# Обоснование требований к пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ведомственной сети передачи данных

## Justification of requirements to the capacity of leased communication channels in the interests of departmental data transmission network

**Одоевский / Odoevski S.**
Сергей Михайлович
(odse2017@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного» МО РФ (ВАС им. С. М. Буденного),
профессор кафедры.
г. Санкт-Петербург

**Григорчук / Grigorchuk A.**
Александр Николаевич
(grigorchuk.spb@mail.ru)
ВАС им. С. М. Буденного,
преподаватель кафедры.
г. Санкт-Петербург

**Кочешков / Kocheshkov A.**
Андрей Константинович
(andry_kocheshkov@yahoo.com)
ВАС им. С. М. Буденного,
соискатель.
г. Санкт-Петербург

**Ермаков / Ermakov A.**
Алексей Валентович
(ermakov-it@yandex.ru)
кандидат экономических наук, доцент.
ФГАОУ ВО «Северо-восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова»,
советник ректора.
г. Санкт-Петербург

**Ясинский / Yasinsky S.**
Сергей Александрович
(yasinsky777@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи»,
научный консультант.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: арендуемые каналы – leased communication channels; пропускная способность – capacity; обоснование требований – justification of requirements; граничные оценки – upper bounds.

Рассматриваются проблемы обоснования требований к пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ведомственной сети передачи данных и предлагаются пути их решения на основе граничных оценок с учетом доступной информации о потребностях пользователей ведомственной сети в телекоммуникационных услугах и возможностях современных сетевых технологий динамически отслеживать текущие изменения этих потребностей.

The problems of justification of the requirements to the capacity of leased communication channels in the interests of the departmental data transmission network are considered, and the ways to solve them on the basis of upper bounds taking into account the available information about the needs of users of the departmental network in telecommunication services and opportunities in modern network technologies to monitor dynamically the current changes in these needs are proposed.

Современные ведомственные сети передачи данных (ВСПД), как правило, используют в качестве транспортной инфраструктуры сети общего пользования, предоставляющие в аренду свои телекоммуникационные ресурсы. Пакетный принцип передачи и коммутации данных в современных мультисервисных телекоммуникационных сетях позволяет предоставлять в аренду ресурсы пропускной способности самого разного вида – от выделенных физических каналов с фиксированной пропускной способностью (более гарантировано, но и более затратно) до виртуальных каналов и сетей с динамически изменяемой (перераспределяемой) пропускной способностью (менее надежно, но и менее затратно).

Благодаря виртуализации предоставляемых ресурсов, в общем случае вид реальных каналов внутри транспортной сети может отличаться от вида арендуемых каналов на её границе в местах подключения ВСПД в соответствии с предъявляемыми требованиями к пропускной способности с заданным качеством телекоммуникационных услуг. В связи с тем что предъявление указанных требований осуществляется на длительный период, в течение которого потребности



2 2019.indd 29 14.06.2019 16:53:36

в объеме (составе) и качестве услуг могут изменяться, возникает традиционная проблема обоснования данных требований в условиях априорной неопределенности. Представляет интерес рассмотрение подхода к обоснованию указанных требований на основе граничных оценок, с учетом доступной информации о потребностях пользователей ведомственной сети в телекоммуникационных услугах и возможностях современных сетевых технологий, динамически отслеживать текущие изменения этих потребностей.

В качестве методической основы обоснования требований к пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ВСПД предлагается использовать универсальный подход к формализации постановок различных задач анализа и синтеза специализированных инфокоммуникационных сетей (СИКС) [1], к которым можно отнести и ВСПД, отличающиеся неопределенностью условий функционирования и возможной конфликтностью воздействия внешней среды, с помощью адаптивно-игрового моделирования (АИМ), позволяющего получать корректные граничные оценки и синтезировать устойчивые алгоритмы функционирования СИКС (ВСПД) в пределах заданных или отслеживаемых ограничений для внешних воздействий [2–3].

На основании приведенных в [1–3] принципов АИМ процесс функционирования любых объектов СИКС обобщенно может быть представлен динамической моделью их взаимодействия с другими объектами в условиях антагонистического и неантагонистического (кооперативного или инвариантного) взаимодействия на основе взаимосвязанных контуров управления трех типов (рис. 1).

Как видно из рис. 1, макрообъект, описывающий совокупность взаимодействующих объектов СИКС, антагонистической и неантагонистической среды, представляется в виде композиции следующих элементов:

$S$ – объект управления (ОУ);

$X$ – системы принятия решения на управление (СПРУ);

$H$ – канала наблюдения (КН);

$U$ – канала управления (КУ);

$Y$ – системы принятия решения на подавление (СПРП);

$R$ – канала разведки (КР);

$V$ – канала подавления (КП);

$Z$ – системы принятия решения на воздействие (СПРВ);

$C$ – канала слежения (КС);

$B$ – канала воздействия (КВ).

В рамках данной динамической модели задача анализа и/или синтеза СИКС как управляемой системы, рассматривается как задача анализа и/или синтеза стратегии (оператора) управления ее состоянием. При этом к СПРУ относятся неизвестные (искомые) в задаче синтеза элементы системы (отражающие ее внутренние функциональные характеристики – ФХ), где к СПРП относятся неизвестные элементы антагонистической среды, а к СПРВ – заданные или априорно неизвестные, но адаптивно отслеживаемые элементы неантагонистической среды. Остальные объекты модели позволяют создать ограничения рассматриваемой страты системы моделей (энергетические и динамические – КУ, КП, КВ, информационные – КН, КР, КС) на реализуемые в ней процессы управления, подавления и взаимодействия, а также их влияния на состояние ОУ.

ОУ является носителем внутренних ФХ и представляет собой совокупность всех тех элементов системы, на управление которыми направляется разрабатыва-

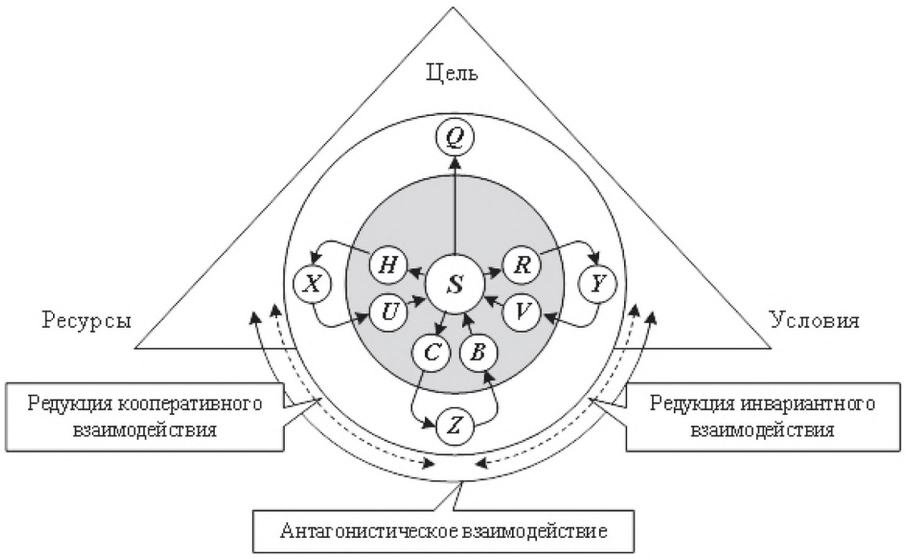


*Рис. 1. Динамическая модель функционирования объектов СИКС в условиях антагонистического и неантагонистического (кооперативного или инвариантного) взаимодействия*



2 2019.indd 30 14.06.2019 16:53:36

емая модель, наблюдение за которыми целесообразно учитывать при выработке решения на управление состояниями системы, наблюдение за которыми может оказаться полезным условному противнику для выработки решения на подавление системы и от которых непосредственно зависят анализируемые показатели эффективности (внешние ФХ).

Последняя особенность ОУ отражена на рис. 1 со связью данного объекта с внешними ФХ – показателями качества (эффективности) $Q$, которые объединяются в один (или из которых выделяется один) обобщенный показатель эффективности (ОПЭ) $Q$.

Отдельные из введенных объектов могут представляться в виде композиции составляющих элементов, что позволяет более просто задавать и интерпретировать их описание. В частности, ОУ может представлять собой суперпозицию состояний каналов управления, подавления и воздействия. В этом же отношении существенной является декомпозиция СПРУ по подсистемам принятия решений различных уровней иерархии, неантагонистическое взаимодействие которых может отражаться в виде соответствующих ограничений СПРВ.

Для упрощения решения задач анализа или синтеза и получения граничных оценок, отражающих устойчивые предельные ФХ (в соответствии с принципами корректности АИМ [1–3]) целесообразно преобразовывать трехконтурную динамическую модель в двухконтурную, объединяя контур неантагонистического взаимодействия, как показано пунктирными стрелками на рис. 1, или с контуром управления (редукция кооперативного взаимодействия), или с контуром подавления (редукция инвариантного взаимодействия).

Кроме того, выделение только двух контуров управления и подавления может соответствовать предельному случаю отсутствия или незначительного вклада контура неантагонистического взаимодействия в состояние ОУ. С другой стороны, общность рассматриваемой модели позволяет при отсутствии антагонистического взаимодействия оставлять только контуры адаптивного управления СПРУ и СПРВ и решать задачи оптимизации классического адаптивного (неигрового) управления, характерные для современных мультисервисных сетей с динамически изменяемой (перераспределяемой) пропускной способностью (как собственных, так и арендуемых каналов связи) в зависимости от текущих случайных условий функционирования.

При анализе СИКС (ВСПД) в целом или отдельных участков сети по отдельности следует ориентироваться на существование внешних систем, которые формируют цель функционирования, требования к показателям качества предоставляемых услуг, а также определяют внешние условия функционирования и доступные ресурсы.

На рис. 2 приведена модель взаимодействия рассматриваемой части СИКС (собственных средств ВСПД) и внешней части сети (предоставляющей арендуемые каналы связи) с внешними системами, показывающая различную степень общности и охвата внешних и внутренних функциональных характеристик [1].

В правой части рис. 2 показана символическая треугольная модель взаимодействия рассматриваемой части сети с внешними системами, характеризуемыми заданными или рассчитываемыми показателями качества услуг ($Q_{тр}$ или $Q$), расхода ресурсов ($\$_{доп}$ или $\$_{тр}$) и уровня внешних воздействий ($U$ или $U_{доп}$).

К характеристикам рассматриваемой части сети (собственных средств ВСПД) относятся все характеристики, которые на рис. 2 обозначены без штриха обычным шрифтом. К характеристикам остальной части СИКС относятся внешние сети, предоставляющие арендуемые каналы связи, которые обозначены штрихом, а в целом для всей сети (но по отношению к рассматриваемой части) – жирным шрифтом.

В левой части рис. 2 показана условная нумерация пяти моделей внутренних и внешних характеристик СИКС (ВСПД). Кружок под номером 1 обозначает модель рассматриваемой части сети $m$, под номером 2 – модель ресурсов \$, под номером 3 – модель мешающих факторов $U$, под номером 4 – модель остальной части сети (включая арендуемые каналы) $m'$, под номером 5 – модель потребностей пользователей $Q$.

На рис. 3 приведены варианты учета причинно-следственных связей между моделями внутренних и внешних характеристик рассматриваемой части сети при решении различных прямых и обратных задач анализа и синтеза.

Сплошные и пунктирные стрелки на входах и выходах отдельных моделей на рис. 3 символизируют исходные данные и результаты расчетов в каждом из вариантов учета причинно-следственных связей между моделями. Сплошные линии непосредственно связаны с внутренними ФХ собственной части сети, а пунктирные отражают взаимосвязь внешних ФХ между собой.

Основным вариантом причинно-следственных связей является вариант, показанный на рис. 3а, который отражает естественную направленность (очередность во времени) процессов влияния ресурсов, условий и параметров сети (сетевых технологий) на показатели качества услуг. Такая причинно-следственная связь моделей ФХ (рис. 3а) наиболее часто встречается при имитационном и/или аналитическом моделировании с целью анализа используемых технологий (или планируемых для использования) в рассматриваемой (синтезируемой) части сети по показателям качества услуг при заданных ресурсах (в том числе предоставляемых другими сетями) и заданных внешних мешающих условиях.

При заданных требованиях к качеству услуг актуальным является решение «обратных задач» анализа (и/или синтеза) технологий построения участков СИКС (ВСПД), направленных на вычисление требуемого



2 2019.indd 31 14.06.2019 16:53:37

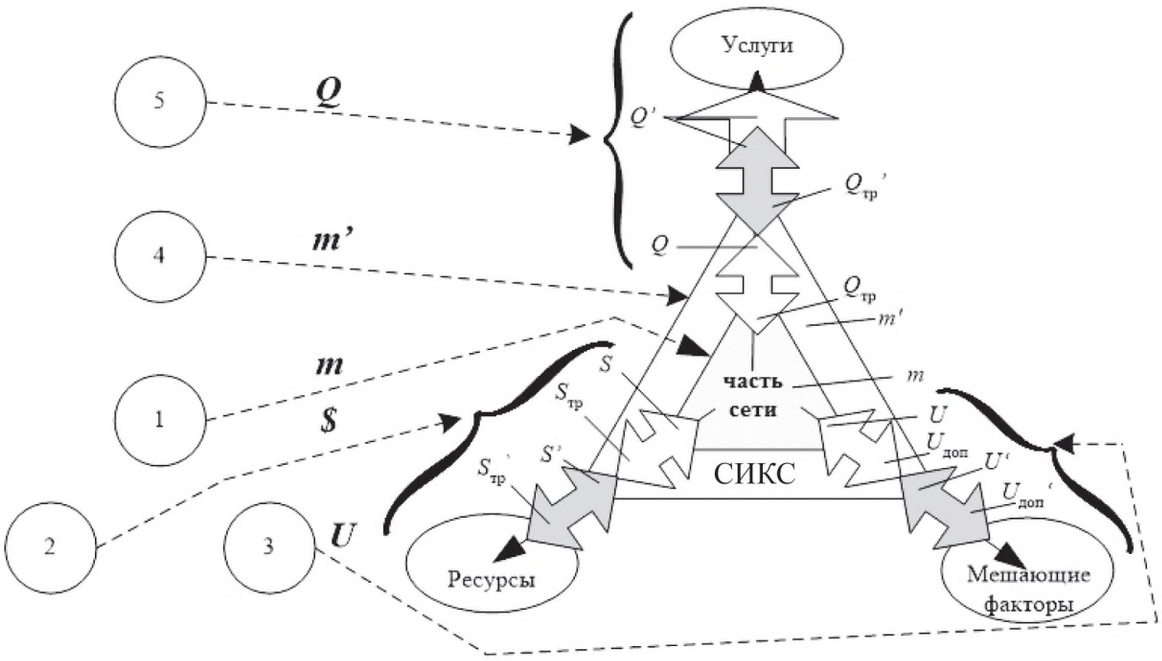


*Рис. 2. Модель взаимодействия рассматриваемой части сети с внешними системами*

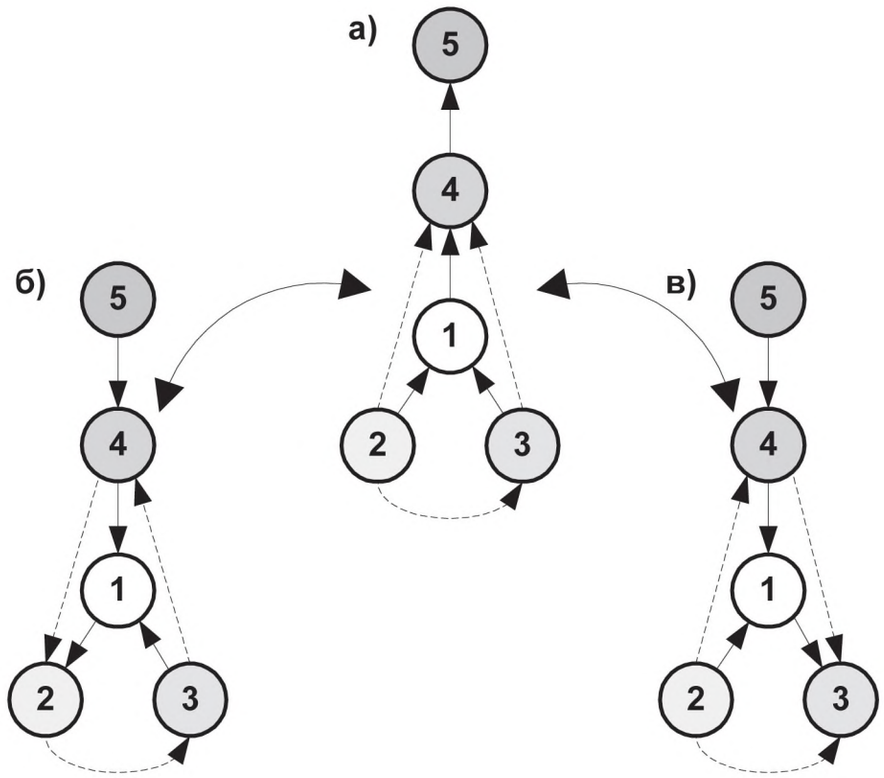


*Рис. 3. Варианты учета причинно-следственных связей между моделями внутренних и внешних характеристик анализируемой части СИКС*



2 2019.indd 32 14.06.2019 16:53:37

количества ресурса (в том числе, например, ресурса пропускной способности, предоставляемого внешними сетями) при заданных условиях внешних воздействий (рис. 3б) или на вычисление допустимого уровня внешних воздействий при заданном объеме доступных ресурсов (рис. 3в). Для подобных «обратных задач» далеко не всегда существуют удобные для расчетов аналитические зависимости. Поэтому с целью получения количественных результатов в подобных случаях решения «обратных задач» обычно используется итерационный перебор исходных данных для моделей, применяемых при решении «прямой задачи» (рис. 3а).

Использование рассмотренных выше моделей внутренних и внешних характеристик и моделей процессов функционирования в комплексе дает возможность подойти к синтезу СИКС (ВСПД) с трех позиций, которые представлены в [1] в виде трех вариантов математической постановки задачи синтеза. В рамках рассматриваемой в настоящей статье задачи обоснования требований к пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ВСПД представляет интерес второй вариант постановки задачи синтеза из [3].

Согласно данному варианту постановки задачи (соответствует варианту причинно-следственных связей на рис. 3б) необходимо задаться параметрами (ограничениями) внешних мешающих условий $U_{доп}$, требованиями к качеству услуг связи $Q_{тр}$ и из предполагаемого множества технологий построения собственной части СИКС (ВСПД) $M$, выбрать такую технологию (группу технологий или управляемые параметры технологий) $m^*$, при которой с учетом технологий $m'$, используемых во внешней части сети (предоставляющей арендуемые каналы связи), все показатели качества услуг при любом возможном проявлении внешних условий $\forall \boldsymbol{u} \in \boldsymbol{U}_{доп}$ будут в норме $\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{m}|\boldsymbol{m}',\boldsymbol{u}) \in \boldsymbol{Q}_{тр}$, а общие затраты $\$(m,m')$ минимальными, то есть:

$$\boldsymbol{m}^* = \arg\min_{m \in M} \$(m,m') \Big| \boldsymbol{Q}(m \mid m',\boldsymbol{u}) \in \boldsymbol{Q}_{тр}, \forall \boldsymbol{u} \in \boldsymbol{U}_{доп}. \quad (1)$$

Представление сетевых технологий во внешней части сети $m'$ в обозначении $\boldsymbol{Q}(m|m',\boldsymbol{u})$, как некоторых учитываемых параметров, на практике может принимать вид одного из трех вариантов «сотрудничества» (если не в целом, то в части касающейся отдельных параметров) собственной части ВСПД и внешней части сети (предоставляющей арендуемые каналы связи), отмеченных на рис. 1, как кооперативное, инвариантное или антагонистическое взаимодействие, которое для каждого варианта по-своему сказывается на минимально необходимые затраты для обеспечения заданного качества услуг.

Общие затраты $\$(m,m')$ можно разложить на две составляющие: $\$(m)$ – затраты на реализацию технологий $m$ в собственной части ВСПД и $\$'(m')$ – затраты на получение услуг со стороны внешней части сети на базе технологий $m'$. Именно вторая составляющая часть затрат $\$(m')$ отражает расходы на аренду каналов связи с некоторой пропускной способностью $C'(m')$ определенного качества $Q'(m',u')$, в общем случае зависящего от условий функционирования внешней части сети $\boldsymbol{u}' \in \boldsymbol{U}'_{доп} \subset \boldsymbol{U}_{доп}$.

Следует отметить, что пропускная способность $C'(m')$ с точки зрения внешней части сети является одной из характеристик качества предоставляемых этой сетью услуг $\boldsymbol{C}'(\boldsymbol{m}') \in \boldsymbol{Q}'(\boldsymbol{m}',\boldsymbol{u}')$ и выделена в данном случае только для удобства обоснования требований именно к данному показателю. В то же время для собственной части ВСПД эта пропускная способность выступает в роли ресурса, на который приходятся соответствующие затраты $\$(C') \sim \$(m')$, и который влияет на ограничение множества $M(C')$ возможных технологий $m$.

По аналогии с предыдущими рассуждениями можно выделить пропускную способность $C$ $(m)$ и показатели качества каналов в своей части ВСПД $Q(m,u)$, $\boldsymbol{u} \in \boldsymbol{U}_{доп} \subset \boldsymbol{U}_{доп}$. Совместный вклад в качество связи «из конца в конец» собственной и внешней части сети будет определять вид критериальной функции (определяющей критерий пригодности ВСПД по показателям качества предоставляемых услуг) в виде некоторой свертки:

$$\boldsymbol{Q}(m \mid m',\boldsymbol{u}) = \boldsymbol{Q}\big(Q(m,u), Q'(m',u')\big) \in \boldsymbol{Q}_{тр}. \quad (2)$$

Свертка (2) для отдельных показателей может иметь вид суммы (например, суммарная задержка), вероятности совместных событий (например, общая надежность), минимума (например, сквозная пропускная способность), логического оператора (например, поддержка совместимых протоколов) и др.

На практике сети общего пользования, предоставляющие в аренду каналы связи с пропускной способностью $C'(m')$, обычно берут на себя обязательства обеспечить некоторые нормы качества $\boldsymbol{Q}'(\boldsymbol{m}',\boldsymbol{u}') \in \boldsymbol{Q}'_{тр} \subset \boldsymbol{Q}_{тр}$, не афишируя свои технологии $\boldsymbol{m}' \in \boldsymbol{M}'$ и мешающие условия $\boldsymbol{u}' \in \boldsymbol{U}'_{доп}$ Это упрощает задачу (1) и позволяет свести её к задаче независимой оптимизации собственной части ВСПД с учетом гарантируемого качества услуг внешней части сети, предоставляющей каналы связи с требуемой пропускной способностью, имеющей вид следующей граничной оценки снизу:

$$C_{тр} = \min C' \Big| \exists m \in M(C') \to Q(m,u) \in Q_{тр}, \forall u \in U_{доп}, \quad (3)$$

где

$$Q_{тр} \to \boldsymbol{Q}\big(Q(m,u) \in Q_{тр}, Q'(m',u') \in Q'_{тр}\big) \in \boldsymbol{Q}_{тр}. \quad (4)$$

Неявная оптимизации собственной части ВСПД в (3) заключается в проверке существования (знак ∃) таких технологий (или их настроек) $m$ в пределах возможностей $M(C')$, которые предоставляет пропускная способность $C'$ арендуемых каналов, при которых выполняется своя часть требований $Q_{тр}$, выбираемых так, чтобы



2 2019.indd 33 14.06.2019 16:53:38

совместно с выполнением требований $Q'_{тр}$ со стороны внешней части сети выполнялись требования «из конца в конец» $\boldsymbol{Q}_{тр}$ (4).

Особую важность для ВСПД в (3) имеет условие $\forall \boldsymbol{u} \in \boldsymbol{U}_{доп}$, которое означает необходимость выполнения требований к качеству предоставляемых услуг в любых возможных условиях функционирования, которые для данных сетей могут иметь не только случайный (инвариантный), но и антагонистический характер. Для учета подобных условий предлагается использовать методы теории игр [2,3], позволяющие получать граничные оценки достижимых показателей качества $Q^*$ при наихудшем проявлении мешающих условий $u^*$ в пределах заданных или отслеживаемых ограничений $U_{доп}$, что позволит обосновать минимально необходимую пропускную способность $C_{тр}$, достаточную не только для обмена информации с заданным качеством, но и с заданной устойчивостью к внешним воздействиям.

За счет отмеченной выше оптимизации технологий $m$ в собственной части ВСПД удается значительно снизить потребности в ресурсах пропускной способности $C'$ арендуемых каналов связи. Основные «рецепты» такой оптимизации широко известны и уже заложены в современное сетевое и оконечное оборудование. Довольно полный обзор способов снижения требуемой пропускной способности используемых каналов связи в мультисервисных сетях приведен в [4] с демонстрацией эффекта от каждого из них:

– статистическое мультиплексирование процесса передачи моносервисного трафика;

– статистическое мультиплексирование процесса передачи пакетизированной информации;

– статистическое мультиплексирование процесса передачи мультисервисного трафика;

– динамическое распределение ресурса между поступившей заявкой и заявками, находящимися на обслуживании;

– приоритетное обслуживание трафика реального времени и использования буфера;

– гибкие тарифные схемы, которые для ВСПД реализуются с учётом разной степени важности трафика, генерируемого разными должностными лицами.

Основная идея всех перечисленных выше способов заключается в использовании статистического мультиплексирования генерируемой пользователями информации на различных отрезках времени в зависимости от возможностей оконечного и сетевого оборудования по отслеживанию «активностей» друг друга, соответствующих «активизации» текущих потребностей пользователей, что фактически соответствует кооперативному взаимодействию на рис. 1. На практике эффективность кооперативного взаимодействия ограничена объективной инерционностью каналов наблюдения $H$ и управления $U$ в мешающих условиях неустранимого воздействия инвариантной внешней среды, усиливаемого в особых случаях, характерных для ВСПД, антагонистичным противодействием, из-за которого потребности в пропускной способности арендуемых каналов приходится не снижать, а повышать для обеспечения повышенной устойчивости и безопасности.

Последнее отражает необходимость в использовании особых подходов к обоснованию требований к пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ВСПД, которые можно отнести к последнему способу из числа приведенных выше. Для такого подхода нет общепринятых «рецептов», но есть рекомендации [5, 6] по особому использованию существующих механизмов приоритезации для учета важности передаваемой информации, генерируемой различными должностными лицами, что может позволить в особых условиях снижать потребности в пропускной способности и/или «перекачивать» её избыток в дополнительную устойчивость к внешним воздействиям.

Таким образом, в настоящей статье рассмотрен подход к обоснованию требуемой пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ВСПД с системных позиций адаптивно-игрового моделирования, позволяющего учитывать, с одной стороны, возможности современных сетевых технологий динамически отслеживать изменяющиеся потребности пользователей, а с другой стороны, учитывать неопределенность особых условий функционирования, характерных для данных сетей.

## Литература

1. Варианты постановок задач анализа и синтеза инфокоммуникационных сетей специального назначения, функционирующих в условиях неопределенности и конфликта / С.М. Одоевский [и др.] // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. – 2018. – Т. 1. – С. 134–146.

2. Одоевский, С. М. Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа. Часть 1 / С.М. Одоевский, В.И. Калюка. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2009. – 216 с.

3. Одоевский, С. М. Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа / С.М. Одоевский, В.И. Калюка ; под ред. А.М. Чуднова. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та (НПИ), 2017. – 342 с.

4. Степанов, С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С.Н. Степанов. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 394 с.

5. Чапурин, Е. Н. Способы организации приоритетного обслуживания в телекоммуникационных сетях военного назначения / Е.Н. Чапурин, С.А. Падишин, И.М. Сяркин // Труды всеармейской научно-практической конференции: «Инновационная деятельность в Вооруженных силах Российской Федерации». – СПб.: ВАС, 2015. – С. 340–343.

6. Модель предоставления услуг в инфокоммуникационной сети специального назначения с использованием механизмов приоритезации трафика / Е.Н. Чапурин [и др.] / Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 21997. – М.: ФГБНУ ИУО РАО, 2016.



2 2019.indd 34 14.06.2019 16:53:38