, связанные с контролем, при заданной политике контроля Y вычислять по формуле

$$L_{\text{ctrl}}(Y) = L_r(Y) + L_{\text{err}}(Y).$$

После внедрения системы контроля общие потери, связанные с нарушением состояния защищённости, будем вычислять по формуле

$$L(Y) = \xi(Y) + \eta(Y) + L_{\text{ctrl}}(Y),$$

т.е. будем считать затраты, связанные с отклонением параметров безопасности, и накладные расходы самой системы контроля независимыми, учитывая тот факт, что расходы носят различный характер.

Задача эффективного контроля защищённости заключается в нахождении такой политики контроля Y , при которой значение совокупных потерь $L(Y)$ минимально. Зачастую на практике данное требование дополняется ограничениями сверху на величины ошибок первого и второго рода. Формально можно записать

$$\begin{cases} L(Y) \rightarrow \min, \\ q_1(Y) \leq \bar{q}_1, \\ q_2(Y) \leq \bar{q}_2 \end{cases}$$

Поскольку величина L есть случайная величина, то выражение $L(Y) \rightarrow \min$ следует понимать как минимизацию некоторой «разумной» детерминированной характеристики величины L , например её среднего значения, верхней границы доверительного интервала с определённым уровнем надёжности и т. д.

Структура функций $\xi(Y)$, $\eta(Y)$, $L_r(Y)$ является понятной с математической точки зрения, поведение же функций существенно зависит от значений входящих в них весовых коэффициентов и других величин (распределения величин X_i , вида функций $C_i(x)$, величины коэффициентов h_i и t_i). Получить эти величины возможно только эмпирически, причём для каждой телекоммуникационной системы значения этих коэффициентов будет различаться. Также возможно определить общий характер этих функций, что имеет существенное значение для решения задач эффективного контроля.

Ниже делается попытка изучения обобщённых характеристик поведения $L_{\text{err}}(Y)$, функции потерь, связанных с ошибками принятия решений. В частности, мы покажем, что при некоторых (разумных с практической точки зрения) ограничениях при усилении политики контроля, можно существенно уменьшить величины ошибок первого и второго рода, а стало быть, значение функции потерь L_{err} . Кроме того, из данного факта будет следовать, что ограничения $q_1(Y) \leq \tilde{q}_1$, $q_2(Y) \leq \tilde{q}_2$, участвующие в постановке задачи эффективного контроля, реализуемы в рамках усиления политики контроля, т.е. задача эффективного контроля является корректной, а вся модель в целом «разумной» с практической точки зрения.

Таким образом, объектом дальнейших рассмотрений будут функции ошибок первого и второго рода $q_1(Y)$ и $q_2(Y)$. Для краткости мы будем опускать параметр Y , считая, что изменения политики контроля (параметра Y) учтены в рассматриваемых ниже изменениях параметров $a(Y)$, $\sigma(Y)$, $b(Y)$, $\rho(Y)$, которые также будут использоваться без упоминания параметра.

Явные выражения для ошибок контроля

Явные выражения для ошибок первого и второго рода даются непосредственно определением ошибок статистического критерия.

Предложение 1. Ошибки q_1 и q_2 могут быть вычислены:

$$q_1 = P(\xi \leq V | \xi + \eta > U), q_2 = P(\xi > V | \xi + \eta \leq U). \quad (4)$$

Определение 4. Для непосредственного вычисления ошибок q_1 и q_2 введём дополнительные величины

$$q_{11} = E_{\xi} \left(P_{\eta}(\eta > U - \xi) I(\xi \leq V) \right), \quad (5)$$

$$q_{12} = E_{\xi} \left(P_{\eta}(\eta > U - \xi) \right), \quad (6)$$

$$q_{21} = E_{\xi} \left(P_{\eta}(\eta \leq U - \xi) I(\xi > V) \right), \quad (7)$$

$$q_{22} = E_{\xi} \left(P_{\eta}(\eta \leq U - \xi) \right), \quad (8)$$

где индекс случайной величины означает, что соответствующая вероятность и ожидание берутся для данной величины (по мере, соответствующей данной величине).

На основе выражений (4) относительно несложно доказывается следующее утверждение).

Предложение 2. С учётом введённых величин значения ошибок могут быть вычислены:

$$q_1 = \frac{q_{11}}{q_{12}}, q_2 = \frac{q_{21}}{q_{22}}. \quad (9)$$

В дальнейшем для расчётов значений ошибок первого и второго рода мы будем использовать выражения (9) и определение 4, но предварительно докажем несколько полезных утверждений.

Лемма 1. $q_{22} = P(\xi + \eta \leq U)$.

Доказательство. Данное утверждение непосредственно следует из теоремы Фубини, применение которой существенно облегчается, поскольку величины ξ и η имеют непрерывную плотность распределения.

Следствие 1. $q_{12} = P(\xi + \eta > U)$.

Следующие утверждения очевидны.

Лемма 2. $q_{12} + q_{22} = 1$.

Лемма 3. Поскольку ζ и η – независимые случайные величины, распределённые по нормальному закону, то $\zeta + \eta = N(a + b, \sigma^2 + \rho^2)$.

Из данных утверждений следуют явные выражения для значений q_{12} и q_{22} :

$$q_{22} = \Phi\left(\frac{U-(a+b)}{\sqrt{\sigma^2+\rho^2}}\right), q_{12} = 1 - q_{22} = 1 - \Phi\left(\frac{U-(a+b)}{\sqrt{\sigma^2+\rho^2}}\right), \quad (10)$$

где функция $\Phi(x)$ (функция Лапласа) определена равенством

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Определение 5. Пусть $D = U - a - b$.

Предложение 3. В реальной ситуации $D \geq 0$, и мы рассматриваем только этот случай. Математическое доказательство данного утверждения не представляется возможным, однако пояснить смысл и справедливость данного предложения достаточно просто. Как было отмечено выше, справедливо равенство

$$q_{12} = \Phi\left(-\frac{D}{\sqrt{\sigma^2+\rho^2}}\right),$$

при этом q_{12} есть уровень опасности вероятность возникновения опасной ситуации в результате расхождения текущих настроек системы с эталонными значениями. Если $D < 0$, то ввиду монотонности функции $\Phi(x)$ справедливо неравенство

$$q_{12} > \Phi(0) = \frac{1}{2},$$

т.е. опасная ситуация возникает более чем в половине случаев, что совершенно неприемлемо с точки зрения здравого смысла и любой методологии анализа рисков. Поэтому в случае, когда опасная ситуация возникает более чем в половине случаев, необходимо применение мероприятий базового характера как организационных, так и программно-технических, построение эффективной системы контроля состояния защищённости в данном положении невозможно.

Для явного вычисления значений ошибок осталось получить явные выражения для величин q_{11} и q_{21} . Оказывается, между ними существует достаточно простая связь, которая будет использоваться нами в дальнейшем.

Лемма 4. Справедливо равенство

$$q_{21} = q_{11} + q_{22} - P(\zeta \leq V).$$

Доказательство. Определим следующие случайные величины, являющиеся функциями от случайной величины ζ :

$$\zeta_1(\zeta) = P_\eta(\eta > U - \zeta), \quad \zeta_2(\zeta) = I(\zeta \leq V).$$

Тогда в соответствии с определением 4 справедливы утверждения

$$q_{11} = E(\zeta_1 \zeta_2), \quad q_{21} = E((1 - \zeta_1)(1 - \zeta_2)).$$

Но тогда в силу свойств математического ожидания

$$q_{21} = 1 - E\zeta_1 - E\zeta_2 + E(\zeta_1 \zeta_2) = 1 - E\zeta_1 - E\zeta_2 + q_{11}.$$

При этом

$$E\zeta_2 = E(I(\zeta \leq V)) = P(\zeta \leq V)$$

по основному свойству математического ожидания и индикатора, $E\zeta_1 = q_{12}$ по утверждению 3.5. Значит, по лемме 3.6

$$q_{21} = 1 - q_{12} - P(\zeta \leq V) + q_{11} = q_{11} + q_{22} - P(\zeta \leq V).$$

Утверждение леммы 3.10 доказано.

Из свойств нормальной случайной величины непосредственно следует, что имеет место равенство

$$P(\xi \leq V) = \Phi\left(\frac{V-a}{\sigma}\right).$$

Справедливо ещё одно простое утверждение, которое проверяется непосредственно и которое справедливо в силу чётности плотности нормальной величины $N(0, 1)$.

Лемма 5. Для любого значения x справедливо равенство $\Phi(-x) + \Phi(x) = 1$.

Вычислим теперь значение q_{11} , исходя из выражения для математического ожидания функции от случайной величины, имеющей непрерывную плотность распределения:

$$q_{11} = E_{\xi} \left(P_{\eta}(\eta > U - \xi) I(\xi \leq V) \right) = \int_{-\infty}^{\infty} ((1 - P_{\eta}(\eta \leq U - x)) I(x \leq V) \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \right)) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^V \left(1 - \Phi\left(\frac{U-b-x}{\rho}\right) \right) e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^V \Phi\left(\frac{x+b-U}{\rho}\right) e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (11)$$

Таким образом, мы получили явное выражение для величин q_{11} , q_{12} , q_{21} , q_{22} , входящих в выражения (9), а значит, и для ошибок первого и второго рода.

Оптимальное значение порога принятия решения

Нетрудно заметить, что значения величин q_{11} и q_{21} , а значит, и ошибки первого и второго рода зависят от порога принятия решения – величины V (при этом значения q_{12} и q_{22} от порога V не зависят, что вытекает из смысла этих четырёх величин).

Логично ожидать, что некоторые значения параметра V будут более подходящими (точный смысл данного утверждения будет раскрыт ниже), чем остальные.

Критерием оптимальности в данном случае, очевидно, служит только условие минимизации потерь в результате ошибок, т. е.

$$V_{opt}: L_{err}(V_{opt}) = \min_V L_{err}(V), \quad (12)$$

если рассматривать функцию L_{err} как функцию от параметра V (при фиксированных значениях всех остальных параметров). Вычислим явно значение V_{opt} .

Используя утверждения, доказанные выше, получим

$$L_{err} = L_1 \frac{q_{11}}{q_{12}} + L_2 \frac{q_{11} + q_{22} - \Phi\left(\frac{V-a}{\sigma}\right)}{q_{22}} = \left(\frac{L_1}{q_{12}} + \frac{L_2}{q_{22}} \right) q_{11} - \frac{L_2}{q_{22}} \Phi\left(\frac{V-a}{\sigma}\right) + L_2. \quad (13)$$

Вычислим производную функции L_{err} :

$$\frac{dL_{err}}{dV} = \left(\frac{L_1}{q_{12}} + \frac{L_2}{q_{22}} \right) \frac{dq_{11}}{dV} - \frac{L_2}{q_{22}} \frac{d}{dV} \Phi\left(\frac{V-a}{\sigma}\right) = \left(\frac{L_1}{q_{12}} + \frac{L_2}{q_{22}} \right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \Phi\left(\frac{U-b-x}{\rho}\right) e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} - \frac{L_2}{q_{22}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \left(\left(\frac{L_1}{q_{12}} + \frac{L_2}{q_{22}} \right) \Phi\left(\frac{U-b-x}{\rho}\right) - \frac{L_2}{q_{22}} \right). \quad (14)$$

Таким образом, производная L_{err} по V по знаку эквивалентна функции

$$\delta(V) = \left(\frac{L_1}{q_{12}} + \frac{L_2}{q_{22}} \right) \Phi\left(\frac{U-b-x}{\rho}\right) - \frac{L_2}{q_{22}}, \quad (15)$$

поскольку второй множитель всегда строго положителен.

Найдём значения V_0 , при которых производная функции L_{err} обращается в

нуль:

$$\frac{dL_{err}}{dV}(V_0) = 0 \leftrightarrow \delta(V_0) = 0 \leftrightarrow \Phi\left(\frac{U-b-x}{\rho}\right) = \frac{\frac{L_2}{q_{22}}}{\frac{L_1}{q_{12}} + \frac{L_2}{q_{22}}} = \frac{L_2 q_{12}}{L_1 q_{22} + L_2 q_{12}} = \frac{L_2 - L_2 q_{22}}{L_2 + (L_1 - L_2) q_{12}}. \quad (16)$$

Определение 5. Будем рассматривать функцию

$$f(t) = \frac{L_2 - L_2 t}{L_2 + (L_1 - L_2)t}$$

где переменная t определена на отрезке $[0; 1]$.

Легко проверяется следующее вспомогательное утверждение относительно нововведённой функции f .

Лемма 6. Функция $f(t)$ определена корректно и монотонно убывает на отрезке $[0; 1]$.

Из леммы 4.2 следует, что функция $f(t)$ принимает наибольшее значение при $t = 0$, а наименьшее при $t = 1$. Непосредственной подстановкой проверяется, что $f(0) = 1, f(1) = 0$. Поскольку в качестве t в уравнении для V_0 фигурирует

$$q_{22} = \Phi\left(\frac{U-b-x}{\sqrt{\sigma^2 + \rho^2}}\right) \in [0; 1],$$

получаем следующее утверждение.

Лемма 7. Уравнение для оптимального V_0 всегда имеет единственное решение.

Из монотонности функции $\Phi(x)$ выводим следующее утверждение.

Лемма 8. При $V < V_0$ функция L_{err} монотонно убывает, а при $V > V_0$ монотонно возрастает. Таким образом, в точке V_0 функция L_{err} достигает минимума, что означает, что $V_{opt} = V_0$ (см. (5)).

Выделим уравнение для оптимального значения параметра V , поскольку оно понадобится нам в дальнейшем:

$$\Phi\left(\frac{U-b-x}{\rho}\right) = f(q_{22}). \quad (17)$$

При дальнейших рассуждениях будем полагать, что значение параметра V уже является оптимальным, т. е. выполнено равенство $V = V_0$.

Сформулируем ключевое предложение, условия которого будем считать выполненными в дальнейших рассуждениях.

Предложение 4. В реальной ситуации справедливо неравенство $L_1 \geq L_2$, т. е. пропуск опасной ситуации более нежелателен с точки зрения потерь, чем ложное установление опасной ситуации.

Легко проверить следующее утверждение.

Лемма 9. При $L_1 \geq L_2$ для любого $t \in [0; 1]$ справедливо неравенство $f(t) \leq 1 - t$. В случае $L_1 = L_2$ неравенство превращается в равенство.

Из данной леммы следует, что для оптимального V при $L_1 \geq L_2$ в силу монотонности функции $\Phi(x)$ справедливо неравенство

$$\Phi\left(\frac{U-b-x}{\rho}\right) = f(q_{22}) \leq q_{12} = \Phi\left(\frac{a+b-U}{\sqrt{\sigma^2 + \rho^2}}\right) \leftrightarrow \frac{V_0 + b - U}{\rho} \leq \frac{a + b - U}{\sqrt{\sigma^2 + \rho^2}} \quad (18)$$

Данное неравенство даёт верхнюю оценку значения параметра V_0 и в случае $L_1 = L_2$ превращается в равенство (что непосредственно следует из леммы 4.6).

Выводы

Построена математическая модель системы контроля электромагнитной безопасности телекоммуникаций, исследованы ошибки принятия решения об уровне электромагнитной безопасности телекоммуникаций на основе неполной информации, получены аналитические выражения, позволяющие определить оптимальное значение порога принятия решения. Результаты данной работы могут быть использованы в качестве методологического базиса при практической разработке и последующей эксплуатации систем контроля информационной безопасности и электромагнитной совместимости телекоммуникационного оборудования.

Литература

1. Кечиев, Л. Н. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций / Л. Н. Кечиев, П. В. Степанов // Москва. – 2005.
2. Стреналюк, Ю. В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / О. А. Копылов, Ю. В. Стреналюк, Е. Д. Штрафина // Королев: ФТА. – 2011. – 318 с.
3. Artuschenko, V. M., Abbasova, T. S. Increasing Noise Immunity of Electric Communication Channels in High-speed Telecommunication Systems / Biosci., Biotech. Res. Asia, Vol. 11(Nov. Spl. Edn.), pgs. 277-279 (2014).
4. IEC 1000-4-6, Conducted Immunity (невосприимчивость к помехам, передающимся по проводящим каналам).
5. Аббасов, А. Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации / А. Э. Аббасов, Т. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – № 3(05). – 2015. – С. 15-27.
6. Семенов, А. Б. Эволюция и направления развития систем интерактивного управления СКС / А. Б. Семенов // Вестник связи. – 2005. – № 10. – с. 37-43.
7. Семенов, А. Б. Обязательно ли СКС быть универсальной? / А. Б. Семенов // Вестник связи. – 2006. – № 10. – с. 37-41.
8. Семенов, А. Б. Улучшение массогабаритных характеристик типовых горизонтальных кабелей СКС / А. Б. Семенов // Информационно-технологический Вестник. – №4(06). – 2015. – С. 46 – 59.
9. Аббасова, Т. С. Анализ самоподобия мультимедийного трафика и его влияния на электромагнитную совместимость оборудования телекоммуникационных систем / Т. С. Аббасова // Двойные технологии. – 2015. – № 1 (70). – С. 21-24.
10. Привалов, В. И. Повышение эффективности центров обработки данных для информационных систем / В. И. Привалов, Ю.В. Боковой, В. М. Зимин, Е. С. Харламова, В. А. Четкин, Е. П. Шевченко // Двойные технологии. – № 4. – 2014. – С. 75-78.
11. 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.
12. 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.

УДК 629.7

Анализ инструментальных средств информационных систем для обработки многомерных данных

Э.Э. Акимкина, ведущий аналитик отдела контроля и интеграции качества данных центра «Business Intelligence»,
акционерное общество «АЛЬФА-БАНК», г. Москва,
А.Э. Аббасов, аспирант,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Проведен анализ информационной инфраструктуры предприятия; описаны критерии сравнения систем бизнес-анализа и дан краткий обзор функциональных возможностей BI-систем от вендоров (SAP, Oracle, IBM и Microsoft); даны рекомендации по выбору инструментальных средств для объединения данных из различных источников информации и проектированию системы оценки ключевых показателей эффективности с использованием инструментов системы бизнес-анализа; предложены организационно-технические мероприятия для определения максимальной производительности многомерных хранилищ данных на основе многомерных кубов.

Многомерные хранилища данных, OLAP-куб, среда моделирования.

Analysis Tools of Information Systems for the Treatment of Multivariate Data

E.E. Akimkina, Senior analyst,
Joint Stock Company «ALFA-BANK»,
A.E. Abbasov, graduate student,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

The analysis of enterprise information infrastructure; described comparison criteria for business systems analysis and a brief overview of the functionality of BI-systems from vendors (SAP, Oracle, IBM and Microsoft); recommendations on the choice of tools for combining data from different sources of information and design evaluation system of key performance indicators using the tools of business analysis system; proposed organizational and technical measures to determine the maximum performance of multi-dimensional data warehouse based on multi-dimensional cubes.

Multi-dimensional data warehouse, OLAP-cube modeling environment.

Введение

На сегодняшний день системы класса BI (от англ. Business Intelligence, системы бизнес аналитики) один из самых популярных инструментов для оценки

эффективности обслуживания своих клиентов и поддержки принятия решений. Для этого им необходимо анализировать деятельность своих сотрудников, особенно тех, кто взаимодействует с клиентами напрямую, например, менеджеры продаж, сервисные инженеры. Эффективность работы сотрудника оценивается по определенным показателям бизнеса (сервиса), в соответствии с развитием и формированием комплекса интеграционных стратегий при управлении корпорацией [1]. Чтобы провести системный анализ, необходима информация о том, какой показатель и на сколько процентов выполнен данным сотрудником, а также применение новейших информационных технологий [2-5], позволяющих оперативно оценить множество параметров (данные, модели, функции, дислокация, персонал, временные параметры, цели в представлении, связи между элементами [6]).

Данные о работе сотрудников хранятся в различных информационных источниках организации (оперативные системы, документы офисных приложений и т.д.). Это связано с тем, что области деятельности автоматизируются раздельно как по историческим причинам, так и по исключительно функциональным возможностям корпоративных систем. Для получения полной картины деятельности сотрудников необходимо объединить данные из различных источников, в которых содержится полезная для целей анализа информация. Но данные, предоставляемые различными источниками, не унифицированы, и показатели эффективности деятельности сотрудников, необходимые для оценки, не могут быть легко получены. В таком случае следует говорить о наличии сырых данных и отсутствии в них полезной для бизнеса информации, и тем более знаний (знания – ключевая компетенция бизнеса).

Методика выбора инструментальных средств информационных систем для анализа многомерных данных

Сначала необходимо проанализировать информационную структуру предприятия [7-12], определить иерархическую структуру данных и выяснить, где необходимо повысить уровень качества и информативности данных, поступающих из источников, до приемлемого, а также организовать их интегрированное хранение в структурах, обеспечивающих их целостность, непротиворечивость, высокую скорость и гибкость выполнения аналитических запросов.

Инструменты Business Intelligence преобразуют сырые данные в полезные информацию и знания, на основе которых решать любые задачи по анализу, управлению, прогнозированию и др.

Компоненты BI-системы представлены на рисунке 1.

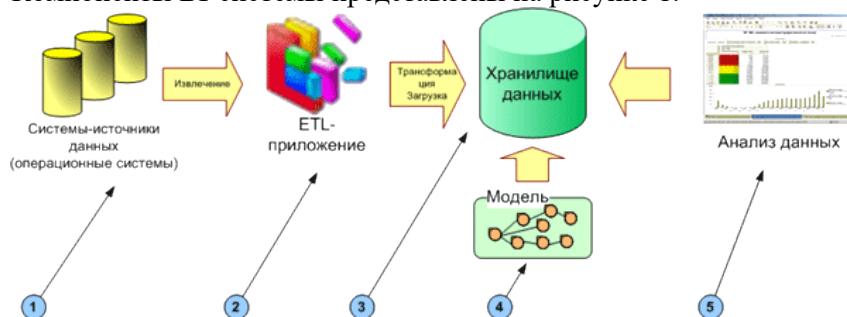


Рисунок 1 – Компоненты BI-системы

С использованием инструментов BI-системы проектируется KPI-система (от англ. Key Performance Indicators – ключевые показатели эффективности). Система представлена совокупностью аналитических отчетов с выбранными KPI-показателями. Отчеты предназначены руководителям для мониторинга и контроля бизнес-процесса продаж (предоставляемых услуг), а также для выстраивания на основе данных отчетов грамотной политики мотивации сотрудников.

Начальный этап реализации любой аналитической задачи или проекта – консолидация данных, предназначенная для сбора и организации хранения данных в виде, оптимальном с точки зрения их обработки на конкретной аналитической платформе или решения конкретной аналитической задачи, а также для оценки качества данных. При необходимости, данные могут быть преобразованы (очистка данных и обогащение) в соответствии со структурной схемой консолидации данных, приведенной на рисунке 2.

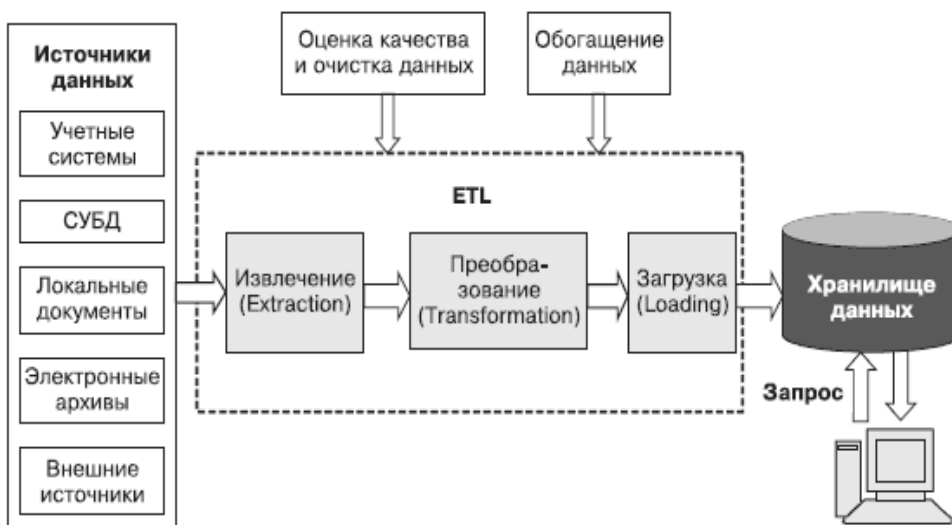


Рисунок 2 – Процесс консолидации данных

Как показано на рисунке 2, данные извлекаются из разнотипных источников (учетные системы, системы управления базами данных (СУБД), локальные документы, электронные архивы, внешние источники). Затем данные преобразуются к виду, пригодному для хранения в определенной структуре. В соответствии с заданным регламентом преобразованные данные загружаются в соответствующую базу или хранилище данных (ХД). На рисунке 3 представлена концептуальная схема ХД.

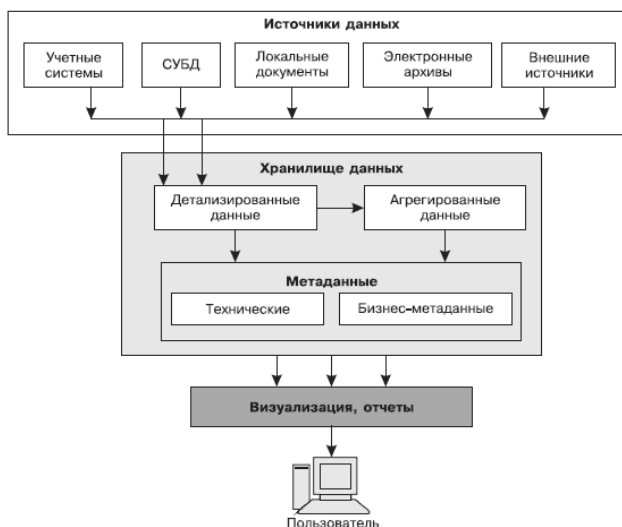
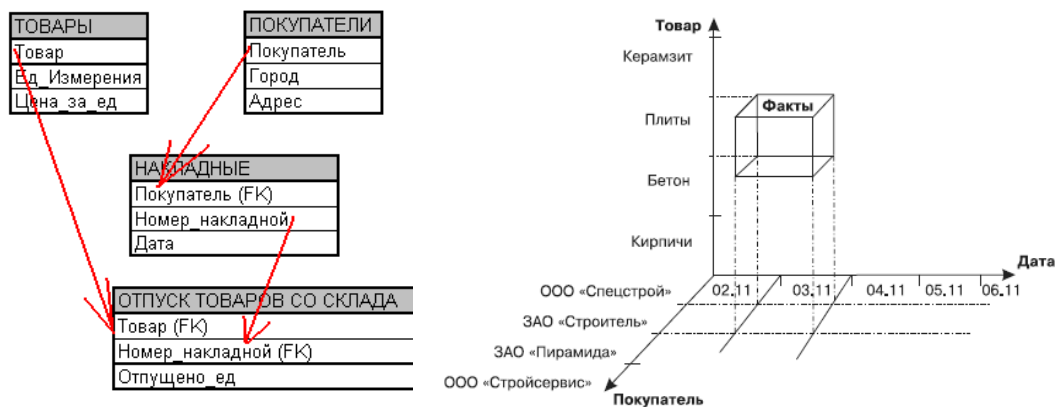


Рисунок 3 – Концептуальная схема ХД

Данные, хранимые в ХД, представлены в соответствии с заданной моделью. ХД также включает метаданные и специализированные локальные тематические хранилища, подключаемые к централизованному ХД – витрины данных – для обслуживания отдельных подразделений организации или бизнес-процесса.

Для выполнения сложных нерегламентированных запросов целесообразно использовать многомерные хранилища данных (МХД) [5]. МХД – это упорядоченные многомерные массивы, или OLAP-кубы (от англ. On-Line Analytical Processing – оперативная аналитическая обработка). Для реализации OLAP-куба используются универсальные реляционные СУБД или специализированное ПО.

Сравним совокупность нормализованных таблиц реляционной модели и представление данных в виде многомерных кубов (рисунок 4 а и б). Трехмерное измерение позволяет создавать более наглядные отчеты.



а) данные нормализованной таблицы БД

б) измерения и факты в многомерном кубе

Рисунок 4 – Представление данных в различных измерениях

После проведенного анализа сформулируем методику выбора инструментальных средств информационных систем для анализа многомерных данных.

1 шаг. Анализ информационной инфраструктуры предприятия (иерархическая структура данных, уровень качества и информативности данных, поступающих из источников, до приемлемого качества).

2 шаг. Выбор системы бизнес-интеллекта. Объединение данных из различных источников информации.

3 шаг. Проектирование КРІ-системы с использованием инструментов ВІ-системы.

4 шаг. Выбор аналитических методов и алгоритмов, подготовка исходных данных для анализа.

5 шаг. Консолидация данных и загрузка их в хранилище данных.

6 шаг. Определение целесообразности многомерных хранилищ данных на основе многомерных кубов.

7 шаг. Построение аналитических отчетов для оценки ключевых показателей эффективности.

Данные аналитического исследования критериев сравнения ВІ-систем в соответствии с их функциональными возможностями, полученные компанией Gartner за 2014 год, приведены на рисунке 5 для ВІ-систем от вендоров (SAP, Oracle, IBM и Microsoft).

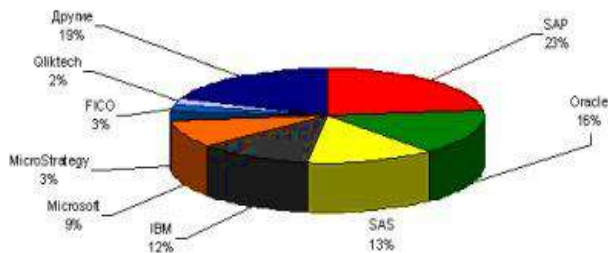


Рисунок 5 – Лидирующие вендоры на мировом рынке ВІ по объему выручки, 2014

После сравнения и выбора ВІ-платформы осуществляется построение корпоративной системы отчетности для реализации КРІ-системы.

С помощью ВІ-системы пользователи и программисты могут разрабатывать отчеты и визуализировать информацию среди множества предусмотренных возможностей и настроек системы.

Существует множество различных критериев сравнения ВІ-систем. Перечислим наиболее важные из них с точки зрения пользователя.

Возможность создания отчетов пользователями, не имеющими навык программирования самостоятельно, используя стандартные средства.

Возможность построения преднастроенных и не регламентированных отчетов.

Возможность представления данных в виде разнообразных таблиц и диаграмм (комбинирование отчетов и графиков). Возможность использовать различные типы графиков в отчетах.

Возможность настройки фильтров и запроса параметров в отчетах.

Возможность работы с шаблонами отчетов: сохранения построенного шаблона отчета и возможность его передачи другому пользователю, многостраничные шаблоны.

Возможность централизованной рассылки (публикации) отчетов в соответствии с правами доступа к данным отчета.

Возможность создания панелей показателей.

Возможности настройки прав пользователей: создание/импорт классов и пользователей, доступ к отдельным элементам системы отчетности, различные уровни администрирования системы.

Основными архитектурными компонентами системы являются: Oracle BI Server, Oracle BI Web и Oracle Delivers Server.

Oracle BI Server централизованно хранит метаданные об источниках данных и бизнес-объектах (business definitions) в своем репозитории, доступном всем инструментам платформы Oracle BI EE.

Oracle BI Web предоставляет интерфейсы для всех компонентов системы, используемых для визуализации данных. Он взаимодействует с Oracle BI Server и выполняет ряд важнейших функций: отвечает за авторизацию пользователей и персонализацию интерфейса для них, генерацию логических запросов к аналитическому серверу, хранение и администрирование метаданных (Web-каталог) для отчетов и интерактивных панелей, осуществляет дополнительную обработку данных.

Для достижения высокой производительности и масштабируемости системы Oracle BI Server и Oracle BI Web можно объединять в кластеры. Поддерживается возможность балансировки нагрузки, распределения запросов и пользовательских сеансов на разные серверы. В состав платформы Oracle BI Suite EE входит следующий набор инструментов (клиентских приложений): BI Answers – инструмент для выполнения произвольных (ad hoc) запросов и анализа; BI Interactive Dashboard – интерактивные панели показателей, отображающие персонализированную информацию; BI Publisher – масштабируемое средство формирования регламентированных отчетов в разных форматах на основе данных из множества источников и их рассылки по различным каналам; BI Office Plug-In – инструмент работы с аналитическим сервером через такие приложения как MS Word, Excel и Powerpoint и др. Из недостатков системы Oracle BI можно выделить: сложность освоения системы для обычных пользователей; высокая стоимость продукта.

Стоимость лицензий наиболее полной версии Oracle Business Intelligence Suite Enterprise Edition Plus на 50 пользователей составляет около \$ 290 000.

Компании SAP и IBM придерживаются разных концепций в реализации функциональности OLAP. В линейке продуктов SAP BusinessObjects отсутствует выделенный источник данных для анализа и используется виртуальная многомерная модель («юниверс» в терминах SAP BusinessObjects). Такая реализация называется DOLAP (Desktop OLAP), выделенного сервера нет, обработка кубов выполняется непосредственно на клиенте или сервере приложений.

DOLAP фактически является «клиентским» ROLAP (Relational OLAP). Т.е. не только не существует физической модели данных, но также отсутствует сервер для работы с единым виртуальным кубом. Принципиальное отличие DOLAP от MOLAP состоит в том, что в DOLAP-кубы (они называются микроку-

бы), строятся на стороне клиента при его запросе.

Линейка продуктов SAP BusinessObjects для создания OLAP-системы: Desktop Intelligence – средство конечного пользователя для построения запросов и анализа информации, так называемый «толстый клиент».

Web Intelligence – Средство конечного пользователя для построения отчетов и анализа информации, так называемый «тонкий клиент». Оно аналогично Desktop Intelligence, но ориентировано на работу через Web. Представляет собой сервер приложений, работа с которым идет через web-браузер. Он использует трехзвенную архитектуру. С помощью SAP BusinessObjects WebIntelligence можно создавать разнообразные отчеты, с которыми можно работать как в онлайн, так и в офлайн режимах. Для этого бизнес-пользователям не нужно обращаться к ИТ-специалистам, так как доступ ко всей необходимой информации осуществляется с помощью простого перетаскивания мышью нужных элементов (названных понятными бизнес-терминами). В запросы можно вставлять разнообразные графики, применять опции форматирования и фильтрации, подкрашивать разными цветами тренды и особые ситуации, а также рассылать отчеты по электронной почте. Данный инструмент удивительным образом совмещает функциональность и простоту использования.

Designer. Предназначен для создания графического представления БД, которое будет использоваться в строителе отчетов, и используется специалистом, который знает SQL и понимает структуру БД. Специалист не создает отчеты, а проектирует модель, используя которую конечные пользователи строят свои отчеты.

Central Management Console. Как только специалист создал модель, администратор системы (возможно, это тот же специалист) может использовать Central Management Console для настройки ограничения прав доступа к данным, путем внесения в репозиторий (специальная база данных) информации о пользователе. Таким образом, администратор управляет доступом к модели данных и собственно БД. Также в данном модуле существует планировщик заданий, который позволяет выполнять отчеты по расписанию или совершению событий и отправлять документы большому количеству пользователей.

В качестве источника данных может использоваться практически любая реляционная СУБД, ODBC-источник, персональные файлы (Excel, DBF, txt и т.п.). Установка дополнительных модулей позволяет использовать API наиболее распространенных MOLAP-серверов. В данной схеме может использоваться также единый репозиторий.

В отчете Business Objects можно объединять выборки, полученные из нескольких источников. В зависимости от того, как построен юниверс, выборка может представлять собой микрокуб. Таким образом, документ Business Objects представляет собой набор микрокубов, к каждому из которых можно применять доступную функциональность. Если пользователь запрашивает данные, которых нет в микрокубе, автоматически формируется запрос для подкачки данных из первоисточников.

Основные особенности архитектуры OLAP-системы на платформе SAP BusinessObjects: OLAP-анализ проводится над данными, взятыми непосредственно в первоисточнике (можно, естественно, работать с выделенным ХД).

На машине клиента SAP BusinessObjects осуществляется предварительное преобразование данных в многомерную модель. Документ SAP BusinessObjects содержит не только модель данных и метаданные, но и сами кубы.

Производительность OLAP-системы играет решающую роль. Если время отклика на запросы исчисляется минутами, такая система не принесет преимуществ, т.к. OLAP подразумевает исследование данных, постоянную смену измерений, проведение вычисления, смену уровней детализаций и применение большого количества прочих функций.

На производительность DOLAP-системы в первую очередь влияют следующие особенности архитектуры. У SAP BusinessObjects отсутствует выделенный многомерный источник данных. Это означает, что запросы, формируемые в терминах многомерной модели, транслируются непосредственно на клиенте в запрос на SQL, который выполняется сервером РСУБД (ODBC).

OLAP-движок расположен на клиенте. Кубы данных расположены непосредственно в пользовательских документах. В процессе анализа информации, в том случае если в кубе не хватает данных, SAP BusinessObjects полностью перестраивает обновленный куб.

Для успешной работы с кубами потребуется: выделенное хранилище/витрина данных; высокая скорость работы сети; высокая производительность каждой машины, на которой идет работа с SAP BusinessObjects.

Несоответствие любому из 3-х вышеперечисленных условий не позволит работать с адекватной скоростью. Более того, прямое обращение к данным, расположенным в БД транзакционных систем может очень сильно замедлить работы последней.

При выборе OLAP-системы следует понимать, какие задачи планируется решать и насколько структура бизнес-информации удачно ложится на многомерную модель данных конкретного OLAP-средства. В программных продуктах различных производителей можно найти много отличий. Одни из важнейших вопросов: работа с несбалансированными иерархиями и особенность построения измерения «Время».

Следствием того, что многомерный куб в SAP BusinessObjects – структура виртуальная, при работе с несбалансированными иерархиями Business Objects и Web Intelligence извлекает избыточное количество информации, что в конечном итоге отрицательно сказывается на скорости работы и нагрузке на вычислительные ресурсы вычислительной системы.

Особенностью модели SAP BusinessObjects является невозможность объединять в одном юниверсе данные из нескольких источников. Однако при необходимости микрокубы документа SAP BusinessObjects могут объединяться в одном микрокубе непосредственно пользователем.

От способа представления информации, ее наглядности и имеющихся функций зависит удобство использования системы – важный фактор, влияющий на успешность внедрения OLAP-решения.

Документ WebIntelligence представляет собой отчет, состоящий из выборок-микрокубов (возможно собранных из нескольких источников). На отчете можно также свободно размещать различные элементы оформления: текстовые надписи, картинки, ссылки на документы других приложений. SAP BusinessObjects является MS Office-совместимым по пользовательскому интерфейсу про-

дуктом, т.е. возможности по форматированию отчета достаточно богаты и просты в использовании. Каждый документ Business Objects может содержать несколько отчетов, размещаемых на отдельных закладках (листах, по аналогии с MS Excel).

Стоимость лицензий наиболее полной версии SAP BusinessObjects на 50 пользователей составляет около \$ 170 000.

Cognos использует MOLAP-технологиию (Multidimensional OLAP), классическую архитектуру с использованием выделенного физически многомерного источника данных – куба PowerPlay и сервера для работы с ним.

Рассмотрим линейку продуктов Cognos для создания OLAP-системы. PowerPlay User – средство конечного пользователя для OLAP и подготовки отчетов. Специальное пользовательское решение для Excel – PowerPlay Excel. В состав PowerPlay также включен модуль PowerPlay Transformer. PowerPlay Transformer – инструмент для моделирования и генерации аналитического многомерного куба. PowerPlay Enterprise Server – сервер приложений и OLAP-сервер. Visualizer – средство создания и работы с информационными панелями, наиболее эффективного и наглядного инструмента для представления деловой информации и ее анализа. Access Manager – инструмент сквозного управления привилегиями и правилами доступа пользователей к информации.

Источником данных может являться многомерный куб PowerPlay или MOLAP-сервер сторонних производителей. Используя PowerPlay Transformer, разработчик проектирует куб и определяет расписание или условия, в соответствии с которыми должен обновляться куб. Документ PowerPlay по умолчанию не сохраняет данные. Однако в случае необходимости есть возможность сохранить отчет вместе с кубом.

Основные особенности архитектуры OLAP-системы на платформе Cognos: пользователь работает с предварительно подготовленной структурой данных – физически существующим многомерным кубом. В отчете Cognos можно сохранять только структуру документа, данные располагаются в выделенном кубе.

Многомерный куб PowerPlay физически представляет собой файл и позволяет создавать структуры с практически неограниченным числом измерений, уровней и строк фактов. Имеется возможность выбора параметра оптимизации скорости работы (загрузка куба или анализ данных) и автоматического создания партиций. Обновление куба можно проводить в режиме инкрементальной загрузки данных без остановки работы пользователей – в этом случае естественно необходимо быть уверенным в том, что информация за уже загруженный период не изменилась.

В зависимости от потребностей бизнеса, разработчик может определять график и описывать условия, в соответствии с которыми выполняется обновление куба PowerPlay.

Использование выделенного многомерного источника данных позволяет обеспечить высокую скорость работы даже с очень большими кубами (сотни мегабайт, большие размеры на практике не встречаются – используются выделенные ХД).

Для более удобной работы разработчик может создать несколько кубов (например, для решения задач различных отделов) и связать их для возможности

сквозного перемещения в процессе анализа информации.

Интерфейс Cognos PowerPlay настроен под выполнение OLAP-анализа. Аналогично Business Objects, в отчет PowerPlay можно добавлять произвольные текстовые поля, графику, а также колоннотитулы.

Все операции по вращению куба и перемещению по измерениям непосредственно доступны в рамках всего многомерного (возможно очень большого) куба. Пользователь перетаскивает необходимые объекты из левой части экрана (вращение) или кликая по ячейкам переходит на другой уровень иерархии (детализация, свертка).

В Cognos используется несколько видов диаграмм и графиков, для каждого из которых предусмотрена настройка различных параметров. Среди встроенных функций в Cognos PowerPlay имеются: итога, процент от общего, процент от определяемой ячейки, нарастающий процент, возведение в степень, суммирование, вычитание, произведение, деление столбцов/строк, изменение процента и пр. Используя формулы, можно реализовать более сложные вычисления.

Стоимость лицензий наиболее полной версии IBM Cognos на 50 пользователей составляет около \$ 155 000.

Дискуссия

При работе с крупными ХД строятся OLAP-кубы для достижения максимальной производительности. Встает вопрос: как оценить максимальную производительность?

Проанализируем основные характеристики OLAP-кубов – режим хранения данных и уровень агрегирования. Режимы хранения представлены в таблице 1.

Агрегаты – это предварительно рассчитанные суммы данных таблицы фактов для определенных комбинаций уровней из каждого измерения. Функции агрегатов: обработка запросов и создание дополнительных агрегатов. При выборе количества агрегатов (в процентах) для включения в куб необходимо учитывать объем хранимой информации и время выполнения запроса. Объем хранимой информации в БД при предварительном расчете всех возможных агрегатов требует значительного увеличения дискового пространства. Необходимое для обработки запроса время также увеличится при расчете агрегатов в момент обработки запроса.

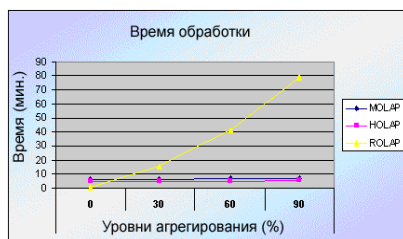
Таблица 1 – Основные режимы хранения OLAP-кубов

Режим хранения данных	Описание
Реляционный OLAP (ROLAP)	Данные-факты и агрегаты хранятся на сервере реляционной БД
Многомерный OLAP (MOLAP)	Данные-факты и агрегаты хранятся на OLAP-сервере в оптимизированном многомерном формате
Гибридный OLAP (HOLAP)	Данные-факты хранятся на сервере реляционной БД, а агрегаты – на OLAP-сервере в оптимизированном многомерном формате

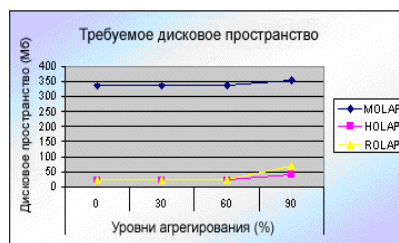
Для анализа производительности OLAP-кубов в среде SQL Server Analysis Services Services проведено тестирование для определения времени обработки запросов, требуемого дискового пространства, мощности центрального процессора на сервере реляционной базы данных и аналитическом сервере. Эти параметры

определялись для многомерной базы данных OLAP, содержащей кубы одинаковой структуры, но с различными режимами хранения (приведенными в таблице 1), а также для режима организации хранения данных по схеме «звезда» в соответствии с ER-диаграммой (от англ. entity-relationship diagram, диаграмма «объекты-отношения»). Тематика запросов – доходы и расходы клиентов в различные периоды времени и по различным продуктам (предоставляемым услугам). Пример обрабатываемого запроса: «Чему равен экономический доход за первые кварталы 2014 и 2015 годов? Сравнить соответствующие значения по каждому потребительскому сегменту». При обработке результатов графики построены для уровней агрегирования 0%, 30%, 60% и 90%, хотя в большинстве случаев используются только значения от 30% до 60% (0% и 90% были включены для сравнения). Следует отметить, что уровень агрегирования характеризует увеличение производительности обработки запросов по сравнению с отсутствием предварительно рассчитанных агрегатов данных.

Определено время обработки для каждого режима хранения. Результаты, представленные на рисунке 6 а, получены путем обработки идентичных по структуре кубов с различными режимами хранения и уровнями агрегирования. На рисунке 6 б приведены графики, показывающие изменение требуемого пространства на диске в зависимости от уровня агрегирования для каждого режима хранения.



а) время обработки для каждого режима хранения



б) требуемый объем дискового пространства

Рисунок 7 – Результаты обработки OLAP-кубов

Таблица 2 показывает объем требуемого дискового пространства для MOLAP-куба по сравнению со схемой «звезда», построенной в соответствии с ER-диаграммой.

Таблица 2 – Результаты анализа требований к дисковому пространству

Уровень агрегирования (%)	Дисковое пространство для MOLAP-куба	Размер схемы «звезда» (таблицы фактов и измерений с индексами)	Степень сжатия данных при построении кубов MOLAP
60	335.75	5188	93.53
90	353.11	5188	93.19

На основе анализа данных рисунка 1 и таблицы 2 определены характеристики хранения многомерных данных при различных режимах, сформулированные в таблице 3.

Выводы

Сформулирована методика выбора инструментальных средств информационных систем для анализа многомерных корпоративных данных. В качестве BI системы решено выбрать систему SAP Business Objects.

Таблица 3 – Характеристики хранения многомерных данных

№ п/п	Характеристики хранения	Примечание
1	При уровне агрегирования 0% ROLAP потребовалось наименьшее количество времени для обработки куба	Данные таблицы фактов и измерений в куб не добавляются и агрегаты не рассчитываются
2	По мере увеличения уровня агрегирования, ROLAP – по сравнению с MOLAP или HOLAP – затрачивает все больше времени на обработку куба	
3	Различие между MOLAP и HOLAP в промежутке 30 - 60% незначительно	
4	Время обработки MOLAP и HOLAP увеличивается в промежутке 60 - 90%, но не сильно	
5	Время обработки ROLAP увеличивается экспоненциально в промежутке 60 - 90%	
6	Режим хранения MOLAP требует больше места, чем HOLAP или ROLAP. Режим хранения MOLAP требует больше места, чем HOLAP или ROLAP	Кубы MOLAP содержат копии исходных фактов и измерений
7	Различие в количестве потребляемого дискового пространства при режимах MOLAP и HOLAP незначительно в интервале 0...60% и увеличивается по мере приближения к уровню 90%	
8	Режим хранения HOLAP использует наименьшее количество дискового пространства	Копии исходных фактов и измерений отсутствуют в базе данных OLAP, а агрегаты хранятся в оптимизированном многомерном формате
9	Режим хранения ROLAP требует дополнительного места на диске, когда уровень агрегирования превышает 30% и когда он приближается к 90%	График учитывает объем пространства, требуемого для хранения агрегатов данных в реляционной базе данных

Проведена оценка производительности инструментов многомерных хранилищ данных – OLAP-кубов. Для достижения максимальной производительности занимаемая OLAP-кубом память составляет примерно 7% от объема, требуемого для схемы режима хранения «звезда», построенной в соответствии с ER-диаграммой. Даже при 90%-ом уровне агрегирования удастся достичь почти такой же степени сжатия. Проведена классификация режимов хранения OLAP-кубов. Дополнительное пространство, необходимое для куба в различных режи-

мах хранения, зависит от количества уровней в измерении, количества мер и типа данных.

Литература

1. Христофорова, И. В. Корпоративное управление в России: формирование и развитие комплекса интеграционных стратегий: монография / И. В. Христофорова, Е. А. Эльканова, Д. Р. Макеева, О. А. Сырейщикова, В. И. Переяславский, В. Я. Вилисов, Н. З. Атаров / Под общей научной редакцией И. В. Христофоровой. – Москва, 2015. – 248 с.
2. Артюшенко, В. М. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, И. М. Белюченко, Н. А. Васильев, В. Н. Зиновьев, Ю. В. Стреналюк, 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. Артюшенко. – Королев. – ГБОУ ВПО ФТА. – 2014. – 174 с.
3. 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.
4. 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.
5. Сидорова, Н. П. Методы и средства моделирования ИТ-инфраструктуры предприятия / Н. П. Сидорова // Вопросы региональной экономики. – 2010. – Т. 3. – № 3. – С. 81-90.
6. Сидорова, Н. П. Информационные технологии оперативного анализа данных / Н. П. Сидорова, Н. В. Логачева, В. Ю. Добродеев // Информационно-технологический вестник. – 2014. – Т. 01. – № 1. – С. 64-74.
7. Аббасов, А. Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации / А. Э. Аббасов, Т. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – № 3(05). – 2015. – С. 15 – 27.
8. Аббасов, Э. М. Достижение максимальной производительности при работе с крупными хранилищами данных / Э. М. Аббасов, Э. Э. Акимкина // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2016): сб. ст. VI международной заочной научно-технической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во: ПВГУС. – 24-25.03.2016.
9. Аббасова, Т. С. Принципы и средства оптимизации высокоскоростных информационных каналов / Т. С. Аббасова // Информационно-технологический Вестник. – № 2(02). – 2014. – С. 10 – 16.
10. Аббасова, Т. С. Применение диффузионной модели для балансировки нагрузки в неоднородных вычислительных системах / Т. С. Аббасова, Д. М. Двоглазов, А. А. Борисов // Сборник статей II-ой Международной заочной научно-технической конференции «Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации», Тольятти, ПВГУС. – 2012, часть 1. – С. 14 – 20.
11. Привалов, В. И. Повышение эффективности центров обработки данных для информационных систем / В. И. Привалов, Ю. В. Боковой, В. М. Зимин, Е. С. Харламова, В. А. Четкин, Е. П. Шевченко // Двойные технологии. – № 4. – 2014. – С. 75 – 78.
12. Аббасов, Э. М. Экспертная оценка качества программного обеспечения для трехмерного моделирования: сб. тр. по материалам Международной научно-практической

конференции «Инновационные исследования: проблемы внедрения результатов и направления развития». 23.02.2016 / Э. М. Аббасов, А. Э. Аббасов // Уфа. – 2016. – С. 18-21.

УДК 629.7

Защита информации при использовании облачных технологий

А.А. Афанасьев, студент,

И.М. Белюченко, д.т.н., профессор,

Государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В данной статье рассмотрена ситуация на российском IT-рынке. Наглядно показано, что ситуацию может исправить внедрение перспективной, на сегодняшний день, технологии облачных вычислений. Выявлена проблема, которая замедляет внедрение облачных технологий. Предложен метод улучшения безопасности путем шифрования. Проанализирован метод гомоморфного шифрования и входящие в него криптосистема RSA и криптосистема Пэйе. В рамках работы были протестированы криптосистемы Пэйе и RSA, сравнены скорости шифрования данных и скорости гомоморфных свойств. На основе данных, полученных в результате тестирования, были выявлены положительные и отрицательные стороны обоих методов шифрования. Даны рекомендации по применению криптосистем Пэйе и RSA для различных информационных технологий с применением облачных вычислений.

Облачные вычисления, гомоморфное шифрование, криптосистема RSA, криптосистема Пэйе.

Data Protection Using Cloud Technologies

A.A. Afanasiev, student,

I.M. Belyuchenko, Ph.D., Professor,

State Educational Institution of Higher Education

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

This article describes the situation on the Russian IT-market. You can clearly see that the situation can be corrected introduction of promising, to date, the cloud computing technology. Identified the problem, which slows down the adoption of cloud technologies. Method to improve security through encryption. Analyzed the method of homomorphic encryption and its member cryptosystem and RSA cryptosystem, PAYE. As part of the work were tested and PAYE cryptosystem the RSA, compared to the speed of data encryption and the speed of homomorphic properties. On the basis of data obtained by testing were identified positive and negative aspects of both methods of encryption. Recommendations on the use of PAYE cryptosystems and RSA for various information technologies using cloud computing.

Cloud computing, homomorphic encryption, RSA cryptosystem, the cryptosystem of PAYE.

Введение

В период кризиса у многих компаний наступают тяжелые времена. Это касается как компаний разработчиков, так и компаний, которые пользуются каким либо программным обеспечением. В такое сложное время создателям и потребителям необходимо адаптироваться к ситуации на рынке ИТ технологий.

Начать хотелось бы с ситуации на рынке. Хочется отметить, что по данным исследованиям редактора журнала «Мегамотг»: «По прогнозам компании Gartner, мировой рынок ИТ в 2015 году вырастет на 4,6%, что составит \$964 млрд.» [1]. К сожалению, этого нельзя сказать о российском рынке. На рисунке 1 показана доля российского ИТ рынка от мирового оборота ИТ технологий.

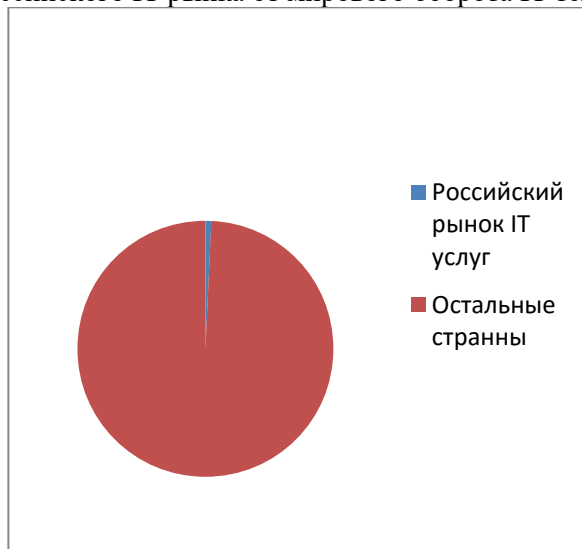


Рисунок 1 – Доля российского ИТ рынка от мирового оборота ИТ технологий

До 2014 года российский ИТ-рынок успешно развивался, но в связи с девальвацией рубля произошел существенный регресс [2...7]. По оценкам IDC, в 2015 году доля ИТ-сервисов на рынке в долларах снизится на 10%, а доля всего российского ИТ-рынка – на 18%. На рисунке 2 показана динамика роста прибыли российских ИТ компаний [3].

Поставщики российских ИТ-сервисов пытаются оперативно реагировать на изменение мировых тенденций. Поэтому есть шанс, что на волне общего подъема мобильных технологий, облачных вычислений, обработки больших данных и распространения аутсорсинга удастся скомпенсировать общую стагнацию на ИТ-рынке РФ [4].

4 декабря 2015 года компания SAP и Национальное агентство финансовых исследований (НАФИ) представили результаты исследования облачных технологий в банковском секторе, согласно которым российские банки и технологически, и экономически готовы к облачному буму.

Эксперты сделали вывод о внушительном разрыве между бюджетами на облачные технологии финансового сектора США и России – \$4.205 млн против \$51 млн (по данным Gartner) соответственно. Исследование проводилось при

поддержке Ассоциации российских банков и направлено на определение потенциала облачных технологий в финансовой отрасли России.

При этом глубина проникновения облачных технологий в банковские процессы в России в 2-3 раза меньше, чем по миру, хотя экономически банковский сектор готов к облачному буму: при оценке финансового положения своего банка 61% сотрудников заявили - ситуация «скорее хорошая» и «очень хорошая». Да и ожидания вполне позитивны: в сумме 56% отметили, что финансовое положение их банка в ближайшие три года станет лучше и только 5% склонны прогнозировать продолжение спада [5].

Какие компании кроме банковского сектора готовы к внедрению облачных технологий. Все компании были разделены на три большие группы. Первая группа это компания, чья численность менее 100 человек. Вторая группа – компании, чья численность варьируется от 100 до 500 человек. И последняя группа это компании, чья численность более 500 человек. Опрос показал, что 1 и 3 группы активно тестируют внедрение облачных технологий в процесс работы своих компаний. Наглядно результаты опроса можно увидеть на рисунке 3.

Итак, мы видим, что российские компании готовы к активной интеграции облачных технологий. Также к 2018 году ожидается рост облачных услуг. На рисунке 4 продемонстрирован прогноз к 2018 году [6]. Следовательно, будет расти и конкуренция среди компаний, предоставляющих свой программный продукт в облаке.

Теперь все дело в предложениях. Я хотел бы предложить систему, которая очень легко реализуется в облачных технологиях. Итак, мне хотелось бы привести пример на всем знакомой Office 365. На сегодняшний день Microsoft Office стоит 3399 рублей. Эти деньги мы платим за год использования, путем вычислений мы получаем, что час использование Office обходится покупателю 0,4 рубля.

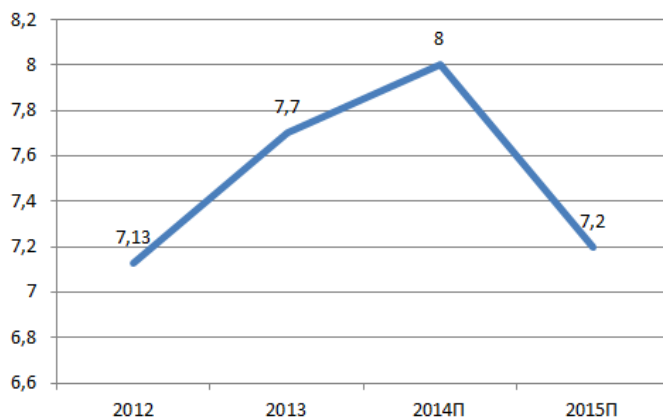


Рисунок 2 – Динамика роста прибыли российских ИТ компаний

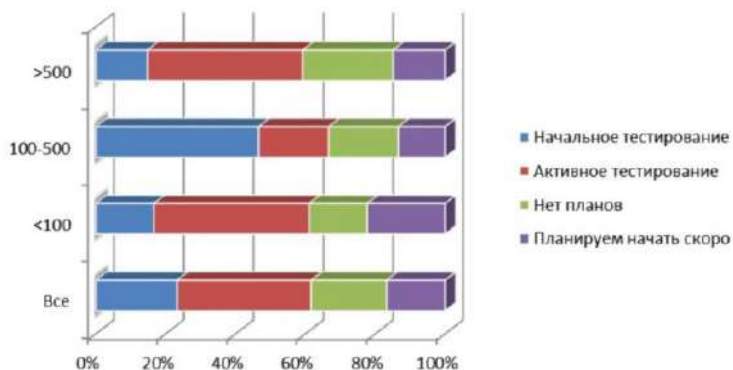


Рисунок 3 – Готовность компаний к внедрению облака

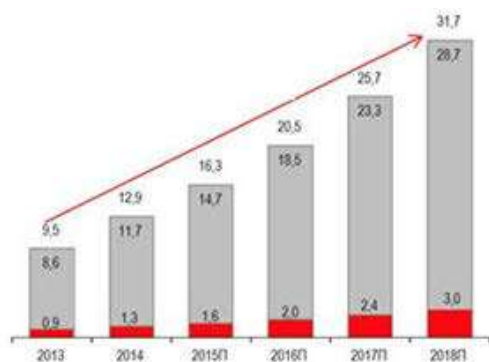


Рисунок 4 – Динамика облачных услуг в России, млрд руб.(прогноз)

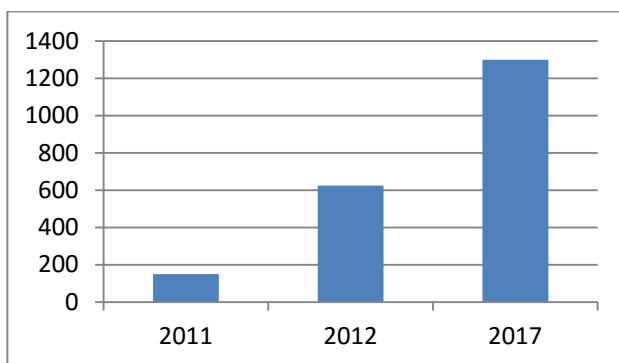


Рисунок 5 – Рынок стартапов в сфере облачных технологий, млн \$

Но с внедрением облачных технологий покупатель может платить по факту использования. Смоделируем ситуацию. Мы пользуемся MS Word на работе по девять часов пять раз в неделю. И так мы получаем 2160 часов за место 8760 в первом случае. Итого год работы в Office по факту использования обходится нам в 840 рублей.

На первый взгляд, такая система выгодна только покупателям, но это не так. На мой взгляд, низкая цена привлечет тех пользователей пиратской продукции, кто был готов купить лицензионный продукт, но их отталкивала цена.

Поставщики российских ИТ-сервисов пытаются оперативно реагировать на изменение мировых тенденций. Поэтому есть шанс, что на волне общего подъема мобильных технологий, облачных вычислений, обработки больших данных и распространения аутсорсинга удастся скомпенсировать общую стагнацию на ИТ-рынке РФ [7].

И в самом деле, область применения облачных технологий активно расширяется. На сегодняшний день ведущие ИТ компании ведут свои разработки по внедрению облачных вычислений в программы, которые пользуются большим спросом. Огромная доля интеграций облака происходит в почтовых сервисах [8...10]. Одним из примеров является почтовый агент Outlook, который менее десяти лет назад требовал установки его на ПК. Сейчас же все вычисляется в облаке, и пользоваться почтовым сервисом мы можем прямо в браузере. Но у облачных вычислений есть недостатки, самые крупный из которых это безопасность. Разберемся с методами, которые возможно было применить для устранения данного недостатка.

Методы шифрования для усиления безопасности в облачных вычислениях

«Характеристики ИТ-сервисов претерпевают существенные изменения – заказчики и потребители остро поднимают вопросы безопасности, надежности и мобильности», – признает Илья Хаэт, эксперт по управлению сервисами, ITIL Expert компании «Витте Консалтинг».

Так как тема безопасности облачных вычислений является актуальной, многие компании выпускают софт, который помогает защитить данные клиента во время работы в облаке. Данный софт пользуется огромным спросом, из-за чего конкуренция у производителей в данной сфере начинает расти. Но нам интересен сам процесс того, каким образом производители программного обеспечения улучшают защиту.

Важной проблемой при использовании облачной среды становится тот факт, что пользователь, удалив какие-либо данные из облака, не может быть полностью уверен в том, что информация удалена безвозвратно [11...21]. На сегодняшний день только шифрование может являться полноценной гарантией контроля над данными и вычислениями.

Однако шифрование данных может происходить на разных уровнях.

Рассмотрим структуру стандартного облачного приложения. Обычно в нее входит подсистема хранения, веб-сервера, сервера приложений, СУБД, сети и клиентского приложения. Мы имеем три крупных уровня, зашифровав которые мы получим максимальную безопасность наших данных – шифрование каналов связи, шифрование виртуальной машины, шифрование диска.

Гомоморфное шифрование. После анализа различных методов шифрования мной был предложен гомоморфный метод шифрования. Гомоморфное шифрование – криптографический примитив, представляющий собой функцию шифрования, удовлетворяющую дополнительному требованию гомоморфности относительно каких-либо операций над открытыми текстами. Функция шифрования $E(k, m)$, где m – открытый текст, k – ключ шифрования, гомоморфна относительно операции $*$ над открытыми текстами, если существует эффективный алгоритм M , который получив на вход любую пару криптограмм вида

$E(k, m_1), E(k, m_2)$ выдает криптограмму такую, что при дешифровании будет получен открытый текст $m_1 * m_2$. В отличие от частично гомоморфного шифрования, которое позволяет производить гомоморфные вычисления относительно лишь одной операции открытого текста, полностью гомоморфное шифрование обеспечивает гомоморфизм обеих операций (как сложения, так и умножения):

$$\begin{cases} Dec(Enc(m_1) * Enc(m_2)) = m_1 * m_2 \\ Dec(Enc(m_1) + Enc(m_2)) = m_1 + m_2 \end{cases} \quad (1)$$

Криптосистема RSA. Криптосистема RSA является одной из самых известных и популярных криптосистем. Она является гомоморфной относительно операции умножения открытых текстов. Пусть N – составной модуль, e – открытая экспонента $E((N, e), m) = m^e \bmod N$ – функция шифрования. Для любых двух m_1 и m_2

$$E(k, m_1) * E(k, m_2) = m_1^e m_2^e \bmod N = E(k, m_1 * m_2) \quad (2)$$

Криптосистема Пэйе. Пусть p и q – два простых числа, $n = pq$, $\lambda = \text{НОК}(p-1, q-1)$. Выберем случайное число g из $Z_{n^2}^*$ и вычислим

$$\mu = (L(g^\lambda \bmod n^2))^{-1} \bmod n \quad (3)$$

где $L(u) = (u-1)/u$.

Открытым ключом служит пара $k = (n, g)$, а закрытым ключом – пара (λ, μ) . Для шифрования открытого текста $m \in Z_n$ выбираем случайное число r из $Z_{n^2}^*$ и вычисляем $c = g^m r^m \bmod n^2$.

Свойство гомоморфности выглядит следующим образом

$$E(m_1) \cdot E(m_2) = (g^{m_1} r_1^n) (g^{m_2} r_2^n) = g^{m_1+m_2} (r_1 r_2)^n = E(m_1 + m_2 \bmod n) \quad (4)$$

Необходимо заметить, что в данном случае интересными гомоморфными свойствами являются:

- Произведением двух зашифрованных значений будет их сумма, то есть при $E(k, m_1) \cdot E(k, m_2) \bmod n^2$ будет получен при дешифровании $m_1 + m_2 \bmod n$
- Ту же самую сумму можно получить, умножив $E(k, m_1) \cdot g^{m_2} \bmod n^2$
- Открытый текст можно умножить на константу l возведя закрытый текст в степень l , то есть при дешифровании $E(k, m)^l \bmod n^2$ будет получен открытый текст $l \cdot m \bmod n$

Последнее свойство, на самом деле не является свойство гомоморфности функции шифрования относительно умножения открытых текстов, так как умножение происходит на константу.

Тестирование криптосистем RSA и Пэйе. В рамках данной работы были протестированы криптосистемы Пэйе и RSA и сравнены скорости шифрования данных и скорости операций гомоморфных свойств. Реализации были написаны на языке C++, использовались библиотеки NTL и HELib. Для каждой криптосистемы были реализованы и выделены отдельные классы (рисунок 6), которые содержали следующие функции:

- Генерация Ключей(KeyGeneration)
- Шифрование(Encrypt)
- Дешифрование(Decrypt)
- Сложение(Addition)
- Умножение(Multiplication).

Pailler	RSA
+ PrivateKey + PublicKey	+ PrivateKey + PublicKey
+ KeyGeneration () + Encrypt(plainText) + Decrypt(encryptedText) + Addition(encryptedText, EncryptedText) + Multiplication(encryptedText, constValue)	+ KeyGeneration () + Encrypt(plainText) + Decrypt(encryptedText) + Addition() + Multiplication(encryptedText, encryptedText)

Рисунок 6 – Реализация тестирования на языке C++

В случае криптосистемы Пэйе умножение шифр текста производилось на константу, что не является свойством гомоморфности. Тем не менее, данное свойство является интересным и позволяет использовать систему при тайном голосовании с весами для разных типов голов.

В криптосистеме RSA функция сложения(Addition) реализована не была.

В ходе эксперимента были получены результаты, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты тестирования

	Шифрование	Умножение	Сложение
RSA	58 мс	540 мс	-
Пэйе	1554 мс	70754 мс	6773 мс

- Операция шифрования проводилась 1000 раз для каждой криптосистемы.
- Операция умножения 10000 раз для каждой криптосистемы
- Операция сложения 10000 раз для каждой криптосистемы
- Размер числа был равен 64 битам.

Характеристики компьютера, на котором проводились замеры:

- Процессор: Intel core i5 2.6 Ghz
- ОЗУ: 4Гб
- Жесткий диск: Intel 335 SSD 240 Gb
- ОС: Ubuntu 13.04 32-бит

Выводы

Предложено гомоморфное шифрование, как наиболее перспективное направление в области защиты информации при использовании облачных вычислений. Проведены экспериментальные исследования производительности криптосистем RSA и Пэйе, обладающих одним гомоморфным свойством. В ходе экспериментов выяснилось, что криптосистемы RSA имеет лучшую скорость шифрования, но меньшую безопасность. Криптосистема Пэйе, напротив является более медленной в шифрование, но является более безопасной. Обе криптосистемы могут найти применение в облачных вычислениях. Для информационных

технологий, требующих более высокой пропускной способности, больше подходит метод шифрования RSA. Для информационных технологий, требующих повышенной безопасности, больше подходит метод шифрования Пайе.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: <https://megamozg.ru/post/10788/>.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/> Стаття:Облачные сервисы (рынок России).
3. [Электронный ресурс]. URL: http://2014.nscf.ru/TesisAll/4_Systemnoe_i_promezhytochnoe_PO/01_141_ByrtikaFB.pdf.
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://mirtelecoma.ru/magazine/elektronnaya-versiya/28/>.
5. [Электронный ресурс]. URL: <http://hsto.org/storage3/658/461/708/6584617085aa3f76f3eac00b1fd1dc04.png>.
6. Artuschenko, V. M., Abbasova, T. S. Increasing Noise Immunity of Electric Communication Channels in High-speed Telecommunication Systems / Biosci., Biotech. Res. Asia. – Vol. 11(Nov.Spl. Edn.), pgs. 277-279 (2014).
7. [Электронный ресурс]. URL: http://master.cmc.msu.ru/files/master2013_1_jarmuhametovs.pdf.
8. Аббасов, А. Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации / А. Э. Аббасов, Т. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – № 3(05). – 2015. – С. 15-27.
9. Белюченко, И. М. особенности декодирования VI-кодов / И. М. Белюченко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2008. – Т. 4. – № 1-2. – С. 33-38.
10. Белюченко, И. М. Разновидности троичного кода / И. М. Белюченко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2011. – Т. 7. – № 3. – С. 17-20.
11. Белюченко, И. М. Канальные кодеки троичного кода / И. М. Белюченко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2012. – Т. 8. – № 2. – С. 30-33.
12. Артюшенко, В. М. Электротехнические системы жизнеобеспечения зданий на базе технологий VASnet / В. М. Артюшенко, О. Д. Шелухин / Монография /Под ред. д.т.н., проф. В. М. Артюшенко // М., ГОУ ВПО «МГУС». – 2006. – 138 с.
13. Аббасова, Т. С. Исследование устойчивости каналов связи структурированных кабельных систем к воздействию радиоизлучений / Т. С. Аббасова // Двойные технологии № 4. – 2014. –С. 72-74. ISSN 1680-2780.
14. Аббасова, Т. С. Анализ самоподобия мультимедийного трафика и его влияния на электромагнитную совместимость оборудования телекоммуникационных систем / Т. С. Аббасова // Двойные технологии. – 2015. – № 1 (70). – С. 21-24.
15. Аббасова, Т. С. Информационное и программное обеспечение для тестирования производительности сетевых узлов территориально-распределенных центров обработки данных / Т. С. Аббасова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т. 6. – № 3. – С. 10-13.
16. Артюшенко, В. М. Исследование параметров модели потока ошибок в дискретных каналах связи / В. М. Артюшенко // Вопросы региональной экономики. – 2011. – № 1(6). – С.96 – 107.
17. Аббасов, А. Э. Исследование технологических процессов сборки сложных технических устройств с использованием современных методов обработки информации / А. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – № 2(04). – 2015. – С. 3-13.
18. Стреналюк, Ю. В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / О. А. Копылов, Ю. В. Стреналюк, Е. Д. Штрафина // Королев: ФТА. – 318 с.

19. Аббасова, Т. С. Обеспечение помехозащищенности беспроводных устройств телекоммуникационных систем / Т. С. Аббасова // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13. – № 1. – С. 88-93.
20. Артюшенко, В. М. Мультимедийные гибридные сети / В. М. Артюшенко, А. К. Гурев, В. В. Абраменков, К. А. Енютин : монография // М.: МГУС. – 2007. – 94 с.
21. 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.
22. Неустроев, М. Ю. Разработка корпоративной VoIP сети на платформе Asterisk: монография / М. Ю. Неустроев // LAP Lambert Academic Publishing. – 2016. – 153 с.

УДК 004.056.378.4

Интеллектуализация управленческих процессов информационной безопасности на основе использования технологии слияния сенсорной информации

Д.С. Белов, магистрант первого курса обучения
кафедры «Информационная безопасность»,
А.И. Сухотерин, к.в.н., доцент кафедры
«Информационная безопасность»,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В рамках данной статьи рассматриваются основные принципы и способы интеллектуализации управленческих процессов по информационной безопасности на основе объединения (слияния) данных от различных датчиков как ключевого этапа интеграции сенсорных систем для эффективного контроля состояния объектов, оптимального обнаружения признаков опасных состояний, прогнозирования, предотвращения возможных несанкционированных проникновений на объект, а также обеспечивает комплексность (системность) обеспечения безопасности.

Интеллектуализация, информационная безопасность, интеграция, сенсорное слияние.

Intellectualization of Information Security Management Processes Through the use of Sensor Information Fusion Technology

D.S. Belov, undergraduate first year of study
of the Department «Information Security»,
A.I. Sukhoterin, c.m.s., Associate Professor
of the Department «Information Security»,
State Educational Institution of Higher Education
Moscow Region «University of technology», Korolev, Moscow region

In this article the basic principles and methods of intellectualization of management on information security processes by combining (merging) the data from the various sensors as a key stage in the integration of sensory systems to effectively monitor the status of objects, optimal detection of signs of hazardous conditions, forecast, prevent possible unauthorized access to the object, and provides a comprehensive (system) security.

Intellectualization, information security, integration, sensor fusion.

Управление процессами информационной безопасности строится на фундаментальном законе необходимого многообразия, согласно которому уровень

разнообразия управляющей системы должен соответствовать уровню разнообразия управляемого объекта [3,5,6].

Стоит отметить, что управление должно основываться на полной и точной информации о фактической обстановке, получаемой в реальном времени от различных датчиков.

В реальной обстановке автоматизированные системы управления (АСУ) работают с «зашумленными», неполными и не всегда точными данными. Поэтому технологии сенсорного слияния стали адекватным подходом, обеспечивающим избыточность сбора и надежность распознавания сенсорных данных для таких систем, т.е. объединение данных от различных датчиков, дает дополнительную сенсорно-семантическую информацию о ситуации, которая иначе не может быть доступна.

Главными преимуществами технологий слияния сенсорной информации являются повышение отношения сигнал/шум, сохранение надежности системы в случае отказа какого-либо датчика, рост вероятности обнаружения и сокращения времени реагирования в силу получения более полной обстановки, поступающей от множества разнородных датчиков и снижение вероятности ложных тревог [1,2].

Обычно слияние используется в [1]:

- интегральных системах безопасности организации;
- дистанционном зондировании;
- мониторинге технического состояния при помощи радиолокационного, геофизического, гидроакустического освещения обстановки;
- военных системах;
- системах управления транспортом (автомобильным, воздушным, морским и др.);
- охране периметров границ;
- мониторинге безопасности сооружений;
- метеорологии;
- чрезвычайных ситуациях;
- медицинской диагностике;
- экологическом мониторинге.

Исходя из анализа функционирования технологии слияния сенсорной информации, было выявлено, что она может производиться на разных этапах:

- на уровне сенсорных сигналов;
- на уровне признаков;
- на уровне принятия решений.

В зависимости от задач, которые ставит информационная безопасность, было выявлено, что применяются разные топологии мультисенсорного слияния:

- последовательная;
- параллельная;
- древовидная;
- сетевая.

Опыт построения систем динамического моделирования обстановки при-

вел к определению набора принципов объединения воспринимаемой информации [5,6]. Эти принципы [1,5,6] следуют непосредственно из сущности цикла «прогноз-совпадение-обновление», представленного на рисунке 1.

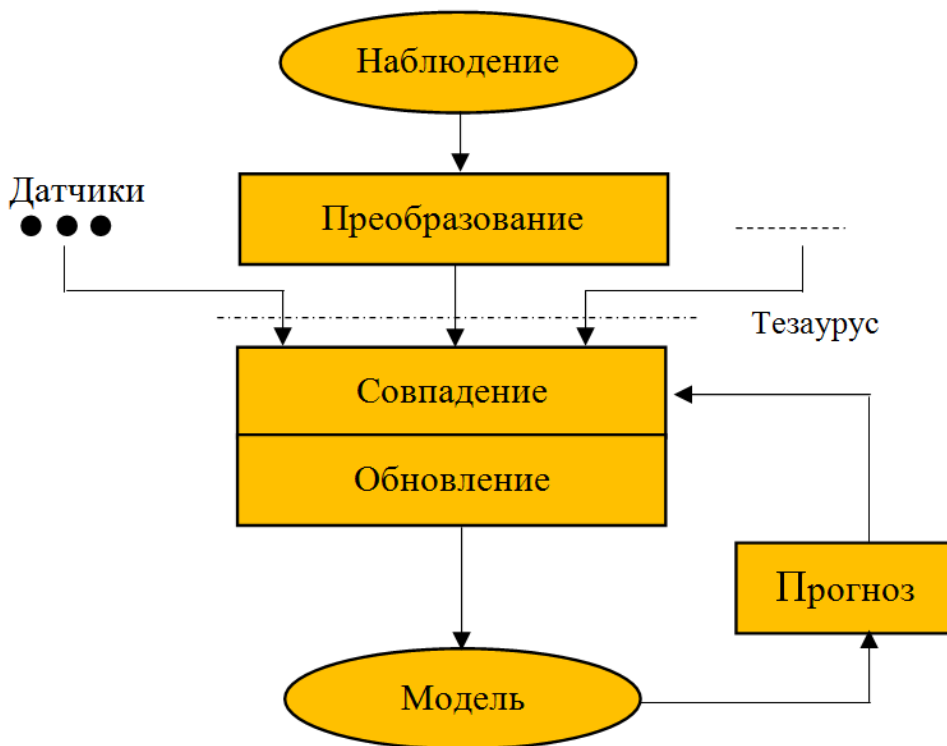


Рисунок 1 – Базовый цикл сенсорного слияния информации

Принципы объединения сенсорной информации:

1. Наблюдение и модель должны описываться на основе общего тезауруса.
2. Наблюдение и модель должны отображаться в общей системе координат.
3. Признаки в модели должны быть выражены в виде набора параметров.
4. Признаки должны сопровождаться доверительной вероятностью, поскольку модели обстановки всегда рассматриваются как гипотезы.
5. Признаки должны включать явное представление неопределенности: точности и достоверности.

Методы слияния данных на уровне датчиков используется с тем, чтобы улучшить качество данных и обеспечить функцию метрологического самоконтроля датчиков [1].

Обобщенная структура объединения сенсорной информации, широко применяемая в системах мониторинга фактического технического состояния (ФТС) контролируемых объектов представлена на рисунке 2.

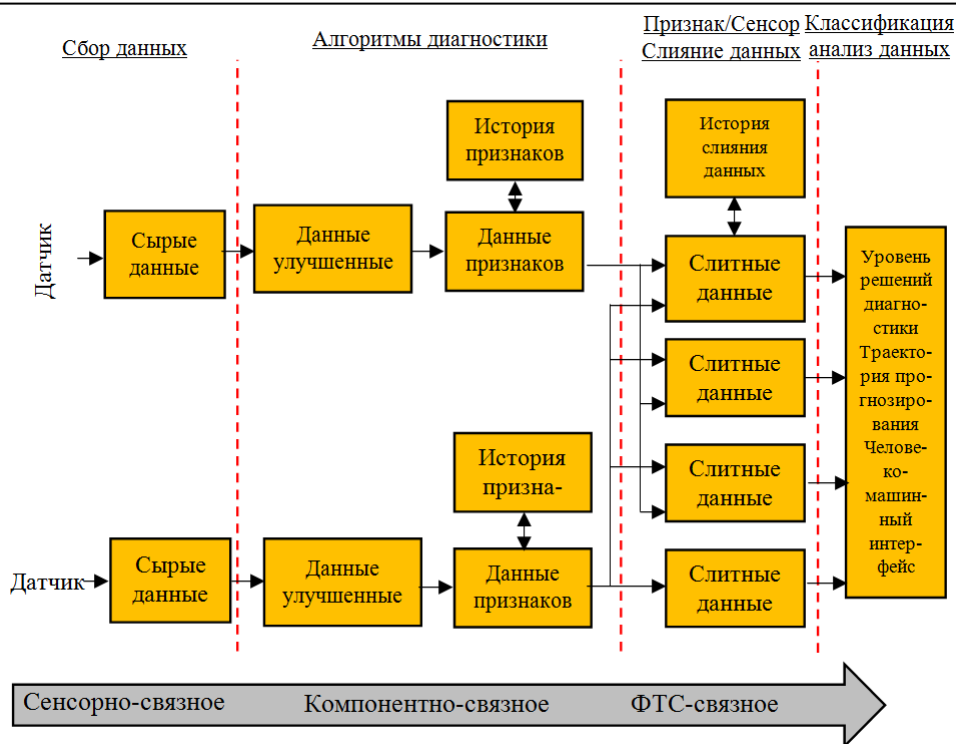


Рисунок 2 – Обобщенная структура объединения сенсорной информации

На сенсорном или компонентном уровне мониторинга текущие данные обрабатываются, чтобы повысить отношение сигнал/шум и удалить ненужные составляющие сигналов. Для этого применяются два общеизвестных метода: частотная фильтрация и временное усреднение. Это очень важно в системах мониторинга технического состояния, чтобы исключать сигналы от ненадежных датчиков, которые могут приводить к ложным тревогам.

Кроме того, применяются многопараметрические датчики, которые способны измерять одновременно несколько физических величин, характеризующих контролируемый объект. Объединяя информацию от нескольких измеряемых величин или от нескольких одинаковых датчиков, можно повысить точность и достоверность сенсорных данных.

Следующим шагом в обработке данных датчиков является выделение признаков. Признаками могут быть статистические (среднеквадратичный уровень, пиковый уровень, асимметрия и эксцесс), физические характеристики измеряемого сигнала, полученного с помощью датчиков, например, вибрации машинного оборудования и частотные (частоты и величины спектральных пиков).

Идеальным вариантом была бы методика выделения одного признака, значения которого лежали бы от 0 до 1, который изменялся бы линейно в течение всего периода времени от ввода оборудования в эксплуатацию и до конца срока его службы. Однако на практике такой признак редко существует, и поэтому необходимо использовать дополнительные методы слияния сенсорных данных для определения состояния компонента оборудования по нескольким признакам, что в дальнейшем поможет повысить эффективность и оперативность принятия

управленческих решений. Способность отслеживать и прогнозировать будущие значения функций, на основе которой будут приниматься целесообразные меры по пресечению, предотвращению реальных или возможных угроз и есть интеллектуализация.

На пике применения в настоящее время является подход к обслуживанию оборудования по фактическому техническому состоянию, когда оборудование ремонтируют или обслуживают только тогда, когда интеллектуальная система мониторинга свидетельствует о том, что система не может выполнить установленные требования. Реализация таких систем требует сочетания слияния сенсорных данных, выделения признаков, классификация и алгоритмов прогнозирования.

Целью систем мониторинга ФТС оборудования является не только проведение автоматизированной диагностики состояния неисправностей, но и определение остаточного срока эксплуатации объекта в контексте его назначения, т.е. такая система имеет как диагностические, так и прогностические возможности. Используя модельный подход, система может просто взять текущее состояние оборудования и инвертировать модель для вычисления оставшегося срока эффективной эксплуатации. При отсутствии надежной и точной модели контролируемого оборудования применяют другой подход – путем контроля траектории развивающихся дефектов и предсказания того периода времени, пока дефект не достигает заданного уровня, требующего ремонтных работ.

Дистанционное зондирование.

Ввиду тенденций к повышению требований к объемам и качеству данных возникла необходимость изменить подход к методам дистанционного зондирования. Системы дистанционного зондирования формируют многоспектральные и мультисенсорные изображения, значения параметров элементов которых отвечают значениям какой-либо характеристики, т.е. такой набор изображений рассматривается как многомерная матрица характеристик, образующая вектор для каждого участка данной местности [1].

Актуальность задач слияния изображений (информации) дистанционного зондирования просматривается ввиду того, что данные, полученные с сенсоров, установленных на спутниках, имеют различные пространственное, спектральное, временное и градационное разрешения.

Существуют различные варианты слияния:

1. изображения с разным спектральным разрешением;
2. изображения с разным спектральным составом;
3. изображения с разным временным разрешением;
4. изображения, полученных от множества датчиков;
5. изображения, полученных от разных типов датчиков.

Для того, чтобы получить изображение с высоким спектральным и пространственным разрешением, необходимо применять двухканальное сенсорное слияние (процесс, позволяющий получить из панхроматического и мультиспектрального каналов двух изображений объекта одно слитное), например, при дистанционном зондировании в геоинформационных системах (рис. 3)



Рисунок 3 – Слияние ПХ и МС сенсорных изображений

Охрана периметров и границ.

С учетом требований современной концепции охраны границ: обустройство новых протяженных границ должно осуществляться посредством скрытых, всепогодных, энергетически экономичных и необслуживаемых средств обнаружения без применения заградительных сооружений с минимальными инженерно-ландшафтными работами, имеется необходимость нового подхода, коим и является распределенные мультисенсорные системы.

Концепция построения систем охраны периметров и границ основана на принципах сенсорного слияния на основе нейросетевой обработки информации, позволяющей повысить вероятность обнаружения нарушителей с минимизацией вероятности ложных тревог [4].

Работа любой периметровой системы охраны происходит в условиях жесткой конкуренции между сигналами, вызванными реальным нарушителем, и сигналами, вызванные погодными условиями и промышленными шумами.

Идея интеллектуализации на основе слияния сенсорной информации решает эту проблему. Анализ сигналов производится при использовании процессора с элементами искусственного интеллекта на основе нейронных сетей, обучаемого на объекте после полного монтажа системы охраны периметров границ.

Процесс обучения состоит в накоплении в памяти обучающей ЭВМ сигналов, соответствующих реальным попыткам обучающегося персонала пересечь охраняемое ограждение, природных сигналов, которые вызывают ложные срабатывания [1]. После этого обучающая программа автоматически вырабатывает алгоритм распознавания сигналов на конкретном типе и варианте ограждения и создает соответствующую структуру в нейрокомпьютере для многопараметрического анализа всех проходящих с периметра сигналов.

Структурная схема нейросетевого сенсорного слияния сейсмоакустических сигналов с распознаванием пешех нарушителей приведена на рисунке 4.

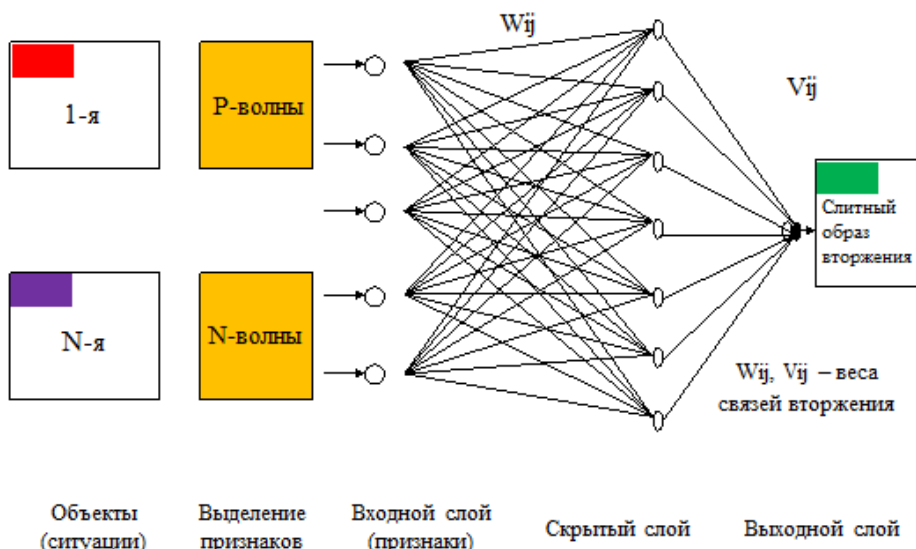


Рисунок 4 – Структура нейросетевого сенсорного слияния сейсмоакустических сигналов

Использование процессора с элементами искусственного интеллекта на основе нейронных сетей является наиболее мощным современным методом анализа сигналов и распознавания образов.

Применение нейропроцессорных методов обработки и анализа сигналов позволяет адаптировать системы охраны периметра практически к любым типам ограждений при вероятностях обнаружения нарушителя не менее 0,98 при уровне ложных тревог менее 0,001.

Литература

1. Буймистряк, Г. Я. Информационно-измерительная техника на основе волоконно-оптических датчиков и систем / Г. Я. Буймистряк // СПб: ГРОЦ Росатома. – 2007. – 198 с.,
2. Буймистряк, Г. Я. Информационно-семантическая модель адаптации спектральной телевизионной системы / Г. Я. Буймистряк // Радиотехника. – 1987. – № 6.
3. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби // М.: ИЛ. – 1959. – 432 с.
4. Сысоева, С. Три уровня автомобильных сенсорных инноваций / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2010. – № 1. – 20 с.
5. Распоряжение Правительства РФ от 03.11.2011 № 1944-р «О перечне направлений подготовки (специальностей) в образовательных учреждениях высшего профессионального образования, специальностей научных работников, соответствующих приоритетным направлениям модернизации и технологического развития российской экономики» Официальная публикация в СМИ: «Российская газета», № 254, 11.11.2011 «Собрание законодательства РФ». – 14.11.2011. – № 46. – ст. 6584.
6. Соляной, В. Н., Сухотерин, А. И. Практика применения инновационного научно-образовательного комплекса по подготовке бакалавров и магистров в области информационной безопасности / В. Н. Соляной, А. И. Сухотерин // Научно-практический журнал. – № 25. – том 1. – 2015г. Информационное противодействие угрозам терро-

ризма. Материалы XIX пленума учебно-методического объединения по образованию в области информационной безопасности «Опыт и передовые практики образовательных организаций по формированию и использованию в учебном процессе специализированной учебно-лабораторной базы» // г. Таганрог. – РОСТ. ОБЛ.: Изд-во ЮЖН. ФЕД. УНИВ. – 2015. – 416 с. ISSN 2219-8792.

УДК 004.93

Шенноновские оценки линейной отделимости пары таблиц**В.И. Переяславский**, к.ф.-м.н., доцент кафедры математики и естественно-научных дисциплин,Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Изучаются вопросы, связанные с отображением функций алгебры логики на множество векторов, компонентами которых являются частоты единичных значений переменных для единичных значений функции. Такие векторы названы спектрами функций алгебры логики. Описываются свойства расстояния, порожденного спектрами. Данное исследование может быть использовано в задачах распознавания образов, когда требуется разделить два подмножества вершин многомерного единичного куба.

Функции алгебры логики, многомерный куб, разделение.

Shannon's Estimations of the Linear Separability of the Pair of Tables**V.I. Pereyaslavskiy**, candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor,

State Educational Institution of Higher Education

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

A conversion of algebra logic functions to a set of vectors, which components are frequencies of value one of variables, where function value equals one is studied. Such vectors are called spectra. Describes the properties of the distance defined spectra. This study can be used in problems of pattern recognition, when you want to divide two subsets of vertices of multidimensional singular cube.

Functions of the algebra of logic, multidimensional cube division.

Пусть P_2^n – множество всех – всюду определенных [1, С.9], а R_2^n – множество всех частично определенных функций алгебры логики от n переменных. Задание пары таблиц T_1 и T_2 с условием, что нет строки, содержащейся в T_1 и T_2 одновременно, эквивалентно заданию функции из R_2^n такой, что строки первой таблицы будут единицами функции, а строки второй – нулями.

Пусть v – набор столбцов. Обозначим через $T_i(v)$, $i = 1, 2$, таблицу, полученную выбрасыванием всех столбцов таблицы T_i , кроме столбцов из v .

Назовем v тестом, если не существует строки, содержащейся в $T_1(v)$ и $T_2(v)$ одновременно.

Будем говорить, что v – тупиковый тест, если v – тест и любой поднабор v не является тестом.

Число столбцов в наборе v назовем длиной набора.

Набор столбцов v будем записывать в виде строки (x_1, \dots, x_n) из нулей и единиц, такой, что $x_i = 1$ тогда и только тогда, когда i -ый столбец вошел в набор v .

Рассмотрим отображения $\varphi: R_2^n \rightarrow P_2^n$ и $\varphi^r: R_2^n \rightarrow P_2^n$. Отображение $\varphi: R_2^n \rightarrow P_2^n$ ($\varphi^r: R_2^n \rightarrow P_2^n$) сопоставляет функции f из R_2^n функцию g из P_2^n такую, что $g(x_1, \dots, x_n) = 1$ тогда и только тогда, когда набор (x_1, \dots, x_n) задает тупиковый тест (тест длины r) для пары таблиц, определяемой функцией f .

Пусть задана функция f из P_2^n , не равная тождественному нулю.

Спектром функции f [2, С.78] назовем вектор $s(f) = (s_1, \dots, s_n)$, где

$$s_i = \frac{\text{число единиц } f, \text{ у которых } x_i=1}{\text{число единиц } f},$$

а отображение $s(f): f \rightarrow s(f)$ назовем спектральным.

В этой статье изучается поведение величины $\rho(A, B)$, которая характеризует линейную отделимость пары таблиц A и B .

Для таблиц A и B , имеющих n столбцов и состоящих из строк a_1, a_2, \dots, a_{m_1} и b_1, b_2, \dots, b_{m_2} соответственно, найдем весовой вектор p , определяемый отображением φ , и вычислим

$$Z^* = \min_i (a_i, p^*) - \max_j (b_j, p^*) = \min_{i,j} (a_i - b_j, p^*),$$

где $p^* = \frac{p}{\|p\|}$. Найдем Z^* для каждой из 2^n пар таблиц, получающихся из пары

A и B произвольной заменой признаков $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$.

Определение. Назовем расстоянием $\rho(A, B)$ между таблицами A и B величину

$$\rho(A, B) = \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} Z^*$$

Заметим, что так определенное расстояние может принимать и отрицательные значения.

Лемма 1. Для любых A и B

- 1) $\rho(A, B) = \rho(B, A)$,
- 2) $-\sqrt{n} \leq \rho(A, B) \leq \sqrt{n}$.

Доказательство.

$$\begin{aligned} 1) \quad \rho(A, B) &= \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} \left[\min_{i,j} (\tilde{a}_i - \tilde{b}_j, p^*) \right] = \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} \left[\min_{i,j} \sum_{k=1}^n (a_{ik} - b_{jk}) \alpha_k p_k^* \right] = \\ &= \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} \left[\min_{i,j} \sum_{k=1}^n (b_{jk} - a_{ik}) (-\alpha_k) p_k^* \right] = \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} \left[\min_{i,j} \sum_{k=1}^n (b_{jk} - a_{ik}) \alpha_k p_k^* \right] = \rho(B, A), \end{aligned}$$

где \tilde{a}_i и \tilde{b}_j – это строки a_i и b_j после замены признаков $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, а a_{ik} и b_{jk} – элементы таблиц A и B .

2) Это утверждение следует из того, что

$$\left| \left(\tilde{a}_i - \tilde{b}_j, p^* \right) \right| \leq \left\| \tilde{a}_i - \tilde{b}_j \right\| \cdot \left\| p^* \right\| = \left\| \tilde{a}_i - \tilde{b}_j \right\| \leq \sqrt{n}.$$

Лемма 1 доказана.

Каждой функции из P_2^n , кроме $f \equiv 0$ и $f \equiv 1$, можно сопоставить пару таблиц E_f и N_f , если в первую включить наборы признаков, на которых функция равна единице, а во вторую – наборы, на которых f равна нулю.

Лемма 2. Для пары таблиц E_f и N_f везде определенной функции f от n переменных единственным тупиковым тестом будет набор всех существенных признаков функции f .

Доказательство. Если признак x_i существенный, то набор всех признаков без признака x_i не является тестом, так как найдутся строки $a \in E_f$ и $b \in N_f$, различающиеся только в i -м столбце. Отсюда получаем, что любой тест, а значит, и любой тупиковый тест должны содержать все существенные признаки.

С другой стороны, набор всех существенных признаков является тестом, откуда и следует утверждение леммы.

Примеры. Найдем расстояния между парами E_f и N_f таблиц для некоторых функций.

$$1) f_1(x_1, \dots, x_n) = x_1 \& \dots \& x_n, \quad \rho(E_{f_1}, N_{f_1}) = \frac{1}{\sqrt{n}};$$

$$2) f_2(x_1, \dots, x_n) = x_1 \vee \dots \vee x_n, \quad \rho(E_{f_2}, N_{f_2}) = \frac{1}{\sqrt{n}};$$

$$3) f_3(x_1, \dots, x_n) = L(x_1, \dots, x_n) = x_1 + \dots + x_n, \quad \rho(E_{f_3}, N_{f_3}) = \begin{cases} -\frac{n-1}{\sqrt{n}} - n \text{ четно,} \\ \frac{n-2}{\sqrt{n}} - n \text{ нечетно.} \end{cases}$$

Доказательство. По лемме 2 единственным тупиковым тестом для пар таблиц E_{f_i} и N_{f_i} , $i = 1, 2, 3$, будет полный набор признаков $\{x_1; \dots; x_n\}$, откуда

во всех трех примерах $p^* = \left(\frac{1}{\sqrt{n}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{n}} \right)$. Наилучшей заменой признаков, т.е.

заменой, при которой будет достигаться $\max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} Z^*$, во всех примерах будет

$(1, \dots, 1)$, откуда и получим искомые расстояния.

Пусть $\rho_{\max}(n) = \max \rho(A, B)$, где максимум берется по всем парам A и B таблиц с n столбцами. Аналогично определим $\rho_{\min}(n)$.

Теорема 1.

$$\rho_{\max}(n) = \sqrt{n},$$

$$-\sqrt{n} \leq \rho_{\min}(n) \leq -\frac{n - \frac{3}{2} + \frac{(-1)^n}{2}}{\sqrt{n}} \approx -\sqrt{n}.$$

Доказательство. Из леммы 1 $\rho(A, B) \leq \sqrt{n}$ для любых A и B , а для пары таблиц, где A есть строка $(1, \dots, 1)$, а B – строка $(0, \dots, 0)$, $\rho(A, B) = \sqrt{n}$. Верхнюю оценку для $\rho_{\min}(n)$ дает пример 3, а нижняя следует из леммы 1.

Рассмотрим аналог предыдущей задачи, только теперь будем находить оценки расстояний для пар таблиц, у которых фиксированы n , m_1 и m_2 , т.е. число столбцов и строк у каждой таблицы.

Введем величины $\rho_{\max}(n, m_1, m_2)$ и $\rho_{\min}(n, m_1, m_2)$, равные соответственно максимуму и минимуму расстояний между таблицами с фиксированными n, m_1 и m_2 .

Теорема 2. Если m_1 и m_2 таковы, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{m_1} = 2^{\alpha_1}$, а $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{m_2} = 2^{\alpha_2}$, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho_{\max}(n, m_1, m_2)}{\sqrt{n}} \geq 1 - H^{-1}(\alpha_1) - H^{-1}(\alpha_2),$$

где $H(x) = -x \log_2 x - (1-x) \log_2 (1-x)$.

Доказательство. Рассмотрим $r_i(n, c)$, $i = 1, 2$, такие, что

$$m_i = C_{n-c}^0 + \dots + C_{n-c}^{r_i} + \varepsilon_i C_{n-c}^{r_i+1},$$

где $0 \leq \varepsilon_i < 1$, а c – некоторая константа. Тогда из соотношений

$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{m_i} = 2^{\alpha_i}$, $i = 1, 2$ следует, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r_i}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r_i}{n-c} = H^{-1}(\alpha_i)$$

и

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_{n-c}^{r_i+1}}{C_{n-c}^{r_i}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n - r_i - c - 1}{r_i + 1} = \frac{1 - H^{-1}(\alpha_i)}{H^{-1}(\alpha_i)}, \quad i = 1, 2.$$

Возьмем такое $c(\alpha_1, \alpha_2)$, что $\frac{1 - H^{-1}(\alpha_i)}{H^{-1}(\alpha_i)} < 2^c - 1$, $i = 1, 2$.

Построим таблицы $A_1(m_1, n)$ и $A_2(m_2, n)$ (рис.1), где таблица A_1 (таблица A_2) состоит из таблиц A_1^1 и A_1^2 (A_2^1 и A_2^2). Строками таблицы A_1^1 (A_2^1) являются всевозможные наборы из нулей и единиц длины n с не более чем r_1 нулями (c не более чем r_2 единицами), оканчивающиеся на c единиц.

$\varepsilon_i C_{n-c}^{r_i+1}$ строк таблицы A_i^2 ($i=1,2$) выберем таким образом, чтобы их начала длины $n-c$ совпадали с началами строк длины $n-c$ таблицы A_i^1 ($i=1,2$), и чтобы все строки таблицы A_i были различны. В силу выбора c это можно сделать при всех n , начиная с некоторого n_0 . Таким образом A_i ($i=1,2$), будут состоять из $C_{n-c}^0 + \dots + C_{n-c}^{r_i} + \varepsilon_i C_{n-c}^{r_i+1} = m_i$ строк и n столбцов (рис.1).

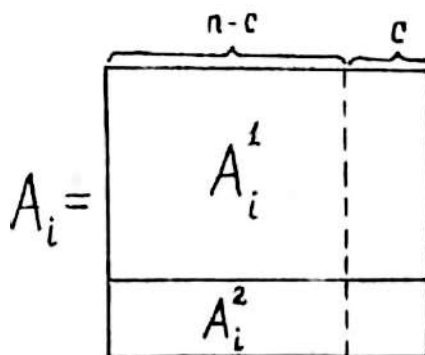


Рисунок 1 – Структура таблиц A_1 и A_2

Тупиковыми тестами для пары A_1 и A_2 будут только всевозможные наборы длины $r_1 + r_2 + 1$ из первых $n-c$ признаков.

Откуда $\rho = (a, \dots, a, 0, \dots, 0)$, где $a = \frac{C_{n-c-1}^{r_1+r_2}}{C_{n-c}^{r_1+r_2+1}}$.

Тогда $p^* = \left(\frac{1}{\sqrt{n-c}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{n-c}}, 0, \dots, 0 \right)$,

откуда $\rho(A_1, A_2) = \frac{n-r_1-r_2}{\sqrt{n-c}}$ и

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho_{\max}(n, m_1, m_2)}{\sqrt{n}} \geq \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho(A_1(m_1, n), A_2(m_2, n))}{\sqrt{n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n-r_1-r_2}{\sqrt{n-c}\sqrt{n}} = 1 - H^{-1}(\alpha_1) - H^{-1}(\alpha_2).$$

Теорема 2 доказана.

Теорема 3. Если m_1 и m_2 таковы, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{m_i} = 2^{\alpha_i}$, $i=1,2$, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho_{\min}(n, m_1, m_2)}{\sqrt{n}} \leq H^{-1}(1-\alpha_1) + H^{-1}(1-\alpha_2) - 1.$$

Доказательство проведем, используя метод случайного кода. Рассмотрим случайную таблицу $T_1(m_1, n)$, у которой каждый элемент с вероятностью, равной $1/2$, принимает значения нуль и единица. Множество строк $\{a_1; \dots, a_{m_1}\}$ таблицы T_1 представим как подмножество вершин единичного n -мерного куба $[0,1]^n$.

Пусть P – вероятность существования вершины Y куба такой, что $\|Y - a_i\| > r_1$ для любого i , $1 \leq i \leq m_1$, где $r_i(n)$ – некоторое целое число, а $\| \cdot \|$ – здесь расстояние Хемминга.

Пусть $P(Y)$ – вероятность того, что условие $\|Y - a_i\| > r_1$, $1 \leq i \leq m_1$, выполняется в вершине Y . Тогда

$$P \leq \sum_Y P(Y) = 2^n \left(\frac{2^n - \sum_{j=0}^{r_1} C_n^j}{2^n} \right)^{m_1} = 2^n \left(1 - \frac{\sum_{j=0}^{r_1} C_n^j}{2^n} \right)^{m_1} = \gamma_n.$$

Легко показать, что неравенство имеет место и для случайной таблицы T_1 , у которой все строки различны.

Рассмотрим r_1 такое, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r_1}{n} = c_1$, где $c_1 < \frac{1}{2}$ удовлетворяет неравенству $\alpha_1 > 1 - H(c_1)$. Так как

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\log_2 \sum_{j=0}^r C_n^j}{n} - H\left(\frac{r}{n}\right) \right) = 0$$

для любой целочисленной функции $r(n)$, $0 \leq r(n) \leq \frac{n}{2}$, получаем

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\sum_{j=0}^{r_1} C_n^j} = 2^{H(c_1)},$$

откуда в силу выбора c_1 и того, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{m_1} = 2^{\alpha_1}$, имеем $\lim_{n \rightarrow \infty} \gamma_n = 0$.

Значит, с вероятностью, близкой к единице, при больших n , в любой шар радиуса r_1 (по Хеммингу) с центром в вершине куба $[0, 1]^n$ попадет хотя бы одна вершина – строка T_1 . Другими словами, доказано существование таблицы T_1 с m_1 различными строками, у которой при любой замене признаков (замене нуля на единицу и единицы на ноль в некоторых столбцах T_1 (есть строка с не более чем r_1 единицами). Точно также доказывается существование таблицы T_2 с m_2 различными строками, у которой при любой замене признаков есть строка с не более чем r_2 нулями, где $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r_2}{n} = c_2$, а $c_2 < \frac{1}{2}$ удовлетворяет неравенству $\alpha_2 > 1 - H(c_2)$.

Аналогичный результат можно получить, считая, что T_1 и T_2 содержат несколько детерминированных строк, а именно, T_1 содержит строку $(1, \dots, 1)$, а T_2 – все строки с одним нулем.

Пусть A_n и B_n – такая пара частично случайных таблиц. Тогда для A_n и B_n единственным тестом будет полный набор признаков, а $p^* = \left(\frac{1}{\sqrt{n}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{n}} \right)$.

Откуда

$$\rho(A_n, B_n) \leq \frac{r_1}{\sqrt{n}} - \frac{n-r_2}{\sqrt{n}} = \frac{r_1+r_2-n}{\sqrt{n}},$$

а

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho(A_n, B_n)}{\sqrt{n}} \leq c_1 + c_2 - 1.$$

Поскольку последнее неравенство выполняется для любых c_1 и c_2 таких, что $c_i > H^{-1}(1 - \alpha_i)$, $i=1, 2$, то

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho_{\min}(n, m_1, m_2)}{\sqrt{n}} \leq \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \frac{\rho(A_n, B_n)}{\sqrt{n}} \leq H^{-1}(1 - \alpha_1) + H^{-1}(1 - \alpha_2) - 1$$

что и доказывает теорему 3.

Теперь рассмотрим величины $\rho_{\min}(K)$ и $\rho_{\max}(K)$, равные минимуму и максимуму расстояний между таблицами $A = E_f$ и $B = N_f$, где f пробегает некоторый класс функций K из P_2^n .

Напомним, что функция $f \in P_2^n$ называется пороговой, если существует вектор $a = (a_1, \dots, a_n) \in R^n$ и число T такие, что $f(x_1, \dots, x_n) = 1$ тогда и только тогда, когда $\sum_{i=1}^n a_i x_i \geq T$.

Теорема 4. Оценки для класса пороговых функций.

Если Π – множество всех пороговых функций, за исключением тождественных констант, то

$$\rho_{\max}(\Pi) = 1, \rho_{\min}(\Pi) \approx -\sqrt{n}.$$

Доказательство. Если функция f из P_2^n не является тождественной константой, то существует два соседних набора a и b , на которых $f(a) = 1$, а $f(b) = 0$. Пусть при замене признаков $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ строки $a \in E_f$ и $b \in N_f$ переходят и строки a^0 и b^0 соответственно. Отсюда получаем, что

$$\begin{aligned} \rho(E_f, N_f) &= \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} \min_{i,j} (a_i^0 - b_j^0, p^*) \leq \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} (a^0 - b^0, p^*) \leq \\ &\leq \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} |a^0 - b^0| \cdot |p^*| = 1. \end{aligned}$$

для любой $f \in P_2^n$, кроме $f \equiv 0$ и $f \equiv 1$, для которых $\rho(E_f, N_f)$ не определено.

С другой стороны, для таблиц E_f и N_f пороговой функции $f \equiv x_1 \in P_2^n$ по лемме 4 единственным тупиковым тестом будет набор $(1, 0, \dots, 0)$, откуда $\rho(E_f, N_f) = 1$. Значит, $\rho_{\max}(\Pi) = 1$.

Теперь получим верхнюю оценку для $\rho_{\min}(\Pi)$. Рассмотрим пороговую функцию $f(x_1, \dots, x_n) = x_1 \& (x_2 \vee \dots \vee x_n)$, для которой $a = (n-1, 1, \dots, 1)$, $T = n - \frac{1}{2}$. Поскольку f существенно зависит от n переменных, то единственным тупиковым тестом по лемме 2 будет полный набор признаков $\{x_1, \dots, x_n\}$, а $p^* = \left(\frac{1}{\sqrt{n}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{n}}\right)$.

При любой замене признаков в таблице N_f^0 будет строка вида $(\alpha, 1, \dots, 1)$, где $\alpha = 0$ или 1, а в таблице E_f^0 будет строка вида $(\bar{\alpha}, \beta, \dots, 0)$, где $\beta = 0$ или 1. Здесь N_f^0 и E_f^0 – таблицы нулей и единиц функции f после замены признаков $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$.

Значит, при любой замене признаков $\min_i (a_i^0, p^*) \leq \frac{2}{\sqrt{n}}$, а $\max_j (b_j^0, p^*) \geq \frac{n-1}{\sqrt{n}}$, откуда $\min_{i,j} (a_i^0 - b_j^0, p^*) \leq -\frac{n-3}{\sqrt{n}}$, где при $\alpha = 0$ и $\beta = 1$ достигается равенство. По определению расстояния получаем $\rho(E_f, N_f) = -\frac{n-3}{\sqrt{n}}$, что и доказывает теорему 4.

Замечание. При доказательстве теоремы 4 получены также следующие результаты:

$$\rho_{\max}(P_2^n) = 1, \rho_{\min}(P_2^n) \approx -\sqrt{n}.$$

Замечание. Если рассмотреть $\rho_1(A, B) = \max_r \max_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} Z^*$, где весовой вектор p в выражении Z^* определяется отображением φ^r , то для $\rho_1(A, B)$ будут верны все соотношения и оценки данной статьи с аналогичными доказательствами.

Литература

1. Яблонский, С. В. Введение в дискретную математику / С. В. Яблонский // М.: Наука, – 1986. – 384 с.
2. Переяславский, В. И. Спектры функций алгебры логики / В.И. Переяславский // Информационно-технологический вестник. – 2015. – № 1(3). – С.78-85.

УДК 681.3.01(075.8)

Архитектура 32-разрядных микроконтроллеров и методология их использования при обучении студентов высшей школы

Н.Н. Теодорович, к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных систем и управляющих технологий,

С.М. Строганова, старший преподаватель кафедры информационных систем и управляющих технологий,

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

В статье рассмотрена архитектура простейших микропроцессорных систем и их основные составляющие, которыми являются микроконтроллеры. Основное внимание уделено 32-разрядным микроконтроллерам серии 1986BE9x, построенных на базе процессорного RISC ядра ARM Cortex-M3, их конструктивным особенностям и особенностям программирования. Коротко рассмотрена схема питания микроконтроллеров данной серии, показана схема организация внешней памяти. Также в статье уделено внимание отладочному комплексу демонстрационно-отладочного комплекса АО «ПКК Миландр», на основе которого разрабатывается лабораторный практикум и кратко рассмотрены его возможности.

Микропроцессор, микроконтроллер, программирование.

Architecture 32-bit Microcontrollers and Methodology of their Use in the Training of Graduate Students

N.N. Teodorovich, Candidate of technical sciences, docent of the Department of Information Technologies and Control Systems,

S.M. Stroganova, Senior lecturer of the Department of Information Technologies and Control Systems,

State Educational Institution of Higher Education

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

The article reviews the architecture of simple microprocessor systems and their main components such as microcontrollers.

It focuses on the 32-bit microcontroller series 1986BE9x based on the RISC processor of the ARM Cortex-M3, their structural features and characteristics of programming.

The power supply circuit of microcontrollers of this series and the scheme the organization of external memory are shown.

The paper dwells the debug kit demonstration and debug of complex «JSC» «ПКК Milandr» and the possibility of creating laboratory works based on them.

Microprocessor, microcontroller, programming.

Современная микропроцессорная техника является важнейшим средством при решении самых разнообразных задач в области сбора и обработки данных, систем автоматического управления и др.

Микроконтроллеры представляют собой ряд широко известных представителей микропроцессорной техники. Они объединяют на одном кристалле высокопроизводительный процессор, память, периферийные устройств и позволяют широкий спектр систем управления как объектами, так и процессами с минимальными затратами реализовать [2,5].

Основной характеристикой любой микропроцессорной системы является ее производительность, под которой в общем случае понимают количество выполняемых в единицу времени элементарных операций и время доступа к памяти и внешним устройствам. Критериями максимальной производительности микропроцессорной системы следует считать в первую очередь минимальное время доступа к памяти и максимально возможную тактовую частоту процессора. Простейшая микропроцессорная система представлена на рисунке 1 [2].

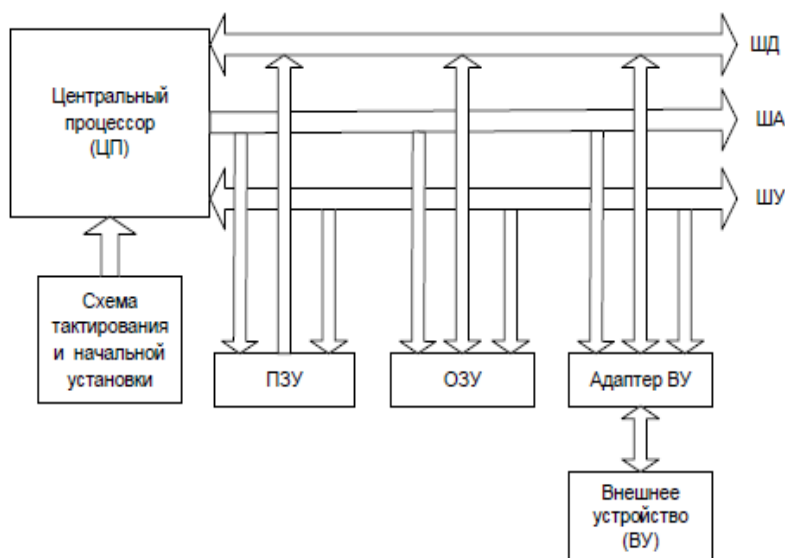


Рисунок 1 – Схема элементарной микропроцессорной системы

Сегодня микроконтроллеры (МК) являются неотъемлемым компонентом почти всех сфер автоматизации и средств связи. На рынке представлен достаточно широкий спектр микроконтроллеров (МК) для самых различных областей применения: от брелока для ключей до какого-либо блока управления на спутнике связи или на самолёте. Это очень бурно развивающийся сегмент рынка электронных компонентов и один из самых больших.

На сегодняшний день в мире существуют тысячи типов микроконтроллеров, выпускаемые такими известными компаниями как Atmel, Analog Devices, Oki Semiconductor, Dallas Semiconductor, Philips Semiconductors, Intel, Infineon Technologies Hitachi Semiconductor, STMicroelectronics, Microchip Technology Inc.,

Texas Instruments, Mitsubishi Electronics, Motorola Semiconductor, National Semiconductor, Temic, Toshiba и многие другие.

Естественно, что для умения свободно ориентироваться среди такого обширного ряда продукции требуются грамотные специалисты, но здесь появляются сложности, связанные в первую очередь с бурным развитием отрасли и выпуском новых поколений МК.

По некоторым оценкам литература по микроконтроллерам и микропроцессорным системам устаревает примерно за 5-6 лет.

Поэтому в задачу вуза входит поиск оптимальных решений по подготовке специалистов, способных работать по избранной профессии долгие годы и постоянный тесный контакт с разработчиками материальной базы.

Одним из важнейших моментов в обеспечении фундаментальности образования в данной сфере является необходимость выделения среди быстро меняющейся предметной области тех основополагающих ключевых моментов, которые позволят создать базовый слой знаний, который будет устойчив к трансформациям реализуемых микроконтроллеров [4].

К таким базовым знаниям можно отнести:

- общие структурные и функциональные схемы;
- принципы обмена данными во внутренних магистралях;
- основные принципы функционирования процессорного ядра;
- построение памяти программ;
- посторонние памяти данных;
- понятие о классах периферийных устройств, таких как порты, таймеры, средства повышения надежности функционирования;
- средства обмена данными и т.д.

И этими знаниями студенты должны овладеть уже на первом этапе изучения дисциплины, в то время как на втором этапе проводится знакомство уже с конкретными представителями микропроцессорной техники [7,8].

Для организации учебной и преподавательской работы с информацией на современном уровне на кафедре внедряется ряд информационных сервисов. Выбор этих сервисов основывается на возможности учиться и работать с реальными средствами и инструментами, которые производятся отечественной промышленностью и с которыми сегодняшним студентам предстоит встретиться на практике. Микроконтроллеры представляют собой основу, на которой можно создавать современные экономичные и высокопроизводительные системы многоцелевого назначения.

В одной микросхеме микроконтроллер включает в себя микропроцессор, память программ (обычно на основе ПЗУ), память данных (обычно на основе ОЗУ), устройство ввода/вывода, генератор тактовых сигналов, аппаратную поддержку интерфейсов I2C, SPI и многое другое.

Однокристалльные микроконтроллеры нашли самое широкое применение в различных сферах: от фотоаппаратов, видеокамер, бытовой электронной техники и измерительных приборах. В рамках обучения принципам работы и архитектуры микроконтроллеров студентам будет предложено познакомиться микроконтроллерами серии 1986BE9х, основанных на ядре архитектуре, производства одного из лидера разработки отечественной микроэлектронной элементной базы ЗАО «ПКК МИЛАНДР» [5,6].

Студентам направления «Управление в технических системах» будет предложено выполнять разработку программного обеспечения интегрированной среде программирования Keil uVision фирмы Keil Elektronik. Данная среда предоставляет пользователю набор средств для написания и отладки кода программ для микроконтроллеров на основе ядра ARM7, ARM9, Cortex M3 и других. В бесплатный дистрибутив входят следующие средства:

- интегрированная среда разработки;
- C/C++ компилятор;
- макроассемблер и линковщик;
- дебаггер uVision;
- дополнительные утилиты.

Единственным ограничением демоверсии является длина кода в 32 бита, но для получения первичных навыков работы этого вполне достаточно. Тем более что опыт преподавания говорит в пользу решения нескольких подобных типовых задач, которые позволят отработать и закрепить навыки работы с микроконтроллерами, а также реализовать основной принцип обучения от простого к сложному. К простым задачам этого этапа изучения дисциплины можно отнести, например, изменение какого-либо параметра физического сигнала-носителя, вычислительные преобразования и др. [8].

Лабораторный практикум разрабатывается на основе демонстрационно-отладочного комплекса АО «ПКК Миландр», в состав которого входят: отладочная плата, микроконтроллер 1986BE91T (или 1986BE94T), кабель RS-232/RS-232, кабель USB/USB, блок питания для отладочной платы, диск с документацией, схематехническими файлами и исходными кодами программ.

Микроконтроллеры серии 1986BE9x построены на базе процессорного RISC ядра ARM Cortex-M3, которое обладает высокой производительностью. Они содержат 32 Кбайт ОЗУ и встроенную 128 Кбайт Flash-память программ. Тактовая частота микроконтроллеров порядка 80 МГц. Периферия микроконтроллера состоит из контроллера USB интерфейса, со встроенным аналоговым передатчиком, имеющим скорости передачи 12 Мбит/с (Full Speed) и 1,5 Мбит/с (Low Speed), стандартные интерфейсы UART, SPI и I2C, контроллер внешней системной шины. Это позволяет работать с внешними микросхемами статического ОЗУ и ПЗУ, NAND Flash-памятью, а также другими внешними устройствами.

За счет матрицы системных шин в архитектуре системы памяти возможно свести к минимуму вероятные конфликты при работе системы, а также добиться повышения общей производительности. Ускорить обмен информацией между ОЗУ и периферией без участия процессорного ядра позволяет контроллер DMA .

Встроенный регулятор предназначен для формирования питания внутренней цифровой части. Он формирует напряжение 1,8 В и не требует дополнительных внешних элементов. Следовательно, для работы микроконтроллера достаточно одного внешнего напряжения питания в диапазоне от 2,2 до 3,6 В.

В микроконтроллерах также реализован батарейный домен, который работает от внешней батареи, и который предназначен для обеспечения функций часов реального времени. Он позволяет сохранить некоторый объём данных при отключении основного питания. По имеющиеся встроенным детекторам напря-

жения питания легко отследить как уровень внешнего основного питания, так и уровень напряжения питания на батарее.

С помощью аппаратных схем сброса при уменьшении напряжения питания дают возможность исключить сбои в работе микросхемы при снижении напряжения питания ниже допустимых параметров.

В зависимости от корпуса, в котором выпускается микросхема, изменяются функциональные возможности микроконтроллеров, но при этом объем памяти программ и ОЗУ остается одинаковым.

Таблица 1 – Основные характеристики микроконтроллеров серии 1986BE9x

	1986BE91T 1986BE94T	K1986BE91H4	1986BE92Y K1986BE92QI K1986BE92QC	1986BE93Y
Корпус	132 вывода	бескорпусная	64 вывода	48 выводов
Ядро	ARM Cortex-M3			
ПЗУ	128 Кбайт Flash			
ОЗУ	32 Кбайт			
Питание	2,2...3,6 В			
Частота	80 МГц			
USER IO	96	96	43	30
USB	Device и Host FS (до 12 Мбит/с) встроенный PHY			
UART	2	2	2	2
CAN	2	2	2	2
SPI	2	2	2	1
I2C	1	1	1	-
2 x 12-разрядных АЦП	16 каналов	16 каналов	8 каналов	4 канала
ЦАП 12 разрядов	2	2	1	1
Компаратор	3 входа	3 входа	2 входа	2 входа
Внешняя шина	32 разряда	32 разряда	8 разрядов	-

Для успешной работы с микропроцессорами серии 1986BE9x необходимо хорошо представлять себе схему питания. В частности, следует знать, что они имеют несколько типов выводов питания (рисунок 2).

UCC выводы:

Основное питание микросхемы, включает питание пользовательских выводов, встроенного регулятора напряжения, USB PHY и генераторов. Входное напряжение должно быть в пределах от 2,2 до 3,6 В. Если используется интерфейс USB, то входное напряжение должно быть в пределах от 3,0 до 3,6 В. Если используется АЦП или ЦАП, то входное напряжение должно быть в пределах от 2,4 до 3,6 В.

DUCC выводы:

Питание внутренней цифровой части, памяти ОЗУ и Flash-памяти. Это питание формируется внутренним регулятором напряжения из UCC. В нормаль-

ном режиме работы этот вывод должен остаться неподсоединенным. В некоторых корпусах данные выводы отсутствуют. Напряжение на выводе DUCC должно быть в пределах от 1,62 до 1,98 В.

BUCC вывод:

Питание батарейного домена используется при отсутствии основного питания UCC для питания батарейного домена и LSE генератора. Переключение с основного питания на батарейное происходит автоматически при снижении уровня UCC ниже 2,0 В. Переключение с батарейного питания на основное происходит автоматически спустя примерно 4 мс после превышения уровнем UCC порога в 2,0 В. Входное напряжение должно быть в пределах от 1,8 до 3,6 В. Если в системе не требуется батарейного питания, то вывод BUCC должен быть объединен с UCC.

BDUCC вывод:

Результирующие напряжения после выбора между BUCC и UCC при питании батарейного домена. В нормальном режиме этот вывод должен остаться не подсоединенным. В некоторых корпусах данные выводы отсутствуют.

AUCC выводы:

Питание аналоговых блоков АЦП, ЦАП и Компаратора выведено на отдельные выводы для уменьшения помех, создаваемых работой других блоков. На данные выводы должно подаваться напряжение из того же источника, что и UCC, но при этом на печатной плате должны быть применены меры по снижению помех. Для корректной работы АЦП входное напряжение должно быть в пределах от 2,4 до 3,6 В. Если входное напряжение будет в пределах от 2,2 до 2,4 В, то корректная работа АЦП не гарантируется.

AUCC1 выводы:

Питание аналоговых блоков и схем PLL выведено на отдельные выводы для уменьшения помех, создаваемых работой других блоков. На данные выводы должно подаваться напряжение из того же источника, что и UCC, но при этом на печатной плате должны быть применены меры по снижению помех.

GND выводы:

Основная «земля» питания.

AGND выводы:

Земля аналогового питания AUCC. Данные выводы должны соединяться с GND, но при этом на печатной плате должны быть применены меры по снижению помех.

AGND1 выводы:

Земля аналогового питания AUCC1. Данные вывода должны соединяться с GND, но при этом на печатной плате должны быть применены меры по снижению помех [1].

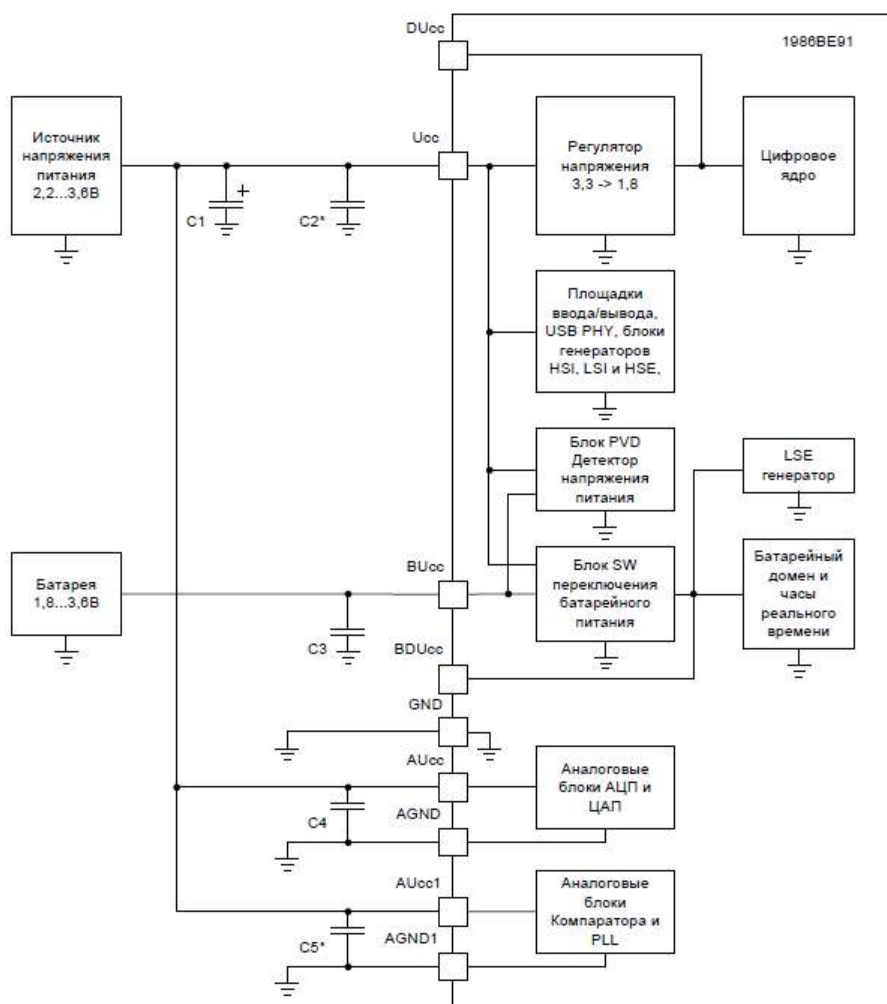


Рисунок 2 – Структурная блок-схема подачи питания

Следует также обратить внимание на организацию структурной памяти (рисунок 3).

Ядро процессора имеет три системных шины:

- Шину выборки инструкций (I Code);
- Шину выборки данных, которые располагаются в коде программы (D Code);
- Шину выборки данных, которые расположены в области ОЗУ (S Bus).

В микроконтроллере существует также контроллер прямого доступа в память (DMA), осуществляющий выборку через шину DMA Bus.

Все адресное пространство микроконтроллера едино и имеет максимальный объем 4 Гбайт и это адресное пространство отображаются различные модули памяти и периферии [1].

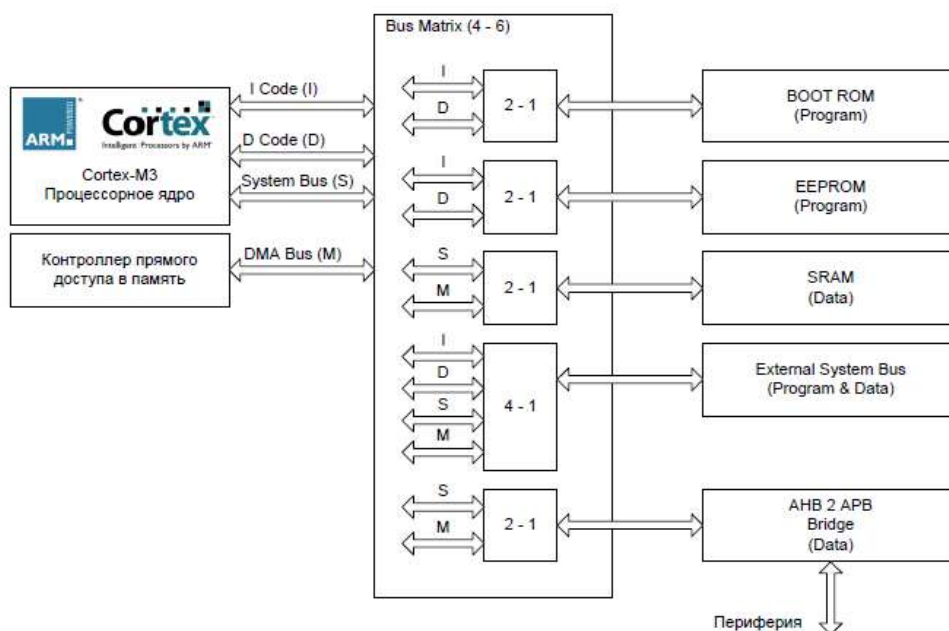


Рисунок 4 – Структурная схема организации памяти

Таким образом, микропроцессор способен выполнять множество операций, что определяется программой, управляющей информацией, которая представляет собой набор команд (цифровых кодов). При этом его быстродействие, гибкость, удобство использования определяется структурой и объемом системы команд процессора. Процессор может иметь десятки и даже сотни команд, при этом система команд может быть рассчитана на узкий круг решаемых задач или на максимально широкий круг задач в зависимости от того, с каким типом процессора мы имеем дело (специализированным или универсальным, например). Коды команд в каждом случае имеют различное количество разрядов, и каждая команда имеет свое время выполнения. Следовательно, время выполнения всей программы зависит как от количества команд в той или иной программе, так и от конкретных используемых команд [3,5].

Для выполнения команд в структуре процессора существуют внутренние регистры, арифметико-логическое устройство (АЛУ, ALU – Arithmetic Logic Unit), мультиплексоры, буферы, регистры и другие узлы. Работа всех узлов синхронизируется с помощью общего внешнего тактового сигнала процессора.

Однако на определенном этапе можно считать процессор черным ящиком, который, получая на входе управляющие коды, производит некую операцию и выдает сигналы на выходе. Для этого достаточно знать систему команд, режимы работы процессора и протоколы обмена информацией, как и о внутренней структуре процессора необходимо знать только то, что нужно для выбора определенной команды или режима работы, а также иметь общее представление о физических процессах, протекающих внутри.

Литература

1. Спецификация на серию 1986VE9x + errata версия 3.9.0.
2. Мельников, А. А. (ст.), Мельников, А. А. (мл.) Микропроцессоры, микроконтроллеры и однокристальные микропрограммируемые устройства / А. А. Мельников (ст.), А. А. Мельников (мл.) // Спутник+, Москва. – 2010. – 269с.
3. Есаулов, С. М. Микроконтроллеры в учебном процессе / С. М. Есаулов // Новые компьютерные технологии. – 2006. – Т. 4. – № 1 (4). – С. 21-22.
4. Ермак, Мария Российские микроконтроллеры с ядром Cortex-M3 и пример реализации проекта / Мария Ермак // Компоненты и Технологии. – 2010. – № 110 С.74-77.
5. Комиссаров, В. Микроконтроллеры компании «Миландр» – эффективное средство программирования ПЛИС / В. Комиссаров // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2013. – № 2 (124). – С. 70-75.
6. Жмакин, А. П., Селиванов, Д. И. О разработке программных моделей микроконтроллеров / А. П. Жмакин, Д. И. Селиванов // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2012. – № 4 (24). – С.106-112.
7. Васильев, Алексей Евгеньевич, Шилов, Максим Михайлович, Мурго Андрей Игоревич Научно-методические аспекты преподавания дисциплин цикла «Встраиваемые микроконтроллеры» / Алексей Евгеньевич Васильев, Максим Михайлович Шилов, Андрей Игоревич Мурго // Информационно-управляющие системы. – 2011. – № 6. – С.68-77.
8. Мисаилов, Андрей Юрьевич, Роганов, Андрей Арьевич, Теодорович, Наталия Николаевна, Мохов, Андрей Игоревич Педагогические инновации в современном высшем профессиональном образовании / Андрей Юрьевич Мисаилов, Андрей Арьевич Роганов, Наталия Николаевна Теодорович, Андрей Игоревич Мохов // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 6(25). – С.67.

УДК 519.8

Информационная поддержка анализа статистических показателей при проектировании организационно-штатных структур

А.Т. Погосян магистрант,
А.Р. Обертаев, магистрант,
А.В. Каракозов, магистрант,

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

Статья посвящена рассмотрению проблемы штатного расписания на примере 3 субъектов Российской Федерации. Проведено исследование по оптимизации статистических показателей организационно-штатных структур МВД России. Время выполнения заявки является важным показателем производительности отдела. На основании исходных данных рассчитаны основные характеристики системы обслуживания с помощью программной среды Excel. Для повышения эффективности работы предложено уменьшить время длительности обслуживания заявок за счёт перераспределения сотрудников.

Многоканальная система массового обслуживания, интенсивность, длительность обслуживания.

Analysis of Statistical Indicators in the Design of the Organizational Structure of Russian Ministry of Internal Affairs

A.T. Pogosyan, undergraduate,
A.R. Obertaev, undergraduate,
A.V. Karakozov, undergraduate,

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

The article considers the problem of staffing the example 3 of the Russian Federation. A study on the optimization of statistical indicators of the organizational structure of the Ministry of Interior of Russia. The execution time of the application is an important indicator of the performance department. Based on the original data to calculate the main characteristics of the service system using Excel software environment. To improve the efficiency of the suggested proposals to reduce the duration of the service due to the redeployment of staff.

Multichannel queuing system, the intensity, the duration of the service.

Для исследования процессов обработки информации о должностных критериях и статистических показателях, влияющих на организационно-штатное проектирование, проанализирована деятельность организационно-штатных под-

разделений МВД России, проведена необходимая детализация отдельных процессов и организационной структуры. Сделан вывод о необходимости анализа статистических показателей временных характеристик с помощью программной среды Excel. В работах [1-6] представлены технические мероприятия по увеличению пропускной способности, скорости передачи и обработки данных для обработки больших объемов информации, в том числе при проектировании организационно-штатных структур. Авторами предложены организационные мероприятия для оптимизации штатных структур на примере штатной структуры МВД России.

Задача исследования:

Описать условия работы отдела по борьбе с хулиганством с целью увеличения раскрываемости дел в программной среде Excel.

Официальная статистика дел по борьбе с хулиганством за май-ноябрь 2015 года в московской области представлена в таблице 1 [7].

Таблица 1 – Статистика дел по борьбе с хулиганством за май-ноябрь 2015 года в Московской области

Месяц	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
Число дел	2625	2824	2715	2587	2527	2630	2784

В результате, получаем простейший поток с определённой интенсивностью.

Исследуемый случай может моделироваться системой многоканального массового обслуживания с однородным потоком заявок с K обслуживающими приборами, которыми в данном случае выступают группы лиц, ответственных за данное дело, и накопителем неограниченной ёмкости, в которую поступают заявки (дела), образующие простейший поток с интенсивностью λ (рис. 1) [8].

Будем считать, что длительность обслуживания заявок также распределена по экспоненциальному закону со средним значением b . Выбор заявок из очереди на обслуживание осуществляется с относительным приоритетом обслуживания. Введение относительных приоритетов позволяет уменьшить по сравнению с беспriorитетным время ожидания высокоприоритетных заявок.

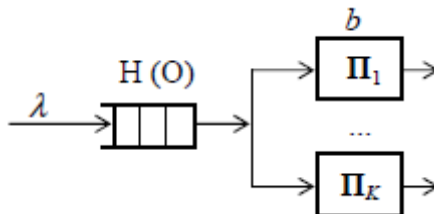


Рисунок 1 – Многоканальная СМО

Точный метод расчета характеристик обслуживания заявок в многоканальной СМО разработан при следующих предположениях:

- поток заявок – *простейший*;
- длительность обслуживания заявок распределена по *экспоненциальному* закону со средним значением b ;

- все K приборов – идентичны, и любая заявка может быть обслужена любым прибором (группой);
- ёмкость накопителя – не ограничена [8].

В качестве основной характеристики функционирования СМО будем использовать загрузку систему ρ .

Принятые исходные данные:

В данной системе возьмём 3 субъекта, с разным количеством преступлений разряда хулиганств

В 1 субъекте интенсивность поступления заявок

$$\lambda = 30 \frac{\text{заявок}}{\text{месяц}};$$

Во 2 субъекте интенсивность поступления заявок

$$\lambda = 8 \frac{\text{заявок}}{\text{месяц}};$$

В 3 субъекте интенсивность поступления заявок

$$\lambda = 12 \frac{\text{заявок}}{\text{месяц}};$$

- средняя продолжительность расследования хулиганства

$$b = 5 \text{ дней};$$

- групп людей, которые расследуют дела.

$$K = 3.$$

- людей в каждой из групп.

$$L=4.$$

Найдём характеристики обслуживания данной системы для 1 субъекта

Загрузка системы:

$$\rho = \frac{\lambda b}{k}, (1)$$

$$\rho = \frac{0,167 \cdot 30}{3} = 1,667$$

Так как $\rho > 1$, это значит, что в системе присутствует перегрузка, то есть заявки накапливаются быстрее, чем обрабатываются.

Вероятность того, что в заявки отсутствуют, определим по формуле:

$$P_0 = \left[\frac{(k\rho)^k}{k!(1-\rho)} + \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(k\rho)^i}{i!} \right]^{-1}, (2)$$

$$P_0 = \left[\frac{(3 \cdot 1,667)^3}{3!(1-1,667)} + 1 + 3 \cdot 1,667 + \frac{(3 \cdot 1,667)^2}{2!} \right]^{-1} = 0,$$

Т.е. в данной системе постоянно будут обрабатываться заявки.

Вероятность того, что заявки образуют очередь:

$$P = 1 - \frac{(k\rho)^k}{k!(1-\rho)} \cdot P_0, (3)$$

$$P = 1 - \frac{(3 \cdot 1,667)^3}{3!(1-1,667)} \cdot 0 = 1$$

Таким образом, при интенсивности поступления 30 заявок в базу данных, все заявки по хулиганству не могут быть раскрыты.

Найдём характеристики обслуживания данной системы для 2 субъекта

Загрузка системы:

$$\rho = \frac{0,167 \cdot 8}{3} = 0,444.$$

Так как $\rho < 1$, это значит, что в системе отсутствует перегрузка. Вероятность того, что в заявки отсутствуют, определим по формуле:

$$P_0 = \left[\frac{(3 \cdot 0,444)^3}{3!(1 - 0,444)} + 1 + 3 \cdot 0,444 + \frac{(3 \cdot 0,444)^2}{2!} \right]^{-1} = 0,254,$$

Вероятность того, что заявки образуют очередь:

$$P = 1 - \frac{(3 \cdot 0,444)^3}{3!(1 - 0,444)} \cdot 0,254 = 0,819$$

Таким образом, при интенсивности поступления 8 заявок в базу данных, все заявки по хулиганству раскрываются.

Найдём характеристики обслуживания данной системы для 3 субъекта Загрузка системы:

$$\rho = \frac{0,167 \cdot 12}{3} = 0,667.$$

Так как $\rho < 1$, это значит, что в системе отсутствует перегрузка. Вероятность того, что заявки отсутствуют, определим по формуле:

$$P_0 = \left[\frac{(3 \cdot 0,667)^3}{3!(1 - 0,667)} + 1 + 3 \cdot 0,667 + \frac{(3 \cdot 0,667)^2}{2!} \right]^{-1} = 0,111,$$

Т.е. в данной системе постоянно будут обрабатываться заявки.

Вероятность того, что заявки образуют очередь:

$$P = 1 - \frac{(3 \cdot 0,667)^3}{3!(1 - 0,667)} \cdot 0,111 = 0,555$$

Таким образом, при интенсивности поступления 12 заявок в базу данных, все заявки по хулиганству раскрываются.

Для того чтобы увеличить суммарное раскрываемость дел в 3 субъектах, нужно перераспределить сотрудников так, чтобы уменьшить время расследования в субъекте, где не успевают обрабатываться заявки, за счёт увеличения времени расследования в тех субъектах, в которых существует время отсутствия заявок.

Для начала узнаем сколько сотрудников нужно оставить во втором и третьем субъекте, чтобы не вызвать перегрузку системы.

$$m = \frac{b \cdot \lambda \cdot a}{k}, \quad (4)$$

Где a – количество человек в группе,

m - необходимое количество человек в группе.

$$m = \frac{0,167 \cdot 8 \cdot 4}{3} = 1,77 \frac{\text{человек}}{\text{группа}}$$

Округлим эту цифру в большую сторону.

$M=2$

В результате мы получаем что, для того чтобы не произошла перегрузка системы количество сотрудников в каждой группе во втором субъекте должен быть не меньше двух.

$$m = \frac{0,167 \cdot 12 \cdot 4}{3} = 2,67 \frac{\text{человек}}{\text{группа}}$$

Округлим эту цифру в большую сторону.

$$M=3$$

В результате мы получаем что, для того чтобы не произошла перегрузка системы количество сотрудников в каждой группе в третьем субъекте должен быть не меньше трёх.

Для этого воспользуемся формулой

$$m = \frac{0.167 * 30 * 4}{3} = 6,6 \frac{\text{человек}}{\text{группа}}$$

Округлим эту цифру в большую сторону.

$$M=7$$

В результате мы получаем что, для того чтобы не произошла перегрузка системы количество сотрудников в каждой группе во втором субъекте должен быть не меньше семи.

На основе полученных данных мы можем взять двоих сотрудников из каждой группы второго субъекта и одного сотрудника из каждой группы третьего субъекта. В итоге мы получаем что в первом субъекте существует три группы по семь человек, во втором субъекте три группы по два человека и в третьем субъекте три группы по три человека. После этого перераспределение в первом субъекте время длительности обслуживания заявок уменьшилось почти в два раза, однако во втором субъекте время длительности обслуживания заявок увеличилось в два раза, а в третьем субъекте увеличилось в полтора раза.

В конце концов мы получаем следующие данные:

В 1 субъекте интенсивность поступления заявок

$$\lambda = 30 \frac{\text{заявок}}{\text{месяц}};$$

Во 2 субъекте интенсивность поступления заявок

$$\lambda = 8 \frac{\text{заявок}}{\text{месяц}};$$

В 3 субъекте интенсивность поступления заявок

$$\lambda = 12 \frac{\text{заявок}}{\text{месяц}};$$

- средняя продолжительность расследования хулиганства в 1 субъекте

$$b = 3 \text{ дней};$$

- средняя продолжительность расследования хулиганства во 2 субъекте

$$b = 10 \text{ дней};$$

- средняя продолжительность расследования хулиганства в 3 субъекте

$$b = 7 \text{ дней};$$

- группы людей, которые расследуют дела.

$$K = 3.$$

- людей в каждой из групп в 1 субъекте.

$$L=7.$$

- людей в каждой из групп во 2 субъекте.

$$L=2.$$

- людей в каждой из групп в 3 субъекте.

$$L=3.$$

После перераспределения сотрудников найдём характеристики обслуживания данной системы для 1, 2 и 3 субъекта.

Найдём характеристики обслуживания данной системы для 1 субъекта

Загрузка системы:

$$\rho = \frac{0,095 \cdot 30}{3} = 0,952.$$

Так как $\rho < 1$, это значит, что в системе отсутствует перегрузка.

Вероятность того, что заявки отсутствуют, определим по формуле:

$$P_0 = \left[\frac{(3 \cdot 0,952)^3}{3! (1 - 0,952)} + 1 + 3 \cdot 0,952 + \frac{(3 \cdot 0,952)^2}{2!} \right]^{-1} = 0,011,$$

Вероятность того, что заявки образуют очередь:

$$P = 1 - \frac{(3 \cdot 0,952)^3}{3! (1 - 0,952)} \cdot 0,011 = 0,2$$

Таким образом, при интенсивности поступления 30 заявок в базу данных, все заявки по хулиганству могут быть раскрыты.

Найдём характеристики обслуживания данной системы для 2 субъекта

Загрузка системы:

$$\rho = \frac{0,333 \cdot 8}{3} = 0,889,$$

Так как $\rho < 1$, это значит, что в системе отсутствует перегрузка.

Вероятность того, что заявки отсутствуют, определим по формуле:

$$P_0 = \left[\frac{(3 \cdot 0,889)^3}{3! (1 - 0,889)} + 1 + 3 \cdot 0,889 + \frac{(3 \cdot 0,889)^2}{2!} \right]^{-1} = 0,028,$$

Вероятность того, что заявки образуют очередь:

$$P = 1 - \frac{(3 \cdot 0,889)^3}{3! (1 - 0,889)} \cdot 0,028 = 0,2$$

Таким образом, при интенсивности поступления 8 заявок в базу данных, все заявки по хулиганству могут быть раскрыты.

Найдём характеристики обслуживания данной системы для 3 субъекта

Загрузка системы:

$$\rho = \frac{0,222 \cdot 12}{3} = 0,889.$$

Так как $\rho < 1$, это значит, что в системе отсутствует перегрузка.

Вероятность того, что заявки отсутствуют, определим по формуле:

$$P_0 = \left[\frac{(3 \cdot 0,889)^3}{3! (1 - 0,889)} + 1 + 3 \cdot 0,889 + \frac{(3 \cdot 0,889)^2}{2!} \right]^{-1} = 0,028,$$

Вероятность того, что заявки образуют очередь:

$$P = 1 - \frac{(3 \cdot 0,889)^3}{3! (1 - 0,889)} \cdot 0,028 = 0,2$$

Фрагмент расчёта в среде Excel представлен на рисунке 1.

Перегрузка системы	Количество людей в отделе	Производительность 1 человека	Среднее время выполнения заявки	Заявок в месяц	Групп	Вероятность того, что все К приборов заняты обслуживанием заявок	Вероятность простоя многоканальной СМО, то есть вероятность того, что в системе нет заявок
ρ_0	a		b	l	k	P	P_0
0,889	3,000	0,250	0,222	12	3	0,202492212	0,028

Рисунок 1 – Фрагмент расчёта характеристик обслуживания заявок

Таким образом, при интенсивности поступления 12 заявок в базу данных, все заявки по хулиганству не могут быть раскрыты.

Выводы.

На основе анализа деятельности организационно-штатных подразделений МВД России рассчитаны статистические показатели, влияющие на организационно-штатное проектирование, с помощью программной среды Excel. Расчеты показали, что после перенаправления по одному сотруднику каждой группы второго субъекта и по два сотрудника каждой группы третьего субъекта в первый субъект происходит увеличение суммарного количества выполненных дел в этих трёх субъектах.

Литература

1. Артюшенко, В. М. Современные исследования в области теоретических основ информатики, системного анализа, управления и обработки информации / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова, И.М. Белюченко, Н. А. Васильев, В. Н. Зиновьев, Ю. В. Стреналюк, 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. Артюшенко // Королев. – ГБОУ ВПО ФТА. – 2014. – 174 с. ISBN 978-5-91730-323-9.
2. 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. Шайдунов, С. С. Шаврин / под науч. ред. док. техн. наук, проф. В. М. Артюшенко // Королев МО: МГОТУ. – 2015. – 168 с. ISBN 978-5-9906953-0-6.
3. 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. ISBN 978-5-9906953-8-2.
4. Аббасов, А. Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации / А. Э. Аббасов, Т. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – № 3(05). – 2015. – С. 15 – 27. ISSN 2409-1650.
5. Аббасова, Т. С. Принципы и средства оптимизации высокоскоростных информационных каналов / Т. С. Аббасова // Информационно-технологический Вестник. – № 2(02). – 2014. – С. 10-16. ISSN 2409-1650.
6. Крупнова, Н. Н., Повилайтис, А. В. Технология подготовки и информационной поддержки штатного расписания в вузе / Н. Н. Крупнова, А. В. Повилайтис // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2013. – № 1(10). – С. 93-97.

7. Генеральная прокуратура российской федерации портал правовой статистики [Электронный ресурс]. URL: http://crimestat.ru/offenses_map.
8. Алиев, Т. И. Основы моделирования дискретных систем. Учебное пособие / Т. И. Алиев // СПб: СПбГУ ИТМО. – 2009. – 120÷172 с.

УДК 629.7

Развитие централизованной оптической архитектуры кабельных систем для вычислительных комплексов

А.Б. Семенов, д.т.н., заведующий базовой кафедрой

«Структурированные кабельные системы»,

Московский технический институт связи и информатики, МТУСИ, Москва,

Т.С. Аббасова, к.т.н., доцент,

Государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования Московской области

«Технологический университет», г. Королев, Московская область

Проанализированы преимущества волоконно-оптической кабельной системы для построения вычислительных комплексов; рассмотрены варианты реализации централизованной оптической архитектуры СКС; даны технические рекомендации для реализации схемы параллельной передачи с помощью модульно-кассетных решений в централизованных оптических системах для вычислительных комплексов.

Параллельная передача данных, пространственное уплотнение, кассетно-модульные решения.

The Development of a Centralized Architecture, Optical Cable Systems for Computer Systems

A.B. Semenov, Ph.D., Head of the Department

of Basic «Structured cabling systems»,

Moscow Technical Institute of Communications and Informatics,

MTUCI, Moscow,

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

State Educational Institution of Higher Education

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

The advantages of fiber optic cabling system for the construction of computer systems; considered embodiments of the SCS central optical architecture; gives technical advice for the implementation of a parallel transmission scheme using a modular cluster solutions in centralized optical systems for computer systems.

Parallel data transfer, space division multiplexing, cassette-modular solutions.

Введение

В настоящее время высокопроизводительные волоконно-оптические кабельные системы строятся в зданиях на основе централизованной топологии расположения активного оборудования [1..4]. Централизованная волоконно-оптическая кабельная система – СОА (от англ. Centralized Optical Architecture – Централизованная Оптическая Архитектура) является дополнением к классиче-

ской топологии структурированной кабельной системы как альтернатива оптическим кросс-соединениям в телекоммуникационных помещениях. Цель альтернативы: реализация принципа объединения активного оборудования и технологии FTTD (от англ. fiber-to-the-desk – оптическое волокно до точки X). FTTD – общий термин для любой широкополосной телекоммуникационной сети передачи данных, использующей в своей архитектуре волоконно-оптический кабель. Особы актуальны вопросы использования централизованной оптической архитектуры в вычислительных комплексах (ВК), центрах обработки данных (ЦОД) [5...10].

Физической средой передачи данных в ВК (ЦОД) является структурированная кабельная система (СКС). С каждым годом появляется все больше новых сервисов, что приводит к росту объемов передаваемых данных, которые предъявляют жесткие требования к пропускной способности (например, «видео по запросу», облачные вычисления, виртуализация данных и т.д.). СКС базируется на положениях стандарта ANSI/TIA/EIA-942 «Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers» – «Телекоммуникационная инфраструктура Центров Обработки Данных», который является основой для планирования и проектирования ключевых компонентов ЦОД. Стандарт определяет минимальные требования к телекоммуникационной инфраструктуре ВК, предназначенных как для одного предприятия, так и для многопользовательских ЦОД (поставщики интернет-услуг, операторы связи и т.д.).

Преимущества волоконно-оптической кабельной системы для построения ВК

Как известно, волоконно-оптическая кабельная система имеет ряд преимуществ, основными (и существенными для аппаратного зала ЦОД) из которых являются низкое энергопотребление, отсутствие переходных помех, сравнительно небольшие габариты кабелей (по сравнению с медными кабелями) и простота монтажа. В июне 2010 года Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) опубликовал стандарт 802.3Ba, описывающий 40/100G Ethernet, который стал неотъемлемым компонентом в проектировании нового поколения ЦОД, т.к. в нем описаны основные технические параметры сетевых интерфейсов Ethernet, обеспечивающие заявленную скорость в 40 и 100 Гбит/с. Стандарт содержит требования к кабельной системе и представляет физический уровень PHL (от англ. physical layer – физический уровень) модели OSI (от англ. open systems interconnection basic reference model – базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем), а также MAC-уровень (от англ. media access control – управление доступом к среде), который регулирует доступ к физической среде. Стандарт должен: поддерживать только полнодуплексные режимы Ethernet MAC-уровня; сохранять формат кадра Ethernet 802.3 MAC-уровня; сохранять минимальный и максимальный размеры кадров стандарта IEEE 802.3; обеспечивать поддержку BER (от англ. Bit Error Rate – коэффициент ошибок) на уровне не хуже 10⁻¹² на интерфейсе между MAC- и физическим уровнями [11]; обеспечивать совместимость с оптическими транспортными сетями OTN; поддерживать скорость 40 и 100 Гбит/с на MAC уровне.

Деление на различные уровни (физический, канальный и т.п.) и их подуровни достаточно условно. По сути, это функциональное деление набора процедур, которые должна реализовать аппаратура для передачи данных. И в этом

смысле функциональное деление позволяет создавать унифицированные компоненты, причем стандартизованные не только по функциям, но и по интерфейсам. Соответственно, нужно иметь в виду, что описываемые ниже логические уровни и интерфейсы могут иметь отдельное аппаратное воплощение, а могут и быть реализованными в одной микросхеме или модуле. Например, процедуры MAC-уровня и часть функций физического уровня, независимых от среды передачи, реализуют в одном чипе, а функции, связанные с конкретной средой (оптоволокно, витая пара и т.п.) – в другом.

На рисунке 1 показан MAC-уровень, в новом стандарте его функции не изменились – он преобразует пакеты верхних уровней в кадры Ethernet, сегментирует, добавляет к заголовку преамбулу, MAC-адрес и контрольную последовательность [11] FCS (от англ. Frame Check Sequence – контрольная последовательность кадра).

В таблице 1 представлены варианты физического уровня PHY, соответствующие стандарту 802.3ba.

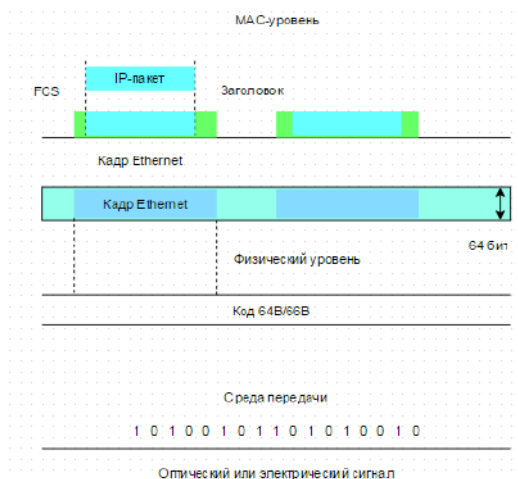


Рисунок 1 – Физический и MAC-уровни стандарта для скоростей 40/100 Гбит/с

Таблица 1 – PHY для стандарта 802.3ba

PHY	40 Gigabit Ethernet	100 Gigabit Ethernet
Как минимум 1 метр по объединительной плате	40GBase-KR4	
Как минимум 10 метров по медному кабелю	40GBase-CR4	100GBase-CR10
Как минимум 100 метров по OM3 MMF	40GBase-SR4`	100GBase-SR10
Как минимум 125 метров по OM4 MMF	40GBase-SR4	100GBase-SR10
Как минимум 10 км по SMF	40GBase-LR4	100GBase-LR10
Как минимум 40 км по SMF		100GBase-ER10

В таблице 1 использованы следующие сокращения: KR – интерфейс с

максимальной дистанцией передачи 1 м (обслуживает заднюю панель компьютерных систем); CR – интерфейс, использующий медную пару (STP), максимальная дистанция передачи – 7 м (обслуживает компьютерные системы и аппаратные комнаты локальной вычислительной сети); SR – интерфейс короткой секции, использующей MM OB на волне 850 нм (обслуживает звено LAN – 100 м для OB типа OM3 и 125 м для OM4); LR – интерфейс длинной секции (до 10 км), использующей OM OB на волне 1300 нм для обслуживания 4 поточных приложений с общим потоком 40 Гбит/с с помощью технологии грубого спектрально мультиплексирования CWDM (4x10,3125 Гбит/с) или 100 Гбит/с с помощью технологии мультиплексирования с разделением по длине волны WDM (4x25,78125 Гбит/с); ER – интерфейс расширенной секции (до 40 км), использующей OM OB на волне 1300 нм (для обслуживания 100 Гбит/с приложений с помощью технологии WDM).

Варианты реализации централизованной оптической архитектуры СКС

Схема централизованной оптической архитектуры, несмотря на свою внешнюю простоту, отличается довольно высокой проектной гибкостью за счет наличия большого количества схем реализации, приведенных на рисунке 2.

Линейная часть такой кабельной системы может быть построена с использованием одного межсоединения и без него [7]. Варианты с промежуточным соединением позволяют сохранить классическую схему инфраструктуры физического уровня информационной системы. Свою положительную роль в данном вопросе играет то, что необходимое для его создания коммутационное оборудование размещается в [12,13] областях, которые в случае применения обычной иерархической структуры задействуются для размещения горизонтального кросса.

Централизованная оптическая архитектура с межсоединением возможна в двух разновидностях. Первую из них называют схемой ответвления [13]. При таком построении линейной части кабельной системы до области размещения виртуального горизонтального кросса доводится магистральный кабель. Прокладка на окончечном участке такой комбинированной линии осуществляется горизонтальным кабелем максимальной длины 90 м, который соединяется с магистральным неразъемным соединителем. В англоязычной технической литературе подобный способ построения СКС называется pullthroughmethod.

Без промежуточного соединения		С одним неразъемным промежуточным соединением
	Проходная схема	
Централизованная оптическая архитектура		
	С промежуточным соединением	
По схеме ответвления		На основе пассивной коммутационной панели

Рисунок 2 – Варианты построения централизованной оптической архитектуры СКС

Вторая возможная разновидность схемы ответвления известна как схема пассивной коммутационной панели. При обращении к ней промежуточный коммутационный элемент тракта передачи выполняется фактически в форме панели точки консолидации, в обязательном порядке снабженной розетками разъемных соединителей. Подключение световодов друг к другу для получения цепи передачи оптического сигнала осуществляется по схеме *interconnect* (*interconnectmethod*), в результате чего формируется составная стационарная линия. В рамках реализации рассматриваемого подхода магистральный кабель, который выполняет функции фиксированной части стационарной линии, заводится на внутреннюю часть коммутационной панели. Второй кабельный сегмент такой составной линии является аналогом линии точки консолидации - в обычных структурах и подключается к розеткам панели с ее лицевой стороны.

Нормативные документы СКС накладывают довольно жесткие ограничения на максимальную протяженность того отрезка линейного кабеля, который находится между пассивной коммутационной панелью и коммутационными устройствами зоны размещения оконечного оборудования (панелями в монтажных конструктивах или настенными информационными розетками с больших или меньшим количеством портов). Его предельная длина установлена равной 90 м. Выполнение требований по данному параметру позволяет сохранить топологическую преемственность с обычными (нецентрализованными) схемами построения СКС. Одновременно оно обеспечивает теоретическую легкость возврата к стандартной двухуровневой организации физического уровня информационной инфраструктуры аппаратного зала.

Из соображений поддержания единообразия построения со структурами, реализованными на симметричном кабеле, какое-либо активное оборудование в месте размещения пассивной коммутационной панели не устанавливается. Данный запрет во много носит формальный характер, так как исполнение коммутационного оборудования, применяемого в централизованных оптических структурах, никак не запрещает эту операцию с технической точки зрения. Более того, в случае ее выполнения панель (или та ее часть, к которой выполнено подключение) может быть формально отнесена к многопользовательским оконечным розеткам. Получившаяся структура по обеспечиваемым параметрам передачи полностью соответствует нормам на стационарные линии и тракты. Единственное формальное препятствие по ее «легализации» на правовом уровне состоит в том, что в стандарте ANSI/TIA-942 отсутствует явное указание на возможность объединения зон размещения оконечного оборудования и точки консолидации.

При реализации оптических трактов СКС, рассчитанных на скорости вплоть до 10 Гбит/с, без промежуточных соединений, протяженность любого из них ограничена значением 300 м. Такая величина для абсолютного большинства ЦОД означает возможность построения информационной кабельной системы вообще без выделения областей горизонтального кросса. В случае работы на перспективных скоростях 40 и 100 Гбит/с максимальную протяженность тракта следует ограничить значением 150 м при условии применения для его построения волокон категории OM4 и обращения к схеме параллельной оптики, в том числе для гарантированного выполнения норм по параметру *skew*.

Возникающее в результате формальное противоречие с положениями

стандарта ANSI/TIA-942 легко решается организационными способами. Более того, оно является малосущественным. Свою положительную роль играет отсутствие горизонтального кросса, что не только не оказывает значимого отрицательного влияния на те характеристики тракта, которые отвечают за качество передачи, но даже в определенной степени улучшает их. Это определяется устранением, по меньшей мере, одного соединителя.

В тех ситуациях, когда проектом построения кабельной системы ЦОД предусмотрено наличие области горизонтального кросса, в любой форме его исполнения, говорят о проходной схеме (англ. Splice Method). При этом наличие соединения в этой области не является обязательным, хотя кабель физически должен проходить через нее.

Известные нормативные документы не включают в себя информации о конкретной реализации проходной системы даже с минимальным уровнем детализации, ограничиваясь только констатацией факта о ее существовании. Практически она может быть выполнена по двум вариантам. Согласно первому из них, кабель от центрального кросса до панели или розетки зоны размещения оконечного оборудования прокладывается с использованием единственной строительной длины. Во втором случае используются две строительные длины, волокна которых соединяются неразъемным сростком (именно этот компонент тракта передачи определяет русскоязычное название схемы, тогда как технология ее реализации – англоязычное).

Отдельного внимания заслуживает еще один момент, касающийся использования централизованной оптической архитектуры СКС в аппаратном зале ЦОД. При ее описании в общем случае нормативные документы рекомендуют вне зависимости от способа реализации в линейной части в области размещения промежуточной панели предусмотреть места для хранения свернутого в бухты запаса кабелей, а в самом помещении выделить место для установки коммутационного оборудования. Формирование кабельной бухты осуществляется с обязательным соблюдением норм производителя кабельных изделий по допустимому радиусу изгиба в процессе эксплуатации.

Стандарт ANSI/TIA-942 допускает формирование запаса не целого кабеля, а отдельных световодов в первичном или вторичном буферном покрытии. При обращении к подобной технологии для хранения избытка длины волокон предусматривается защитный корпус или муфта с соответствующей конструкцией.

Несмотря на упоминание в профильном стандарте ANSI/TIA-942 возможности практического применения, рекомендации по формированию запасов кабеля могут считаться для ЦОД неактуальными и вряд ли будут значимо востребованы в массовой практике реализации проектов. Это определяется в первую очередь изначально очень плотной компоновкой аппаратного зала как его ключевой части, что ставит серьезные проблемы из простых соображений элементарного выделения подходящего места для выполнения процедуры размещения необходимых компонентов, дополнительной контролируемых также по критерию удобства эксплуатационного обслуживания. Немаловажное значение приобретает также факт того, что аппаратный зал ЦОД может рассматриваться в качестве объекта с очень хорошей обусловленностью как с архитектурной, так и с телекоммуникационной точки зрения. Иначе говоря, его компоновка на уровне

основных функциональных областей и зон довольно жестко фиксирована уже в начальной стадии жизненного цикла объекта, то есть на момент формирования основных проектных решений. Немаловажное значение в этой связи приобретает также факт, что эта компоновка стационарной части кабельной системы и сама ее конфигурация не меняются в процессе текущей эксплуатации даже при значительном наращивании производительности, количества предоставляемых сервисов и числа обслуживаемых пользователей.

Фактически более или менее подходящие места для установки коммутационного оборудования и хранения запасов линейных кабелей остаются в областях, зарезервированных первоначальным проектом под расширение сервисной фермы и пула оборудования массовой памяти. Однако в этом случае серьезную конкуренцию подходу на основе укладки запасных кабелей начинают оказывать модульно-кассетные решения [6]. Обращение к ним позволяет не «омертвлять» на достаточно продолжительное время серьезные финансовые ресурсы, направляемые на закупку и установку неиспользуемого пассивного оборудования. Кроме того, развитие кабельной системы из-за предельной простоты прокладки и подключения претерминированных кабелей к кассетам в сочетании с автоматическим получением гарантии от производителя вполне может быть выполнено силами эксплуатационного персонала ЦОД. Это позволяет отказаться от обращения к дорогостоящим услугам внешних специализированных организаций.

Схема параллельной передачи для развития архитектуры централизованных оптических систем

Принципиальное новшество стандарта 802.3ba – переход с последовательной передачи сигнала (спектральное мультиплексирование) на параллельную передачу по нескольким потокам (lanes), которая изображена на рисунке 3.

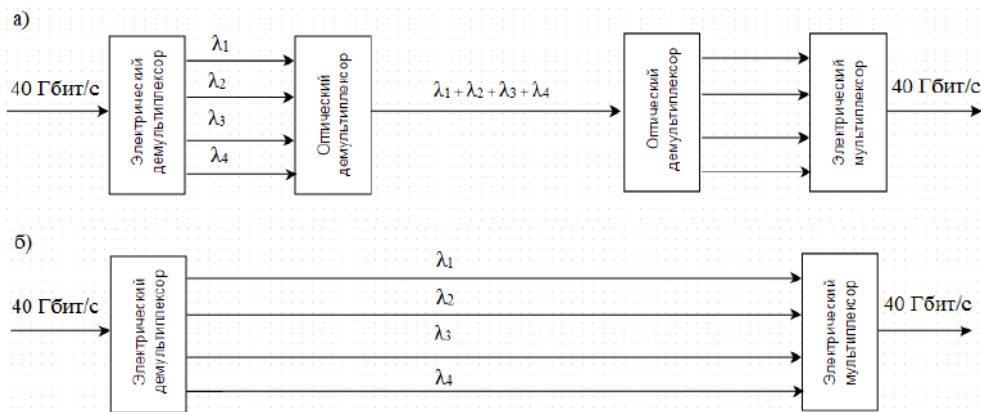


Рисунок 3 – Система со скоростью передачи 40 Гбит/с (показано только одно направление передачи сигнала): а) схема оптического мультиплексирования; б) схема параллельной передачи (пространственного мультиплексирования)

Схема параллельной передачи [10] обладает рядом преимуществ: отсутствие необходимости установки на концах линии модулей оптических мультиплексоров; возможность использования менее сложных линейных кодов; в процессе построения линии связи без потери качества передаваемого сигнала можно

отказаться от применения дорогостоящих оптических передатчиков с контролируемой длиной волны и узкой спектральной линией излучения [7].

Схема параллельной передачи представляет собой схему пространственного уплотнения оптического кабеля. Это обозначает, что для передачи сигналов каждого отдельного канала используется отдельное волокно (в целях достижения максимальной дешевизны решения в целом). Для обеспечения двустороннего информационного обмена число таких световодов составляет 8 для скорости 40 Гбит/с, 20 для 100-гигабитного интерфейса. Передача осуществляется в экономически выгодном спектральном диапазоне 850 нм. Кабель строится из хорошо освоенных в серийном производстве многомодовых световодов с категорией не ниже OM3, которые оптимизированы для работы с лазерными излучателями и имеют коэффициент широкополосности не хуже 2000 МГц×км.

Несколько лучшие характеристики линии достигаются при использовании волокон категории OM4. Они обеспечивают коэффициент широкополосности при лазерном возбуждении [7] порядка 4700 МГц×км.

Применение волокон, характеристики широкополосности которых не соответствуют требованиям спецификаций волокон OM3 и OM4, считается нецелесообразным, из-за сильных дисперсионных искажений (которые не могут быть эффективно скомпенсированы в приемнике при электронной обработке поступающего сигнала на схемотехническом уровне). Основные параметры многомодовых световодов для оптических кабелей СКС приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры световодов для ОК СКС

Тип и категория волокна	Длина волны, нм	Коэффициент широкополосности, МГц×км		Примечание
		Возбуждение с переполнением	Возбуждение от лазера	
62,5/125 (OM1)	850	200	Не нормируется	В ЦОД не используется
	1300	500	Не нормируется	
50/125 (OM2)	850	500	Не нормируется	В ЦОД не используется G651.1
	1300	500	Не нормируется	
50/125 (OM3)	850	1500	2000	Могут применяться в ЦОД
	1300	500	Не нормируется	
50/125 (OM4)	850	3500	4700	
	1300	500	Не нормируется	
SM(OS1)	1310	-	-	G.652A и B
SM(OS2)	1550	-	-	G.652C и D

Выбор волокон категории OM3 и OM4 связан также с тем, что обеспечиваемые характеристики данных световодов позволяют преодолеть 100-метровую границу протяженности оптического тракта. Однако 300-метровый рубеж остается недостижимым в случае скоростей 40 и 100 Гбит/с, что для аппаратных залов ЦОД является не критичным, т.к. обычно протяженность линии составляет не более 150 м. Стандарт 802.3ba накладывает как раз такое ограничение по дальности передачи для волокон категории OM3 и OM4 для оптических интер-

фейсов 100G Ethernet, как показано в таблице 3.

Если сравнивать одномодовую и многомодовую технику в экономическом плане, то можно сделать такие выводы:

- на линиях небольшой протяженности по стоимости более выгодно использование многомодовой техники, т.к. цена оптоэлектронной элементной базы ниже;
- при строительстве более протяженных линий выгоден одномодовый кабель, т.к. его стоимость меньше;
- по мере роста пропускной способности линии растет также ее стоимость при наращивании длины, т.к. возникает необходимость более качественных волокон и переход на схему параллельной передачи для скорости выше 10 Гбит/с.

Таблица 3 – Ограничение по дальности передачи в оптических интерфейсах 100G Ethernet для волокон категории OM3 и OM4

Скорость, Гбит/с	40	100
Шина	1 м	-
Симметричный кабель	7 м	7 м
Многомодовое волокно категории OM3	100 м	100м
Многомодовое волокно категории OM4	100 м	150м
Одномодовое волокно	2 и 10 км	10 и 40 км

Таким образом, определена схема построения сетевого интерфейса: многомодовый волоконно-оптический вариант интерфейса, который в процессе своего функционирования использует классическую схему параллельной передачи на длине волны 850 нм. Данный выбор поясняется следующими преимуществами:

- высокая экономическая эффективность решения в целом (по сравнению с передачей в моноканале при применении спектрального уплотнения);
- простота перехода от 40- к 100-гигабитной скорости без замены стационарных линий ранее установленной кабельной системы;
- возможность работы на схмотехнически хорошо отработанной в оборудовании предшествующих поколений 10-гигабитной скорости в каждом индивидуальном субканале;
- возможность использования имеющихся разработок в области физического уровня (ленточные волокна, разъемы MTP/MPO в 12- и 24-волоконном варианте).

Однако, несмотря на все свои преимущества, схема параллельной передачи требует решения следующих проблем:

- необходимость в стандартизации и контроле такой величины, как skew (параметр перекоса задержки);
- применение ленточных световодов создает проблему прокладки и неэффективного использования пространства, т.к. их форма сильно отличается от привычного круглого поперечного сечения кабеля.

Модульно-кассетные решения для развития архитектуры централи-

зованных оптических систем

При выборе конструкции кабеля для схем параллельной передачи необходимо учитывать, что оптоэлектронная и электрооптическая части приемопередатчиков выстроены по матричной схеме, что ведет к необходимости изменения конструкции линейных кабелей с целью достижения такого согласования активной и пассивной частей линии, чтоб в результате решение было более экономичным [14].

МТР/МРО (от англ. Multi-Fiber Push On) – многополюсный оптический интерфейс. В новейшем международном стандарте СКС для ЦОД ISO/IEC 24764 стандартизирован соединитель МРО и не используется обозначение «МТР». Разъемы МТР/МРО, внешний вид которых приведен на рисунке 4, имеют высокую конструктивную плотность, которая приводит к проблемам при подключении к нему 10-гигабитного сетевого оборудования, так как в этом типе оборудования используется всего одна пара волокон. Решить эту проблему можно с помощью модульно-кассетного построения стационарной линии СКС. Суть модульно-кассетных решений сводится к тому, что претерминированный линейный кабель на конечном линейном участке стационарной линии не выводится прямо на пользовательские розетки, а подключается к промежуточному элементу, функции которого выполняет кассета с одной или двумя розетками МТР/МРО на линейной стороне. Пользовательский интерфейс реализуется на основе розеток разъемов LC, установленных на лицевой пластине корпуса.

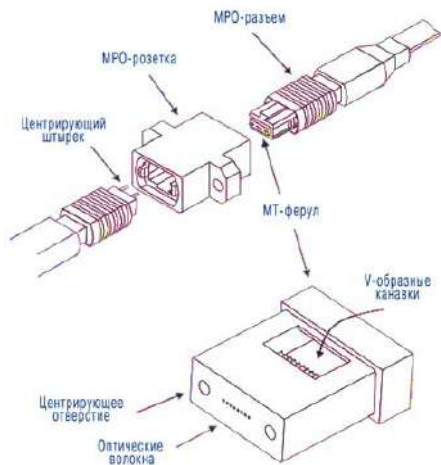


Рисунок 4 – Оптический интерфейс МТР/МРО

Кассеты МРО-LC серии MPOptimate, внешний вид которых изображен на рисунке 5, характеризуются очень низкими потерями мощности оптического сигнала и малыми отражениями в разъемах. Как следствие, гарантируется поддержка 10 Gigabit Ethernet и Fiber Channel 8 Гбит/с на длинах до 200 метров в тракте из 6 кассет. Для Fiber Channel 16 Гбит/с схема соединения оборудования в SAN может быть построена с использованием 4 кассет МРО-LC серии MPOptimate при максимальной длине тракта 120 м, что позволяет реализовать 2 коммутации по схеме «кросс-коннект».



Рисунок 5 – Кассета MPO – LC серии MPOptimate 1 x MPO – 6 x LC Duplex

Кассеты MPO-LC предназначены для подключения кабельных сборок MPO и перехода с 12-волоконного соединителя MPO/MTP на разъемы LC-типа. С помощью кассет реализуется подключение активного сетевого оборудования по схеме «интерконнект» или «кросс-коннект». Кассеты комплектуются 6 разъемами LC Duplex и 1 разъемом MPO. Предлагаются кассеты со сменой полярности (pair flipped) и без смены полярности (pair straight) в парах оптических волокон.

Распределения волокон по отдельным розеткам LC осуществляется внутри корпуса кассеты [1], как показано на рисунке 6.

С учетом особенности применения элементы обеспечения механической прочности световодов такого шнура ограничены применением традиционного вторичного защитного покрытия диаметром 0,9 мм.

Сравнение кабельной системы офиса и аппаратного зала ЦОД показывает, что модульно-кассетные решения получили в ЦОД более широкое применение. Главные факторы, влияющие на выбор:

- геометрическая компактность аппаратного зала ЦОД и наличие в нем большинства кабельных трасс с заранее известной длиной, определяемой с высокой точностью;
- вытекающая из геометрической компактности объекта возможность решения всех видов прокладки и ремонта проводных линий связи с привлечением для этого технологии только одной разновидности;
- возможность прокладки новых кабельных линий в процессе плавного развития объекта самим эксплуатационным персоналом ЦОД без обращения к услугам специализированных внешних организаций;
- резкое сокращение продолжительности восстановления связи в аварийных ситуациях, что является очень важным для объектов с высокими уровнями Tier эксплуатационной надежности.

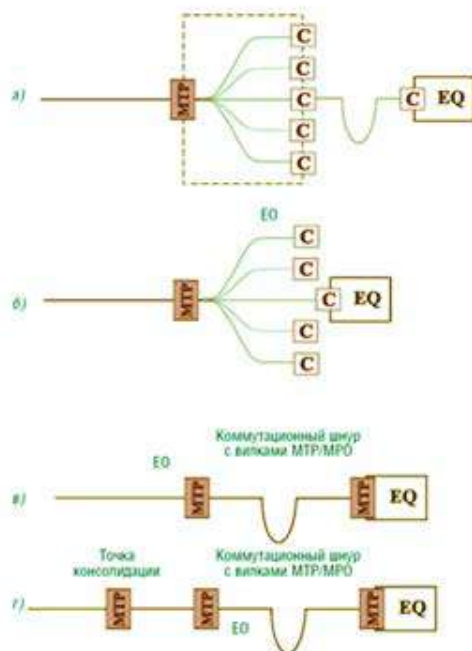


Рисунок 6 – Варианты подключения активного сетевого оборудования в кабельной системе ЦОД: а – с использованием кассеты; б – с использованием разветвительного шнура; в – прямое подключение в случае работы по схеме параллельной передачи; г – подключение через точку консолидации

Действующие стандарты для СКС не содержат информации о применении модульно-кассетной техники для построения оптических трактов СКС, этим активно пользуются некоторые производители данного оборудования. На производстве внедряются собственные системы нормирования параметров элементной базы для модульно-кассетных решений улучшенных разновидностей с их фиксацией на уровне фирменных стандартов. Требования формируются производителем кабельной системы самостоятельно таким образом, чтобы обращение к этому техническому решению гарантировало выполнение норм стандартов при соблюдении требований по протяженности тракта и его структуре.

Выводы

Схема параллельной передачи для централизованной оптической архитектуры с использованием модульно-кассетного оборудования является перспективным и экономически выгодным решением. При правильном выборе составляющих активных и пассивных компонент тракта можно сделать проект СКС для ЦОД, который будет отвечать требованиям не только сегодняшнего дня, но и на годы вперед.

Литература

1. Семенов, А. Б. Структурированные кабельные системы для центров обработки данных / А. Б. Семенов // М.: Компания Стинс Коман; ДМК Пресс. – 2014. – 232 с.: ил.

2. Семенов, А. Б., Стрижаков, С. К., Сунчелей, И. Р. Структурированные кабельные системы – 5-е изд. / А. Б. Семенов, С. К. Стрижаков, И. Р. Сунчелей // М.: Компания АйТи, ДМК Пресс. – 2014. – 640+16 с.: ил.
3. Семенов, А. Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / А. Б. Семенов // М.: ДМК Пресс; компания «АйТи». – 2007. – 632 с.1.
4. Семенов, А. Б. Эффективность построения и функционирования структурированных кабельных систем: учебное пособие с грифом УМО / А. Б. Семенов, В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова // под науч. ред. док. техн. наук, проф. А. Б. Семенова // Королев МО: МГОТУ. – 2016. – 171 с.
5. Семенов, А. Б. Полярность многомодовых оптических трактов для параллельной передачи / А. Б. Семенов // Журнал сетевых решений LAN. – 2014. – № 1. – С. 36-41.
6. Семенов, А. Б. Совершенствование многомодовой волоконной оптики для СКС / А. Б. Семенов, Б. Н. Фомичев // Вестник связи. – 2015. – № 3. – С. 32-34.
7. Семенов, А. Б. Модульно-кассетные волоконно-оптические решения с улучшенными параметрами / А. Б. Семенов, М. Журавлева, И. Сидоркина // Журнал сетевых решений LAN. – 2014. – № 3. – С. 49.
8. Семенов, А. Б. Многомодовое волокно с улучшенными частотными свойствами / А. Б. Семенов // Журнал сетевых решений LAN. – 2013. – № 2. – С. 42-47.
9. Артюшенко, В. М. Сервис информационных систем при аварийном планировании / В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. – 2010. – № 4. – С. 68-74.
10. Abbasova, T. S., Artyushenko, V. M., Samarov, K. L. Modern methods of processing of video information and evaluating the quality of streaming video perception // Biosciences Biotechnology Research Asia. – 2014. – Т. 11. – С. 265-268.
11. ISO/EIC 24764 Information technology – Generic cabling systems for Data Centers. International standard. Edition 1.0. – 2010-04 – 46p.
12. ANSI/TIA-568-B.1-7. Commercial Building Telecommunication Cabling Standard. Part 1 – General Requirements. – Addendum 7 – Guidelines for Maintaining Unis Array Connectors. – TIA Standard. Approved: 13 January 2006. – 19 p.
13. ANSI/TIA-568-C.3-2008. Optical Fiber Cabling Components Standard. TIA STANDARD. Approved: June 18, 2008. – 38 p.
14. Семенов, А. Б. Оптические СКС для 40- и 100-гигабитного диапазона скоростей / А. Б. Семенов // LAN Журнал сетевых решений. – № 1 – 2011.