

*Ю. Л. Николашин*

Кандидат технических наук, генеральный директор,  
ПАО «Интелтех» (Санкт-Петербург)

*И. А. Кулешов*

Кандидат военных наук, доцент, первый заместитель  
генерального директора по научной работе, ПАО «Интелтех» (Санкт-Петербург)

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МЕТОДАМ СОПРЯЖЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ОЦЕНКА

В настоящее время 30 % населения земного шара проживает в городах, которые занимают лишь 1 % территории планеты. При этом население, проживающее на территории в 1 %, генерирует 60 % мирового трафика, который постоянно растет (в 10 раз по сравнению с 2014 годом).

Сопоставив эти две тенденции, становится очевидным, что требования к пропускной способности сетей стремительно растут, как растут и ожидания потребителей относительно скорости и надежности передачи данных. Для решения этой проблемы перед телекоммуникационными сетями поставлена цель — создание сетей, которые были бы интегрированы на самых разных уровнях, сочетали различные стандарты и технологии, обеспечивая бесшовный переход из одного стандарта к другому, от одной технологии к другой. Такие сети должны не просто сочетать разные стандарты, но и обеспечивать полное взаимодействие между различными сетевыми уровнями, а также сетями, построенными на разных технологиях доступа.

Проблема объединения и согласования разнородных сетей для обеспечения межведомственного обмена информацией в настоящее время стоит очень остро. В развитых зарубежных странах, которые уже находятся в пятом и частично шестом технологическом укладе (США, Япония), эта проблема разрешена. Для РФ, которая находится в четвертом, а частично и в третьем технологическом укладе, эту проблему только

предстоит решить. В настоящее время она в РФ решается, в основном, экстенсивными методами (строительством новых линий и сетей связи), что является очень затратным и не повышает надежность системы в целом.

В настоящее время ведущие технологически развитые страны активно развивают сети связи специального назначения (СН), функционирующие в интересах различных силовых структур и органов государственной власти. Основными мировыми тенденциями развития этих сетей является использование в них ресурсов различных сетей связи (как собственных, так и общего пользования). Ввиду того, что в сетях связи общего пользования наблюдается качественный переход к новым сетевым технологиям (концепция *NGN*, пакетные технологии передачи, использование технологий виртуализации), а в сетях связи силовых структур до настоящего присутствуют аналоговые и низкоскоростные средства каналообразования и коммутации.

Движение к поставленной цели в РФ привело к появлению нового класса сетей, обеспечивающих информационный обмен в интересах решения отраслевых и государственных задач. Данные сети, как правило, образуются посредством объединения различных ведомственных сетей, имеющих, разные принципы построения, сетевые технологии доставки и/или защиты информации, и/или программно-аппаратные средства. Так в настоящее время в РФ для обеспечения функци-

онирования более 270 специализированных автоматизированных систем управления используют более 20 типов транспортных сетей связи и более 70 типов сетей доступа специального назначения различных ведомств. Всего в этом случае возможно более 7 млн вариантов построения сетей связи для обеспечения выполнения требований различных специализированных систем управления.

В РФ совокупность сетей связи СН называются гетерогенными сетями связи (ГСС) СН. Современным ГСС СН свойственен переход к децентрализованной сетевой структуре, которая в большей степени соответствует современным требованиям к системам государственного и военного управления. Также для современных ГСС СН характерен переход к гибриднему построению, когда отдельные сегменты сети связи национальных и региональных операторов связи, а также сегменты глобальных сетей используются в качестве элементов транспортной инфраструктуры ГСС СН. Кроме того, наблюдается устойчивая тенденция широкого использования в ГСС СН коммерческих протоколов и технологий из гражданской сферы связи и телекоммуникаций. Эти тенденции делают современные ГСС СН уязвимыми к атакам средств радиоэлектронного подавления и информационно-техническим воздействиям. Эти атаки могут проводиться на ГСС СН через сетевые сегменты, которые, как правило, подключены к глобальной информационно-телекоммуникационной сети Интернет. При этом среди коммерческих сетевых протоколов, которые получили широкое распространение в ГСС СН, не в полной мере отработаны механизмы защиты от таких атак, а также механизмы быстрого восстановления работоспособности.

Представленный в статье анализ будет полезен техническим специалистам для обоснования новых технологических решений в области ГСС СН.

В настоящее время существует три основных метода спряжения ГСС СН:

- трансляции;
- мультиплексирования;
- инкапсуляции.

*Метод трансляция* описан как способ согласование двух протоколов ГСС СН путем преобразования (трансляции) сообщений, поступающих от одной сети, в формат другой сети.

*Метод мультиплексирования* ГСС СН состоит в установке нескольких дополнительных стеков протоколов на одном из конечных устройств, участвующих во взаимодействии.

*Метод инкапсуляции* ГСС СН по результатам анализа заключается в том, что подключают объединяемые сети к транзитной, которая упаковывает пакеты транспортного протокола объединяемых сетей в пакеты транспортного протокола транзитной сети.

Выбор конкретного решения по построению ГСС СН в настоящее время затруднителен. Это связано с недостаточной теоретической проработкой предметной области и требует систематизации уже известных подходов и разработки новых методов оценки ГСС СН, которые учитывают их специфику:

- распределённую архитектуру построения, с образованием подсистем: информационного обмена, сигнализации (управления вызовами), управления (оборудованием, услугами и их качеством), информационной безопасности и др.;
- многокомпонентный трафик с самоподобной структурой, а также необходимость обеспечения в данных условиях устойчивости к воздействию дестабилизирующих факторов различной природы и сквозного качества обслуживания на основе введения классов качества по задержкам и потерям пакетов определяемых по видам услуг, категориям пользователей и подсистемам (сигнализации, управления и др.);
- дефицит информации о программных реализациях сетевых методов управления и большими затратами по перенастройке под новые применения.

Для оценки данной специфики в подходах к построению ГСС СН разработан научно методический аппарат. Проведенный анализ позволил разделить методы оценки на классы:

- алгебраические формальные модели: марковские и полумарковские процессы, регрессионные модели, алгебраические модели, модели теории массового обслуживания;
- языковые формальные модели: формальные грамматики, логические автоматы, сети Петри, логико-лингвистические модели ситуационного управления, схемы Янова, граф-схемы и логические схемы алгоритмов Ляпунова;
- языково-алгебраические модели: сети предшествования, сети PERT, GERT сети метода критического пути, сочетание E-сетей с оценочным способом метода кусочно-линейных автоматов, функциональные и функционально-семантические сети, вероятностно-алгоритмические функциональные сети.

Анализ показывает, что алгебраические модели могут в первую очередь использоваться для количественной оценки ГСС СН, но для отражения логики структуры сети данные модели практически не пригодны. Так, например, в полумарковских процессах исходная информация в виде матриц переходных вероятностей  $P = [P_{ij}]$  и законов распределения  $F(x) = [F_{ij}(x)]$  позволяет учесть как элемент случайности в выборе поведения (при принятии решения вследствие ошибок выполнения и т. д.) за счет вероятностей  $P_{ij}$ , так и элемент случайности в длительности выполнения операций за счет законов распределения  $F_{ij}(x)$ . Однако аппарат полумарковских процессов не позволяет моделировать: выполняемые операции; конечное число повторений операций; операции, выходящие из вершины по логическим функциям «И» и «ИЛИ», которые имеют место при исследовании ГСС СН.

Языковые формальные модели позволяют хорошо описывать ГСС СН, но не имеют аналитических уравнений для количественной оценки. Так, например, класс сетей Петри (обычные сети Петри, приоритетные сети, сети Мерлина, временные сети Петри, E-сети) часто используется для описания вычислительных систем, параллельных процессов функционирования и т. д., но для оценки количественных показателей требуют использования дополнительных средств моделирования (статистических или других имитационных моделей). Языковые системы, удовлетворяя всем требованиям, связанным с описательными возможностями и автоматизацией моделирования процесса функционирования, для проведения количественной оценки требуют привлечения дополнительных средств, что затрудняет их применение для оценки эффективности ГСС СН.

Языково-алгебраические модели, в отличие от приведенных выше алгебраических и языковых моделей, обладают хорошим сочетанием свойств описательности и оцениваемости процессов функционирования. Несмотря на большие возможности сетевых методов для моделирования и оценки сложных систем, они все же имеют ограничения по описанию параллельных процессов, обладают значительной трудоемкостью в реализации аналитических методов количественной оценки и по представлению информации в логико-лингвистической форме, не позволяют моделировать потерю устойчивости основного процесса вследствие отказов и ошибок, что характерно для исследуемых ГСС СН.

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод, что аналитические методы в целом пригодны для проведения полных и исчерпывающих исследований моделируемой системы, а также дают возможность применить методы оптимизации. Однако данные условия можно реализовать лишь при исследовании сравнительно простых систем. Поэтому, применение аналитических методов для моделирования сложных систем связано с большей, по сравнению с другими методами, степенью упрощения реальности и абстрагирования. Поэтому при исследовании ГСС СН были использованы методы имитационного моделирования.

В результате имитационного моделирования и анализа были получены следующие выводы по результатам оценки методов сопряжения ГСС СН.

*Использование метода трансляции в ГСС СН имеет следующие достоинства:*

Не требуется устанавливать дополнительное программное обеспечение на рабочих станциях.

Сохраняется привычная среда пользователей и приложений, транслятор полностью прозрачен для них.

Все проблемы межсетевого взаимодействия локализованы; следовательно, упрощается администрирование, поиск неисправностей, обеспечение безопасности.

*Недостатки согласования протоколов путем трансляции состоят в том, что:*

– транслятор замедляет работу из-за относительно больших временных затрат на сложную процедуру трансляции, а также из-за ожидания запросов в очередях к единственному элементу, через который проходит весь межсетевой трафик;

– централизация обслуживания запросов к «чужой» сети снижает надежность. Однако можно предусмотреть резервирование — использовать несколько трансляторов;

– при увеличении числа пользователей и интенсивности обращений к ресурсам другой сети резко снижается производительность — плохая масштабируемость.

*Достоинства метода мультиплексирования по сравнению с трансляцией протоколов в ГСС СН заключаются в следующем:*

– запросы выполняются быстрее, за счет отсутствия очередей к единственному межсетевому устройству и использования более простой, чем трансляция, процедуры переключения на нужный протокол;

— более надежный способ — при отказе стека на одном из компьютеров доступ к ресурсам другой сети возможен посредством протоколов, установленных на других компьютерах.

*Недостатки данного подхода:*

— сложнее осуществляется администрирование и контроль доступа;

— высокая избыточность требует дополнительных ресурсов от рабочих станций, особенно если требуется установить несколько стеков для доступа к нескольким сетям;

— менее удобен для пользователей по сравнению с транслятором, так как требует навыков работы с транспортными протоколами «чужих» сетей.

*Достоинства метода инкапсуляции в ГСС СН:*

— инкапсуляция приводит к более простым и быстрым решениям по сравнению с трансляцией, так как решает более частную задачу, не обеспечивая взаимодействия с узлами транзитной сети;

— инкапсуляция может быть использована для транспортных протоколов любого уровня;

— для согласования сетей на сетевом уровне могут быть использованы различные устройства, такие как — инкапсулирующие маршрутизаторы, а также программные и аппаратные шлюзы.

Таким образом, ценность проведенных исследований заключается в разработке теоретической формы знаний в области технологии построения ГСС СН, развитии научного аппарата моделирования типовой среды сопряжения и дальнейшем развитии методологических основ повышения качества обслуживания пользовательского трафика и на стыках с гетерогенными сетями различного назначения. При этом теоретические модели позволяют проводить исследования по накоплению знаний в отношении структуры методов аналитического и имитационного моделирования ГСС СН и настройки реализующих алгоритмов.