

REDS:

Телекоммуникационные устройства и системы

№2

2022

СОДЕРЖАНИЕ

Комаров С.Н., Коряковская Л.М., Печуконис Ф.Д., Онищенко А.А. РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕДАТЧИК ДИАПАЗОНА 200 м МОЩНОСТЬЮ 200 Вт	4
Косичкина Т.П., Анисимов М.А. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	12
Павлов С.В., Леонович Е.В., Маклачкова В.В., Докучаев В.А. СЕТИ 2030: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ	17
Пшеничников А.П., Даудов И.М. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БУДУЩИХ СЕТЕЙ	24
Радаева А.С., Степанов М.С. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПРИОРИТЕЗАЦИЕЙ	29
Титов Д.А. ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ СПУТНИКОВ СВЯЗИ И ВЕЩАНИЯ	36
Шведов А.В., Гадасин Д.В., Коровушкина В.М., Мелькова Е.К. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	43
Шелухин О.И., Раковский Д.И. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АНОМАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СОСТОЯНИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ «ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ»	53

РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕДАТЧИК ДИАПАЗОНА 200 м МОЩНОСТЬЮ 200 Вт

Комаров Сергей Николаевич,

*Московский технический Университет связи и информатики, ст. преподаватель, радиоинженер,
Москва, Россия*

komarov@radiostation.ru

Коряковская Людмила Михайловна,

Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

Печуконис Фёдор Дмитриевич,

Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

Онищенко Александр Александрович,

Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

Аннотация

Предназначен для Индивидуального радиовещания при самостоятельном повторении его в радиокружках, но может иметь более широкие применения в профессиональной радиосвязи, навигации и маломощном радиовещании, например, в отдалённых районах Крайнего Севера. Изначально разрабатывался для мобильного АСПК при проведении радиовещательных автопробегов. Может быть рекомендован для самостоятельного изготовления в рамках курсового и дипломного проектирования при подготовке радиотехников и радиоинженеров, а также радиомонтажников, в технических колледжах, техникумах, институтах и университетах.

Ключевые слова: *Индивидуальное радиовещание, АМ радиопередатчик, многофазный усилитель мощности, Зелёный глаз.*

Параметры. Передатчик перекрывает диапазон частот 1449-1602 кГц, рекомендованный для Индивидуального радиовещания [1, 2], а также диапазон промежуточных волн (180-и метровый диапазон) для низовой радиосвязи 1611-1800 кГц [17]. Фиксированные частоты располагаются в сетке 9 кГц. Относительная нестабильность частоты не хуже 1×10^{-6} . Тип излучения 16K0A3EGN (радиовещательная АМ), но может быть приведён к связному 6K80A3E внешним фильтром на входе модулятора. Выходная мощность в режиме несущей 200 Вт. Благодаря АЭМ в выходном каскаде, мощность на пике модуляции может достигать 800 Вт. Имеет встроенную схему согласования и может работать на антенны с активной частью входного сопротивления от 12 до 1200 Ω и, реактивной, в пределах $\pm 200 \Omega$. Питается от электросети переменного тока или от мобильного электрогенератора 220 – 230 вольт 50 – 400 Гц.

Структурная схема. Типовая, для двухфазных передатчиков с синтезатором С9-1449-1800-26 [18]. Включает в себя (рис. 1) [19]: Трансформаторный источник питания, Трансформаторный параллельный модулятор, Синтезатор рабочих частот С9-1449-1800-26 с мощным ключевым выходом; Выходной каскад [21] на металлокерамических тетрадах ГС-36Б; Выходную колебательную систему с высоким уровнем фильтрации гармоник в виде двойного П-контура; Цепь согласования с антенной; Датчик тока антенны; Электронно-световой индикатор настройки. Усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ), мощностью 150 Вт, с входным уровнем 0 дБ (0,775 В на входном сопротивлении 600 Ω) – выполнен отдельным блоком [20] и в данной статье не рассматривается.

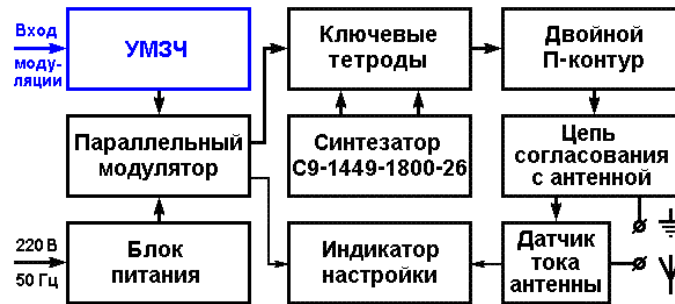


Рис. 1. Структурная схема передатчика

Трансформаторные схемы электропитания и модуляции применены исключительно для обеспечения чистоты спектра выходного сигнала от внеполосных и побочных излучений. Параллельная схема модуляции, при в два раза большем числемоточных изделий, чем в последовательной схеме, позволяет использовать трансформаторы и дроссели, выпускаемые серийно и отказаться от сложного высоковольтного модуляционного трансформатора собственного изготовления, работающего с подмагничиванием. В целом, параллельная схема, при лучшем качестве работы по сравнению с последовательной, является более надёжной и менее затратной в производстве.

Усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ), выступающий в роли модулятора конструктивно выполнен отдельным блоком со своим источником питания. Выходная мощность УМЗЧ $P_{\text{мод}} = P_{\text{вых}}/\sqrt{2} = 200/\sqrt{2} = 140 \dots 150$ Вт, достаточна для получения глубины модуляции 95%. Помимо штатного УМЗЧ для передатчика может быть применён стандартный профессиональный или бытовой усилитель звуковой частоты, с выходной мощностью 120-150 Вт, рассчитанный для работы на модуляционный трансформатор с эквивалентным сопротивлением нагрузки 8 Ω. Безынерционный электронно-световой индикатор настройки, в режиме наблюдения за сигналом модуляции, позволяет установить пиковый уровень сигнала без ограничения. Для увеличения средней глубины модуляции, предотвращения искажений на пиках и для спектродинамической обработки модулирующего сигнала с элементами психоакустики, желательно использовать на входе модулятора многополосный компрессор с регулировками степени компрессии и уровня сигнала в каждой полосе (АМ процессор).

Принципиальная схема. Передатчик. Выполнен на мощных металлокерамических тетродах ГС-36Б. Выходная колебательная система в виде двойного П-контура может работать на 7 значений активного сопротивления нагрузки: 300, 200, 125, 75, 50, 30, 18 Ω. Первые 6 значений выбираются с помощью переключателя SA4 – «Связь с антенной». Седьмое значение, с наибольшим током нагрузки, имеет отдельную выходную клемму, чтобы при переключении не обгорали контакты переключателя. За счёт особенности работы схемы (автоматическое перераспределение токов в выходном емкостном делителе) согласование сохраняется при уменьшении номинала нагрузки в 1,5 раза [17]. Таким образом, обеспечивается плавное согласование нагрузки от 300 до 12 Ω. Нижнее значение сопротивления составляет $18 / 1,5 = 12$ Ω. При снижении выходной мощности передатчика до 150 Вт, возможна работа на нагрузку до 8 Ω (укороченная штыревая антенна высотой $\lambda / 8$) [16].

Двухфазный выходной каскад передатчика управляется непосредственно выходными транзисторами синтезатора и работает в ключевом режиме класса F_{inv} [4] со скважностью $q = 6$. Подробное описание работы схемы, расчёт режимов, номиналов элементов и параметров конструкции приведено в [6, 7, 8, 9, 10, 14]. Поочерёдная, череспериодная [21], работа металлокерамических тетродов и формирование импульсов оптимальной скважности обеспечиваются синтезатором рабочих частот С9-1449-1800-26.

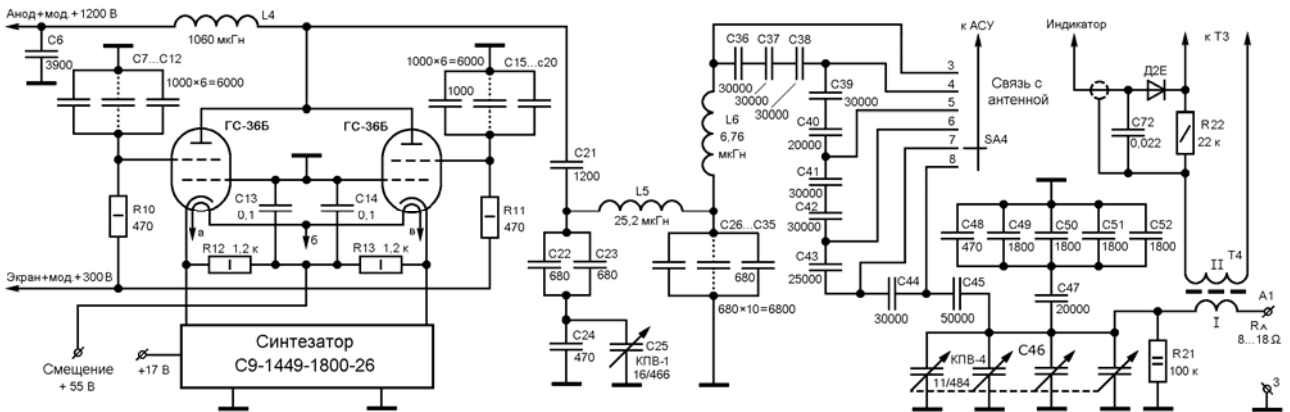


Рис. 2. Принципиальная схема передатчика

Синтезатор рабочих частот C9-1449-1800-26. Выполнен на двусторонней печатной плате, размером 95 x 105 мм. Содержит термокомпенсированный кварцевый генератор ГК321-ТК-К-АД российской фирмы «БМГ-кварц», имеющий относительную нестабильность частоты $0,7 \times 10^{-6}$. Формирование сетки частот производится в петле ФАПЧ с помощью ДПКД [15]. Синтезатор имеет на выходе ключевые транзисторы с открытым коллектором, предназначенные для непосредственного управления металло-керамическими тетрами с током катода до 1,6 А. Возможна также установка на плату синтезатора мощных полевых транзисторов IRL510 с радиаторами [18].

Диапазон частот синтезатора разбит на 4 поддиапазона по 10 частот: 1449-1530 кГц; 1539-1620 кГц; 1629-1710 кГц; 1719-1800 кГц. В зависимости от выделенных частот, с помощью перепаиваемых перемычек включается нужный поддиапазон. Выбор рабочей частоты внутри поддиапазона производится переключателем П2ГЗ-10П1Н. Перестройка рабочей частоты введена для обеспечения возможности смены частот при смене городов вещания во время радиовещательного автопробега. Подробному описанию синтезатора посвящена отдельная статья [18].

Цепь согласования с антенной. Состоит из четырёх частей (рис. 3). Двухобмоточный высокочастотный трансформатор Т2 на ферритовом кольце 400НН К100х60х15 с коэффициентом трансформации сопротивлений 1:4, а также с возможностью подключения симметричных антенн. Переключаемая гирлянда конденсаторов С55 – С68 для работы с удлинённой антенной, а также для настройки укороченной антенны при включении последовательно с удлинительной катушкой [16]. Удлинительная катушка L7 для работы с укороченной антенной. Для компенсации емкостной реактивности укороченной антенны в 180 Ω на нижней рабочей частоте диапазона индуктивность удлинительной катушки должна быть около 20 мкГ. Емкостная гирлянда компенсирует индуктивное сопротивление антенны до 100 Ω. Подключение дополнительной последовательной ёмкости 1120 пФ (С36 + С37) позволяет плавно компенсировать реактивность антенны до 200 Ω [16].

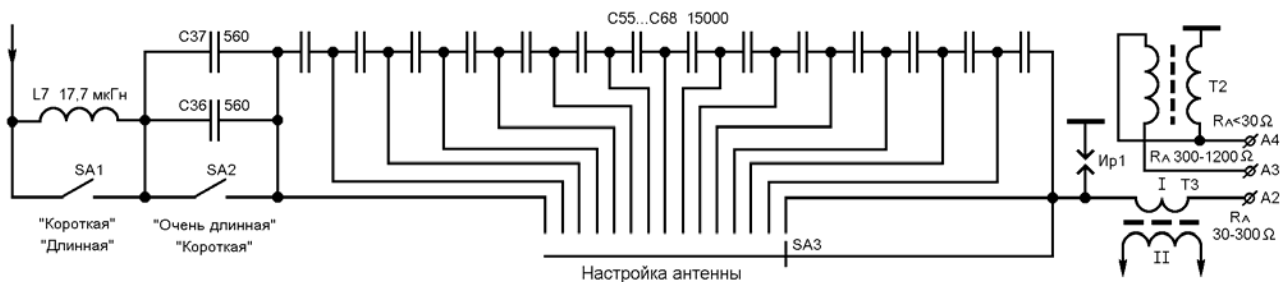


Рис. 3. Антенное согласующее устройство

Датчик тока антенны и электронно-световой индикатор настройки. Датчик тока представляет собой высокочастотный трансформатор, первичной обмоткой которого является винт антенной клеммы [11], проходящий через ферритовое кольцо. Вторичная обмотка содержит 100 витков провода ПЭЛШО-0,25, намотанных в один слой (рис. 5). Электронно-световой индикатор с помощью переключателя может быть подключен к двум цепям: ток антенны и сигнал модуляции.

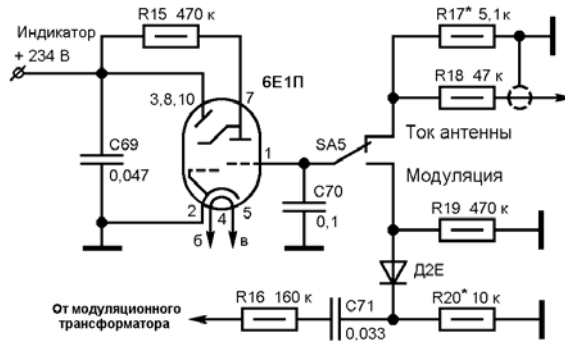
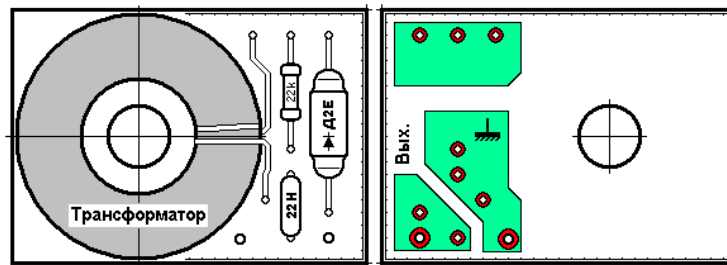


Рис. 4. Схема индикатора настройки



Печатная плата трансформатора тока и ВЧ детектора

Рис. 5. Печатная плата трансформатора тока

Параллельный модулятор. Представляет собой схему сложения постоянного и переменного напряжений при параллельном включении источников с развязывающими конденсаторами и дросселями [3]. Дросселя работают с подмагничиванием токами анодной и экранной цепей.

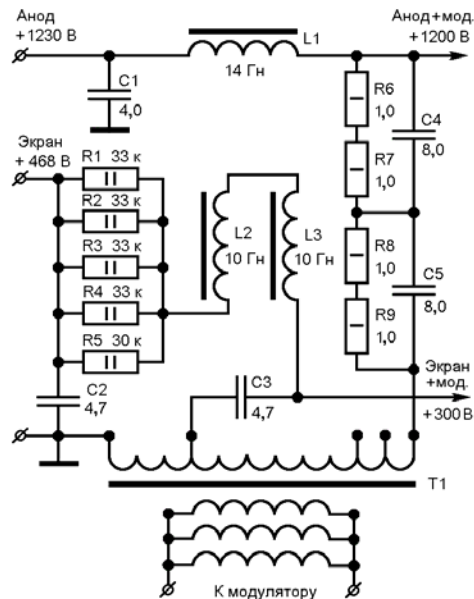


Рис. 6. Параллельный модулятор

Модуляционный дроссель в анодной цепи, индуктивностью 14 Гн, намотан на двух сердечниках ПЛР21х32 сложенных вместе для образования сердечника ШЛР42х32. Для уменьшения собственной ёмкости обмотка состоит из двух секций, намотанных встречно, но соединённых согласно. Каждая секция содержит по 1700 витков провода ПЭТВ 0,63. Зазор в каждой половине сердечника составляет 2 x 0,5 мм. Суммирование питающих и модулирующих напряжений производится с помощью разделительных конденсаторов С3 и С4, С5 в экранной и анодной питающих цепях.

Конденсаторы С1 и С2 являются блокировочными для высоковольтных цепей звуковой частоты и расположены непосредственно в блоке передатчика. Через межблочные соединительные кабели, параллельно им, включены выходные конденсаторы сглаживающих фильтров выпрямителей гораздо большей ёмкости, однако, блокирование верхних частот модуляции должно происходить в непосредственной близости от схемы сложения напряжений. Балластный резистор в цепи экранирующей сетки $R_{1-5} = 6,5 \text{ к}\Omega$, совместно с активным сопротивлением дросселей L2 и L3 (Д15-10-0,05), 2 x 1,2 к Ω , итого, $R_6 = 8,9 \text{ к}\Omega$, служит для защиты её от перегрева, и при токе в 25 мА (при расстройке анодного контура или при обрыве антенны) автоматически понижает напряжение на ней до 250 вольт.

Для модуляционного трансформатора применён стандартный тороидальный магнитопровод ОЛ55/95-32 из стали Э340 с толщиной ленты 0,1 мм. Действующее напряжение первичной обмотки при мощности 155 Вт и входном сопротивлении 8 Ω составляет $U_1 = 35,2 \text{ В}$. При этом выходные амплитудные напряжения модуляционного трансформатора составят, в экранированной цепи 205 вольт, в анодной, на отводах 1080, 1140, 1195 вольт, и на всей обмотке 1255 вольт, что позволяет экспериментально подобрать оптимальный режим модуляции.

Таким образом, в передатчике осуществляется анодно-экранная модуляция [5, 12] с защитой радиоламп от перегрузок по экранирующей сетке. Принцип работы и расчёт параллельного модулятора (рис. 6) приведены в [3].

Источник питания. Выполнен в виде отдельного блока по классической схеме с силовыми трансформаторами ТА27-220-50, ТА28-220-50, ТА282-220-50 и ТН8-127/220-50, мостовыми выпрямителями, LC и RC сглаживающими фильтрами, параметрическими стабилизаторами напряжения на полупроводниковых стабилитронах. Обеспечивает следующие напряжения:

– Переменное напряжение 2 x 6,3 вольта при токе 3,6 А, для питания цепей накала радиоламп.

Постоянные напряжения:

+ 1250 вольт при токе до 320 мА для питания анодов выходных радиоламп ГС-36Б.

+ 468 вольт, при токе до 25 мА для питания цепи экранированных сеток выходных радиоламп.

+ 234 вольта, при токе до 4 мА для питания цепи анода индикатора настройки 6Е1П.

+ 56 вольт, при токе до 20 мА для запирающих выходных радиоламп по цепи катодов.

+ 17 вольт при токе до 260 мА для питания синтезатора С9-1449-1800-26.

+ 12 вольт, в трёх цепях при токах в каждой до 0,6 А для питания вентиляторов.

Напряжения 468 вольт и 234 вольта стабилизированы гирляндой из 12 стабилитронов Д816Г.

Напряжение 56 вольт стабилизировано стабилитроном Д817А с усилителем тока на транзисторе КТ819В, снабжённым радиатором.

Включение напряжений производится пятью тумблерами ТВ в следующем порядке:

Сначала – накал ламп и вентиляторы (питаются от одного трансформатора ТН8-127/220-50).

После подачи накала необходима пауза в две минуты для прогрева катодов радиоламп.

Затем, подают запирающее напряжение + 56 вольт и питание синтезатора +17 вольт.

Потом, устанавливается коммутация вторичных обмоток анодного трансформатора ТА282 для выбора напряжения 625 или 1250 вольт (25% или 100% мощности передатчика)

Далее – включается трансформатор анодного напряжения, – выбранные 1250 или 625 вольт.

Наконец, подаётся экранное напряжение + 468 вольт и одновременно включается индикатор.

Выключатели, подающие питание на силовые трансформаторы, образуют последовательную цепь, исключающую нарушение порядка включения передатчика. Выключение передатчика производится в обратном порядке. Выключение накала и обдува радиоламп вентиляторами надо производить не ранее, чем через две минуты охлаждения радиоламп.

В силу своей очевидности, схема блока питания в статье не приводится.

Конструкция передатчика. Передатчик выполнен в виде двух стандартных 19-и дюймовых блоков, высотой 3U. В блоке, глубиной 350 мм, выполнен собственно передатчик вместе со схемой согласования антенны и параллельной схемой модуляции. В блоке, глубиной 270 мм – источник питания. Блоки соединяются тремя кабелями. Первый кабель содержит три провода БПВЛ, сечением 2,5 кв. мм для цепей накала. Второй – провода БПВЛЭ, сечением 0,5 кв. мм для цепей смещения, питания синтезатора и вентиляторов, третий – высоковольтный, содержит цепи питания экранирующей сетки и анода.

Охлаждение анодов радиоламп принудительное, воздушное. Для лучшего охлаждения радиолампы помещены в обоймы с продувкой воздуха (рис. 7). Между анодом радиолампы и вентилятором размещена стальная экранирующая решётка с обтекателем. Высокочастотные блокировочные кон-

денсаторы в цепи экранирующей сетки (С7...С12 и С15...20, рис. 2) размещены равномерно, по окружности, между контактным кольцом (рис. 8) и медной шиной ВЧ «земли». Ламповая панелька для ГС-36Б применена локтальная, типа ПЛЗ-5-16, и вставляется в контактное кольцо справа (рис. 8), в кольцевую проточку диаметром 32,5 мм.

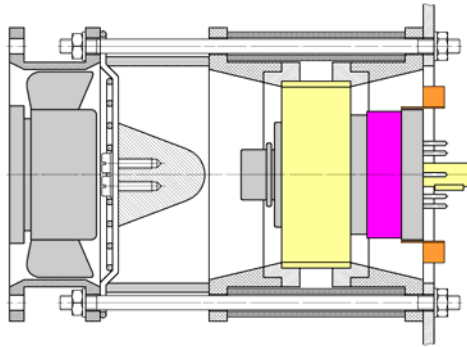


Рис. 7. Система охлаждения выходных радиоламп

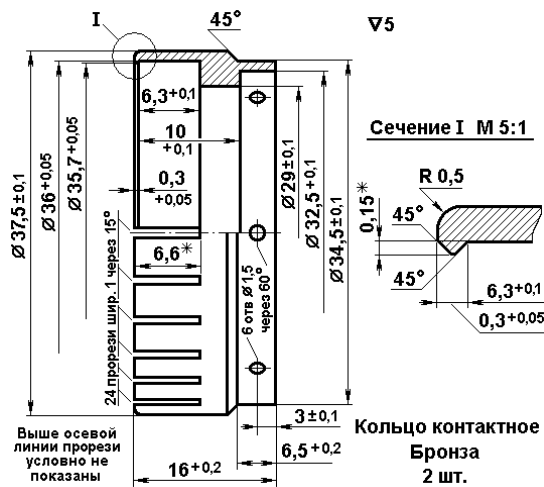


Рис. 8. Контактное кольцо экранирующей сетки



Рис. 9. Компоновка верхнего этапа передатчика. Слева-направо, сверху-вниз в два ряда

Системы охлаждения радиоламп ГС-36Б. Индикатор 6Е1П. Справа под шиной разделительный конденсатор КСО-13. Под индикатором ВЧ анодный дроссель. Ниже ВЧ блокировочный конденсатор КСО-13. Справа – первая катушка двойного П-контура. Над ней анодный переменный конденсатор. Справа – растягивающие конденсаторы. Под ними – второй конденсатор двойного П-контура 10 x 680 пФ. Справа – вторая катушка двойного П-контура. Над ней, под крышкой, конденсаторы емкост-

ного делителя. Над крышкой - переключатель «Связь с антенной». Справа – четырёхсекционный переменный конденсатор подстройки нижней ёмкости емкостного делителя. Под ним - удлинительная катушка АСУ. Слева от неё – два укорачивающих конденсатора. Снизу – гирлянда конденсаторов «Настройка антенны» и её переключатель. Слева – тумблеры подключения удлинительной катушки и укорачивающих конденсаторов. Слева – модуляционный анодный дроссель. Слева от него – разделительные и блокировочный конденсаторы анодной цепи модуляции. Слева от них тороидальный модуляционный трансформатор. Над ним разделительный и блокировочный конденсаторы экранной цепи модуляции. Под их платой – два модуляционных дросселя экранной цепи. Справа на колодке – пять балластных резисторов цепи экранной сетки.

В подвале шасси расположены синтезатор и ВЧ трансформатор согласующего устройства.



Рис. 10. Вид на передатчик спереди-сверху. Регулировки, слева направо: Настройка выходного конденсатора второго П-контура. Переключатель «Связь с антенной». Настройка анодного конденсатора первого П-контура. Снизу – переключатель индикатора «Ток антенны – Модуляция». Окошко индикатора «Зелёный глаз». Выходные решётки вентиляторов радиоламп. Снизу - переключатель рабочих частот

Конструкция блока питания.



Рис. 11. Расположение элементов внутри блока питания понятно из фотографии. Четыре трансформатора, два дросселя, три платы с конденсаторами, резисторами и стабилитронами. Угловой радиатор для мостовых выпрямителей КЦ404А. Монтаж выполнен на горизонтальном дюралево шасси. Оно же является теплоотводом для мостовых выпрямителей



Рис. 12. Блок питания в собранном виде с соединительными кабелями. В передней и задней панели сделаны прямоугольные отверстия под органы управления и разъёмы. Включение передатчика производится подъёмом четырёх тумблеров вверх, по очереди, слева-направо, выключение в обратном порядке. Справа расположены держатели предохранителей, а справа-вверху – переключатель выбора значения анодного напряжения 625 или 1250 вольт

Передатчик выполнен исключительно на отечественной элементной базе, как на более надежной, доступной и неприхотливой.

Подробное описание передатчика с расчётами режимов и всех радиоэлементов, а также с чертежами деталей и печатных плат, достаточное для его самостоятельного повторения в домашних условиях или в условиях радиокружка, будет приведено в готовящейся к изданию следующей книге из серии «Индивидуальное радиовещание» [16, 17].

Литература

1. Циркулярное письмо Федерального Агентства связи № РШ-С-7065 от 26.04.2016. Электронный ресурс: <http://www.cqf.su/documents/RSHS-7065.pdf>.
2. *Комаров С.* Прекрасный подарок ко Дню Радио // Радиолобитель. 2016. № 5. С. 30-33.
3. *Комаров С.* Параллельный анодно-экранный модулятор. Радио 2015 № 4. С. 30-33.
4. *Комаров С.Н., Морозова А.П.* Исследование усилителя мощности радиочастотных колебаний с многофазным возбуждением // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том 8. № 10. С. 33-38.
5. *Комаров С.* Ключевой тракт формирования несущей АМ передатчика // Радиолобитель. 2017. № 1. С. 17-21.
6. *Комаров С.* Самодельные ребристые каркасы для катушек передатчика // Радио, 2015. № 5. С. 33.
7. *Комаров С.* Анодный дроссель выходного каскада маломощного радиовещательного АМ передатчика // Радиолобитель. 2016. № 8. С. 26-28.
8. *Комаров С.* Каркасы для анодных дросселей маломощных радиопередатчиков диапазона длинных и средних волн под намотку «Универсаль» // Радиолобитель. 2016. № 10. С. 49-54.
9. *Харб Д.* Расчет индуктивности многосекционных катушек и дросселей // Радиолобитель. 2016. № 7. С. 31.
10. *Комаров С.* О блокировочном и разделительном конденсаторах в анодной цепи радиопередатчика с АЭМ // Радиолобитель. 2016. № 11. С. 31.
11. *Комаров С.* Индикатор настройки передатчика на основе "зелёного глаза" // Радио. 2015. № 7. С. 30, 31, 3-я стр. обложки.
12. *Комаров С.* Передающий тракт Индивидуального радиовещания // Радио. 2015. № 9. С. 30-33.
13. *Комаров С.* Источник питания для экспериментов с ламповыми схемами // Радиолобитель. 2016. № 11. С. 24-27.
14. *Комаров С.* Проектирование и расчет ВКС однократно-двухфазного выходного каскада передатчика диапазона 200 м (1449-1620 кГц) для мощности 50 Вт. Электронный ресурс: <http://www.cqf.su/technics/WKS-2f-50.html>
15. *Комаров С.Н., Тертышников А.В.* Разработка и исследование многофазных синтезаторов радиочастот с мощным выходом // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 97-99.
16. *Комаров С.Н.* Индивидуальное радиовещание. 1. Самодельные передающие антенны диапазона 200 метров. Монография. Практическое руководство для руководителей и членов конструкторских радиокружков и радиостанций Индивидуального радиовещания. М.: ООО «ИД Медиа Паблшер», 2017. 150 с.
17. *Комаров С.Н.* Индивидуальное радиовещание. 2. Самодельные радиопередатчики и многофазные синтезаторы частот диапазона 200 метров. Монография. Практическое руководство для руководителей и членов конструкторских радиокружков и радиостанций Индивидуального радиовещания. М.: ИД Медиа Паблшер, 2018. 214 с.
18. *Комаров С.Н. Бузуева Н.М.* Двухфазный синтезатор частот с мощным выходом // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2021. Т. 12. № 3. С. 26-32.
19. *Комаров С.Н.* Двухфазный радиовещательный АМ передатчик диапазона 200 м // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2021. Т. 12. № 2. С. 34-39.
20. *Комаров С.Н. Фуников И.Д.* УМЗЧ в схеме параллельного модулятора вещательного передатчика // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2021. Т. 11. № 3. С. 54-58.
21. *Комаров С.Н.* Импульсное суммирование мощности активных элементов в многофазных выходных каскадах радиопередатчиков // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 5. С. 9-14.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Косичкина Татьяна Павловна,

МТУСИ, зав. кафедрой, к.т.н., доц., Москва, Россия

t.p.kosichkina@mtuci.ru

Анисимов Максим Александрович,

МТУСИ, Москва, Россия

Vseu4asnik@yandex.ru

Аннотация

Исследование направлено на оценку актуальности и осуществимости спутниковой оптической связи для целей дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Проводится оценка необходимой скорости передачи для системы ДЗЗ с учетом характеристик современных сенсоров. Рассматриваются проблемы построения открытой оптической линии для связи с высокой скоростью передачи данных. Отмечается возможность построения такой системы в настоящее время.

Ключевые слова: *Оптическая спутниковая связь, межспутниковые каналы, оптические нисходящие каналы, оптическая связь через свободное пространство, дистанционное зондирование Земли.*

Введение

Перегрузка радиочастотного диапазона, произошедшая вследствие стремительного роста числа пользователей мультимедиа и интернет-трафика, приводит к необходимости освоения новых диапазонов, в том числе оптического. Идея применения оптических линий в системах спутниковой связи не нова (см., например, [1]), но в последние годы интерес к ней возрождается. В последние годы оптическая связь в свободном пространстве приобрела большое значение благодаря своим уникальным характеристикам: большой пропускной способности, свободному от лицензий спектру, высокой скорости передачи данных, простоте и быстрому развертыванию, меньшему потреблению энергии и малой массе.

Оптическая связь в свободном пространстве использует ближний инфракрасный (ИК) диапазон для установления наземных линий связи в атмосфере Земли, межспутниковых/дальних космических линий или линий связи земля-спутник/спутник-земля. Она может найти свое применение в дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ), радиоастрономии, доступе «последней мили», транзитных сетях для сотовой связи и многом другом [2].

Однако для того, чтобы полностью использовать огромную пропускную способность открытой оптической системы, необходимо решить различные проблемы, связанные с неоднородным характером атмосферного канала. Система с применением открытого оптического канала уязвима для различных атмосферных явлений, таких как поглощение, рассеяние, атмосферная турбулентность и неблагоприятные погодные условия.

В данной работе рассматриваются различные сценарии для использования систем оптической спутниковой линии связи, производится оценка их осуществимости и определение архитектуры системы на основе сравнения различных вариантов.

Оценка пропускной способности линии связи для целей ДЗЗ

Съемки поверхности Земли могут вестись для получения разнообразной геофизической информации, отсюда разнообразие приборов ДЗЗ (датчиков, сенсоров), которые могут вести съемку в ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном (ближнем, среднем и тепловом) и радиочастотном диапазонах. Одной из основных характеристик систем ДЗЗ является разрешение. Различают следующие виды разрешения: спектральное, радиометрическое, временное и пространственное. Пространственное разрешение определяется элементарной площадкой на поверхности Земли, которая соответствует одному пикселу изображения. В литературе часто встречается такая характеристика сенсоров, как расстояние выборки до земли (Ground Sampling Distance, GSD), которая определяется как расстояние

между двумя последовательными центрами пикселей, измеренное на земле. Чем большее значение GSD, тем ниже пространственное разрешение изображения. Основным интерес представляют датчики с высоким пространственным разрешением. Датчики в основном характеризуются количеством пикселей, которые они имеют. Понятие «пиксель» при этом относится не к самому сенсору съемочной системы, а к изображению, которое он формирует. Большинство оптических датчиков высокого разрешения используют линейные ПЗС-матрицы с тысячами пикселей.

На число пикселей сенсора могут влиять несколько факторов. Например, чем больше пикселей, тем больше размер массива, но это влияет на размер и массу оборудования. Возможно уменьшить размер пикселей, но для этого необходим более чувствительный детектор, так как в этом случае на пиксел попадет меньше света.

В настоящее время датчики высокого разрешения имеют пространственное разрешение в панхроматическом режиме менее 50 см в надире. Большинство систем ДЗЗ имеют не только панхроматические, но и мультиспектральные датчики. Однако мультиспектральные сенсоры обладают меньшим пространственным разрешением, т.е. значением GSD в 2-4 раза больше, чем в панхроматическом случае. Используя общедоступные данные [2 - 3] были проанализированы наиболее известные проекты ДЗЗ с точки зрения разрешающей способности съёмочной аппаратуры и орбитального построения. Выборочные данные представлены в Таблице 1. В этой таблице значение пространственного разрешения приведено для панхроматического диапазона.

Для оценки минимальной скорости передачи информации со спутника на земную станцию следует учесть несколько обстоятельств. Во-первых, следует принять во внимание архитектуру спутниковой системы. Как правило, космические аппараты ДЗЗ сначала собирают информацию и хранят некоторый её объем на борту, а затем информация передается земным станциям. Во-вторых, следует учесть размер окна, в течение которого данные передаются на Землю, считая, что вся память при этом полностью очищается. Размер бортовой памяти зависит и от других параметров, таких как количество изображений, полученных за период обращения или за день, размер отдельных изображений, время до следующей возможности нисходящей линии связи, скорость нисходящей линии связи и т. д. Зная размер бортовой памяти, разрешение изображения и количество битов на пиксель можно рассчитать минимальную необходимую скорость передачи в заданном временном окне.

Таблица 1

Спутники дистанционного зондирования Земли с высоким разрешением съёмки

Наименование спутника	Дата запуска	Тип орбиты	Средняя высота, км	Пространственное разрешение, м
Terra SAR-X 1 (Германия) (съёмочная система ASTER)	15.06.2007	Круговая солнечно-синхронная	508	15
Pleiades Neo 4 (Франция)	17.08.2021	Круговая солнечно-синхронная	615	0,3
WorldView-3 (США)	13.08.2014	Круговая солнечно-синхронная	620	0,31
Ресурс –ПЗ (Россия)	13.03.2016	Околокруговая солнечно-синхронная	475	1,0
Канопус-В6 (Россия)	27.12.2018	Круговая солнечно-синхронная	675	2,5

Например, для сенсора спутника WorldView-3 компании MAXAR доступны следующие параметры [4]:

- пространственное разрешение 0,31 м в панхроматическом режиме;
- количество пикселей сенсора 35000 в панхроматическом режиме;
- динамический диапазон 11 бит/пиксель в панхроматическом режиме;
- объем памяти 2199 Гбайт;
- скорость передачи 800-1200Мбит/с

С учетом этих данных можно найти минимально необходимый размер временного окна для передачи информации на Землю, этот интервал в данном случае составит более 17 минут.

Основываясь на прогрессе в области хранения данных, можно предвидеть, что размер памяти будет продолжать увеличиваться с течением времени по мере увеличения размера изображений.

В работе [5] показано, что в 2022 году можно ожидать размер массива данных где-то между 50 000 и 58 000 пикселей и необходимой скорости передачи данных 25–37 Гбит/с, что делает невозможным применение радиочастотного диапазона.

Из приведенных выше оценок можно рассчитать теоретическую минимальную скорость передачи данных, учитывая 10-минутное окно как максимально допустимое время для передачи, предполагая, что вся память очищается за один проход. Это приводит к прогнозируемой скорости передачи данных от 8 до 12 Гбит/с. Кроме того, при данных расчетах не учитывается тот факт, что место в памяти может занимать информация от других датчиков/детекторов, например, мультиспектральных детекторов или других приборов ДЗЗ.

Архитектура системы

Из-за растущих требований к высокой скорости передачи данных и большой пропускной способности интерес вызывает архитектура системы ДЗЗ с использованием оптических линий. В наиболее общем виде эта архитектура включает в себя оптические линии связи «земля-спутник» и «спутник-спутник», обозначенные на рисунке 1 пунктирными линиями.

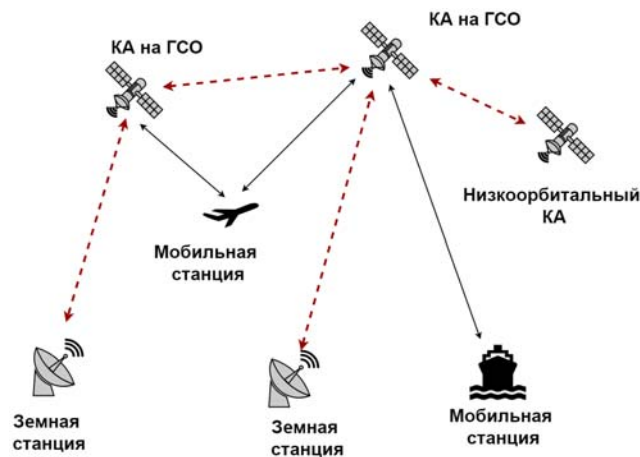


Рис. 1. Структурная схема спутниковой системы с использованием оптических линий связи

Как правило рассматриваются два вида взаимодействия между объектами системы ДЗЗ:

- 1) между спутником GEO и наземной станцией;
- 2) между низкоорбитальными спутниками (LEO) и геостационарными спутниками (GEO).

В связи с сильным влиянием атмосферы на распространение волн оптического диапазона на трассе «космический аппарат-земная станция» (КА-ЗС) обычно предпочтительным считается осуществлять связь в радиочастотном диапазоне, но не исключаются и оптические каналы связи [1]. При связи с геостационарными спутниками и спутниками, расположенными на высоких орбитах, требуется использовать достаточно мощные оптические передатчики и узконаправленные антенны, что вызывает проблему наведения антенн в процессе поиска и сопровождения. По этой причине достаточно проблематично использовать спутниковые оптические линии для связи с подвижными земными станциями. Кроме того, при соединении со спутниками, расположенными на негеостационарной орбите, дополнительно возникает проблема сдвига частоты света за счет эффекта Доплера.

Для второго сценария взаимодействия также существуют два случая: связь низко- и высоколетящих космических аппаратов с геостационарными спутниками и связь между геостационарными спутниками. В первом случае космические аппараты, которые расположены на орбитах, отличных от геостационарных, предназначены только для сбора информации. Низкоорбитальный спутник загружает данные на геостационарный спутник, который служит ретранслятором для передачи данных на наземную станцию. В обоих случаях геостационарный спутник может являться телекоммуникационным спутником. Следует учесть, что при связи между низкоорбитальным и геостационарным КА также возникает эффект Доплера.

Проблемы, связанные с оптическим восходящим каналом, отличаются от вопросов, связанных с нисходящим или межспутниковым каналом [6]. В случае восходящей оптической линии от Земли к спутнику луч непосредственно входит в контакт с атмосферой и, следовательно, больше подвергается

искажениям и нестабильности наведения из-за пространственных и временных изменений показателя преломления атмосферы.

С другой стороны, связь по нисходящей линии связи со спутника на землю вызывает геометрическое расширение оптического луча (в основном из-за потери расхождения луча). На линии вниз влияние атмосферной турбулентности сравнительно мало, поскольку луч проходит путь вне атмосферы, пока не достигнет расстояния, примерно равного 30 км от поверхности Земли. В случае межспутниковой связи основной проблемой является наведение луча на движущуюся платформу или с неё.

Кроме того, следует отметить, что оптическая межспутниковая линия связи представляет собой дополнительную полезную нагрузку для спутников LEO и GEO. Распределение её массы, мощности и объема, а также условия окружающей среды (температура, вибрация, радиация, устойчивость наведения КА и т. д.) должны учитываться для каждой спутниковой платформы.

Оценка технических требований и возможности реализации системы

При нынешнем уровне технологий и компонентов скорость передачи данных полезной нагрузки оптической связи 1 - 10 Гбит/с считается достаточно реалистичной. Исходя из уровня техники, значение минимального коэффициента битовой ошибки (BER) должно быть лучше, чем 10^{-9} .

Полезная нагрузка оптической линии связи не должна оказывать слишком большого влияния на общую доступную полезную нагрузку. Полезная нагрузка оптической линии связи должна реализовывать подсистему наведения, сбора и отслеживания с обратной связью. Типичное базовое значение точности грубого наведения полезной нагрузки может быть около 1 мрад или выше [7]. В то же время точность точного наведения полезной нагрузки связи должна быть лучше 10 мкрад [5].

Для осуществления отслеживания LEO-GEO возможен следующий подход [5]. Геоостационарным спутником выполняется отслеживание низкоорбитального спутника с использованием на основе полученного от него сигнала. Предполагается, что на спутнике ГСО имеется вторичный излучатель (маяк) с длиной волны, отличной от длины волны оптической линии связи. Отслеживание сигнала этого маяка осуществляется низкоорбитальным спутником.

При выборе диапазона частот целесообразно ориентироваться на многолетний опыт. Например, в [7] показано, что в последние годы в спутниковых оптических линиях связи используется стандартный телекоммуникационный диапазон 1,55 мкм. Основными преимуществами этого диапазона являются: высокая скорость передачи данных (до 40 Гбит/с); безопасная для глаз длина волны; простое обнаружение благодаря малому шуму волоконно-оптическим предусилителям.

В составе системы оптической связи с КА на низких околоземных орбитах предполагается использовать оптоэлектронную систему с диаметром апертуры телескопа 1 м и менее.

Доступность передачи на земную станцию ограничена облачностью. Единственным реальным способом смягчения влияния облачного покрова для повышения надежности связи является использование нескольких ЗС, разнесенных на достаточно большое расстояние для обеспечения почти независимой вероятности облачности.

Заключение

Оптическая связь через открытое пространство способна обеспечить беспроводное соединение между удаленными узлами в пределах прямой видимости с высокой пропускной способностью. По сравнению с радиотехнологиями она может обеспечить более высокие скорости передачи данных. Однако для обеспечения надлежащего качества соединений требуется улучшенная точность наведения, захвата и отслеживания. Основным преимуществом оптической связи является более короткая длина волны, а значит меньшие размеры и масса аппаратуры.

Одно из применений оптическая связь через открытое пространство находит в системах дистанционного зондирования Земли. Во многих случаях только оптические линии связи могут обеспечить высокие скорости, необходимые для передачи больших объемов информации за короткий промежуток времени.

Как показано, в большинстве случаев системы дистанционного зондирования Земли используют спутники на низких круговых орбитах. В этом случае для передачи больших объемов информации целесообразно использовать оптические линии связи для сброса данных или на геоостационарный спутник, или на спутник на высоких орбитах и последующей их передачи на Землю.

В целом система оптической ретрансляции представляется осуществимой, особенно на линии «спутник-спутник». Самым слабым местом в архитектуре такой системы может являться наземная часть линии связи, поскольку из-за сильного влияния различных атмосферных явлений не всегда можно обеспечить надлежащую готовность такой линии связи.

Литература

1. *Калашиников Н.И., Крупницкий Э.И., Дороднов И.Л., Носов В.И.* Системы радиосвязи. Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1988. 352 с.
2. Дистанционное зондирование Земли. Корпорация «Роскосмос» URL <https://www.roscosmos.ru/24707/> (дата обращения: 22.01.2022).
3. UCS Satellite Database | Union of Concerned Scientists. “UCS_Satellite_Database_9-1-11.xls” URL: http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/space_weapons/technical_issues/ucs-satellite-database.html (дата обращения: 22.01.2022).
4. Satellite Imaging Corporation (SIC) <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-3/> (дата обращения: 22.01.2022).
5. *Gagnon, S., Sylvestre, B., Gagnon, L., Koujelev, A., Gratton, D., Hranilovic, S.*: Recent developments in satellite laser communications: Canadian context. In: Proceedings of 2012 International Conference on Space Optical Systems and Applications, pp. 9-12. Ajaccio, Corsica, France, Oct. 2012.
6. *Kaushal, Hemani and Georges Kaddoum.* “Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques.” *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19 (2017), pp. 57-96.
7. *Михайлов П.Л.* Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения. Монография. СПб.: Научное издание, 2019. 150 с.

СЕТИ 2030: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ

Павлов Сергей Владимирович,

Московский технический университет связи и информатики, к.т.н., Москва, Россия
h.108@yandex.ru

Леонович Екатерина Владимировна,

Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
leonovichka@yandex.ru

Маклачкова Виктория Валентиновна,

*Московский технический университет связи и информатики, ст. преп. кафедры СИТиС,
Москва, Россия*
v.v.maklachkova@mtuci.ru

Докучаев Владимир Анатольевич,

*Московский технический университет связи и информатики, заведующий кафедрой СИТиС, д.т.н.,
профессор, Москва, Россия*
v.a.dokuchaev@mtuci.ru

Аннотация

Дальнейшее развитие существующих сетей связи предъявляет новые требования к их архитектуре, принципам построения и качеству предоставляемых услуг. В этих целях Международным союзом электросвязи совместно с международным партнёрством 3GPP предложена концепция построения сети связи на период до 2030 года, получившая наименование «Сеть 2030» и нашедшая отражение в рекомендациях Y.3000 МСЭ-Т. В рамках настоящей статьи рассмотрена оценка возможностей и принципов построения сетей связи на период до 2030 года и далее. Анализируются возможные направления развития и возникающие при этом проблемы, которые предстоит решить.

Ключевые слова: *Сеть 2030, IMS, ITU-D, 3GPP, рекомендации Y.3000, архитектура сети, принципы построения, риск, принципы построения, услуги связи, VBE&HPC, VLV&TIC, MEC.*

Введение

Авторство спецификации передачи мультимедийного содержимого в сетях электросвязи на основе протокола IP - IMS (IP Multimedia Subsystem) принадлежит международному партнерству 3-d Generation Partnership Project (3GPP), объединившему European Telecommunications Standardization Institute (ETSI) и несколько национальных организаций стандартизации. IMS изначально разрабатывалась применительно к построению мобильных сетей 3-го поколения на базе протокола IP. В дальнейшем концепция была принята комитетом ETSI-TISPAN, усилия которого были направлены на спецификацию протоколов и интерфейсов, необходимых для поддержки и реализации широкого спектра услуг в сетях фиксированной связи с использованием стека протоколов IP. В настоящее время архитектура IMS рассматривается многими операторами и сервис-провайдерами, а также поставщиками оборудования как возможное решение для построения сетей следующего поколения и как основа конвергенции сетей мобильной и фиксированной связи на платформе IP [1, 13-22].

Развитие этого подхода в работах Сектора стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) и партнерского проекта 3GPP позволило реализовать в рамках одной сетевой инфраструктуры синтез фиксированной и мобильной связи. Однако это длительный процесс, поскольку еще работают системы фиксированной связи на основе технологии TDM или аналоговых коммутаторов. Поэтому представляется необходимым проанализировать перспективу развития сетей связи в пределах до 2030 года.

В серии рекомендаций Y.3000 МСЭ-Т предложена концепция развития будущих сетей Future Network (FN) на период до 2030 года – Сеть 2030, в которой предполагалось предоставление новых инфокоммуникационных услуг, которые невозможно реализовать на базе существующих сетей [1,2-7].

Предусматриваются следующие главные направления предполагаемого развития Сети 2030 на основе широкого применения технологий виртуальной реальности с обработкой больших массивов данных и использованием искусственного интеллекта:

- расширение возможностей доступа в Интернет;
- преодоление цифрового неравенства;
- увеличение объёма и распространённости инфокоммуникационных услуг (ИУ).

Для достижения поставленных целей необходимо совершенствовать существующие технологии и создавать новые. Основные направления развития технологий представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Основные направления развития технологий

Можно выделить три основные задачи прогнозирования, связанные с Сетью 2030.

1. Анализ современных стандартов и технологий, не обеспечивающих получение предусматриваемых к 2030 году потребностей.

2. Формулирование требований к Сети 2030 в плане развития общей структуры и композиции прогнозируемой сети:

- системные требования;
- требования к архитектуре;
- варианты применения;
- методология оценки соответствия предъявленным требованиям.

3. Составление дорожной карты по развитию Сети 2030.

К основным и новым планируемым перспективным возможностям Сети 2030 относятся:

- голографическая форма представления графической информации с имитацией воздействий на несколько органов чувств;
- мгновенное реагирование в критических ситуациях;
- высокодоверенная связь для создания вертикальных структур.

Последние два положения являются особенно актуальными для сетей специальной связи, поскольку основным требованием к сетям такого типа является предоставление доступа к ресурсам сети при любых возможных условиях. В основе этой концепции лежит принцип IMS, состоящий в том, что доставка любой услуги никаким образом не соотносится с коммуникационной инфраструктурой, за исключением естественного ограничения по пропускной способности.

Основные требования к Сети 2030

Основное требование к Сети 2030 – это полная обратная совместимость с существующей структурой/архитектурой, что может быть обеспечено как на основе создания принципиально новой структуры, так и на основе модернизации уже существующей.

Недостатки существующих сетей [2,3].

1. Отсутствие взаимодействия между услугой и сетью, поскольку существующие сети обеспечивают коммуникацию конечным пользователям и не имеют интерфейсов для настройки поведения приложений в сети.

2. Недоступность организации различных мультимедийных приложений на голографических принципах из-за невозможности достижения скоростей до потребителя свыше 1 Гбит/с с одновременным обеспечением высокой надежности и реального времени доставки информации потребителю.

3. Невозможность организации доставки информации средствам промышленной автоматизации в строго определенное время с высокой степенью синхронизации.

Перечисленное выше ведёт к тому, что Сеть 2030 должна отвечать следующим требованиям.

1. Необходимость совершенствования сети доступа за счет увеличения мощности вычислений для преобразования сети доступа в платформу доступа и предоставления услуг.

2. Необходимость повышения качества обслуживания QoS для реализации гарантий своевременной доставки с учетом сквозной задержки и джиттера.

3. Необходимость бесшовного объединения разнородных сетевых структур для организации передачи пакетов по ним с соблюдением заданных требований по качеству сквозного обслуживания end2end (e2e).

4. Необходимость учёта потенциальных рисков, вызванных широким внедрением виртуализированных сетевых функций и приложений, а также новой архитектуры Сети 2030 [8,9,10,11].

Основные требования к Сети 2030 [6,7].

1. Новые сетевые услуги Beyond Best Effort&High-Precision Communication (BBE&HPC). Это высокоточные коммуникации, обеспечивающие качество лучше Best Effort с характеристиками:

- передача данных без потерь;
- гарантии предоставления полосы пропускания;
- гарантии задержки не выше заданной;
- гарантии согласованной передачи данных;
- улучшенный интерфейс «пользователь – сеть».

2. Новые медиауслуги Very Large Volume and Tiny Instant Communications (VLV&TIC). Это коммуникации с очень большими объёмами передаваемых данных наряду с очень маленькими мгновенными коммуникациями в составе [1]:

- расширенная/дополненная виртуальная реальность;
- коммуникации с голографическими приложениями;
- полоса пропускания канала не менее 1 Тбит/с;
- цифровая телепортация на основе трансляции голографических данных, при которой имитируется удаленное присутствие абонента при воспроизводстве его полной трехмерной цифровой проекции с передачей воздействия на несколько органов чувств с задержками менее 5 мс;
- цифровые сенсоры;
- качественные коммуникации;
- координированная передача потоков данных.

3. Новая сетевая архитектура Many Networks (MN) -множество сетей:

- спутниковые сети;
- масштабируемый интернет;
- частные (private) сети;
- облачные, граничные, туманные вычисления с множественным доступом (Multi access Edge Computing – MEC);
- сети специального назначения (PS);
- сверхплотные сети;
- новые интерфейсы «сеть – сеть»;
- новые интерфейсы «оператор – оператор».

Базовые принципы построения Сети 2030

Архитектура Сети 2030 будет строиться на основе следующих базовых принципов [4].

1. *Простота*. Минимальное количество элементов сети на пути оказания услуг.

2. *Программируемость встраивания.* Динамически программно-изменяемая функциональность элементов сети.
3. *Обратная совместимость.* Использование возможностей существующих сетей и поддержка их функционирования.
4. *Гетерогенность.* Сетевая инфраструктура строится из сетей фиксированной связи, мобильной связи и сетей специальной связи на основе ключевых технологий различных видов интернета: фиксированного, мобильного, интернета вещей IoT, разновидностей облачных структур, технологии Больших данных, спутникового интернета с конвергенцией как вычислительных, так и сетевых ресурсов.
5. *Слайсинг.* Набор сетевых функций и ресурсов (связи, вычислений и хранения) для предоставления различных видов услуг одновременно в одной и той же инфраструктуре сети.
6. *Однозначное наименование.* Однозначное наименование/описание поддерживается для всех видов сетевых услуг/функций, в том числе виртуальных.
7. *Внутренняя анонимность и безопасность.* Способность предоставлять каналы связи на условиях, когда конечная точка не знает о идентификационной информации адресата, плюс сквозная безопасность (аутентификация личности, сетевая безопасность, безопасность платформы, данных и бизнеса) с гарантией надежности.
8. *Устойчивость.* Возможность предоставления обслуживания удовлетворительного уровня качества вне зависимости от проблем работы сети (стихийные бедствия, зашкаливающий спрос на услуги, проблемы киберпреступности и пр.).
9. *Сетевой детерминизм.* Гарантированное качество передачи данных в соответствии с требуемым конкретным приложением.
10. *Риск ориентированность.* Учёт и минимизация потенциальных рисков утечки конфиденциальной информации и персональных данных пользователей.

Таким образом, для удовлетворения всем перечисленным выше требованиям, Сеть 2030 должна представлять собой комплексную автоматизированную динамическую архитектуру, объединяющую возможности коммуникаций и приложений, вычислительных ресурсов и ресурсов хранения информации. Эта архитектура является дальнейшим развитием существующей архитектуры сети, реализующей в основном коммутационные функции облачной архитектуры на основе применения технологий виртуализации, искусственного интеллекта различных типов, в том числе машинного и глубокого обучения, с расширением применения интерфейсов API и оптических вычислителей [8,12].



Рис. 2. Инфраструктура Сети 2030

Основные характеристики Сети 2030 [4].

1. Сеть будет состоять из физических (PNF) и виртуализированных (VNF) сетевых функций, в том числе функций с компонентами как PNF, так и VNF (смешанных).
2. Поддержка приложений, создаваемых на основе использования технологий VNF.
3. Сеть может работать с соединениями как одного, так и нескольких поставщиков услуг и сетевых операторов на базе фиксированных и мобильных сетей на принципах общего облака, частного облака, граничных сетей и космических сетей.
4. Поддержка приложений от одного или нескольких облачных провайдеров, провайдеров космической связи и операторов граничных сетей/сетей доступа.

5. Поддержка услуг с максимально доступным качеством (Best Effort), высоконадежных (99.99999%) и высокоскоростных (от Гбит/с до Тбит/с) услуг.
6. Поддержка гибкой динамической конфигурации услуг для пользователей и экстерриториального размещения функциональности услуг [1].
7. Поддержка мониторинга услуг и отслеживания их использования.
8. Поддержка программируемости, самообслуживания пользователей и взаимодействия между операторами.
9. Поддержка динамической масштабируемости сетевых ресурсов.
10. Поддержка различной степени доступности от физического уровня до уровня приложений.
11. Поддержка оплаты по мере использования ресурсов (биллинг).

Типовые виды услуг Сети 2030

1. *Базовая услуга.* Базовая сетевая услуга представляет собой вид услуги, требующий специальной поддержки на некоторых или всех узлах сети, предоставляющих услугу между двумя или более конечными узлами для определенного приложения с инжинирингом во времени [1]. Примером может служить пересылка IP-пакетов в сети Интернет от одного узла к другому. В новой Сети 2030 услуги получают дополнительные свойства, например, временные параметры доставки пакетов. Все базовые услуги могут быть отнесены к следующим типам [1,2,6]:

- услуга своевременной доставки (in-time) обеспечивает доставку пакетов с гарантией максимальной задержки, когда пакеты могут быть доставлены во время не позже заданного срока. Типовым приложением для услуг такого типа является приложение реального времени или мультимедийное приложение с возможностями буферизации;
- услуга доставки в заданный интервал времени (on-time) обеспечивает поступление данных в рамках заданного временного окна Δt . Аналогично in-time услугам, здесь ограничивается максимальная задержка, но добавлена еще и минимальная, которую необходимо учитывать, поскольку пакет не может быть доставлен ранее этого времени. Типовым приложением для услуг такого типа является промышленное приложение, управляющее работой технических устройств. Оба типа услуги требуют работы с высокоточной временной шкалой;
- услуга скоординированной доставки (coordinated service) обеспечивает гарантированную доставку пакетов нескольких взаимозависимых или связанных потоков данных от одного или нескольких источников. Услуга гарантирует сохранение зависимостей и временных ограничений, наложенных на потоки услугами (приложениями) верхнего уровня [1]. Типовым приложением для услуг такого типа является приложение голографического восприятия, когда разные типы данных синхронизируются между собой для обеспечения почти реального ощущения;
- услуга качественной доставки (qualitative communication) предполагает возможность сети различать части содержимого пакета. При перегрузке вместо отбрасывания всего пакета здесь можно отбросить лишь менее значимые его части (части с низшим приоритетом), что позволит избежать критических потерь, обеспечивая повторную передачу только части данных. Типовым приложением для услуг такого типа является приложение просмотра веб-страниц или мультимедийное приложение с высокой пропускной способностью, где для части изображения на экране с менее важной информацией можно применить более низкое разрешение.

2. *Составная сетевая услуга.* Составная сетевая услуга представляет собой вид услуги, зависящей не от одного (как правило, времени), а от нескольких ограничений. В этом случае приложения требуют различной степени детализации не только по времени, но и по скорости передачи данных [2,6].

Типовым приложением для услуг такого типа является коммуникационное приложение голографического типа. Приложения такого типа реализуются с использованием комбинаций различных временных гарантий, надежности, новых услуг с гарантированным временем доставки и существующих услуг с гарантированной пропускной способностью [1]. К тому же типу услуг можно отнести тактильные коммуникационные приложения и цифровую телепортацию. В таблице 1 приведены характеристики составных сетевых услуг [2,6].

Таблица 1

Характеристики составных сетевых услуг

Составная услуга	Критерий	Вариант применения	Временные параметры
Голографические коммуникации	Координация, критичность от времени, высокая пропускная способность	Высокая пропускная способность, различная кодировка детализации для различных телеконференций	30 мс
Цифровая телепортация	Координация, синхронизация	Цифровая воспроизводимая экосреда обитания	30 мс
Тактильные коммуникации	Критичность от времени, нулевая потеря пакетов	Различная кодировка тактильных ощущений, быстрая реакция экосреды, нет жестких требований по пропускной способности	менее 10 мс

Заключение

Рассмотренная концепция построения сети «Сеть 2030» определяет основные направления для развития новых концептуальных положений и технологических прорывов в области дальнейшего развития сетевых систем передачи данных.

В рамках концепции Сеть 2030 необходимо развивать новые протоколы и принципы маршрутизации, обеспечения сетевой безопасности, поддержки гарантированного качества предоставляемых услуг QoS, пакетной передачи данных.

Предлагаемый в рамках концепции Сеть 2030 подход представляет собой эволюционное развитие пакетных мультисервисных сетей, направленный на плавный переход на новый уровень развития. Выбор направления развития перспективных сетей во многом будет определяться практикой построения и накопленным опытом использования сетей подвижной связи 5 и 6 поколений (5G и 6G).

Литература

1. Росляков, А. Сеть-2030": взгляд МСЭ-Т на будущее сетей фиксированной связи // Первая миля. 2021. № 4(96). С. 50-59. DOI 10.22184/2070-8963.2021.96.4.50.59
2. Network 2030. A Blueprint of Technology, Application and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond. FC-NET 2030. Geneva, 2019.
3. ITU-T FC. NET 2030 Technical Report "Gap Analysis of New Service, Capabilities and Use Cases for the Network in 2030 and Beyond". Geneva, 2020.
4. ITU-T FC. NET 2030 Technical Specification "Network 2030 Architecture Framework". Geneva, 2020.
5. ITU-T FC. NET 2030 Technical Report "Representative Use Cases and Key Network Requirements for Network 2030". Geneva, 2020.
6. ITU-T FC. NET 2030 Deliverable "New Service and Capabilities for Network 2030: Description, Technical Gap and Performance Target Analysis". Geneva, 2019.
7. ITU-T FC. NET 2030 Technical Report "Network 2030 – Additional Representative Use Cases and Key Network Requirements for Network 2030". Geneva, 2020.
8. Докучаев В. А., Кальфа А. А., Маклачкова В. В. Архитектура центров обработки данных. М.: Горячая линия – Телеком, 2020. 240 с. ISBN 978-5-9912-0849-9.
9. Dokuchaev V. A., Maklachkova V. V., Makarova D. V., Volkova L. V. Analysis of Data Risk Management Methods for Personal Data Information Systems // 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 19-20 марта 2020 года. Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 9078547. DOI 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078547
10. Dokuchaev V. A. Digital transformation: New drivers and new risks // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 - Proceedings, Vienna, 20-22 октября 2020 года. Vienna, 2020. P. 9261544. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261544
11. Maklachkova V. V., Dokuchaev V. A., Statev V. Y. Risks identification in the exploitation of a geographically distributed cloud infrastructure for storing personal data // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 - Proceedings, Vienna, 20-22 октября 2020 года. Vienna, 2020. P. 9261541. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261541
12. Петухов Д.А., Докучаев В.А. Анализ показателей качества облачных услуг на мировом рынке // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2021. Т. 11. № 1. С. 30-35.

13. *Kalmykov N.S., Dokuchaev V.A.* Segment routing as a basis for software defined network // T-Comm. 2021. Т. 15. № 7. С. 50-54.
14. *Волкова Л.В., Макарова Д.В., Докучаев В.А.* Использование метода CRAMM для оценки информационных рисков // Телекоммуникации и информационные технологии. 2021. Т. 8. № 1. С. 103-109.
15. *Dokuchaev V.A., Maklachkova V.V., Statev V.Yu.* Classification of personal data security threats in information systems // T-Comm. 2020. Т. 14. № 1. С. 56-60.
16. *Докучаев В.А., Маклачкова В.В., Статъев В.Ю.* Цифровизация субъекта персональных данных // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 6. С. 27-32.
17. *Pavlov S.V., Dokuchaev V.A., Mytenkov S.S.* Model of a fuzzy dynamic decision support system // T-Comm. 2020. Т. 14. № 9. С. 43-47.
18. *Калмыков Н.С., Докучаев В.А.* Анализ протоколов реализующих технологию программно-конфигурируемой сети // Телекоммуникации и информационные технологии. 2020. Т. 7. № 1. С. 19-25.
19. *Калмыков Н.С., Докучаев В.А.* Применение концепции программно-конфигурируемых сетей для построения территориально-распределенных сетей // Телекоммуникации и информационные технологии. 2020. Т. 7. № 2. С. 51-56.
20. *Pavlov S.V., Dokuchaev V.A., Maklachkova V.V., Mytenkov S.S.* Features of supporting decision making in modern enterprise infocommunication systems // T-Comm. 2019. Т. 13. № 3. С. 71-74.
21. *Макарова Д.В., Докучаев В.А.* Основные методы сбора и защиты биометрических персональных данных // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2019. Т. 9. № 1. С. 7-12.
22. *Докучаев В.А., Ерёменко В.А., Маклачкова В.В., Мытенков С.С., Шевелёв С.В.* Профессиональные квалификации специалистов по контролю качества информационно-коммуникационных систем // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 11. С. 62-67.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БУДУЩИХ СЕТЕЙ

Пшеничников Анатолий Павлович,
 МТУСИ, профессор, к.т.н., Москва, Россия
pshenichnikov@mtuci.ru

Даудов Ибрагим Мовсурович,
 Чеченский государственный университет им. А. Х. Кадырова, старший преподаватель,
 г. Грозный, Россия,
ibr024@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена роль информации в современном обществе, показаны условия формирования и основные признаки информационного общества – общества знаний. Приведен краткий анализ следующих концепций МСЭ-Т развития фиксированных сетей связи: NGN (Next Generation Networks – Сети следующего поколения); FN (Future Networks – Будущие сети); Network – 2030 (Сеть – 2030).

Для каждой из концепций приведены цели, базовые принципы и требования к архитектуре, а также тенденции совершенствования инфокоммуникационной инфраструктуры будущих сетей.

Ключевые слова: Информация, информационное общество, инфокоммуникационная инфраструктура, фиксированные сети связи, будущие сети, архитектура, концепция, рекомендации МСЭ-Т.

Введение

Концепции развития фиксированных сетей связи определены Международным союзом электросвязи (МСЭ-Т): в 2000 г. в рекомендациях серии Y.2000 Next Generation Networks (NGN) – Сети следующего поколения [1]; в 2011 г. в рекомендациях серии Y.3000 Future Networks (FN) – Будущие сети [2]; в 2020 г. закончено исследование МСЭ-Т, выполненное фокус-группой FG NET-2030 для концепции Network – 2030 по построению фиксированных сетей связи до 2030 года [3].

Конвергенция фиксированных и сотовых подвижных сетей связи отмечена совпадением во времени сменой концепций фиксированных сетей связи и сменой поколений систем сотовой связи: 2000 г. – стандарт IMT-2000 (3G); 2010 г. – стандарт IMT-Advanced (4G); 2020 г. – стандарт IMT-2020 (5G) [4].

Создаваемая в соответствии с этими концепциями и стандартами инфокоммуникационная инфраструктура по числу элементов и разнообразию связей между ними относится к классу больших и сложных систем. Сложность системы обычно рассматривают в трёх аспектах: структурная, функциональная и динамическая сложность. Последняя имеет место тогда, когда во времени изменяются связи между элементами.

В соответствии с системным подходом [5] при исследовании инфокоммуникационной инфраструктуры в зависимости от поставленной цели необходимо использовать множество описаний. В данной работе поставлена цель показать основные направления совершенствования инфокоммуникационной инфраструктуры в соответствии с концепциями МСЭ-Т. При этом использованы следующие усечённые описания рассматриваемой системы: информационное и структурно – функциональное.

1. О роли информации в современном обществе

Во всех сферах деятельности современного общества наблюдается экспоненциальный рост объёма информации. Так, с 2010 г. по 2020 г. объём информации увеличился в 50 раз [6]. Информацию в открытых системах по принципу восприятия в [7] предлагается делить на:

- *реактивную*, получаемую и используемую человеком для целесообразной информационной деятельности;
- *ресурсную*, которая фиксируется и накапливается на естественных и искусственных носителях;
- *фоновую*, которая отражает окружающую реальность в доступных и в недоступных для восприятия формах.

Любые действия с информацией называются *информационными процессами*. Информационную деятельность в определённых условиях можно рассматривать как часть общественного производства, связанного с подготовкой информационных продуктов и услуг. Эта деятельность обеспечивает доступ потребителей к информации, содержащей требуемые им знания.

Для ускорения движения информации в обществе (передача – движение информации в пространстве, хранение – движение информации во времени и т.д.) создаются и постоянно совершенствуются информационные средства.

Для ускорения производства и потребления информации создаются средства искусственного интеллекта, позволяющие компьютеру на основании накопленных знаний делать экспертные выводы, т.е. получать новые знания, которые в него не закладывались разработчиками.

Появление в 80-х годах XX в. персональных компьютеров с интеллектуальным интерфейсом способствовало разработке новых информационных технологий, основой которых являются человеко-машинные интеллектуальные системы.

По максимальной доле работающих в той или иной сфере производства, общества делят на аграрные, индустриальные, информационные. В информационном обществе большинство работающих занято информационными процессами, направленными на получение и использование знаний. Так, в США в информационной сфере занято более 60% трудоспособного населения, в СНГ – около 40% [8].

Главным условием развития *информационного общества* (Information society) является доступ его членов к знаниям. Поэтому некоторые авторы называют информационное общество обществом знаний.

В современном обществе *информационные ресурсы* являются одним из важнейших видов ресурсов, которые наряду с традиционными видами общественных ресурсов (материальных, сырьевых, инструментальных, энергетических, трудовых, финансовых) являются стратегическими ресурсами. Информационные ресурсы в отличие от других ресурсов при использовании не уменьшаются. Ими можно пользоваться многократно. *Информационные ресурсы – это знания*.

В последние два десятилетия произошли значительные изменения в технологии доступа к информации. До последнего времени самым распространённым и доступным средством массовой информации считался телевизор. Их в мире насчитывается около двух миллиардов. Компьютеров – 850 миллионов, фиксированных телефонных аппаратов – один миллиард триста миллионов, сотовых телефонов – более пяти миллиардов. Таким образом, в настоящее время сотовые мобильные оконечные устройства являются самым распространённым средством доступа к информации [9].

Отличие информационного общества от аграрного и индустриального состоит в том, что *основным средством обмена становится не вещественный продукт и капитал, а информация, несущая знания*.

Технической и технологической основой информационной сферы общества являются информационные и коммуникационные технологии (ИКТ). Общая тенденция этих технологий – их взаимное проникновение, интеграция. В результате формируется *инфокоммуникационная инфраструктура*, на базе которой создаётся единое информационное пространство России, его вхождение в Глобальное информационное общество, создаваемое всеми странами под эгидой Организации Объединённых наций (ООН) и Международного союза электросвязи.

2. Тенденции совершенствования инфокоммуникационной инфраструктуры будущих сетей

2.1. Концепция NGN

Основная цель концепции NGN – перевод фиксированных сетей связи с технологии коммутации каналов на технологию коммутации пакетов.

Пакетные сети позволяют гибко изменять скорость передачи и коммутации сигналов при предоставлении мультимедийных услуг даже в процессе одного сеанса связи. Развитие NGN реализуется под управлением подсистемы передачи мультимедийных сообщений IMS

(IP Multimedia Subsystem) с распределённой архитектурой. На рисунке 1 показана архитектура NGN под управлением платформы IMS.

Транспортная сеть строится на базе технологии многопротокольной коммутации по меткам (IP/MPLS). На схеме шлюз 1 (MGW – *Media Gateway* – медиашлюз) обеспечивает взаимодействие NGN-сети с ТФОП, работающей по технологии с коммутацией каналов, а шлюз 2 – с сетью сотовой

подвижной связи (СПС) поколения 2G, 2,5G, работающей также по технологии с коммутацией каналов.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) связывается с транспортной сетью по протоколу IP (Internet Protocol). В ЛВС показан SIP-терминал. Протокол SIP позволяет абонентам телефонной сети разговаривать друг с другом, обмениваться мультимедийной информацией, осуществлять видеозвонки, отправлять сообщения.

Порядок доступа к информационным ресурсам определён Федеральным законом от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ [10].

2.2. Концепция Future Networks (FN)

Фундаментом для сетей FN являются сети NGN, которые путём эволюционного развития преобразуются в Будущие сети.

Принципиальное отличие сетей FN от NGN – *виртуализация физических сетевых ресурсов* и применение перспективных технологий, средств и методов: технологии виртуализации NFV (Network Functions Virtualization); программно-конфигурируемых сетей SDN (Software Defined Networking); искусственного интеллекта AI (Artificial Intelligence); методов работы с большими данными (Big Data); облачных вычислений (Cloud Computing); Интернета вещей IoT (Internet of Things); принципов самоорганизующихся сетей SON (Self-Organization Network); принципов умных всепроникающих сетей SUN (Smart Ubiquitous Network); методов межмашинного взаимодействия M2M (Machine-to-Machine); методов машинного обучения ML (Machine Learning) и других перспективных технологий.

В Рекомендации Y.3001 определены четыре цели FN:

1. Значительное увеличение числа предоставляемых услуг.
2. Обработка огромных объёмов данных в распределённой среде.
3. Минимальное воздействие на окружающую среду в части расхода материалов и энергопотребления.
4. Снижения барьеров при доступе к услугам всех пользователей инфокоммуникационной инфраструктуры.

Виртуализация физических сетевых ресурсов позволяет расширить доступ к ресурсам и повысить их использование. Для снижения расхода материалов применяются нанотехнологии, позволяющие снизить размеры устройств до 1 нанометра. Приставка «нано» означает одну миллиардную долю. Будущие сети обеспечат возможность пользователям работать дома, уменьшая загрязнение атмосферы автомобильными выхлопами при поездке в офис.

На рисунке 2 приведена концептуальная архитектура сетевой виртуализации FN. На нижнем уровне показаны физические ресурсы четырёх физических сетей, включающие транспортные, вычислительные и ресурсы хранения. Физические сетевые ресурсы абстрагируются в виде виртуальных ресурсов – на схеме следующий уровень выше физического.

Виртуальные ресурсы управляются оператором, который взаимодействует с операторами физических сетей и осуществляет управление и конфигурирование виртуальных ресурсов.

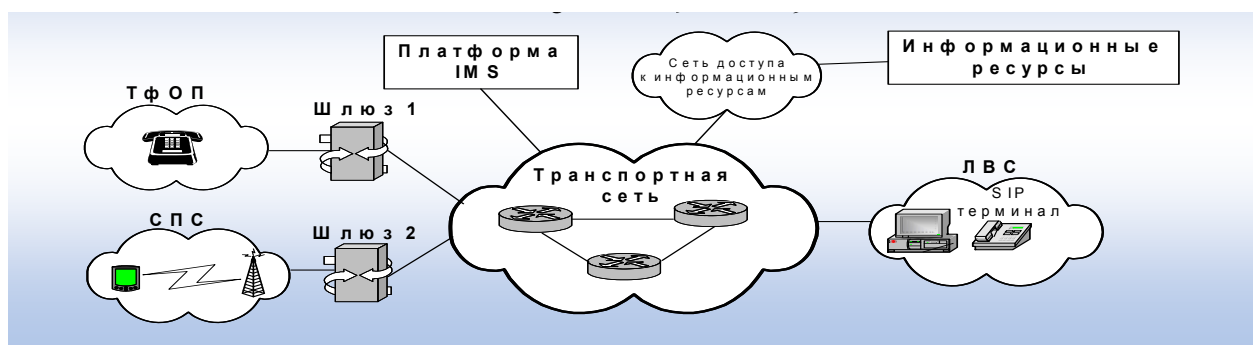


Рис. 1. Архитектура NGN под управлением платформы IMS

Виртуальные ресурсы объединяются для создания виртуальных сетей LINP (Logically Isolated Network Partitions – логически изолированная часть сети). LINP изолированы друг от друга и образуются путём программирования виртуальных ресурсов. Один физический ресурс может быть общим

для множества виртуальных ресурсов. Каждая LIMP создаётся для предоставления услуг пользователям, состоит из множества виртуальных ресурсов и управляется своим администратором.

В нашей стране не все операторы фиксированных сетей в полном объёме реализовали концепцию NGN, а без реализации требований NGN не представляется возможным переход к реализации концепции «Будущие сети». Однако, чтобы закончить изложение этого подраздела на оптимистической ноте отметим, что российский национальный оператор ПАО «Ростелеком» начал активно внедрять на местных, зонавых и междугородной сетях технологии NGN под управлением виртуальной платформы IMS (vIMS) [11].

2.3. Концепция Network - 2030 – «Сеть – 2030»

Для проведения исследований по принципам построения фиксированных сетей связи на период до 2030 года и в дальнейшей перспективе МСЭ-Т создал фокус-группу FG NET-2030. Исследования проходили с 2018 г. по июль 2020 г. [12]. В концепции определены три базовых принципа:

- 1) *новые сетевые услуги* – высокоточные коммуникации с качеством лучше Best Effort);
- 2) *новые медиа* – коммуникации с очень большими объёмами данных и очень малыми задержками;
- 3) *новая сетевая архитектура* (Many Nets – множество сетей): спутниковые сети; масштабируемый интернет; VPN-сети; граничные вычисления с множественным доступом; сети спецназначения; сверхплотные сети; новые интерфейсы «сеть – сеть» и «оператор – оператор».

Определены девять архитектурных принципов построения Сети-2030: простота архитектуры; встроенная программируемость; обратная совместимость; гетерогенность; сетевые срезы (slice) – набор сетевых функций и ресурсов для реализации различных типов услуг одновременно в одной и той же сетевой инфраструктуре; однозначное наименование; внутренняя анонимность и безопасность; устойчивость; сетевой детерминизм качества передачи данных.

В рамках концептуальной модели «Сети-2030» планируется задействовать два вида сетевых услуг: базовые (Foundational) и составные (Compound).

Базовая сетевая услуга требует поддержки на транзитных узлах сети (таблица 1). Составная сетевая услуга может состоять из одной или нескольких базовых услуг (таблица 2).

Для предоставления новых услуг необходимы перспективные технологии – технологии Четвёртой промышленной революции [13].

Основные результаты исследований фокус-группы по концепции «Сеть-2030» МСЭ-Т планирует оформить в виде рекомендаций.

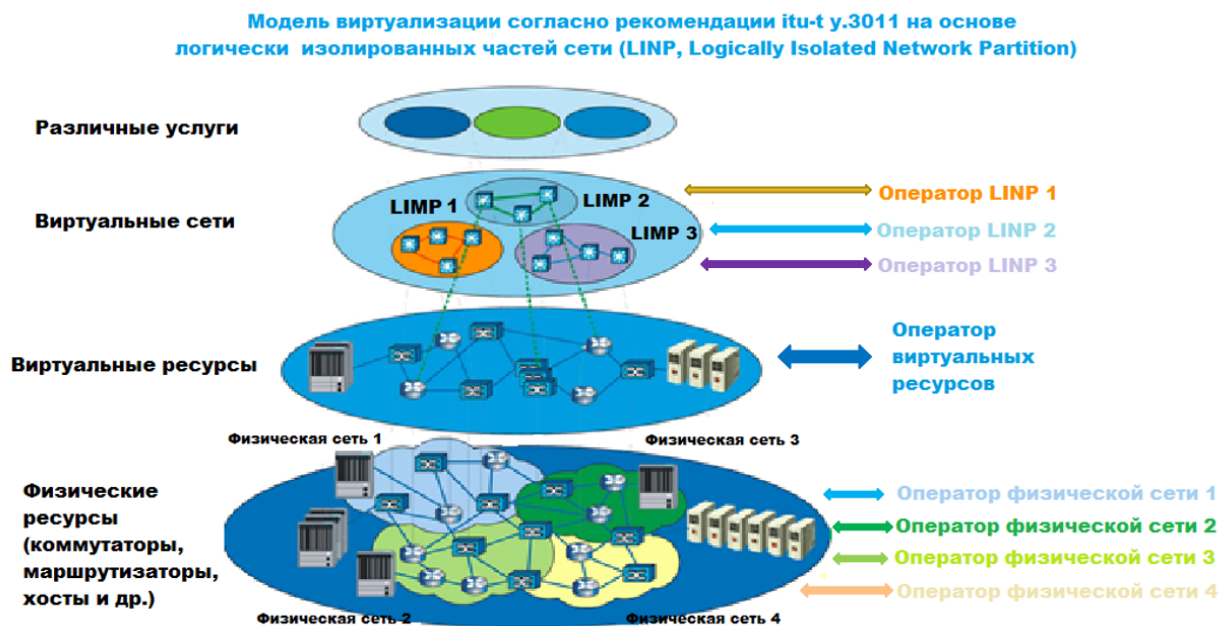


Рис. 2. Концептуальная архитектура сетевой виртуализации FN

Таблица 1

Базовые услуги с инжинирингом времени

Позиционирование во времени	Критерий получения данных	Варианты использования услуг	Масштаб времени
Услуга своевременной доставки (in-time)	Не позже заданного момента времени	Управление производством Удалённая хирургия	$t \sim 1-10$ мс
Услуга доставки в заданный интервал времени (on-time)	В рамках определённого узкого интервала времени	Мгновенное реагирование на чрезвычайную ситуацию Согласованные по времени действия	$\Delta t \sim 1$ мс
Услуга скоординированной доставки	Относительно других потоков	Мультисенсорная связь, Коммуникации беспилотного транспорта	$t < 5$ мс

Таблица 2.

Составные услуги

Составная услуга	Критерий	Вариант использования	Временные рамки
Голографические коммуникации	Координация, зависимость от времени и высокая пропускная способность	Высокая пропускная способность, кодировка для телеконференций вместо медицинских изображений 3D	~ 30 мс
Цифровая телепортация	Координация, синхронизация	Цифровая воспроизводимая среда обитания	~ 30 мс
Тактильные коммуникации	Зависимость от времени и надёжность (нулевая потеря пакетов)	Кодировки тактильных ощущений, необязательная высокая пропускная способность, быстрые ответы	< 10 мс

Заключение

Рассмотренные выше концепции развития фиксированных сетей связи обобщают мировой опыт развития этих сетей, который необходимо учитывать при разработке нормативных документов в нашей стране. Реализация концепции NGN в нашей стране не завершена и в настоящее время продолжается под управлением виртуальной мультимедийной платформы SI3000 vIMS, которая поставляется совместным российско-словенским предприятием АО «ИскраУралТЕЛ». Технология виртуализации является базовой в концепции Будущих сетей. Поэтому использование платформы SI3000 vIMS и технологии программно-конфигурируемых сетей SDN можно считать первым шагом в направлении реализации концепции Будущих сетей в нашей стране.

Литература

1. Сети следующего поколения NGN / под ред. А.В. Рослякова. М.: Эко-Трендз, 2009. 424 с.
2. Росляков А.В., Ваняшин С.В. Будущие сети (Future Networks). Самара: ПГУТИ, 2015. 274 с.
3. Росляков А.В. СЕТЬ 2030: архитектура, технологии, услуги. М.: Колосс-с, 2022. 324 с.
4. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G /Издание 3-е/ Комплект в 2-х томах. Издательство Инфра-Инженерия, 2021. 804 с.
5. Качала В. В. Общая теория систем и системный анализ. Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2017. 432 с.
6. Как выжить в постоянно меняющемся мире URL: <http://www.win360.ru> (дата обращения 28.12.2021).
7. Овчинский А.С., Борзунов К.К., Чеботарёва С.О. Информационные координаты. Управление. Противоборство. Безопасность. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 270 с.
8. Волгушева А. А. Развитие, роль и проблемы информационного общества. URL: <https://center-yf.ru/data/stat/informacionnoe-obshchestvo.php> (дата обращения 21.12.2021).
9. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А. Сети мобильной связи 5G: технологии архитектура и услуги. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2019. 376 с.
10. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. N 149-ФЗ "Об информации, информационных технологиях и о защите информации" (с изменениями и дополнениями).
11. Техническое описание SI3000 vIMS. URL.www.Iskrauraltel.ru/si3000_vims_opisanie.pdf (дата обращения 12.01.2022).
12. Росляков А.В. «Сеть – 2030»: взгляд МСЭ-Т на будущее сетей фиксированной связи // Первая миля, 4/2021, С. 50-59.
13. Шваб Клаус, Дэвис Николас. Технологии Четвёртой промышленной революции: пер. с англ. М.: Эксмо, 2019. 320 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПРИОРИТЕЗАЦИЕЙ

Радаева Альбина Сергеевна,
 МТУСИ, Москва, Россия
radaewa.albi@yandex.ru

Степанов Михаил Сергеевич,
 МТУСИ, доцент кафедры, к.т.н., Москва, Россия
mihstep@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрена такая область современных инфокоммуникаций, как облачные технологии (cloud), их актуальность, развитие и тенденции в мире. Отмечено, что эпидемиологическая ситуация в мире стала новым этапом в принятии облачных технологий в компаниях, стартап – проектах, малых и средних предприятиях и даже в государственных организациях. Дано описание основных моделей предоставления облачных услуг, представлены основные направления развития cloud – концепции. Отдельное внимание уделено аналитической модели ЦОД с резервированием данных.

Ключевые слова: облачные вычисления, тенденции автоматизация, мультиоблако, ЦОД, приоритезация.

Введение

Проводя исследования по развитию ИТ-рынка на ближайшее будущее, определяющим фактором роста являются облачные технологии. Переход на облака – это общемировой тренд, который отмечают многие аналитические компании.

Использование удаленной работы позволяет не только снизить затраты на аппаратное и программное обеспечение, но и оптимизировать, ускорить, масштабировать проекты на базе передовых технологий, таких как ИИ, AR и др [1].

Статистические данные по многим источникам наглядно показывают, что рынок облачных технологий с каждым годом растет, не только в России, но и в мире (17,5% каждый год (832,1 млрд. долл.)). Intrusion Detection System (система обнаружений вторжений, IDS) подчеркнул тот факт, что данная индустрия к 2025 году вырастет на 250% и значительная часть этого роста сосредоточится у отечественных поставщиков облачных услуг. Например, в 2019-м году их доход увеличился на 48% по сравнению с 2018 годом.

Далее приведен рост рынка облачных сервисов за последнее время (рис. 1) [3].

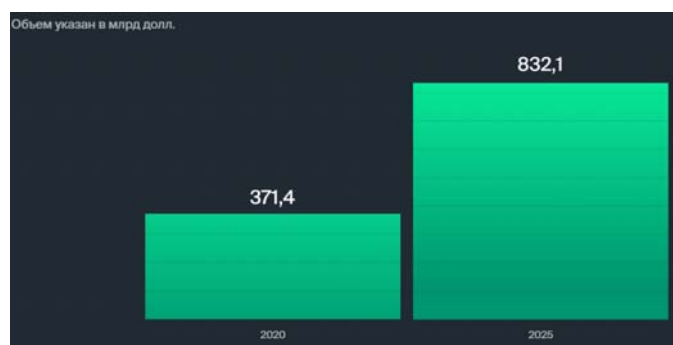


Рис. 1. Прогноз роста рынка облачных технологий

Модели облачных вычислений

«Облако» определяется как приложения, предоставляемые в качестве услуг через Интернет, и как оборудование и программное обеспечение в ЦОД, предоставляющих эти услуги [7-16].

Поскольку потребители переходят к принятию такой сервисно-ориентированной структуры, качество и надёжность сервисов становятся наиболее важным аспектом. Однако требования пользователей очень разнятся. С точки зрения поставщика услуг невозможно выполнить все пожелания пользователей, поэтому необходимо найти баланс между интересами обеих сторон (рис. 2).

Это система, которая в основном состоит из трех услуг: программное обеспечение как услуга (SaaS), инфраструктура как услуга (IaaS) и платформа как услуга (PaaS).

1. «Программное обеспечение как услуга» (SaaS, Software as a Service) включает в себя лицензирование программных приложений для заказчика. Лицензии, предоставляются по модели, оплата которых осуществляется при использовании или при запросе. Этот тип системы присутствует в Microsoft Office 365.

2. «Инфраструктура как услуга» (IaaS, Infrastructure as a Service) метод доставки всех операционных систем к сервисам и хранилищам через IP - соединение в рамках услуги по запросу. Осуществляется путем подключения на основе IP. Клиент не нужно покупать ПО или сервера, вместо этого он может арендовать эти ресурсы через аутсорсинговые компании по желанию. Примером являются такие системы IaaS включающие IBM Cloud и Microsoft Azure.

3. «Платформа как услуга» (PaaS, Platform as a Service) считается одним из самых сложных из трех уровней облачных вычислений. PaaS обладает некоторыми общими чертами с SaaS – вместо того, чтобы доставлять ПО онлайн, это действительно платформа, позволяющая создавать программное обеспечение через Интернет (Salesforce.com, Heroku).

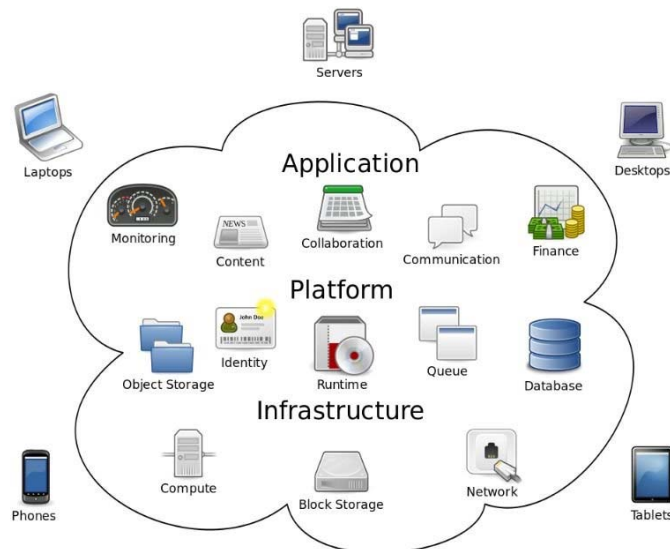


Рис. 2. Cloud computing

Модели развертывания облаков: частные, публичные, гибридные

Частное облако

Облачная инфраструктура, которую использует одна компания. Реализуется на базе собственной физической платформы или арендованном оборудовании.

Публичное облако

Виртуальная ИТ - инфраструктура принадлежит провайдеру и предоставляется компании - клиенту в аренду, выделяя необходимое количество ресурсов для проектов заказчика.

Компании не просто запускают облака на своей ИТ -инфраструктуре (частное облако), но все чаще доверяют публичным облачным сервисам. К 2023 году мировой рынок публичных облаков достигнет \$500 млрд. В России почти 85% от всех расходов на облачные сервисы приходится именно на публичные облака.

Гибридные облака

Совмещение работы частных и публичных облаков или необлачной инфраструктуры и публично-го облака [4].

На рисунке 3 наглядно изображено различие и взаимодействие всех типов облаков.



Рис. 3. Типы облаков

Тенденции развития

В цифровую эру спрос на ИТ-технологии неуклонно растет, а Covid -19 его значительно ускорил. Переход на

удаленную работу подтолкнул госкорпорации и компании с госучастием к облачным технологиям, стремясь быстро изменить стратегии сотрудничества для адаптации. Эволюция ИИ и машинного обучения еще больше склонила внедрение облачных технологий в процесс работы.

Публичное облако: мультиоблачность

Одной из основных задач внедрения публичных облаков является связь с поставщиком. Перенос инфраструктуры, хранилищ и вычислений на провайдера публичных облаков, вы будете зависеть от них. Чтобы этого избежать, многие компании используют услуги одного провайдера [4].

При внедрении в процесс производства публичного облака нельзя миновать зависимости от провайдера, так как перенос хранилищ, инфраструктуры и вычислений переносится к поставщику услуг. Многие используют сразу несколько вендоров для этих целей. Поэтому решением этого вопроса являются сервисы совместимые по application programming interface (API). Это позволяет масштабировать свое производство без лишних вложений в оборудование, а так же не малым фактором является безопасность и ее развитие в этой сфере.

Интернета вещей с поддержкой облачных технологий является следующей тенденцией развития и становятся обыденным в реальном мире во многих отраслях, благодаря тому, что клиент и заказчик решают многие вопросы онлайн (в реальном времени) благодаря облачным технологиям. Примерами являются, устройство умного дома, медучреждения и др. [3].

Тесно связанное с предыдущими тенденциями в области облачных технологий, прослеживается развитие стратегического планирования и разработки облачных инструментов, так как облако становится частью процесса разработки стратегии.

Управление финансами бизнеса в облаке является так же одним из трендов. С развитием облачной инфраструктуры рост безопасности немало важен. В предшествующем году и последующих контроль финансов в компаниях станет безопасным и быстрым, что позволит автоматизировать и контролировать многие процессы.

По мере перехода предприятий на облачную среду, им так же необходим доступ к широкому перечню инструментов, которыми привыкли пользоваться. В ближайшие месяцы и годы все больше компаний начнут применять управление операциями SaaS в облаке, чтобы оптимизировать использование различных инструментов.

Со временем это означает, что доступ к облачным интеграциям и внедрение программного обеспечения поможет брендам в 2022 году оптимизировать свои облачные расходы и повысить производительность за кратчайшее время, а управление операциями в облаке позволит брендам выявить возможности для улучшения своего рабочего процесса [2].

Другими инновационными решениями, такими как искусственный интеллект и Internet of Things, являются поддержкой облачного роста. Компании, которые хотят оставаться первооткрывателями в своей области, будут в своей работе использовать облако.

Использование искусственного интеллекта(AI) при разработке новых продуктов станет незаменимой тенденцией. Снижение энергетического потребления, активное решение задач, оперативное распределение нагрузки при большом потоке данных, автоматизация задач - достоинства использования ИИ в производстве.

Облачные сервисы активно приходят на смену старым технологиям, они экономически выгодны, безопасны, ускоряют и упрощают процесс разработки.

Так же одним из трендов в 2022 году ИТ-рынка станет подход Cloud – native, который использует преимущества облачной модели и подходит как для публичных, так и для частных облаков. Так же включает в себя концепции DevOps, continuous delivery, микросервисов и контейнеров.

Мультиоблако. Описание аналитической модели ЦОД

Большая часть современной инфраструктуры облачных вычислений состоит из услуг, предоставляемых сервисными центрами, такими, как центры обработки данных, доступ к которым можно получить из любой точки мира.

К облачным вычислениям применимы методы аналитического моделирования, преимущество которых перед измерительными методами, также применяемыми для оценки параметров производительности облачных систем, состоит в меньших затратах и предиктивности – влияние параметра можно оценить уже на стадии планирования и проектирования [6].

В данном разделе будет изучена мультисервисная модель облачной инфраструктуры – когда поставщик услуг предоставляет множественные ресурсы своим клиентам. Чтобы соответствовать потребностям клиентов и обслужить N клиентов, поставщик услуг может решить, в зависимости от SLA, зарезервировать некоторый объём ресурсов исключительно для отдельных клиентов. Схема такой модели представлена на рисунке 4.

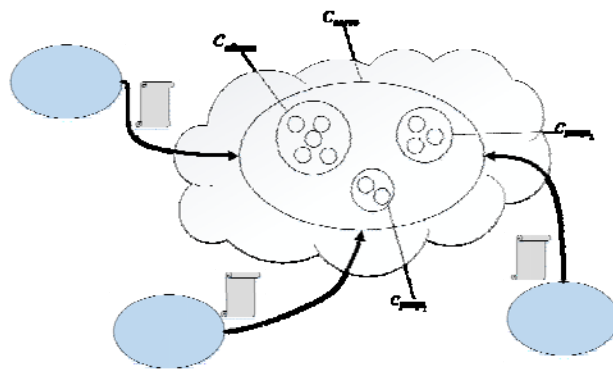


Рис. 4. Модель облачной инфраструктуры с резервированием части ресурса

Поставщик услуг зарезервировал объём ресурса $C_{резерв_1}$ для клиента 1 и $C_{резерв_2}$ для клиента 2 из общего объёма ресурса $C_{общая}$. Все N клиентов могут использовать разделяемый объём ресурса. Таким образом поставщик услуг может предоставить услуги лучшего качества «более значимым» клиентам (например, корпоративным клиентам). В этом примере, если поступает запрос от клиента 1, он будет отклонён, если заняты все ресурсы $C_{всего}$, для клиента 2 – если заняты ресурсы $C_{общая}$ и $C_{резерв_2}$, разделяемый с клиентом 1, а остальные $N - 2$ клиентов получают отказ в обслуживании при занятости ресурса $C_{общая}$. Это означает, что клиенты с более высоким приоритетом с большей вероятностью получают каналный ресурс, то есть вероятность отказа для них ниже. Вычисление вероятности отказа для клиентов с разным приоритетом (клиентам с более высоким приоритетом положена меньшая вероятность отказа) как основной параметр эффективности рассматриваемой системы.

Предложенная модель позволяет поставщикам услуг более эффективно принимать решения относительно:

- составления реалистичных SLA;
- размера ЦОД, т.е. общего объёма ресурсов, необходимых для выполнения требований SLA;
- есть ли возможность принять новых клиентов и если да, сколько;
- величины ресурсов, зарезервированных для клиентов с высоким приоритетом.

Модель, которая используется для описания облачных центров, обслуживающих клиентов с различающимися уровнями SLA соответствует системе массового обслуживания $M/M/C/C$ с очередями и различными классами приоритетов. В такой модели потоки поступления запросов – пуассоновские, время обслуживания распределено экспоненциально, имеется C каналов обслуживания и емкость системы C (без буферов).

Системы очередей, такие, как базовая M/M/C/C, применяются к центрам облачных вычислений. Возможны различные вариации этой базовой системы за счёт изменения распределения времени обслуживания, длины буфера, или учёта группового поступления запросов. Предлагаемая здесь модель использует разные критерии эффективности для разного класса клиентов за счёт резервирования части вычислительной ёмкости для отдельных клиентов.

Модель определяет минимальную требуемую ёмкость для заданной нагрузки, а также распределение ресурсов такое, что часть ресурса разделяется обоими классами пользователей, а другая часть ресурса зарезервирована для пользователей, SLA которых содержат наиболее высокие требования [5].

Модель с множественными классами приоритетов

В этом разделе описана модель центра облачных вычислений с множественными классами приоритетов. Её схематическое представление изображено на рисунке 5.

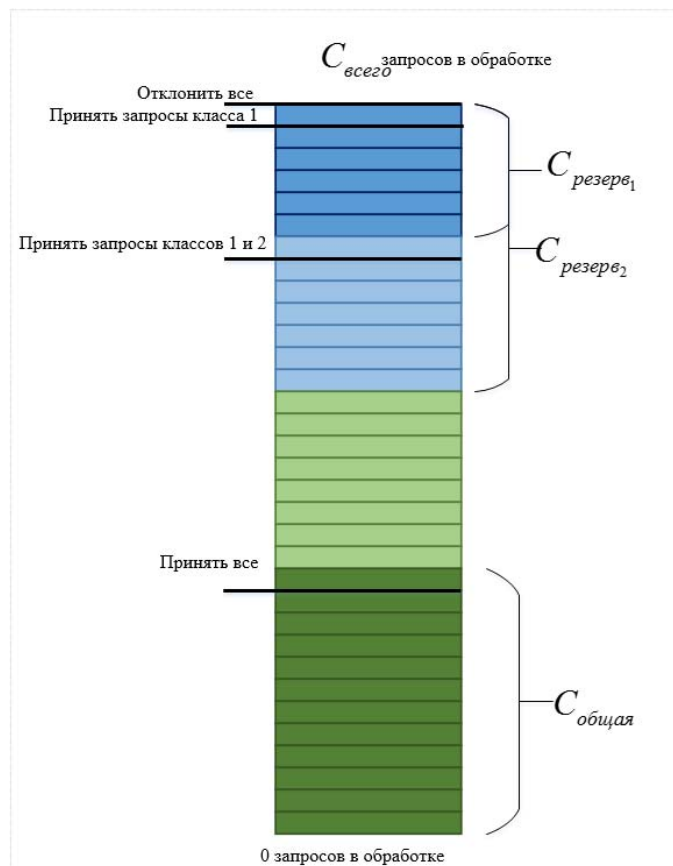


Рис.5. Общая схема модели с двумя классами приоритетов

Рассматривается среда облачных вычислений, обслуживающая запросы N клиентов. Запросы клиентов обслуживаются поставщиком услуг, обладающим $C_{\text{всего}}$ ёмкостью ресурсов. Доступная $C_{\text{всего}}$ ёмкость распределена между разделяемыми ресурсами $C_{\text{общая}}$ и зарезервированными ресурсами $C_{\text{резерв}}$, таким образом: $C_{\text{всего}} = C_{\text{общая}} + C_{\text{резерв}}$. Разделяемые ресурсы используются для обслуживания запросов от любого класса клиентов, а зарезервированные ресурсы $C_{\text{резерв}_j}$ используются только для обслуживания запросов, исходящих от клиентов с приоритетом $i \leq j$. Общий объём зарезервированных ресурсов составляет $C_{\text{резерв}} = \sum_{j=1}^N C_{\text{резерв}_j}$.

В данной модели следует принять $C_{\text{общая}}, C_{\text{резерв}} > 0$, а $C_{\text{резерв}_j} \geq 0, j = 1, \dots, N$.

Концепция зарезервированных ресурсов позволяет поставщику услуг приоритезировать запросы, поступающие от различных клиентов. Запросы от клиентов с высоким приоритетом (клиенты класса i для которых $\sum_{j=1}^N C_{резерв_j} > 0$) принимаются до тех пор, пока обрабатывается $C_{общая} + \sum_{j=1}^N C_{резерв_j} = C_{всего} - \sum_{j=1}^{i-1} C_{резерв_j}$ запросов в момент времени, в то время как другие запросы (от клиентов, для которых $\sum_{j=1}^N C_{резерв_j} = 0$) принимаются на обслуживание если занято менее чем $C_{общая}$ единиц ресурса. Это показано на рисунке 4.

Поскольку возможное число независимых друг от друга клиентов, от которых поступают запросы, велико, предполагается, что поток поступления запросов является пуассоновским. Интенсивность поступления новых запросов от i -го клиента обозначается λ , время обработки запроса имеет экспоненциальное распределение, с одинаковым для всех запросов средним временем обслуживания $1/\mu$. То, что процесс обладает экспоненциальным распределением, позволяет точный анализ вероятностей отказа.

Для того, чтобы оценить, будут ли соблюдены требования SLA для клиента i при заданной конфигурации центра облачных вычислений (например, при известных показателях $C_{всего}$, $C_{резерв_j}$, $j=1, \dots, N$) и заданной интенсивностью поступления и обработки заявок, которые характеризуются параметрами λ_i , $i=1, \dots, N$ и μ , поставщик услуг должен знать вероятность отказа p_i на запрос клиента i .

Чтобы упростить описание, использована вышеописанная модель с двумя классами приоритетов, как показано на рис. 5: $C_{резерв_1} > 0$, $C_{резерв_2} = 0$, поэтому $C_{резерв} = C_{резерв_1}$. В результате рассматриваются два класса клиентов – с низким и высоким приоритетом, и классы запросов, исходящие от соответствующего им класса клиентов. В этом случае общая интенсивность поступления запросов обозначена как λ , а доля запросов с высоким приоритетом обозначена как q , интенсивность поступления запросов с высоким приоритетом имеет обозначение $\lambda_{выс} = q \cdot \lambda$, а интенсивность поступления заявок с низким приоритетом - $\lambda_{низ} = (1 - q) \cdot \lambda$.

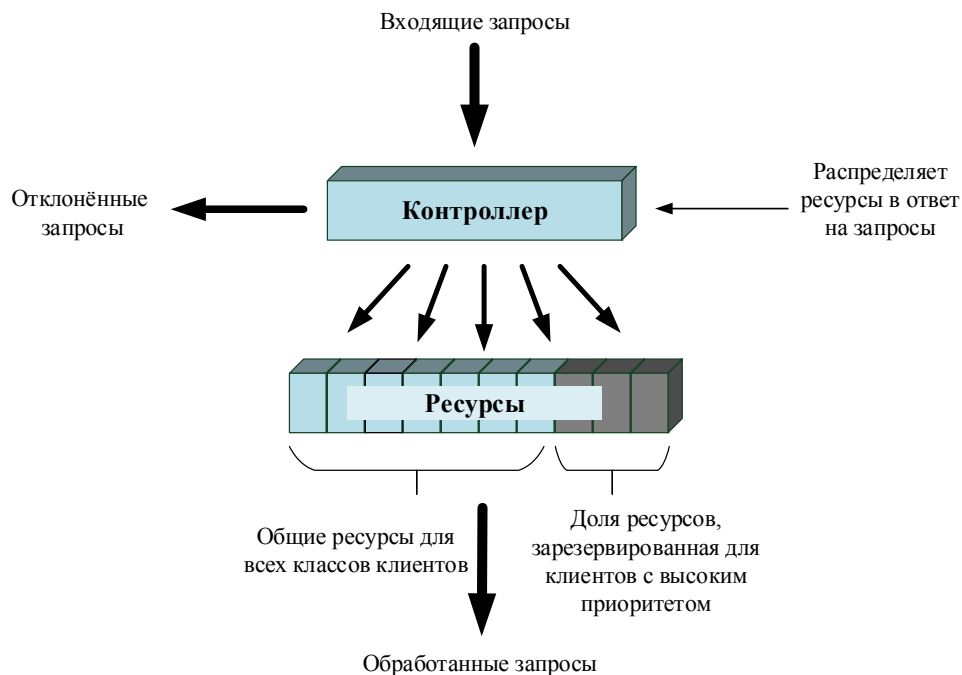


Рис. 6. Схема распределения ресурсов рассматриваемой модели

Заключение

Облачные технологии приобретают все большую популярность и все больше организаций стараются использовать данный подход в своей работе. Это позволяет повысить безопасность и надежность обработки и хранения данных, а также обеспечить быстрое внедрение в любую сферу, а также намного ускорить вывод на рынок новых продуктов.

В статье были рассмотрены базовые сервисы концепции облачных вычислений, а также основные тенденции развития данного направления. Так же рассмотрено такое направление как облачные вычисления с учетом приоритезации и резервированием ресурса.

В работе представлена математическая модель системы облачных вычислений с резервированием ресурса на основе приоритезации. В дальнейшем планируется на основе данной модели разработать методики оценки показателей функционирования подобных систем.

Литература

1. Самое неразумное – запланировать развитие масштабной системы. Мацоцкий, Генс и Касперская дали прогнозы развития ИТ-рынка // KYOCERA URL: <https://www.tadviser.ru/plus/kyocera-ksim2/> (дата обращения: 24.01.2022).
2. Тенденции в области программного обеспечения в 2022 году: 22 прогноза // Блог о программировании URL: <https://codengineering.ru/post/27005> (дата обращения: 24.01.2022).
3. Будущее облачных вычислений // Интерфакс URL: <https://sbercloud.interfax.ru/posts/budushhee-oblachnyh-vychislenij> (дата обращения: 24.01.2022).
4. *Джордж Риз*, Облачные вычисления, пер с англ. – Спб.: БХВ - Петербург, 211, -288с.
5. *WendyEllens, MiroslavZilkovicetal.* Performance of Cloud Computing Centers with Multiple Priority Classes // Proceedings of the 5th International Conference on Cloud Computing, CLOUD 2012. IEEE Computer Society, 2012, pp.242-252.
6. *Qiang Duan.* Cloud Service Performance Evaluation: Status, Challenges and Opportunities – A Survey from a System Modeling perspective // Digital Communications and Networks 3, 2017, pp. 101-111.
7. *Степанов С.Н., Степанов М.С., Маликова Е.Е., Цогбадрах А., Ндайкиунда Ж.* Построение и анализ обобщенной модели разделения ресурса для LTE технологий с функциональностью NB-IOT // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 12. С. 71-77.
8. *Stepanov S.N., Shishkin M.O., Sosnovikov G.K., Stepanov M.S., Vorobeychikov L.A., Zhurko H.M.* The analysis of call center model in case of overload // T-Comm. 2019. Т. 13. № 10. С. 68-76.
9. *Дудина В.А., Журко А.М., Степанов М.С.* Модель контакт-центра с учетом навыков операторов и нетерпеливости абонентов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 12. С. 43-48.
10. *Степанов М.С., Степанов С.Н., Журко А.М.* Построение математической модели контакт-центра с учетом системы IVR // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2017. Т. 7. № 2. С. 253-255.
11. *Stepanov S.N., Shishkin M.O., Stepanov M.S., Zhurko H.M.* The construction and analysis of call-center model in overload traffic condition // T-Comm. 2020. Т. 14. № 7. С. 42-50.
12. *Першина В.А., Тутова Н.Д., Степанов М.С.* Построение автоматизированной системы сбора данных с приборов учета на базе стандарта LORAWAN // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2019. Т. 9. № 2. С. 3-9.
13. *Асирян В.М., Шишкин М.О., Степанов М.С.* Оценка ресурса соты сети LTE при обслуживании эластичного трафика // Телекоммуникации и информационные технологии. 2018. Т. 5. № 1. С. 76-82.
14. *Денисова М.А., Степанов М.С.* Оценка числа устройств IVR и операторов в контакт-центре с использованием метода декомпозиции // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6. № 1. С. 49-54.
15. *Степанов М.С.* Использование калькулятора расчета характеристик гетерогенных беспроводных сетей для разработки учебно-лабораторного практикума по дисциплине "основы интернета вещей" в МТУСИ // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2020. Т. 9. № 4. С. 9-14.
16. *Зюзин В.Д., Степанов М.С., Яковлева К.А.* Особенности изучения элементов CPU-логики в рамках курса "сетевые технологии" // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2020. Т. 9. № 4. С. 53-62.

ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ СПУТНИКОВ СВЯЗИ И ВЕЩАНИЯ

Титов Дмитрий Андреевич,
НИИР, ведущий инженер-конструктор, Москва, Россия
titovda@niir.ru

Аннотация

В статье рассмотрены базовые конструкции и внутреннюю компоновку типовых элементов замены многоканальных сборок основных функциональных групп гибкой полезной нагрузки с использованием универсальной базовой несущей конструкции. Описаны некоторые особенности конструктивных решений.

Ключевые слова: *базовая несущая конструкция, гибкая полезная нагрузка, малошумящий усилитель, многоканальная сборка, преобразователь частоты, синтезатор опорной частоты, твердотельный усилитель мощности, типовой элемент замены.*

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

БА	- бортовая аппаратура;
БНК	- базовая несущая конструкция;
ВБР	- время безотказной работы;
ГЗА	- гибридная зеркальная антенна;
ГПН	- гибкая полезная нагрузка;
КА	- космический аппарат
КПД	- коэффициент полезного действия;
МШУ	- малошумящий усилитель;
ПРЧ	- преобразователь частоты;
РУМ	- резервированный усилитель мощности;
САС	- срок активного существования;
СВЧ	- сверх высокие частоты;
СОТР	- система обеспечения теплового режима;
ТУМ	- твердотельный усилитель мощности;
ТЭЗ	- типовой элемент замены;
ЭКБ	- электронная компонентная база;
ЭРИ	- электрорадиоизделие;

Введение

Рассмотрение перспективных направлений создания полезных нагрузок российских орбитальных группировок [1] подтверждают актуальность двух направлений развития бортовой аппаратуры для спутников связи и вещания.

Первое направление – это интенсивное освоение Ku, Ka и Q- диапазонов частот. При этом предполагается постоянно увеличивать коэффициент импортозамещения. На современном этапе развития ЭКБ отечественного производства сравнительно более высокий коэффициент импортозамещения имеет аппаратура Ku- диапазона.

Второе направление – создание гибких структур бортовой аппаратуры и в том числе ГПН. Такой подход позволяет значительно сократить временные и финансовые затраты на разработку и изготовление ГПН за счет существенного снижения номенклатуры структурных и конструктивных решений.

1. Конструктивные решения для ГПН

Концепция ГПН лежит в русле этих направлений и в силу своей универсальности охватывает практически все варианты построения БРК. На рисунке 1 представлена блок-диаграмма ГПН

Ки-диапазона с использованием многолучевых антенн с электронным формированием зон обслуживания [1]. Число лучей ГЗА и соответственно каналов приема-передачи определяется размерами зоны обслуживаемой КА.

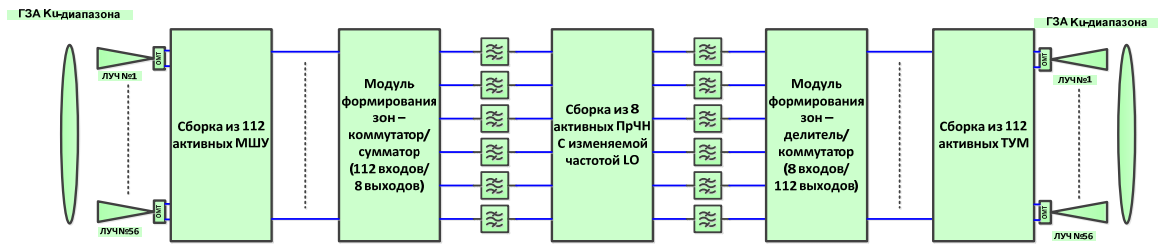


Рис. 1. Блок-диаграммы ГПН Ки-диапазона

Конструктивной особенностью ГПН (рис. 1) является наличие многоканальных сборок, различного функционального назначения, каждый из которых содержит множество ТЭЗ, объединенных в одном корпусе. Возникает необходимость конструктивной и технологической унификации как ТЭЗ, так и несущей конструкции (БНК) в которую они входят.

В соответствии с рекомендациями стандарта СТО ГК «Роскосмос» [2] приборы из состава ГПН должны быть построены по модульному принципу, предусматривающему набор правил, устанавливающих соотношение между координатными размерами и базовым шагом ТЭЗ, которые нужно использовать в оборудовании [3] (рис. 2).

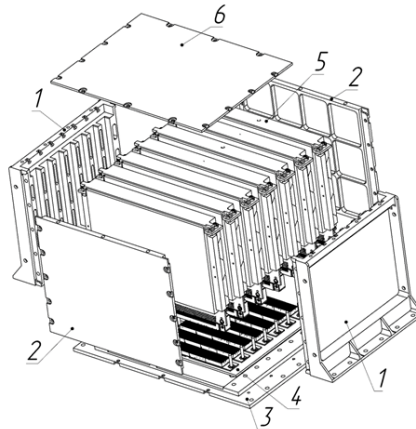


Рис. 2. Пример БНК: 1 – стенка с направляющими; 2 – панель; 3 – основание; 4 – объединительная панель; 5 – ТЭЗ; 6 – крышка или лицевая панель

Стандарт [2] также рекомендует унифицированные габаритные размеры ТЭЗ коррелирующие с размерами модуля 6U американского стандарта VITA [4] (рис. 3).

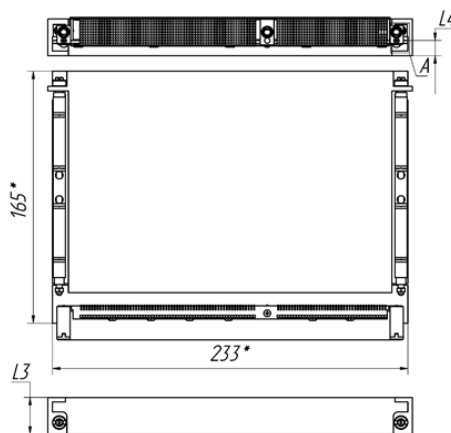


Рис. 3. Габаритные размеры ТЭЗ

Исходя из приведенной на рисунке 1 блок-диаграммы можно выделить следующие 3 группы многоканальных активных сборок:

- две сборки малошумящих усилителей по 56 каналов МШУ;
- две сборки преобразователей частоты из 7 каналов ПРЧ;
- четырех сборок твердотельных усилителей мощности по 28 каналов ТУМ.

Масса каждой сборки находится в пределах (10-15) кг.

Максимальное число каналов в каждой сборке определялось исходя из площади конструктива каждого из функциональных каналов и полезной площади ТЭЗ. Также учитывались массовые и габаритные ограничения каждой сборки. Учитывалась предварительная оценка мощности энергопотребления и тепловыделения.

Все перечисленные выше многоканальные активные сборки имеют одинаковую несущую конструкцию, представленную на рисунке 4.

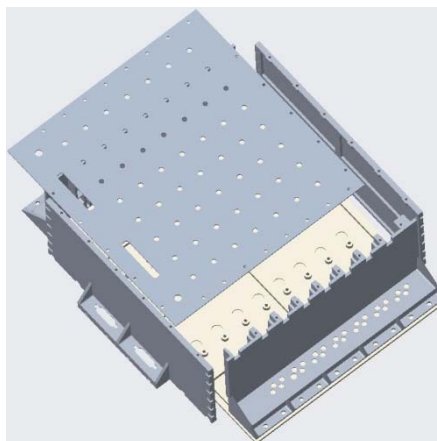


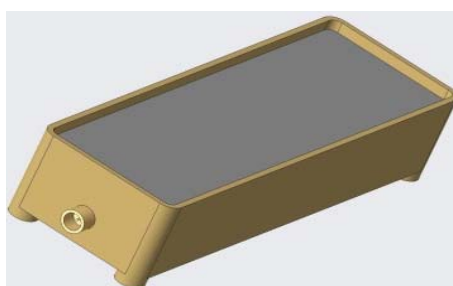
Рис. 4. БНК многоканальных активных сборок

При необходимости обеспечения заданной надежности за счет резервирования число каналов увеличивается в зависимости от принятой схемы резервирования.

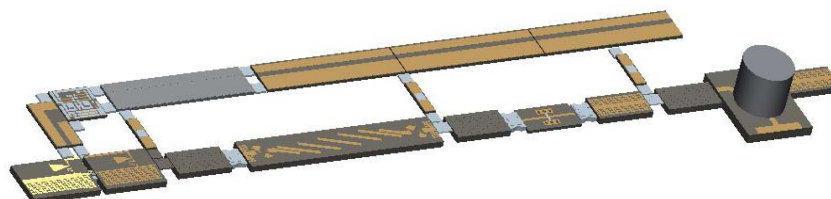
2 Описание групп многоканальных активных сборок ГПН

2.1 Сборка МШУ Ku-диапазона

На рисунке 6 представлена сборка многоканальных МШУ Ku-диапазона и ее элементы. Сборка состоит из семи востмиканальных ТЭЗ (в общей сложности 56 каналов) и одного ТЭЗ источника питания. Каждый канал МШУ Ku-диапазона представляет из себя герметичный гибридный модуль рисунок 5а, а пример топологии канала приведен на рисунке 5б.



а)



б)

Рис. 5. а) ТЭЗ МШУ; б) пример топологии канала МШУ Ku-диапазона

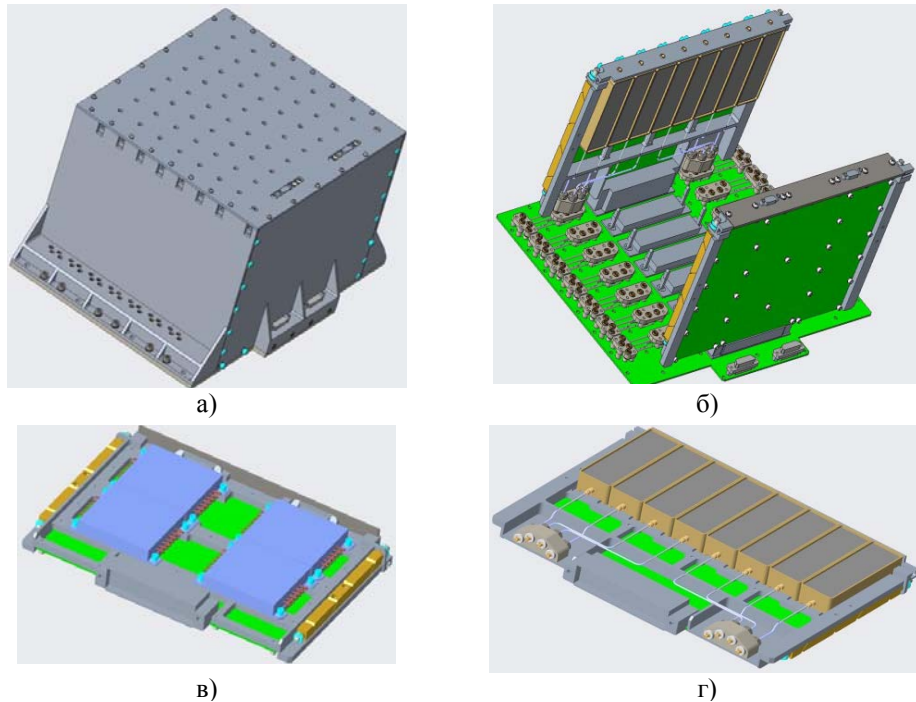


Рис. 6. Многоканальная сборка МШУ:

а) сборка МШУ; б) сборка объединительной платы; в) ТЭЗ источника питания; г) ТЭЗ МШУ (8 каналов)

Существующий уровень развития ЭКБ позволяет разместить восемь (максимум) МШУ Ку-диапазона на площади ТЭЗ.

Конструкция ТЭЗ источника питания является универсальной для всех многоканальных активных сборок и содержит четыре модуля преобразователей напряжения, позволяющих организовать основной и резервный каналы питания до 100 Вт каждый.

2.2. Сборка преобразователей частоты (ПРЧ)

На рисунке 7 представлена сборка многоканальных МШУ Ку-диапазона и ее элементы. Сборка состоит из семи востмиканальных ТЭЗ (в общей сложности 56 каналов) и одного универсального ТЭЗ источника питания.

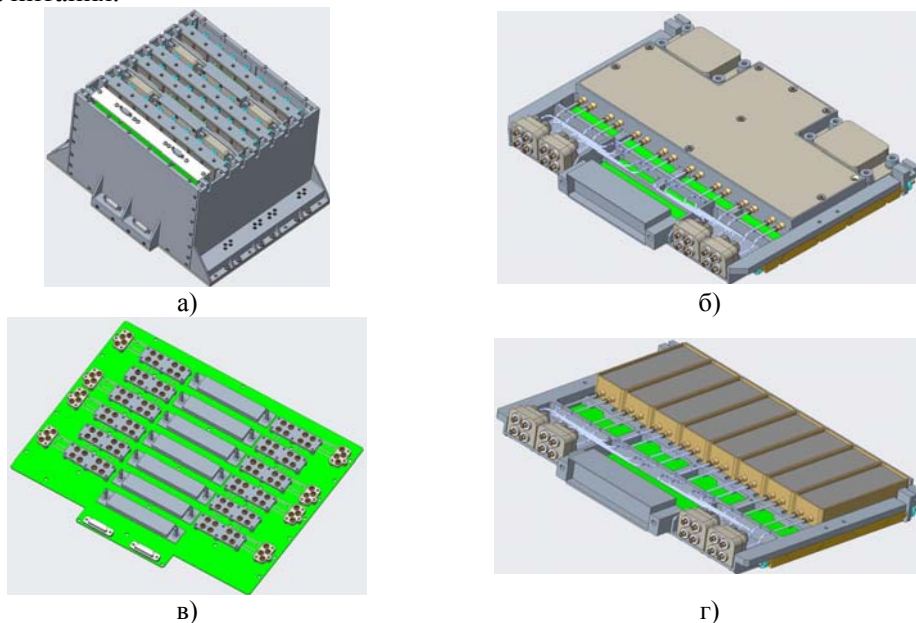


Рис. 7. Многоканальная сборка ПРЧ:

а) сборка ПРЧ; б) ТЭЗ синтезатора опорной частоты; в) объединительная плата; г) ТЭЗ ПРЧ (8 каналов)

Каждый канал ПРЧ Ку-диапазона представляет из себя герметичный гибридный модуль (рис. 8) аналогичный модулю МШУ, Отличием является наличие дополнительного SMP разъема – входа опорной частоты.

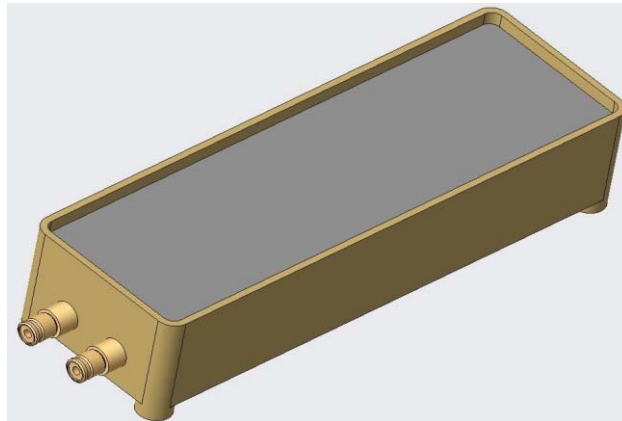


Рис. 8. Герметичный гибридный модуль ПРЧ Ку-диапазона

ТЭЗ синтезатора опорной частоты, разработанный на базе отечественного генератора пьезоэлектрического термостатированного ГК310В-ТС-50М-20, имеет шестнадцать выходов опорной частоты, что позволяет обслуживать два восьмиканальных ТЭЗ ПРЧ. Синтезатор опорной частоты имеет микроконтроллерное управление, позволяющее дистанционно управлять опорной частотой.

2.3. Сборка твердотельных усилителей ТУМ позиционируются как перспективная замена ЛБВ в многолучевых системах спутниковой связи. Они имеют преимущества по надежности на большом САС, стоимости, габаритам и массе. САС ТУМ БА КА должен быть не менее 15 лет при ВБР не менее 0,999 и общем сроке службы не менее 19 лет.

Перспективным направлением развития ЭКБ ТУМ является применение транзисторных усилителей на нитриде галлия (GaN) вместо арсенида галлия. (GaAs), что позволяет достичь более высоких значений КПД (рис. 9) [5].

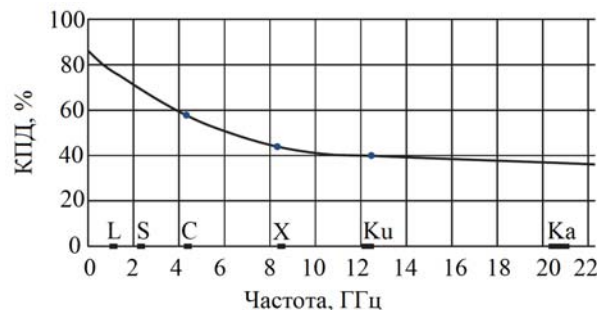


Рис. 9. Прогноз зависимости КПД ТУМ от частоты

Таким образом в Ку-диапазоне КПД не превышает 40%, что требует сравнительно большой площади теплоотвода, а значит габаритов. Так для усилителей с выходной мощностью 10Вт и КПД 40% площадь основания необходимо иметь площадь основания не менее 125 см².

На рисунке 10 представлена сборка многоканальных ТУМ Ку-диапазона и ее элементы. Сборка состоит из восьми четырехканальных ТЭЗ (в общей сложности 32 канала).

Для минимизации площади основания усилителя, используют резервирование (дублирование) топологии УМ в одном корпусе в виде ансамбля из двух УМ. Такие усилители мощности называются резервированными – РУМ. Из прогнозных оценок параметров РУМ следует возможность уменьшить массу и габариты в 2 -2,5 раза, а энергопотребление в два раза [5].

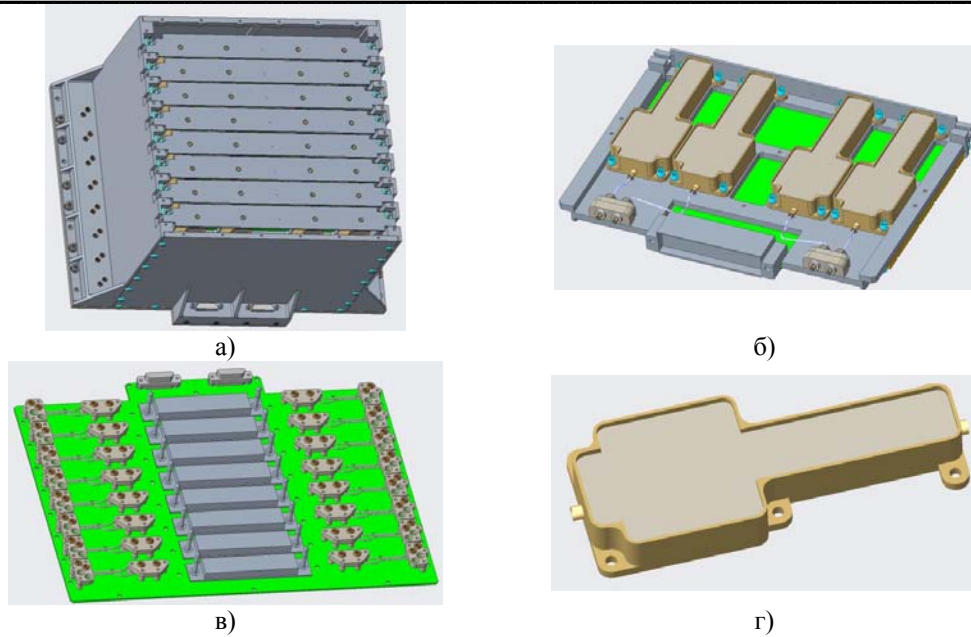


Рис. 10. Сборка ТУМ:
 а) сборка ТУМ (7 ТЭЗ, 28 каналов); б) ТЭЗ ТУМ (4 резервированных канала); в) объединительная плата;
 г) гибридный модуль ТУМ

Большое энергопотребление сборки ТУМ приводит к необходимости включения в состав ГПН отдельного источника питания, располагаемого вне БНК. Так, для БНК ТУМ из восьми ТЭЗ с четырьмя каналами ТУМ по 20 Вт каждый необходим источник питания не менее 800 Вт при КПД 80%.

Отличительным признаком представленных БНК многоканальных сборок ГПН является наличие внутреннего СВЧ интерфейса (рис. 11).

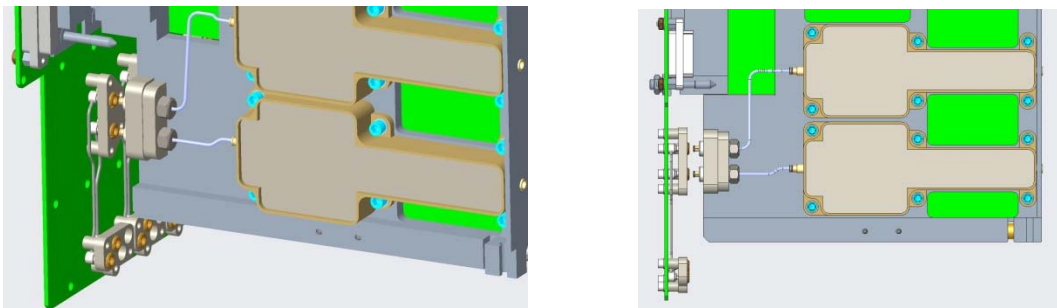


Рис. 11. СВЧ интерфейс БНК ГПН

Внутренний СВЧ интерфейс переносит внешние СВЧ связи между ТЭЗ на внутреннюю поверхность объединительной платы, т.е. все связи находятся внутри БНК. Интерфейс реализован с использованием миниатюрных радиочастотных коаксиальных соединителей с быстротфиксируемым способом сочленения типа SMP (рис. 12). Изготовление этих соединителей освоено отечественным производителем ПАО «Завод Атлант».

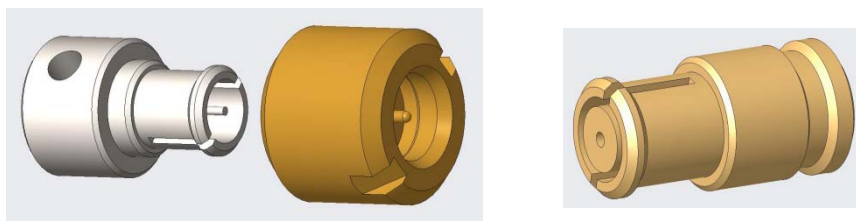


Рис. 12. Соединители типа SMP для СВЧ интерфейса БНК ГПН

На рисунке 13 приведены габаритные размеры БНК на восемь многоканальных ТЭЗ. Размеры полезной площади теплоотводящей поверхности составляют 714 см^2 и являются одним из основных ограничителей максимальной мощности тепловыделения БНК. СОТР термостатированной платформы КА на которую монтируются БНК ГПН обеспечивает отвод теплового потока с плотностью не более $2,5 \text{ Вт/см}^2$. Следовательно, мощность тепловыделения БНК не должна превышать 1785 Вт . Это ограничение дает возможность определить предельную мощность тепловыделения одного канала и ТЭЗ в целом.

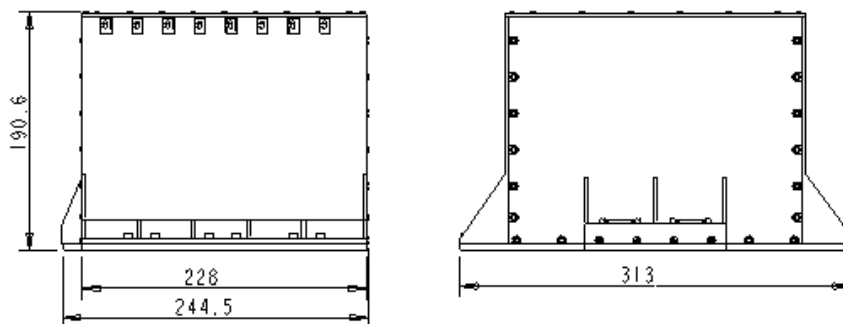


Рис. 13. Габаритные размеры БНК на восемь многоканальных ТЭЗ

Заключение

Предложенные конструктивные решения построения БНК многоканальных сборок могут использоваться во многих проектах создания БА КА и ориентированы на широкое импортозамещение.

Важным является ориентация этих решений на унификацию и стандартизацию, что в конечном итоге позволяет значительно сократить временные и финансовые затраты на разработку и изготовление БА КА за счет существенного снижения номенклатуры структурных и конструктивных решений.

Литература

1. *Сподобаев М.Ю., Ментус О.В., Дьякова Е.А.* Перспективные направления создания полезных нагрузок для российской орбитальной группировки связи и вещания гражданского назначения. Труды НИИР. 2020. № 1-2. С. 48-54.
2. Аппаратура бортовая автоматических космических аппаратов. Базовые несущие конструкции. Общие технические требования: СТО 1006-2019 ГК «Роскосмос». 2019. С. 18.
3. ГОСТ Р МЭК 60917-1-2011. Модульный принцип построения базовых несущих конструкций для электронного оборудования. М.: Стандартинформ, 2013. С. 3.
4. VITA specifications. URL: <https://vita.com/standards>.
5. *Алыбин В.Г., Семочкин А.С.* Бортовые твердотельные СВЧ-усилители мощности будущего для командно-измерительных систем. «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы». 2016. Т. 3, выпуск 3. С. 89-97.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Шведов Андрей Вячеславович,

МТУСИ, старший преподаватель каф. СИТuС, Москва, Россия
a.v.shvedov@mtuci.ru

Гадасин Денис Вадимович,

МТУСИ, доцент кафедры СИТuС, к.т.н., Москва, Россия
dengadiplom@mail.ru

Коровушкина Вероника Максимовна,

МТУСИ, кафедра Сетевых информационных технологий и сервисов, Москва, Россия
vkorovushkina10@gmail.com

Мелькова Елизавета Константиновна,

МТУСИ, кафедра Сетевых информационных технологий и сервисов, Москва, Россия
emelkova1005@gmail.com

Аннотация

При выводе информационной системы на рынок, компания производитель должна убедиться в его качестве, для чего проводится всестороннее тестирование. Чем глубже проведено тестирование, тем качественнее должен быть продукт. К сожалению, в редких случаях удается достичь исчерпывающего тестирования, так как в сложных системах большое количество ветвей, которые надо проверить, а любая проверка занимает время. Поэтому используют различные техники тестирования. Предлагается возможность применения тестирования информационных систем с помощью интеллектуальных средств и анализируется конечный выигрыш во временных ресурсах.

Ключевые слова: *Исчерпывающее тестирование, техника тест-дизайна, интеллект, транспортные системы, цикломатическая сложность, коэффициент Сёрсенсена.*

Введение

Покупатель, приобретая товар, хочет получить максимально качественный продукт, который соответствует заранее составленным требованиям, и знать, что весь его функционал работает исправно. В любом деле существуют различные проверки качества. В компаниях, производящих программное обеспечение, проверкой качества является тестирование продукта.

Тестирование программного обеспечения – процесс исследования с целью получения информации о качестве продукта, проверки соответствия ПО предъявляемым требованиям.

В логистических компаниях особенно очень важно организовать корректную работу всех модулей системы. Небольшая ошибка может привести к тому, что груз или посылка могут уйти не туда или прийти не оттуда. Каждая ошибка может повлечь большие материальные и временные расходы.

Формально, информационную систему [12-23] можно рассматривать в виде графа, где вершинам соответствуют какие-либо запросы, например, пункты меню или конечные отчеты, а ребрам выполняемые действия [1].

Известно, что число ребер E в полном графе G зависит от количества вершин V [2]. При тестировании системы граф будет полным, т.к. необходимо проверить есть ли и нет ли связи между двумя вершинами, т.е. сумма этих связей определяет полное их количество [3].

Для того, чтобы полностью проверить небольшую систему на правильность функционирования, в среднем, уходит около 2 месяцев непрерывной работы одного специалиста, исходя из 40 часовой рабочей неделе и тому, что в двух месяцах около 9 недель, то среднее количество затраченного времени составляет порядка 360 часов. Проверка одного пути занимает порядка одной минуты, тогда можно предположить, что в системе содержится (1):

$$360 * 60 = 21600 \tag{1}$$

минут или путей. Исходя из формулы определения количества путей в полном графе количество вершин V системы составляет 208.

Для сложных систем, в которых число вершин составляет десятки тысяч, число ребер, которые необходимо проверить принимает огромные значения, и для их тестирования необходимо привлекать большое количество людей что ведет к затрате большого количества ресурсов [4].

Один из способов экономии ресурсов – использование для тестирования интеллектуальной системы, но такой подход подразумевает унифицированные способы тестирования, которые достигаются с помощью обучения системы. В работе рассматриваются способы, на основе которых можно обучить интеллектуальную систему для тестирования, тем самым сократив трудозатраты.

Исчерпывающее тестирование

Уровень качества программного обеспечения описан в стандарте ISO/IEC 9126. Стандарт включает в себе 4 блока, направленные на такие аспекты, как модель качества, внешние метрики качества, внутренние метрики качества, метрики качества в использовании [5].

Качественное тестирование программного обеспечения заключается в максимальной проверке основных критериев качества ПО, установленных в стандарте ISO/IEC 25010:2011: функциональность, надежность, удобство пользования, эффективность, удобство сопровождения, портативность, совместимость, защищенность [6].

Компания должна организовать процесс разработки продукта таким образом, чтобы качество продукта было максимальным. Для этого перед началом разработки, составляются необходимые требования к продукту, соответствие которым определяется во время этапа тестирования. Чем меньше несоответствий требованиям, тем качество выше. Следовательно, чем глубже протестирована система, тем качество должно быть выше и производители должны стремиться к исчерпывающему тестированию. Такой вид тестирования достигается в редких случаях. Данная ситуация возникает потому, что в те временные рамки, которые отводятся на тестирование нельзя реализовать всевозможные комбинации пользовательского ввода и состояний системы. Вместо этого выгоднее произвести анализ всех рисков и грамотную расстановку приоритетов, что позволит эффективнее выстроить и реализовать процесс обеспечения качества ПО [7,8].

Одним из основных способов тестирования системы и ее модулей является написание тестовых сценариев (тест-кейсов). Тест-кейс – это формально описанный алгоритм тестирования, который включает в себя конкретные условия, параметры и шаги для проверки реализации тестируемого функционала. Процесс разработки тест-кейсов называется тест-дизайном.

Процесс тестирования ограничен такими факторами, как время и бюджет. Поэтому основной задачей тест-дизайнеров является разработка минимального количества тестовых сценариев таким образом, чтобы получить максимальное тестовое покрытие – то есть максимальную плотность покрытия тестируемого функционала. Но интеллектуальная система не может самостоятельно анализировать, как человек, поэтому необходимо найти общие методы и принципы, с помощью которых интеллектуальная система сможет сокращать количество тест-кейсов до минимального необходимого значения. Данную цель можно достичь с помощью специальных техник тест-дизайна:

- Классы эквивалентности (Equivalence partitioning) – при использовании данной техники тестируемый функционал необходимо разделить на группы эквивалентных по своему влиянию на систему значений;
- Анализ граничных значений (Boundary value testing) – при использовании данной техники осуществляется проверка поведения системы на граничных входных данных;
- Парное тестирование (Pairwise testing) – при использовании данной техники осуществляется набор тестовых данных из полного набора входных данных в системе;
- Тестирование на основе состояний и переходов (State-Transition Testing) – применяется для отражения состояний системы в зависимости от того, какие операции выполняет пользователь;
- Таблицы принятия решений (Decision Table Testing) – используется для наглядного отражения состояний системы при наборе определенных условий;
- Сценарий использования (Use Case Testing) – Use Case описывает сценарий взаимодействия двух и более участников (как правило – пользователя и системы).

Основным бизнес-процессом в логистической компании является доставка посылки конкретному получателю. Поэтому одним из особо важных модулей системы является модуль регистрации получателя посылки. Любые ошибки данного модуля могут повлечь за собой излишние расходы компании, использующей систему. Поэтому процесс тестирования системы можно декомпозировать на тестирование соответствия отдельных модулей правильности функционирования, а после этого тестирование взаимодействия модулей в составе системы.

Основу графического пользовательского интерфейса модуля регистрации получателя груза (рис. 1) составляют 3 текстовых поля, в которые вводятся основные реквизиты и от правильности функционирования этого модуля зависит правильность работы всей системы.

Рис. 1. Интерфейс формы регистрации получателя груза

При тестировании данного модуля необходимо учесть следующие требования:

- поля Имя и Фамилия принимают только буквенные значения латинского алфавита, строка должна быть не длиннее 255 символов;
- в поле Индекс возможно ввести только цифры, строка должна содержать ровно 6 цифр;
- все поля являются обязательными.

Соответственно, для тестирования, близкого к исчерпывающему, необходимо проверить:

- корректность ввода всех символов латинского алфавита в поля Имя и Фамилия;
- все корректные варианты длин входных строк (от 1 до 255);
- все некорректные входные значения - все специальные символы, буквы других алфавитов, длины строки больше и меньше допустимой, а также пустое значение полей Имя и Фамилия;
- корректность ввода всех цифр в поле Индекс;
- все некорректные входные значения – все специальные символы, буквенные символы, длины строки больше и меньше допустимой, а также пустое значение поля Индекс.

Исходя из вышеперечисленных требований, можем вычислить количество необходимых тест-кейсов для проверки функционала:

- в латинском алфавите 26 букв, соответственно необходимо 52 тест-кейса для проверки правильности каждой буквы для полей Имя и Фамилия;
- минимум 510 тестовых случаев необходимо для проверки всех корректных вариаций длин входных строк для полей Имя и Фамилия;
- для проверки невозможности ввода специальных символов с клавиатуры необходимы 52 тест-кейса, минимум 4 кейса для проверки невозможности ввода символов алфавита, отличного от латинского, так же 2 тест-кейса для проверки возможности оставить поля незаполненными, и минимум 4 тестового сценария для проверки ввода строки, с длиной меньше или больше допустимого значения, а также невозможность ввода цифр – 10 тест-кейсов. Итого, 72 тест-кейса для отрицательных проверок;
- на проверку правильности ввода всех цифр в поле Индекс необходимы 10 тест-кейсов;
- на проверку невозможности ввода специальных символов необходимы 26 тест-кейсов; на проверку невозможности ввести буквы (в данном случае латинского алфавита) – 26 тест-кейсов; для проверки невозможности ввода строки – 6 тестовых сценариев, и 1 тест-кейс на

проверку невозможности оставить поле Индекс пустым. Итого, 59 тестовых сценариев для отрицательных проверок.

Таким образом, для тестирования, приближенного к исчерпывающему, функционала добавления нового пользователя, необходимо 703 тестовых сценария.

Учитывая хронометраж написания и выполнения одного тестового сценария (15 минут и 5 минут соответственно) получаем, что на проверку функционала системы придется потратить 234 человеко-часа.

Данное количество тестовых сценариев не является исчерпывающим, так как необходимо проверить на правильность ввода символов из кодировочной таблицы UNICODE, которая включает в себя практически все письменные знаки всех языков мира. При написании соответствующих сценариев и их реализации, время на тестирование всей системы резко увеличится.

Для того, чтобы ускорить процесс тестирования, путем сокращения количества тестовых процедур можно использовать технику классов эквивалентности. Для этого на первом этапе необходимо провести предварительную подготовку: выделить класс – «латинский алфавит» для полей Имя и Фамилия, и класс символов «цифры» для поля Индекс. В соответствии с данной техникой, можно проверить лишь одно значение из выделенного класса, в связи с тем, что при остальных значениях система будет вести себя аналогичным образом. В таком случае необходимо всего 2 тест-кейса вместо 52 на проверку буквенных значений полей Имя и Фамилия и 1 тест-кейс на проверку числовых значений поля Индекс. С помощью данной техники возможно проверить поля на отрицательные значения, т.е. те, которые содержат специальные символы, цифры и буквы алфавитов, отличных от латинского, для полей Имя и Фамилия, а также специальные и буквенные символы для поля Индекс.

Применяя технику тест-дизайна для более полного тестирования достаточно проверить по одному символу из каждого класса, соответственно, необходимо разработать всего 8 тестовых сценариев.

Помимо техники классов эквивалентности возможно использовать технику граничных значений, на основе которой нет необходимости проверять все корректные варианты длины строки полей. Для полей Имя и Фамилия необходимо проверить лишь строки длиной 0, 1, 255 и 256 символов. Для поля Индекс 0, 5, 6 и 7 цифр. Таким образом, применив данную технику потребуется всего 12 тест-кейсов.

Таким образом, применяя техники тест-дизайна, для максимально плотного покрытия системы тест-кейсами необходимо 24 тестовых сценариев. Соответственно, на данное количество тестовых сценариев необходимо будет затратить примерно 7 человеко-часов, а число тестовых процедур сокращается почти в тридцать раз.

Еще большее сокращение времени на тестирование можно достичь если для проверки системы на правильность функционирования будут применяться специальные средства в виде интеллектуальной системы тестировщика.

Чтобы обучить интеллектуальную систему, необходимо выявить общие случаи, при которых нужно использовать ту или иную технику тест-дизайна. Техника классов эквивалентности используется, когда из всех входных значений можно выделить группу аналогичных значений (например, буквы алфавита или цифры). Практически всегда данная техника используется совместно с техникой граничных значений – если выделенный класс имеет числовой формат, то из полученных групп необходимо проверить не только по одному значению из выделенного класса, но и те значения, которые находятся на границах групп, а также по одному значению вне их пределов.

Кроме локальных проверок полей и форм ввода данных необходимо так же протестировать бизнес-функционал системы. Для этого интеллектуальной системе необходимо понимать, как человек будет пользоваться тестируемой системой и сколько проверок для этого необходимо. В этом может помочь техника тест дизайна Use Cases. Суть данного метода заключается в выделении пользовательских сценариев, то есть, каким образом пользователь может взаимодействовать с системой (авторизоваться, зарегистрировать новую перевозку и т.д.).

Для того, чтобы проверить весь функционал в соответствии с техникой каждому пользовательскому сценарию должен соответствовать тест-кейс.

Для правильности обучения, «предмет обучения» необходимо формализовать. Для этого тестируемую систему и ее модули можно представить в виде графа.

Вершинами графа являются модули системы или компоненты модулей. Взаимодействие происходит как при выполнении различных действий внутри одного модуля, так и во время перехода от одного модуля к другому.

Представим отдельный модуль информационной системы логистической компании в виде графа (рис. 2), который представляет из себя совокупность взаимодействия разных модулей.

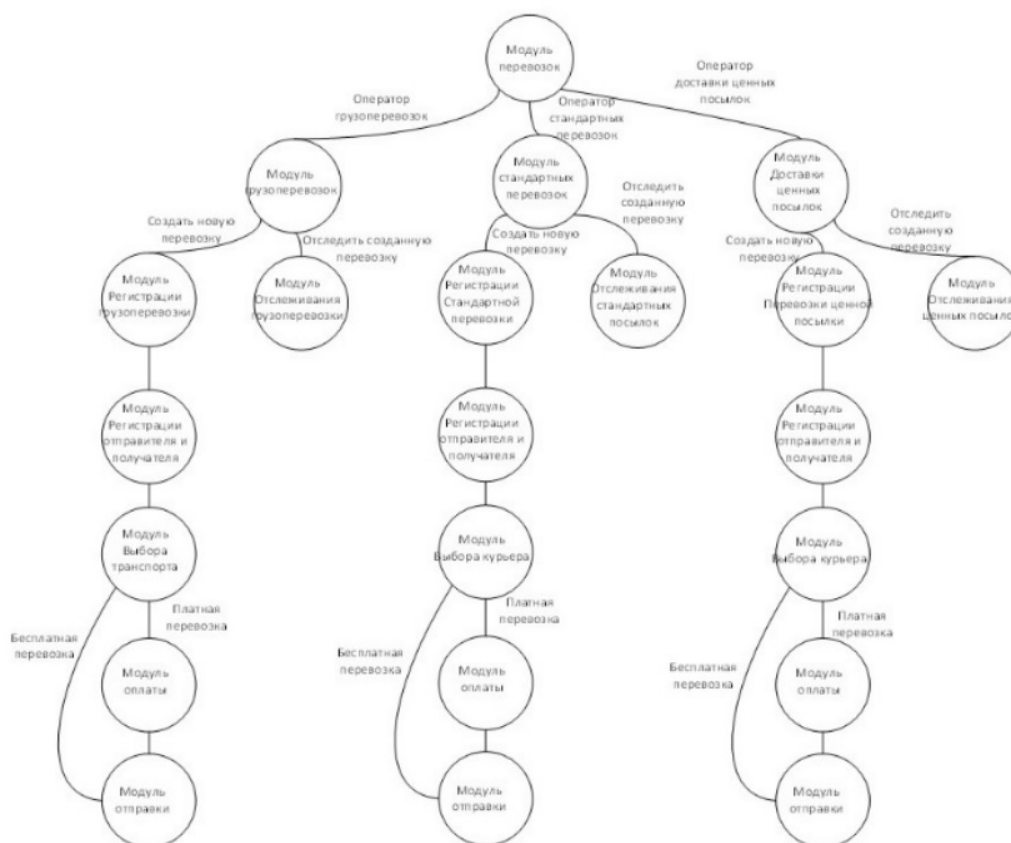


Рис. 2. Представление информационной системы в виде графа

Пользователю системы для работы с данным модулем отводятся три роли:

- оператор грузоперевозок;
- оператор стандартных перевозок;
- оператор доставки ценных посылок

В зависимости от роли, пользователю доступен свой функционал, который отображается в алгоритм (путь) действий.

Первый путь (если перевозка платная):

- 1) вход в модуль;
- 2) регистрация грузоперевозки;
- 3) регистрация отправителя и получателя;
- 4) выбор транспорта либо курьера;
- 5) контроль оплаты услуги;
- 6) отправка посылки.

Второй путь (если перевозка бесплатная):

- 1) вход в модуль;
- 2) регистрация грузоперевозки;
- 3) регистрация отправителя и получателя;
- 4) выбор транспорта либо курьера;
- 5) отправка посылки.

Третий путь (перевозка зарегистрирована, ее необходимо отследить):

- 1) вход в модуль;
- 2) переход в модуль отслеживания перевозки.

Данные пользовательские сценарии (пути) доступны для каждой из трех ролей, но с разным функционалом.

Соответственно, всего получится 9 пользовательских сценариев, для проверки которых необходимо 9 тест-кейсов, но для того что бы протестировать данные модули на полное взаимодействие необходимо их проверить не только на существующие связи, но и на не существующие и тогда количество тестовых сценариев равно:

$$E = \sum_{k=1}^n \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (2)$$

где n – количество модулей, образующих проверяемый сценарий. Поэтому для систем, в составе которых большое количество модулей и взаимосвязей между ними, необходимо рассмотреть каждый путь, что увеличивает вероятность ошибки и, как следствие, некачественно проведенное тестирование. Для того, чтобы избежать данной ситуации, необходимо протестировать систему на цикломатическую сложность.

Цикломатическая сложность

Количественной мерой независимых путей в информационной системе является такая метрика, как ее цикломатическая сложность [10]. Независимый путь определяется как путь, имеющий хотя бы одно ребро, которое ранее не участвовало ни в одном другом пути.

Проверку на цикломатическую сложность невозможно реализовать без взаимодействия с кодом, она включает в себя тестирование взаимодействия ветвей, маршрутов и операторов. С математической точки зрения, цикломатическая сложность – это число независимых путей на графе, которое определяется по формулам:

$$V(G) = E - N + 2 \quad (3)$$

где E – количество ребер, N — количество узлов.

$$V(G) = P + 1 \quad (4)$$

где P – количество узлов предиката (узел, содержащий условие).

Выделяют следующие критерии покрытия кода при данном виде тестирования:

- покрытие операторов – проверка выполнения и тестирования каждой строки кода;
- покрытие условий – проверка выполнения и тестирования каждой точки решения;
- покрытие путей – проверка выполнения и тестирования всех путей, проходящих через заданную часть кода;
- покрытие функций – проверка выполнения каждой функции программы;
- покрытие вход/выход – проверка выполнения всех вызовов и возвратов функций;
- покрытие значений параметров – проверка всех типовых и граничных значений параметров.

В случае критерия покрытия путей для максимальной проверки необходимо столько сценариев, сколько путей включает в себя система.

Каждый модуль системы представляет собой не менее простую по сложности подсистему, с множеством внутренних условий и операторов [9]. Представим модуль регистрации получателя посылки, который уже рассматривался выше, на предмет возможных взаимодействий и условий (рис. 3).

Алгоритм прохождения данного графа, следующий:

- начальной точкой является момент, когда загружена страница с необходимым модулем;
- после того, как страница с модулем успешно загружена, мы можем наблюдать 3 строки, в которых необходимо заполнить данные. В модуле нет конкретного порядка, по которому необходимо заполнять строки, поэтому изначально курсор заполнения не установлен ни на одной строке;
- далее пользователь может выбрать один из вариантов развития событий: заполнить строку Имя, Фамилия или Индекс;
- после выбора строки для ввода, может произойти одна из ситуаций: пользователь ввел корректные данные или пользователь ввел некорректные данные;
- при вводе корректных данных система принимает их и в будущем присвоит пользователю, который создается на данный момент;

- при вводе некорректных данных система визуально проинформирует пользователя о некорректности введенных данных, пометив строку красным цветом. После чего пользователю необходимо ввести данные заново или отредактировать их;
- конечной точкой является ситуация, когда в строке введены корректные данные.

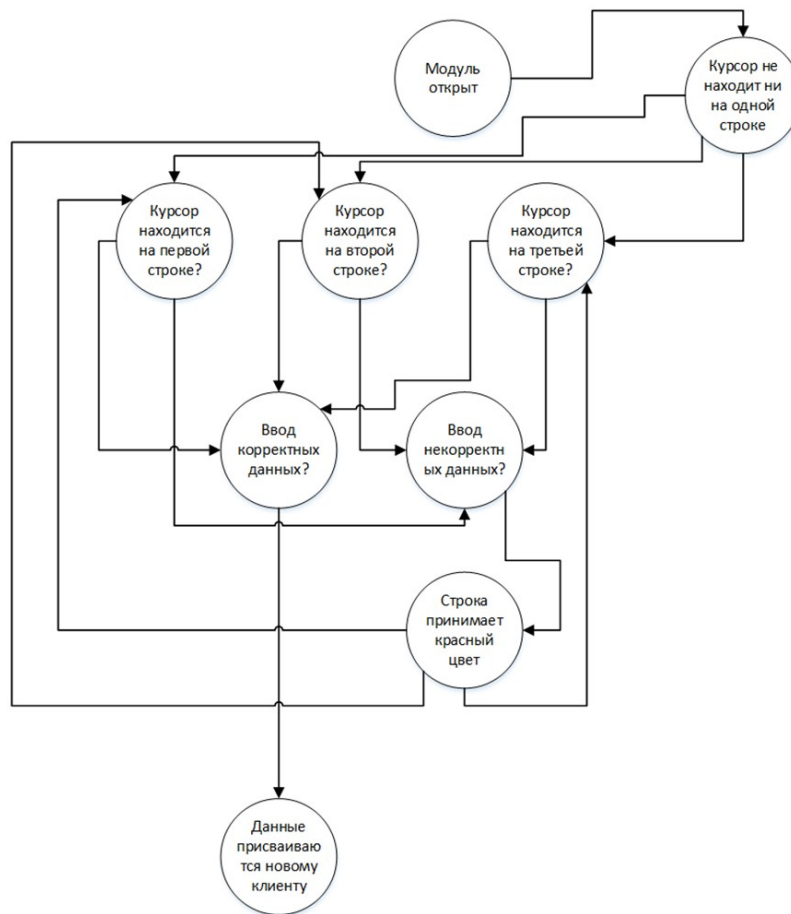


Рис. 3. Подсистема модуля регистрации получателя

Такие шаги необходимо произвести для каждой из строк Имя, Фамилия и Индекс для возможности дальнейшей корректной работы с программой.

Основываясь на графе нашей системы, можем вычислить цикломатическую сложность программы по формуле (3,5): $E = 15, N = 9, P = 5$

$$V(G) = E - N + 2 = 15 - 9 + 2 = 8 \quad (5)$$

Вычислим коэффициент тестирования модуля перевозок (5), считая, что все тест-кейсы, на основе которых интеллектуальная система проводила проверки, пройдены успешно. Цикломатическая сложность данного модуля и количество тест-кейсов соответственно равны 8, тогда:

$$K_s = 2 * \frac{8}{8 + 8} = 1 \quad (6)$$

Коэффициент получился равным единице, что говорит о том, что система протестирована максимально исчерпывающе. Таким образом, после вычисления цикломатической сложности каждого модуля и системы в целом, интеллектуальная система должна понять какое количество проверок необходимо сделать для проведения эффективного тестирования.

Анализ результатов тестирования

Одним из важных вопросов тестирования системы является вопрос завершения процесса тестирования.

Исходя из того, что на тестирование системы исчерпывающим образом необходимо затратить большое количество времени, то точка завершения тестирования прямым образом влияет на бюджет.

После завершения разработки системы необходимо оценить уровень её качества. Качественной системой считается система, которая соответствует требованиям к ней [11].

Как правило, при завершении тестирования системы, некоторые тест-кейсы остаются не пройденными, то есть описанное в них ожидаемое поведение системы не совпало с фактическим. При таких обстоятельствах необходимо оценить, насколько система качественна и может ли вообще быть выпущена.

Анализ результатов может проводиться разными способами – сравнение количества пройденных и непройденных сценариев, анализ количества неисправленных ошибок. Но все подобные способы не могут дать объективную оценку качеству тестируемой системы.

Так как тестирование проводит не человек, а интеллектуальная система, необходимо найти математический способ анализа результатов тестирования. Коэффициент или мера Сёрнсена – безразмерный показатель сходства сравниваемых объектов. Данный коэффициент эквивалентен мере Жаккара и мере Сокала-Снита. Формула коэффициента имеет следующий вид:

$$K_{0,-1} = \frac{2n(A \cap B)}{n(A) + n(B)} \quad (7)$$

где (A) – значения первого множества, (B) – значение второго множества, $(A \cap B)$ – пересечение первого и второго множеств.

После завершения тестирования выделяют такие параметры как:

- количество всех существующих тест-кейсов (число равно цикломатической сложности системы);
- количество пройденных тест-кейсов;
- количество не пройденных сценариев.

Сопоставим наши характеристики параметрам в формуле и получим, что:

- a – цикломатическая сложность системы;
- b – число проверенных тест – кейсов;
- c – число тест-кейсов, проверка которых не повлекла нахождение ошибки.

Используя данный коэффициент проводится анализ результатов и подсчитывается коэффициент “идеальности” протестированной системы. Чем ближе он к единице, тем более полно протестирована система.

Заключение

На гистограмме (рис. 4) представлено сравнение трудозатрат при ручном тестировании и с использованием интеллектуальной системы. На ручное тестирование уйдет 234 человеко-часа, при этом гарантий, что система протестирована качественно, не будет. Но при использовании интеллектуальной системы тестирования трудозатраты сокращаются до 7 человеко-часов, что в 33 раза меньше, чем при ручном тестировании.



Рис. 4. Сравнение трудозатрат на тестирование системы

Таким образом, если при создании системы для автоматизации полного процесса тестирования, учесть такие требования как: связность системы и полноту графа, цикломатическую сложность системы и коэффициент Сёрнсена, то достигается максимальная автоматизация процесса тестирования, а в работу тестировщиков будут входить такие обязанности, как контроль и обучение интеллектуальных систем тестирования.

Литература

1. Шведов А.В., Гадасин Д.В., Цыгулёва А.В., Вакурин И.С. Разгрузка очереди сети при помощи Гамильтонова цикла // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2021. Т. 11. № 3. С. 45-53.
2. Shvedov A. V., Gadasin D. V., Klygina O. G. Determining Shortest Paths between Two Arbitrary Nodes in a Composite Transport Network Using Segment Routing // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416072.
3. Gadasin D. V., Shvedov A. V., Klygina O. G., Shulginov I. V. Routing Management System Formation for Machine-to-Machine Interaction in a Decentralized Environment // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/WECONF51603.2021.9470710.
4. Гадасин Д.В., Шведов А.В., Клыгина О.Г., Гадасин Д.Д. Реализация платформы туманных вычислений для предоставления сервисов IoT // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2021. Т. 11. № 2. С. 65-75.
5. ISO/IEC 9126:1991. Software engineering – Product quality.
6. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models.
7. Maklachkova V. V., Dokuchaev, Statev V. Y. Risks identification in the exploitation of a geographically distributed cloud infrastructure for storing personal data // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 – Proceedings, Vienna, 20-22 октября 2020 г. P. 9261541. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261541.
8. Докучаев В. А., Владимиров К. С., Маклачкова В. В., Статьев В. Ю. Аудит информационных рисков в процессе обработки персональных данных // Технологии информационного общества : Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 20-21 марта 2019 года. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2019. С. 34-36.
9. Шведов А. В., Назаров М. Д. Зависимость показателей эффективности функционирования корпоративных сетей связи от показателей качества обслуживания (QoS) // Технологии информационного общества : Сборник трудов XIV Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 18-19 марта 2020 года. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2020. С. 302-304.
10. Гадасин Д. В., Шведов А. В. Проблемы интеграции концепции "интернет вещей" и облачных вычислений // Технологии информационного общества: Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 20-21 марта 2019 года. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2019. С. 22-23.
11. Гадасин Д. В., Шведов А. В., Ермалович А. В. Концепция "туманные вычисления" – эволюционный этап развития инфокоммуникационных технологий // Технологии информационного общества: Сборник трудов XII Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 14-15 марта 2018 года. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2018. С. 96-99.
12. Kalmykov N.S., Dokuchaev V.A. Segment routing as a basis for software defined network // T-Comm. 2021. Т. 15. № 7. С. 50-54.
13. Dokuchaev V.A., Maklachkova V.V., Statev V.Yu. Classification of personal data security threats in information systems // T-Comm. 2020. Т. 14. № 1. С. 56-60.
14. Докучаев В.А., Маклачкова В.В., Статьев В.Ю. Цифровизация субъекта персональных данных // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 6. С. 27-32.
15. Pavlov S.V., Dokuchaev V.A., Mytenkov S.S. Model of a fuzzy dynamic decision support system // T-Comm. 2020. Т. 14. № 9. С. 43-47.
16. Pavlov S.V., Dokuchaev V.A., Maklachkova V.V., Mytenkov S.S. Features of supporting decision making in modern enterprise infocommunication systems // T-Comm. 2019. Т. 13. № 3. С. 71-74.
17. Докучаев В.А., Ерёмченко В.А., Маклачкова В.В., Мытенков С.С., Шевелёв С.В. Профессиональные квалификации специалистов по контролю качества информационно-коммуникационных систем // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 11. С. 62-67.
18. Гадасин Д.В., Кольцова А.В., Гадасин Д.Д., Полякова А.Н. Оценка вероятности формирования виртуального кластера // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2021. Т. 12. № 1. С. 4-12.
19. Кузин И.А., Гадасин Д.В. Модель контейнера данных для минимизации трафика при передаче субъективных характеристик объектов на изображении трехмерной сцены // Телекоммуникации и информационные технологии. 2021. Т. 8. № 2. С. 96-100.

-
20. *Гадасин Д.В., Кольцова А.В., Полякова А.Н.* Модель построения кластера для пограничных вычислений // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2020. № 1. С. 86-92.
21. *Усачева Д.И., Шишкин М.О., Гадасин Д.В., Гузев А.В.* Применение OLAP-технологий для анализа многомерных данных в контакт-центре // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6. № 1. С. 142-149.
22. *Гадасин Д.В., Кузин И.А.* Модель представления цветowych и глубинометрических характеристик объектов на изображении // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2021. Т. 11. № 1. С. 31-38.
23. *Гадасин Д.В., Нестерова Е.А.* Особенности проведения практических занятий по дисциплине мультимедийные информационные системы для стадии "исследование и обоснование создания информационной системы" // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2021. Т. 10. № 1. С. 15-21.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АНОМАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СОСТОЯНИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ «ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ»

Шелухин Олег Иванович,

*Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой «Информационная безопасность», Москва, Россия*
sheluhin@mail.ru

Раковский Дмитрий Игоревич,

*Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ),
инженер кафедры «Информационная безопасность», Москва, Россия.*

Аннотация

Проанализированы подходы к визуализации многомерных «исторических данных». Рассмотрен способ визуализации категориального прогноза, сформированного разработанным алгоритмом прогнозирования состояний компьютерной системы с использованием многозначных зависимостей путем ввода интегрального показателя, характеризующего количество одновременно нарушаемых порогов Service Level Objectives. Показана возможность детектирования редких аномальных состояний компьютерной системы на основе введенного интегрального показателя.

Ключевые слова: *Многозначная зависимость, экспериментальные данные, алгоритм прогнозирования, визуализация данных, компьютерная система, редкие события*

Введение

Накладные расходы на поддержание современных крупномасштабных компьютерных сетей (КС) с каждым годом становятся все выше, поэтому анализ и прогнозирование состояний компьютерной сети является актуальной задачей [1]. Как правило, каждая КС порождает большое количество данных, фиксируемых в системных журналах. Актуальной является задача прогнозирования состояний исследуемой КС на основании изучения «исторических данных» [2, 3].

Целью данной работы являются особенности визуализации состояний КС, формируемых разработанным алгоритмом прогнозирования временного ряда на основе многозначных зависимостей.

Постановка задачи

Пусть КС характеризуется множеством A , состоящим из m наборов значений дискретно изменяющихся атрибутов: $A \subseteq \{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_m\}$, наблюдаемых "в прошлом", каждый из которых содержит n элементов (n равно количеству наблюдений, записей «исторических данных»).

Для оценки значений, характеризующих уровень обслуживания (*Service Level Objectives*, SLO¹) на основе «исторических данных» по каждому атрибуту введем в рассмотрение ряд из k показателей (состояний) КС: $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$. Число состояний определяется задаваемыми порогами $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{k-1}\}$ SLO, превышение которых приводит к изменению функционирования КС (т.е. состояние КС отклоняется от нормального режима работы). Дополнительно вводится понятие «нормального» состояния КС - когда нарушений SLO не происходит. Состояние КС в каждый момент времени t характеризуется категориальным маркером $label_t$ и совокупной оценкой значений соответствующих атрибутов системы по порогам SLO: $label_t \in S$. Алгоритм прогнозирования состояния КС, базируется на математическом аппарате точно-множественных отображений [4, 5]. Входными данными для алгоритма является темпорально-упорядоченный набор состояний КС «в прошлом», т.е. «исторические данные».

¹ Рекомендация МСЭ-Т М.3342. Указания по определению шаблонов представления SLA. 2006.

Построение прогноза можно разбить на 9 этапов, отраженных на рис. 1. С целью экономии места на изображении используется сокращение ВШ – взвешенный шаблон.

На **первом этапе** происходит формирование множества масок. На **втором этапе** из «исторических данных» формируются зависимости. Посредством «наложения» маски на зависимости формируются шаблоны. На **третьем этапе** из полученного множества шаблонов отбираются только те, что соответствуют настоящему моменту времени. На **четвертом этапе** происходит формирование взвешенных шаблонов. На **пятом этапе** происходит группировка данных внутри взвешенных шаблонов. На **шестом этапе** производится отбор по порогу надежности («вес» соответствующего состояния КС в наборе сгруппированных взвешенных шаблонов). Голосование о выборе состояния КС в каждом оставшемся взвешенном шаблоне происходит на **седьмом этапе**. На **восьмом этапе** происходит подсчет количества голосов по каждому состоянию КС. На заключительном, **девятом этапе**, производится выдача прогноза.

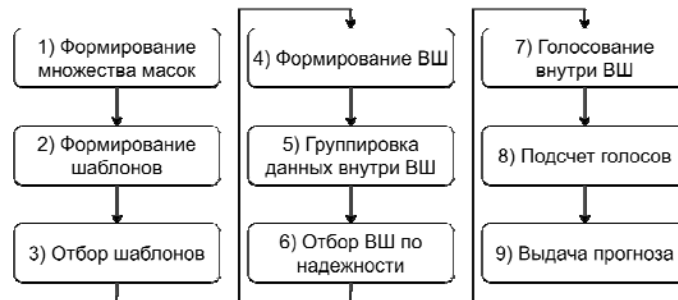


Рис. 1. Схема алгоритма прогнозирования

Прогноз, формируемый алгоритмом, представляет собой категориальное значение. В контексте прогнозирования аномалий интерес представляет прогноз, полученный для разных точек прогнозирования.

В результате задачу визуализации прогноза можно свести к задаче визуализации «исторических данных» с наложением пороговых значений SLO P и добавлением сопутствующего категориального ряда – состояния КС в каждый момент времени. В зависимости от контекста, категориальные данные приводят к векторному представлению, кодируют, сводят к интегральному показателю [6-9].

Поскольку в рассматриваемой задаче категориальные значения связаны с метрическими через превышение порогов P , информацию об аномалиях в атрибутах можно передать через количество одновременно нарушаемых порогов SLO – *Anomaly*. Упорядоченный набор таких записей о нарушаемых порогах является интегральным показателем, формируемым на основе «исторических данных». По данному показателю возможно отследить возникновение в том числе редкого аномального события, когда одновременно несколько состояний КС превышают пороги SLO одновременно.

Проблемы визуализации «исторических данных»

Поскольку визуализация необходима, в первую очередь, человеку для правильной интерпретации данных, то основными критериями воспринимаемости визуализации являются наглядность и однозначная интерпретируемость [10, 11].

Под наглядностью понимается лаконичность графика, отсутствие визуальных «шумов», различимость каждой детали. Под однозначной интерпретируемостью понимается такое представление данных, восприятие которых не вызывает двойственной трактовки.

По этой причине визуализации графика состояния КС (2) не достаточно, необходимо дополнить ее графиками метрических значений соответствующих атрибутов КС.

Для этого необходимо визуализировать таблицу «исторических данных» (табл. 1), что может представлять трудность из-за неопределенного количества атрибутов КС (в зависимости от масштаба КС, количества датчиков и т.д., количество анализируемых атрибутов может сильно различаться).

Рассмотрим подходы к визуализации большого количества атрибутов.

Подход 1. Нанесение временных диаграмм каждого атрибута на отдельный график. В данном случае значения каждого атрибута помещают на отдельный график. Общей делают только ось абс-

цисс. Данный подход применим, если количество атрибутов небольшое и все временные ряды возможно уместить в компактном пространстве (к примеру, формат листа бумаги А-4).

Подход 2. Нанесение временных диаграмм всех атрибутов на один график. Данный подход может быть применен с большими ограничениями, поскольку сопряжен с трудностями иного рода - нормировкой значений:

- не у всех атрибутов известны их максимально возможные значения, что приводит к проблеме разного местоположения временного ряда при разном охвате «исторических данных» (что сбивает с толку наблюдателя);
- при большой волатильности атрибута, восприятие наблюдателем фиксированного порога, близкого (превышающего) максимальное / минимальное значение данного атрибута затруднительно;
- при наличии сильных выбросов во временном ряду, нормирование всех значений приводит к ситуации, когда кроме выбросов на графике ничего не заметно;
- нанесение множества временных зависимостей на один график снижает наглядность графика.

Проблемы масштабирования, волатильности и выбросов возможно устранить путем замены линейного масштаба (шкалы) на иной, например, логарифмический. Смена масштаба позволит нивелировать выбросы и проблему неизвестности максимально возможного значения атрибута; с другой стороны – сохранит форму графика. Единственным недостатком логарифмического преобразования остается проблема появления нуля. Одним из способов решения данной проблемы является замена всех нулевых значений атрибутов на единицу.

Дополнительную трудность представляют сами временные диаграммы атрибутов. Поскольку каждый атрибут меняется по своему закону, то и частота изменения у каждого атрибута своя. При большой частоте на больших временных масштабах график такого атрибута сливается, что мешает его восприятию. Решением данной проблемы может стать аппроксимация графика.

Подход 3. Нанесение временных диаграмм групп атрибутов на один график. Часть проблем подхода №2 возможно решить путем группировки атрибутов со схожими параметрами, их объединения в интегральные показатели [8]. Объединение может происходить по-разному. Например, возможна группировка по источнику данных (атрибуты, связанные с дисковыми операциями; атрибуты сетевого трафика и прочее). Как правило, группировка такого типа выполняется вручную. Автоматизировать группировку атрибутов возможно путем корреляционного анализа. Альтернативой является отображение исторических данных в неевклидовы пространства, свертку нескольких атрибутов в один.

В любом случае, выбор подхода к визуализации должен опираться, в первую очередь, на требования, выдвигаемые наблюдателем. Для достижения наилучшего результата наиболее успешной стратегией является комбинирование разных подходов [12].

Визуализация экспериментальных данных

Рассмотрим визуализацию экспериментальных данных, сформированных на сетевой кластерной инфраструктуре под управлением системы Rancher [13].

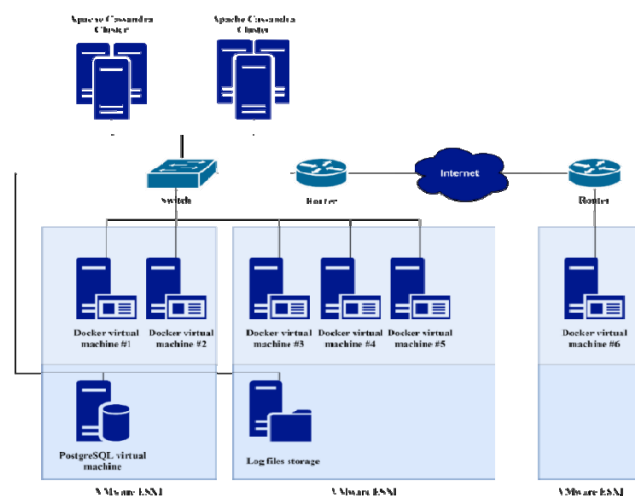


Рис. 2. Стенд, с которого были получены экспериментальные данные

В результате отбора атрибутов по информационной значимости получен набор из 4 атрибутов: задержка сигнала в сети (*ping_avg*), время реакции сервера (*server_response_timetotal*), количество потерянных пакетов (*network_outdropped*), задержки дисковых операций (*disk_ioadmergespersec*).

Показатели уровня обслуживания и соответствующие им состояния КС сформированы в виде порогов, определяющих категориальные маркеры состояния КС:

– Если ни одна из целей уровня обслуживания не была нарушена, то состояние КС равно маркеру ***normal***.

– Если (*ping_avg*) – время ответа более 5 миллисекунд, то состояние КС равно маркеру ***signal delay***.

– Если (*server_response_timetotal*) – время ответа более 1.5 секунды, то состояние КС равно маркеру ***server response delay***.

– Если (*network_outdropped*) – количество пакетов более 0 шт., то состояние КС равно маркеру ***packets dropped***.

– Если (*disk_ioadmergespersec*) – время обработки запроса более 2 секунд, то состояние КС равно маркеру ***disk iowriteawait***.

Визуализируем фрагмент экспериментальных данных на большом и малом масштабах.

Визуализация данных на большом масштабе – первые 50 тысяч значений – приведена на рис. 3. На рисунке приведена визуализация четырех рассмотренных выше атрибутов: *ping_avg* (рис. 3а), *server_response_timetotal* (рис. 3б), *network_outdropped* (рис. 3в), *disk_ioadmergespersec* (рис. 3г). Временные ряды на большом масштабе времени (рис. 5а) аппроксимированы; значения соответствующих атрибутов – даны в логарифмическом выражении.

Рассмотрим визуализацию данных на малом масштабе – первые 5 тысяч записей (рис. 4) для тех же четырех атрибутов КС. На малом масштабе времени аппроксимация не производится; преобразование к логарифмическим значениям также не производится. В дополнение к четырем атрибутам приведен график количества аномальных событий – *Anomaly* (рис. 4д).

Видно, что в некоторые моменты времени одновременно наблюдались аномалии в 2 и в 3 атрибутах (50 и 75% от общего числа наблюдаемых атрибутов соответственно), что говорит о нестабильной работе КС в целом при заданных порогах SLO.

Рассмотренный алгоритм прогнозирования временного ряда имеет перечень входных параметров, требующих оптимизации под конкретные экспериментальные данные. Представляется естественным, по аналогии с интеллектуальным анализом данных, разделить имеющиеся «исторические данные» на 2 части – обучающую и тестовую, после чего производить оценку точности прогнозирования.

Рассмотрим график *Anomaly* в приближении (рис. 5). Временной ряд данного атрибута разделен на 2 части – выборку, используемую для формирования прогноза (обучающую выборку, рис. 5а) и выборку, используемую для тестирования прогноза (тестовую выборку, рис. 5б). На тестовую выборку пунктиром нанесена иллюстрация возможного прогноза.

Прогноз формируется алгоритмом только на основе временной диаграммы *Anomaly*. Прогноз формируется на основе сравнения зависимостей, соответствующих настоящему моменту времени, с зависимостями, соответствующими «историческим данным». Под зависимостью понимается тройка «последовательность состояний КС – сдвиг (шаг прогнозирования) – соответствующее состояние КС». Поскольку определенному состоянию КС могут предшествовать последовательности с разными комбинациями состояний КС – зависимость является многозначной закономерностью.

В качестве иллюстрации, рассмотрим временную диаграмму, приведенную на рис. 5. Состоянию КС, в котором не возникают аномалии (*Anomaly* = 0) – ***normal*** – может предшествовать как длительная последовательность таких же состояний ***normal***, так и различные комбинации аномалий, при которых *Anomaly* > 0.

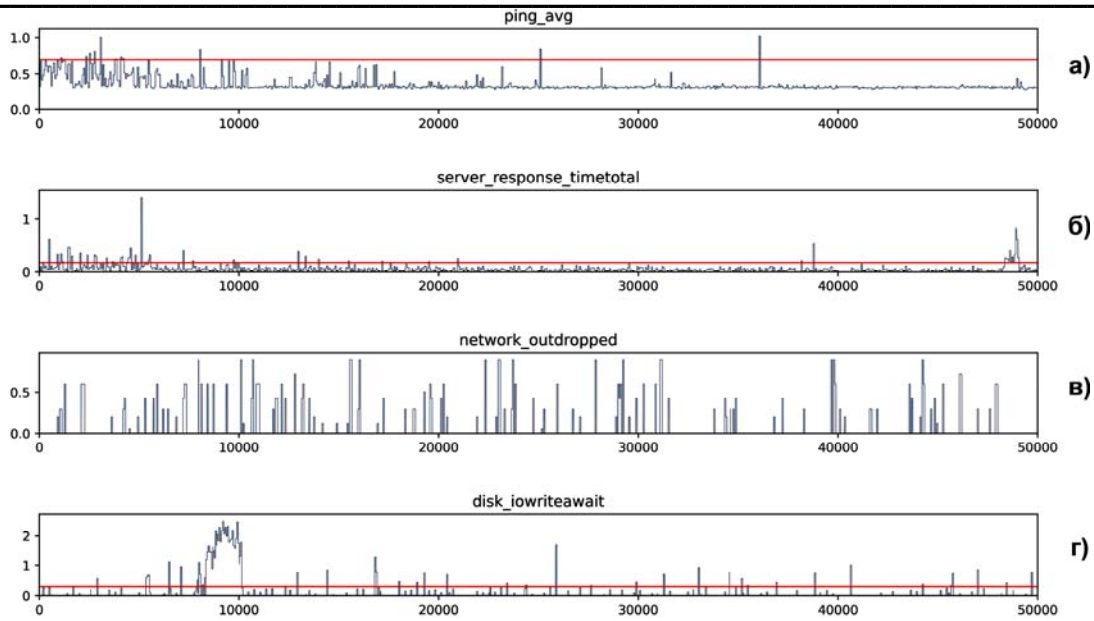


Рис. 3. Визуализация четырех атрибутов: ping_avg (3а), server_response_timetotal (3б), network_outdropped (3в), disk_ioreadmergespersec (3г) на большом масштабе времени

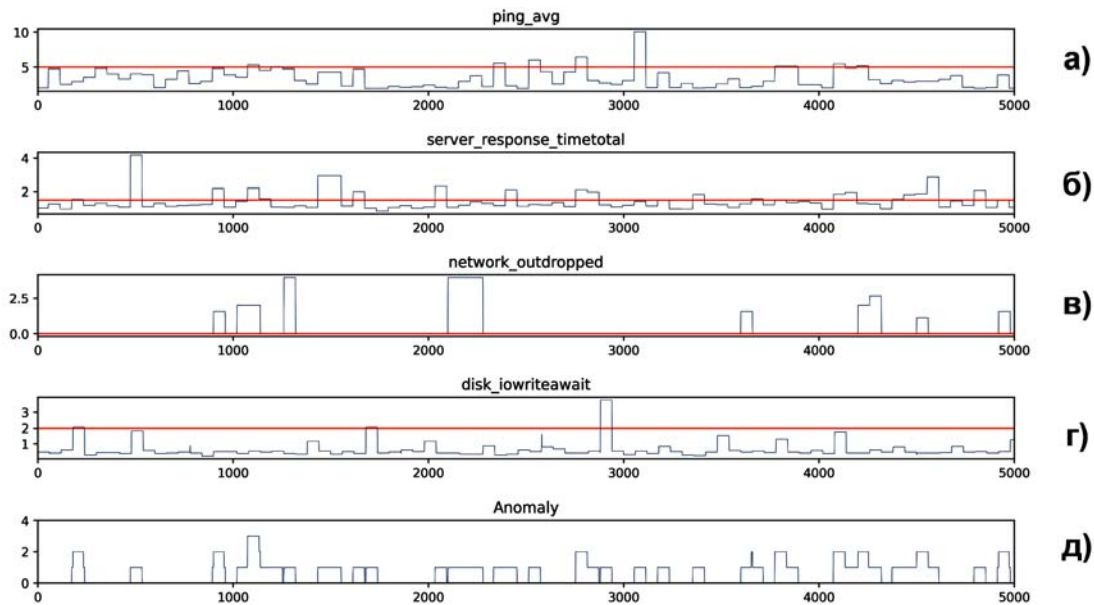


Рис. 4. Визуализация четырех атрибутов: ping_avg (4а), server_response_timetotal (4б), network_outdropped (4в), disk_ioreadmergespersec (4г) на малом масштабе времени с добавлением графика количества аномалий (4д)

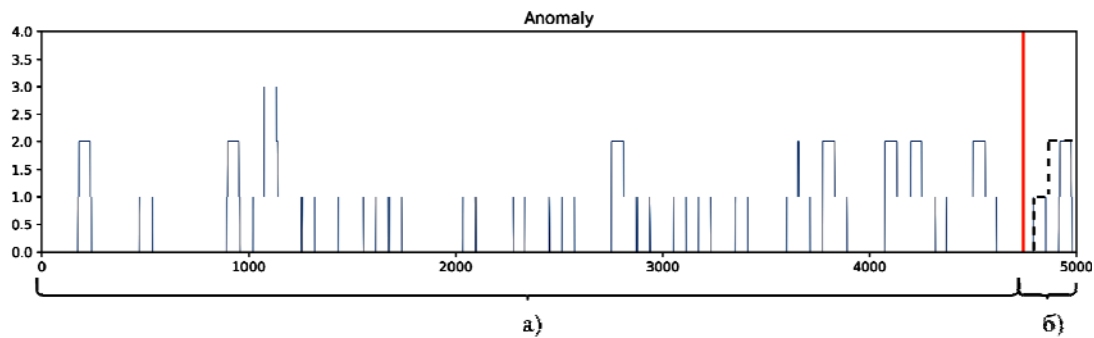


Рис. 5. График количества одновременно нарушаемых порогов SLO P – Anomaly с разделением на: а) обучающую выборку; б) тестовую выборку

В процессе оптимизации алгоритма прогнозирования под экспериментальные данные, обучающая выборка целиком будет использована в качестве базы для формирования прогноза. Количество точек прогноза в каждом раунде оптимизации определяется размером тестовой выборки.

Для оценки адекватности прогнозирования необходимо учесть небинарный результат прогноза. Применение более комплексных показателей, отличных от *accusacy*, таких как FPR, TPR, ROC, AUC – требует дополнительных уточнений на многоклассовость перед интерпретацией их численных показателей [14].

Заключение

Проанализированы подходы к визуализации многомерных «исторических данных».

Рассмотрен способ визуализации прогноза, сформированного разработанным алгоритмом прогнозирования состояний КС с использованием многозначных зависимостей при помощи преобразования категориального маркера состояния КС к метрическому интегральному показателю - количеству одновременно нарушаемых порогов SLO.

Показана возможность детектирования редких аномальных состояний КС на основе введенного интегрального показателя.

Литература

1. *Shatnawi M., Hefeeda M.* Real-time failure prediction in online services // IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM). 2015. с. 1391–1399. DOI: 10.1109/INFOCOM.2015.7218516
2. *Шелухин О.И., Осин А.В., Костин Д.В.* Диагностика "здоровья" компьютерной сети на основе секвенциального анализа последовательностных паттернов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. №2. с. 9-16. Doi:10.36724/2072-8735-2020-14-2-9-16
3. *Chen Y., Qiu M., Pi D., Yuan P.* An indoor trajectory frequent pattern mining algorithm based on vague grid sequence // Expert Systems with Applications. 2019. Т. 118. С. 614-624. Doi:10.1016/j.eswa.2018.08.053
4. *Молодцов Д. А., Осин А. В.* Новый метод применения многозначных закономерностей, Нечеткие системы и мягкие вычисления, 2020, том 15, выпуск 2, 83-95 DOI: <https://doi.org/10.26456/fssc72>
5. *Молодцов Д. А.* Сравнение и продолжение многозначных зависимостей // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2016. №11. С. 115-145.
6. *Шелухин О.И., Раковский Д.И.* Выбор метрических атрибутов редких аномальных событий компьютерной системы методами интеллектуального анализа данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 6. С. 40-47. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-6-40-47
7. *Шиманович К., Скородумова Е.А.* Алгоритм обучения CBOW архитектуры для векторизации слов // В сборнике: технологии информационного общества. Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». 2021. С. 188-191.
8. *Abdullahi S.S., Aminu A.M., Bello M., Yiming S., Muhammad S.H., Mustapha A., Abdullahi A., Aliyu S.M.* Deep sequence models for text classification tasks // В сборнике: 3rd International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering, ICECCE 2021. 3. 2021. DOI: 10.1109/ICECCE52056.2021.9514261
9. *Hongnan T., Xin G.B.* Research on improved sentence similarity calculation method based on WORD2VEC and synonym table in interactive machine translation // в сборнике: 2021 5th International Conference on Robotics and Automation Sciences, ICRAS 2021. 5. 2021. С. 255-261. DOI: 10.1109/ICRAS52289.2021.9476427
10. *Новикова Е.С., Волосюк А.А., Бестужев М.П., Коннова А.В., Лавров А.В.* Исследование методик визуализации данных, получаемых от киберфизических систем // В сборнике: альманах научных работ молодых учёных университета ИТМО. XLIX научная и учебно-методическая конференции Университета ИТМО. Санкт-Петербург Университет ИТМО, 2020. С. 173-179.
11. *Курилов А.С.* Исследование существующих визуальных моделей многомерных данных и их метафор визуализации // В сборнике: Физико-техническая информатика (СРТ2020). Материалы 8-ой Международной конференции. Нижний Новгород, 2020. С. 89-93.
12. *Большаков А.С., Жила А.И., Осин А.В.* Управление информационной безопасностью персональных данных с использованием нечеткой логики // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 4. С. 37-47.
13. *Шелухин О.И., Костин Д.В., Резник И.Ю.* Мониторинг и структура аномальных паттернов системных журналов компьютерных систем // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2020. Т. 10. № 2. С. 3-8.
14. *Бубнов А.А., Гусев М.А., Майков К.А., Пылькин А.Н.* Интерпретируемый метод многоклассовой классификации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2021. № 76. С. 74-80.