

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ И ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**А.Г. Нестеренко, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Изложены основные проблемы, связанные с разрешением противоречий между возрастающими требованиями органов управления к качеству и устойчивости связи и ограниченными возможностями сетей, построенными на устаревших и функционально ограниченных средствах и комплексах многоканальной радиосвязи, и недостаточным уровнем развития теоретических основ решения задач оптимизации функциональных характеристик сетей многоканальной радиосвязи в условиях неопределенности и конфликтности воздействия внешней среды.

Ключевые слова: система управления, многоканальная радиосвязь, каналообразование, теория систем, сети связи, функциональные характеристики

ANALYSIS OF THE CONDITIONS OF THE NETWORKS OF MULTI-CHANNEL RADIO AND THE PROBLEMS OF OPTIMIZATION OF THEIR FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

A.G. Nesterenko. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article describes the main problems associated with the resolution of conflicts between the increasing demands of management to quality and sustainability of communication and accessibility network, built on the legacy and functional limitations of facilities and complexes multi-channel radio and underdevelopment theoretical foundations for solving optimization problems of the functional characteristics of a multi-channel radio network in conditions of uncertainty and conflict to the external environment.

Keywords: control system, multi-channel radio, channeling, systems theory, communication networks, functional characteristics

Успехи в развитии информационных технологий на рубеже XX–XXI вв. открыли перспективы использования широкого спектра услуг по обработке информации в системах управления (СУ). Распределенный характер пользователей данных услуг привел к видоизменению и существенному возрастанию требований к услугам, предоставляемым системами связи, что обусловило соответствующее развитие сетевых технологий.

В первую очередь новые сетевые технологии нашли отражение в построении цифровых сетей интегрального обслуживания, являющихся преемниками сетей цифровой телефонии и передачи данных. При этом на фоне явно выраженной тенденции к интеграции информационных сетей все более заметной становится проблема разобщенности средств каналообразования транспортных сетей. Особенно контрастно выглядит данная проблема для средств радиорелейной (РРС), тропосферной (ТРС) и спутниковой связи (СС), являющихся материальной основой построения сетей многоканальной радиосвязи (МКРС).

Существующие МКРС, образованные средствами РРС, ТРС и СС, не в состоянии удовлетворить новым требованиям СУ как по связи, отличающейся повышенным разнообразием и динамикой изменений, так и по устойчивости к оптимизированному противодействию со стороны автоматизированных высокоинтеллектуальных систем

радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Эффективность новых технических решений (и в первую очередь закладываемых в них алгоритмов функционирования) требует проверки. Для разрешения данных сомнений нужна строгая, но в то же время конструктивная теория, которая могла бы стать системно-объединяющей основой различных методов, позволяющих с единых методологических позиций оценивать предлагаемые новые организационные и технические решения в области сетей МКРС и обосновывать предложения по их оптимизации.

Отдельным вопросам оптимизации характеристик средств и комплексов РРС, ТРС и СС с учетом предъявляемых требований по связи и выявленных свойств естественной среды распространения радиоволн в последние десятилетия уделялось большое внимание, в результате чего появился современный парк аналого-цифровых и цифровых средств МКРС, лидером которого, без сомнения, являются комплексы средств единой системы спутниковой связи. Однако упор на пассивную инвариантность к внешним условиям в рамках отдельных средств и комплексов привел к их громоздкости, неповоротливости и экономической нереализуемости во всем объеме намеченных планов развития, что в условиях современного экономического кризиса в стране и изменения потребностей в структуре информационных услуг во многом обесценило достигнутые результаты.

В связи с изменившимися условиями создания и использования средств МКРС возобновились исследования вопросов их комплексирования и интеграции на базе идеи создания сетей общего пользования. Намечившиеся перспективы интеграции средств и комплексов МКРС требуют для своей реализации проведения всесторонних научных исследований с целью систематизации использования известных научных методов решения оптимизационных задач и определения направлений разработки новых методов.

МКРС является сложной многоуровневой управляемой системой, в связи с чем основной проблемой различных контуров управления от уровня принятия решений в трактах передачи и приема сигналов до уровня прогнозирования эволюционного развития МКРС является неопределенность предстоящих условий функционирования. В настоящий момент сложилось два принципиально различающихся подхода к решению данной проблемы: оптимистический, предполагающий наличие возможности достаточно точно предсказать параметры данных условий, пессимистический, рекомендуемый рассчитывать только на наихудший случай.

Из известных строгих методов к первому подходу можно отнести адаптивное моделирование, а ко второму – игровое. Очевидно, первый подход приводит к большим потерям при реализации условий отличных от прогнозируемых, что особенно характерно для условий конфликтного взаимодействия со средствами РЭБ, а второй подход заведомо требует большого расхода ресурсов, даже если реальные условия позволяют этого избежать, например, за счет согласования действий средств связи, преследующих общие цели. Отсюда явно напрашивается вывод о необходимости компромисса в использовании указанных подходов. Но вопрос о том, что должен из себя представлять подобный компромисс, в частности, при решении задач оптимизации функциональных характеристик МКРС, остается открытым.

Таким образом, определяется необходимость разрешения противоречий, обусловленных следующими двумя основными группами факторов.

Первая группа факторов – наличие ряда практических противоречий между постоянно возрастающими требованиями органов управления к качеству и устойчивости связи, обеспечиваемой при передаче информации по каналам транспортных сетей МКРС, и ограниченными возможностями данных сетей, развертываемых на базе существующих технологически устаревших и функционально ограниченных средств и комплексов МКРС.

Вторая группа факторов – недостаточный уровень развития теоретических основ решения задач оптимизации функциональных характеристик сетей МКРС в условиях неопределенности и конфликтности воздействия внешней среды. Указанный недостаток проявляется, прежде всего, в конструктивной незавершенности, в ограниченном

использовании и в отсутствии систематизации методов решения подобных задач.

Неформальный анализ МКРС с целью вскрытия проблем их функционирования в составе систем связи предполагает наличие некоторого формализма используемых понятий и логики рассуждений в рамках некоторой методологии исследований. Учитывая сложность объекта исследований, в качестве такой методологии можно использовать общую теорию систем [1], которая составляет относительно конструктивную часть до конца не сформировавшейся, но еще более общей теории сложных систем (системологии) [2].

В соответствии с общей теорией систем основу методологии решения системных задач составляет системный подход, представляющий собой совокупность общих принципов и рекомендаций, определяющих научную и практическую деятельность исследователя при анализе и синтезе сложных систем. Существо системного подхода выражается в двух аспектах: понимании объекта исследования как системы и самого процесса исследования как системного по своей логике и применяемым средствам. Учитывая данные аспекты, можно представить процесс эволюции исследуемой системы в виде взаимосвязанной последовательности решения проблем практики и теории, а также связывающих их проблем перехода от практики к теории (моделирование) и от теории к практике (реализация).

Уточним, что представляет собой объект исследования – МКРС – это вид многоканальной электросвязи, осуществляемой посредством радиоволн [3]. В зависимости от используемого механизма распространения радиоволн (РРВ) к системам многоканальной радиосвязи (СМКРС) традиционно относят сети и линии РРС, ТРС и СС, общим для которых является использование последовательных ретрансляций радиосигналов для передачи информации от многих пользователей на большие расстояния.

Элементами (подсистемами) СМКРС как сетей и линий связи являются средства и комплексы РРС, ТРС и СС. В свою очередь, СМКРС является подсистемой всей системы связи. Учитывая ведомственную принадлежность (то есть, принадлежность к системам еще более высокого уровня), будем полагать, что речь идет о системе связи, являющейся подсистемой СУ МЧС России.

Границы целостности системы МКРС и отличие ее от других систем, входящих в систему связи, проявляются уже в самом названии рассматриваемой системы. От проводных систем связи СМКРС отличается используемой средой для передачи сигналов с менее высоким качеством связи, а от систем радиосвязи (в традиционном толковании) – преобладающей многоканальностью и использованием более высокочастотных диапазонов радиоволн, позволяющих обеспечивать более высокое качество связи. В то же время, общим для всех трех рассматриваемых систем является их функция каналаобразования, отличающая данные системы как системы, образующие транспортные сети.

С точки зрения внешней системы (надсистемы по отношению к системе связи) от системы связи требуется обеспечивать передачу информации в нужные моменты времени между заданными точками пространства в заданной форме, заданного объема и за определенное время. Задача построения такой системы связи является основной постоянно возрождающейся проблемой, требующей все новых и новых решений по мере изменения и расширения потребностей надсистемы.

Перечисленные выше требования отражают ожидаемое внешней системой проявление свойств процесса связи, в которые обобщенно включаются своевременность, достоверность и безопасность. Возможно, неявное в указанных требованиях требование к безопасности связи отражается в необходимости передачи информации именно в заданную точку пространства, связанную с конкретным абонентом, не допуская утечки информации в другие точки. При этом частичная утечка информации может происходить также за счет побочного проявления самого факта передачи информации, что иногда более точно характеризуют свойством скрытности связи.

Любую систему связи с точки зрения внешних пользователей можно представить в виде совокупности однонаправленных одноканальных линий связи, соединяющих в нужный момент расположенные в заданных точках пространства точки входа и выхода,

согласованные по всем параметрам с источниками и получателями информации. Главной внутренней задачей системы связи при этом является преобразование входных сигналов в форму, пригодную для передачи от точек входа к точкам выхода с минимумом искажений через используемую среду, а затем преобразование внутренней формы сигналов в заданную форму выходных сигналов. При этом возможности решения данной задачи ограничены такими внешними факторами, как дестабилизирующее воздействие внешней среды и наличие некоторого ресурса, доступного для использования системой связи. Наряду с требованиями к связи внешней системы пользователей, данные факторы образуют совокупность внешних условий, влияющих на функционирование системы связи.

Количественные параметры информационного содержания системы можно считать ее внутренними функциональными характеристиками, а количественные параметры взаимодействия с внешними системами – внешними функциональными характеристиками.

Три группы входов и выходов системы связи по отношению к внешним системам можно интерпретировать как группы взаимных требований и возможностей их выполнения, соответственно:

- по связи;
- по затратам;
- по устойчивости.

Главным с точки зрения целевого предназначения системы связи является выполнение требований к связи. Прогресс именно в данном направлении наиболее заметен внешнему наблюдателю (пользователю). С другой стороны, развитие системы связи в данном направлении обеспечивает должное внимание к ней со стороны внешней системы, что приводит к выделению дополнительного ресурса на развитие системы связи. При этом часто наблюдается упреждающее развитие в данном направлении, когда система связи демонстрирует внешней системе пользователей возможность выполнения таких требований, которые ей ранее не задавались. Такая «обратная связь» демонстрирует в некотором смысле возможность управления со стороны системы связи – потребностями пользователей.

Обеспечение реализуемости все новых и новых требований к связи наиболее явно проступает в области услуг по преобразованию сигналов – носителей информации из одной формы в другую в точках входа и выхода системы связи.

Очевидно, повышенная пространственно-временная динамика проведения аварийно-спасательных работ в Арктической зоне, контролируемых и управляемых со стороны распределенных органов СУ, приведет к возрастанию объемов информационных потоков между ними. Кроме того, наблюдаемая тенденция к сокращению численности состава аварийно-спасательных формирований не компенсирует этого возрастания, а наоборот из-за усиления автоматизации и информационной насыщенности управляемых процессов потребует дополнительного увеличения пропускной способности каналов связи.

В соответствии с современными взглядами на информационное обеспечение процессов управления система связи должна предоставлять возможность передачи разнородных видов информации.

Попытки обслужить потребителей новых услуг только силами сетей при использовании типовых фиксированных каналов транспортных сетей вызовут чрезмерно большой расход потребляемых ресурсов МКРС, причем даже без учета расходов на компенсацию воздействия дополнительных дестабилизирующих факторов.

Увеличение степени выполнения требований по устойчивости и обеспечение реализации новых требований – является главным с точки зрения создания внутренних условий для выполнения целевого предназначения системы связи при наличии мешающего воздействия внешней среды.

В общем случае мешающее или разрушающее воздействие внешней среды следует понимать в самом широком смысле. Мешающим воздействием является практически все то, что не позволяет без дополнительных усилий со стороны системы связи иметь элементам внешней системы в нужный момент в нужном месте нужную информацию.

При этом пространственно данная внешняя среда охватывает не только действительно внешнюю по отношению к элементам системы связи среду, но и их внутреннюю среду, и сами эти элементы, и элементы внешней системы пользователей, то есть все то, что может быть источником неопределенности результатов функционирования элементов системы связи в процессе обмена информацией.

Наиболее актуальными требованиями по устойчивости оказываются при увеличении разнообразия условий воздействия внешней среды вследствие необходимости обмена информацией между элементами внешней системы как в традиционных, так и во все новых и новых условиях. Особенно возрастает важность выполнения данных требований при необходимости обеспечения связи в Арктической зоне, где присутствуют сложные электромагнитные условия, выступающей в данном случае по отношению к системе связи мешающей внешней средой.

По аналогии с упреждающим выполнением требований по связи система связи может демонстрировать внешней системе способность работать в новых условиях воздействия внешней среды, в которых внешней системой не ожидалось ее эффективное использование. Подобный путь развития соответствует экспансии системы связи на все новые и новые условия воздействия внешней среды, в которых внешней системе в некотором смысле «навязывается» использование системы связи. При этом присутствует корыстный интерес системы связи в увеличении поступающих ресурсов на обеспечение работы в новых условиях.

Обеспечение требований по устойчивости является, фактически, основным процессом в системе связи, на который расходуется внешний и внутренний ресурс.

Как следует из результатов анализа проблем функционирования существующих МКРС попытки выполнить новые требования по связи и по устойчивости старыми средствами влекут за собой необходимость чрезмерного расхода ресурсов и, все равно, до конца не решают данных проблем. Очевидно, решение данных проблем необходимо искать в области интенсивных путей развития, а не экстенсивных. Результаты научных исследований, экспериментальных разработок и используемых родственных систем могут служить основой для перенесения их опыта в информационное содержание МКРС.

Функциональные характеристики (ФХ), отражая характеристики выполняемых функций (в процессе функционирования), указывают как на ожидаемый результат функционирования (внешние ФХ), так и на правила (средства) его достижения (внутренние ФХ). Иерархии МКРС соответствует иерархия внешних и внутренних ФХ. При этом внешние ФХ могут выступать в роли показателей качества или эффективности, а определяющей стороной внутренних ФХ являются правила выполнения заданных функций (режимы, протоколы, алгоритмы и т.п. функционирования и управления).

В настоящее время очевидные преимущества в оперативности изменения структуры и коммутации дискретных сигналов в элементах информационных сетей частично используются ими для решения проблем транспортной сети путем использования различных алгоритмов повышения достоверности и управления маршрутизацией. Однако при этом практически не используются возможности современных и перспективных многофункциональных средств МКРС в согласованном изменении высокочастотной структуры модулированных сигналов и направленности излучения радиоволн, сопровождаемых перераспределением их энергии в пространстве и во времени.

В то же время, динамическое согласование структуры высокочастотных и низкочастотных многоканальных сигналов, сигнальных и кодовых алгоритмов повышения достоверности, алгоритмов маршрутизации и управления направленностью антенн, а также согласование пространственного положения подвижных средств МКРС на земле, в воздухе и космосе (например, по принципу объемных сетей [4]) позволит реализовать построение транспортных сетей с переменной структурой, устойчивых как к изменениям условий распространения радиоволн, так и к изменениям потребностей пользователей.

На пути реализации новых функциональных возможностей совершенствования ФХ,

наряду с экономическими трудностями, встают сложности внутрисистемного характера, вытекающие из традиционного отношения к МКРС как к сильно инерционной системе. Реализация известных способов распределения сигнально-энергетических ресурсов может дать положительный эффект только при активном динамическом взаимодействии средств МКРС с оконечной и коммутационной аппаратурой информационных сетей в рамках единых телекоммуникационных сетей связи, что, в конечном счете, соответствует давно проповедуемой идее интеграции сетей связи в инфокоммуникационные.

Еще одной проблемой реализации новых функциональных возможностей МКРС является рост технической сложности средств и комплексов связи, что по опыту эксплуатации многих современных, функционально насыщенных средств МКРС приводит к снижению их технической надежности. Данную проблему можно отнести к проблемам роста в переходный период, когда новые задачи решаются старыми методами (технологиями).

Таким образом, оптимизацию ФХ сетей МКРС целесообразно осуществлять за счет увеличения степени их управляемости и обеспечения способности функционировать различным образом в различных условиях. При этом средства МКРС должны иметь возможность перераспределять частотный, пространственно-временной и энергетический ресурс, а также переводить пропускную способность в уровни помехозащиты и обратно, отслеживая текущие запросы пользователей и условия воздействия внешней среды в реальном масштабе времени.

Литература

1. Попов А.А., Телушкин И.М., Бушуев С.Н. Основы общей теории систем. СПб.: ВАС, 1992. 248 с.
2. Флейшман Б.С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982. 368 с.
3. Терентьев В.М., Паращук И.Б. Теоретические основы управления сетями многоканальной радиосвязи. СПб.: ВАС, 1995. 195 с.
4. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы: учеб. для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 416 с.