

УДК 621.321.28

Методика оценки эффективности и обоснования структуры узлов связи специального назначения на основе расчета характеристик их пропускной способности

Предлагается методика расчета характеристик пропускной способности узла связи специального назначения, которая может быть использована для оценки эффективности его функционирования и обоснования структуры. Новизна предлагаемого подхода состоит в учете неоднородности абонентов связи по видам и объемам передаваемой информации, а также в использовании при расчетах моделей многопродуктовых сетей и потоковых алгоритмов.

А. А. АВТУШКО,

ст. преподаватель кафедры связи, подполковник, слушатель адъюнктуры (заочной формы обучения)

М. В. ПЫЛИНСКИЙ,

начальник кафедры связи, полковник, д. в. н., доцент

Военная академия Республики Беларусь

■ **Ключевые слова:**

узел связи, пропускная способность, эффективность, структура, абонент, информация, модель, многопродуктовая сеть, потоковый алгоритм.

Введение. В известных работах [1–5] по исследованию узлов связи (УС) специального назначения (СН) показан единый подход к трактовке их эффективности, под которой понимается степень соответствия узлов своему целевому назначению, но выбор показателей для оценки эффективности функционирования в каждом конкретном случае уточняется с учетом предъявляемых к УС СН оперативнотехнических требований, а также затрат на создание и эксплуатацию.

Исходя из того, что основной задачей УС СН является своевременная передача заданного потока сообщений, в дальнейшем будем придерживаться именно такой цели функционирования, полагая что своевременно исполненная реальная нагрузка по передаче сообщений является главным результатом функционирования узла, а значит, и его эффектом [2, 3]. В соответствии с таким подходом качество функционирования УС СН необходимо оценивать прежде всего с точки зрения его пропускной способности.

Основная часть. Пропускная способность УС СН определяется по его возможности передавать потоки сообщений в единицу времени с требуемым качеством и может описываться различными показателями [3, 4, 6]. Выбор того или иного показателя зависит от ряда

факторов: требований, предъявляемых к узлу; поставленных перед ним целей; специфики решаемых задач; полноты исходных данных и др.

Методика расчета пропускной способности УС СН. Очевидно, что для обеспечения своевременной передачи информации величина реальной пропускной способности УС должна быть не ниже ее требуемого значения. При этом требуемая пропускная способность УС определяется объемом и количеством сообщений, передаваемых в нем в ЧНН. Именно поэтому при оценке УС СН крайне важной задачей является прогнозирование нагрузки, особенно когда необходимо спланировать нагрузку от абонентов, создаваемую при внедрении новых служб и услуг, по которым нет статистических данных. Конкретные исходные данные должны дать сведения о количестве и распределении мест расположения источников информации, их ожидаемом приросте, а также возможных информационных потоках между сопрягаемыми узлами. Такие данные, в конечном счете, являются исходными для проектирования и оценки эффективности всех УС. Применительно к УС СН для оценки его эффективности в качестве таких исходных данных определим: количество сопрягаемых (взаимодействующих) с ним других узлов, количество абонентов и их

распределение по группам в зависимости от создаваемой удельной нагрузки.

При этом всех абонентов УС СН условно можно разделить на группы [3, 5, 7, 10]:

- 1) пользователи услугами ТЛФ-связи;
- 2) пользователи услугами ТЛФ-связи и ПД (телеграфных, факсимильных сообщений);
- 3) пользователи услугами ТЛФ-связи, ПД (телеграфных, факсимильных сообщений) и видео-конференц-связи.

Тогда коэффициенты распределения исходящей нагрузки, определяемой абонентами различных элементов узла по видам информации, можно представить в виде

$$\left\| k_i^T \right\|, \left\| k_i^{\text{ПД}} \right\|, \left\| k_i^{\text{ПДВ}} \right\|, \quad (6)$$

$$i = \overline{1, K}, \quad k_i^T + k_i^{\text{ПД}} + k_i^{\text{ПДВ}} = 1,$$

где k_i^T – коэффициент, характеризующий долю телефонной нагрузки в общей исходящей нагрузке от i -го элемента ПУ;

$k_i^{\text{ПД}}$ – коэффициент, определяющий долю телефонной нагрузки и передачи данных (телеграфных, факсимильных сообщений) в общей исходящей нагрузке от i -го элемента УС;

$k_i^{\text{ПДВ}}$ – коэффициент, устанавливающий долю телефонной нагрузки, передачи данных (телеграфных, факсимильных сообщений) и видео-конференц-связи в общей исходящей нагрузке от i -го элемента УС.

Коэффициенты, определяющие распределение исходящей нагрузки между элементами УС, могут быть представлены следующим образом:

k_{ii} – коэффициент, устанавливающий долю нагрузки i -го элемента, которая предназначена для абонентов этого же УС и является внутриузловой нагрузкой;

k_{2ij} – коэффициент, характеризующий долю нагрузки i -го элемента, которая предназначена для абонентов вышестоящих УС. Эту долю нагрузки можно назвать нагрузкой состояния;

k_{3ij} – коэффициент, определяющий долю нагрузки i -го элемента, которая предназначена для абонентов подчиненных УС и является командной нагрузкой;

k_{4ij} – коэффициент, устанавливающий долю нагрузки i -го элемента, которая предназначена для абонентов взаимодействующих УС (нагрузка взаимодействия).

Этапы расчета пропускной способности УС СН. На первом этапе с учетом исходных данных по коэффициентам распределения нагрузки, поступающей от абонентов различных элементов УС по видам информации, определяется исходящая расчетная нагрузка от каждого элемента узла по видам:

$$Z_{\text{исх } i}^T = Z_{\text{P } i} \cdot k_i^T \cdot (1 - k_{ii}^T);$$

$$Z_{\text{исх } i}^{\text{ПД}} = Z_{\text{P } i} \cdot k_i^{\text{ПД}} \cdot (1 - k_{ii}^{\text{ПД}}); \quad (7)$$

$$Z_{\text{исх } i}^{\text{ПДВ}} = Z_{\text{P } i} \cdot k_i^{\text{ПДВ}} \cdot (1 - k_{ii}^{\text{ПДВ}}).$$

На втором этапе на основании исходных данных по коэффициентам распределения нагрузки производится распределение интенсивностей потоков информации по направлениям, организованным от УС СН, т. е. формируются матрицы информационного тяготения, которые учитывают возможность несовпадения временного интервала, фиксированного ЧНН по отдельным НС, а также конкретным видам и службам связи:

$$Z_{\text{исх } ij}^{\text{ПД}} = Z_{\text{исх } i}^{\text{ПД}} \cdot (k_{2ij} + k_{3ij} + k_{4ij});$$

$$Z_{\text{исх } ij}^T = Z_{\text{исх } i}^T \cdot (k_{2ij} + k_{3ij} + k_{4ij}); \quad (8)$$

$$Z_{\text{исх } ij}^{\text{ПДВ}} = Z_{\text{исх } i}^{\text{ПДВ}} \cdot (k_{2ij} + k_{3ij} + k_{4ij}).$$

Если точные или достоверные данные по коэффициентам k_{2ij} , k_{3ij} , k_{4ij} отсутствуют, то нагрузку следует распределять согласно закону равномерного тяготения [8-10]:

$$Z_{\text{исх } ij} = Z_{\text{исх } i} \cdot \frac{Z_{\text{исх } j}}{\sum_{i=1}^N Z_{\text{исх } i}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{исх } i}$ и $Z_{\text{исх } j}$ – значения нагрузки, исходящей от i -го и j -го УС, соответственно;

N – количество УС на сети.

На третьем этапе определяется требуемая пропускная способность НС для цифровых систем передачи, исходя из того, что ее расчет для групп абонентов осуществляется в соответствии с интенсивностью работы абонентов и перечнем предоставляемых им видов связи. При этом для расчета числа пакетов, создаваемых пользователями телефонным видом связи, необходимо задаться типом кодека.

Примем частные исходные данные для абонентов телефонной связи [4, 5, 8-10]: T_{PDU} – длительность дейтаграммы (одной речевой выборки) или одного речевого пакета, определяемая для конкретного типа кодека, мс; h_0 – длительность заголовка, байт.

Поскольку количество передаваемых кадров в секунду $n_1 = 1/T_{\text{PDU}}$, размер пакетированных данных $h_1 = v \cdot T_{\text{PDU}}$, где v – скорость кодирования, байт/с. Тогда суммарный размер пакета $H = h_1 + h_0$. В этом случае число пакетов N_1 и N_2 , генерируемых первой и второй группами абонентов, определяется соотношением

$$N_1 = n_1 Z_{\text{исх } ij}^T; N_2 = n_2 Z_{\text{исх } ij}^{\text{ПД}} + N_i^{\text{ИН}} k_i^{\text{ПД}} \frac{V_2}{h_2}, \quad (10)$$

где n_2 – производительность устройства передачи пакетов данных.

Для расчета числа пакетов пользователей видео-конференц-связи в качестве частных исходных данных [4, 8-10] используются размер пакета для видеотрансляции H_B ; скорость кодирования V_B ; число каналов k .

Число пакетов при трансляции одного канала определяется выражением

$$n_3 = \frac{V_B}{H_B} . \quad (11)$$

Число пакетов, генерируемых третьей группой пользователей в ЧНН, представляется слагаемыми вида

$$N_3 = n_1 Z_{исхij}^{ТПДВ} + N_i^{ИН} k_i^{ТПДВ} \frac{V_1}{h_1} + kn_3 T_B 60 . \quad (12)$$

Тогда суммарное количество пакетов $N_\Sigma = N_1 + N_2 + N_3$.

Применение в абонентских устройствах низкоскоростных кодеков существенно сказывается на времени задержки, величина которой напрямую определяет потерю ценности информации в плане ее старения. В ряде случаев использование низкоскоростных кодеков просто неприемлемо. Поэтому будем полагать, что задержка в узле не должна превышать 5 мс, время обработки заголовка IP-пакета близко к постоянному, а распределение интервалов между поступлениями пакетов соответствует экспоненциальному закону [5, 9]. Тогда с целью описания процесса, происходящего на узле маршрутизации, можно воспользоваться моделью системы массового обслуживания типа M/G/1, для которой известна формула Полячека – Хинчина, определяющая среднее время $t_{зад}$ задержки пакета в сети доступа [4, 5, 7, 8]:

$$t_{зад} = \frac{\tau(1 + C_b^2)}{2(1 - \lambda\tau)} , \quad (26)$$

где τ – средняя длительность обслуживания одного пакета;

C_b^2 – квадрат коэффициента вариации, принимаемый обычно равным 0,2;

λ – параметр потока ($\lambda = N\Sigma$).

Из выражения (26) следует зависимость максимальной величины средней длительности обслуживания одного пакета от среднего времени задержки в узле:

$$\tau = \frac{1}{\lambda + \frac{C_b^2}{2t_{зад}}} .$$

Поскольку интенсивность обслуживания β связана со средним временем задержки пакета обратно пропорциональной зависимостью ($\beta = 1/\tau$), при

известном среднем размере пакета H требуемая полоса пропускания (общая пропускная способность) НС для цифровых систем передачи (бит/с) определяется выражением

$$П_{трНС} = \beta H . \quad (15)$$

Реальная пропускная способность характеризует достигнутую скорость передачи в НС. Для каналов связи вторичных сетей она определяется техническими возможностями оконечной аппаратуры (терминалов) по передаче сообщений того или иного вида по специально нормированным для этой аппаратуры каналам первичной сети. Для каналов первичной сети реальная (техническая) пропускная способность рассчитывается исходя из максимально обеспечиваемой аппаратурой каналообразования скорости передачи в канале или ширины полосы эффективно передаваемых частот [2, 3, 10].

Заключение. Выбранная модель многопродуктовых сетей и потоковых алгоритмов, а также принятая система показателей наглядно отражают наиболее существенные свойства УС СН и позволяют анализировать с достаточной для целей исследования адекватностью практически все аспекты, которые оказывают наибольшее влияние на достижение узлом главной цели своего функционирования – своевременной передачи требуемого потока сообщений.

Все представленные показатели характеризуют УС СН с точки зрения его структуры и поведения в прогнозируемых условиях применения, имеют ясный физический смысл, доступны для вычисления и однозначно определяют качество процесса его функционирования. Проверкой пригодности варианта структуры УС СН является соответствие значения реально обслуженной нагрузки ее требуемой величине. Если вариант построения узла по этому критерию подходит, то он принимается к реализации. В завершение уточняются варианты оперативно-технического управления узлом в ходе его применения.

Структура узла формируется на основе поиска решения, которое обеспечивает выполнение главного, доминирующего, наиболее существенного из показателей, при этом все остальные частные показатели переводятся в разряд ограничений. В соответствии с таким подходом выбор предпочтительного варианта структуры УС СН производится по главному критерию – пропускной способности. Однако это совсем не означает, что все критерии, кроме одного, не учитываются. Для остальных (второстепенных) показателей, переводимых в разряд ограничений, устанавливаются их максимально (минимально) допустимые значения.

Другим возможным подходом к оценке УС СН является нахождение результирующей целевой функции путем выбора и ранжирования нескольких показателей (определения абсолютного и нормированного значений весовых коэффициентов каждого показателя) и определения обобщенного показателя эффективности, по которому осуществляется выбор одного из совокупности исследуемых альтернатив варианта построения УС [1, 2, 8]. При этом ранжирование отдельных свойств по их важности и необходимой степени проявления в УС СН (удельному весу) определяется конкретными целями его развертывания и условиями функционирования. Однако даже при этом подходе показатель пропускной способности является ведущим, поскольку именно он отражает основное целевое предназначение узла.

Таким образом, специфический характер применения УС СН вызывает необходимость построения адекватной модели его применения на основе многопродуктовых сетей и потоковых алгоритмов, которая, исходя из главного предназначения узла, позволяет с учетом присущих только ему особенностей организации информационных потоков между абонентами провести проверку пригодности различных способов формирования структуры. Учитывая, что основной задачей УС СН является передача заданного потока сообщений, при дальнейших исследованиях необходимо придерживаться именно такой цели функционирования и полагать, что исполненная нагрузка по передаче сообщений в определенный период времени и является результатом работы узла, т. е. его эффектом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов, В. Г.** Теория и практика построения технической основы системы управления специального назначения / В. Г. Иванов. – СПб.: Изд-во СПб ГУТ, 2016. – 184 с.
2. **Боговик, А. В.** Эффективность систем военной связи и методика ее оценки / А. В. Боговик. – СПб.: ВАС, 2006. – 243 с.
3. **Пирогов, Ю. А.** Методология исследования систем и сетей военной связи / Ю. А. Пирогов. – СПб.: ВАС, 2016. – 164 с.
4. **Макаренко, С. И.** Описательная модель сети связи специального назначения / С. И. Макаренко // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 2. – С. 113–164.
5. **Стародубцев, Ю. И.** Управление качеством информационных услуг / Ю. И. Стародубцев, А. Н. Бегаев, М. А. Давлятова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 454 с.
6. **Одоевский, С. М.** Новые информационные и сетевые технологии в системах управления военного назначения / С. М. Одоевский. – СПб.: ВАС, 2010. – 432 с.
7. **Пылинский, М. В.** Обоснование требуемой пропускной способности, предъявляемой к узлу доступа системы связи / М. В. Пылинский, П. С. Чернявский, Д. М. Леонов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 4 (37). – С. 114–118.
8. **Будко, П. А.** Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации / П. А. Будко, О. В. Рисман. – СПб.: ВАС, 2011. – 476 с.
9. **Мошак, Н. Н.** Методология моделирования и анализа процессов функционирования пакетных мультисервисных сетей / Н. Н. Мошак, А. И. Яшин, Е. В. Давыдова // Электросвязь. – 2015. – № 4. – С. 35–39.
10. **Назаров, А. Н.** Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А. Н. Назаров, К. И. Сычев. – Красноярск: Поликом, 2010. – 389 с.

The article presents a methodology for calculating the characteristics of the throughput of a special-purpose communication center, which can be used to assess the efficiency of its functioning and substantiate the structure. The scientific novelty of the proposed approach consists in taking into account the heterogeneity of communication subscribers by the types and volumes of transmitted information, as well as the use of multi-product networks and streaming algorithms in the calculations.

Keywords: communication center, bandwidth, efficiency, structure, subscriber, information, model, multi-product network, streaming algorithm.

Получено: 17.02.2022.