

А.В. Ермаков

**СТОИМОСТНЫЕ ОЦЕНКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

A.V. Ermakov

**VALUATION OF THE TELECOMMUNICATION SYSTEM
OF A MODERN UNIVERSITY**

Предложен подход к получению стоимостных оценок для телекоммуникационной системы современного университета, основанный на положениях теории телетрафика и экономических соотношениях, справедливых для телекоммуникационных систем. Как инструмент расчета стоимостных характеристик использован метод «денежных единиц». Сформулированы рекомендации по качественной оценке стоимостных характеристик телекоммуникационной системы.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА; ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОТОК; ТРАФИК; ПРОГНОЗИРОВАНИЕ; СЦЕНАРИЙ; ГРАФ; СЕТЬ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

The paper proposes an approach to obtaining cost estimates for the telecommunication system of a modern company. This approach is based on the teletraffic theory principles and economic relations that are valid for telecommunication systems. In particular, the relationship between the telecommunication system cost and its capacity is defined. A power function is proposed for the approximation of this dependence. As a tool for calculating the cost characteristics the «monetary units» method approved by the International Telecommunication Union is used. This method is applied to select the preferred scenario in cases where the absolute values of the cost characteristics are unknown. The studies provide guidelines for assessing the cost characteristics of telecommunication systems.

TELECOMMUNICATION SYSTEM; INFORMATION FLOW; TRAFFIC FORECASTING; SCENARIO; GRAPH; QUEUEING NETWORK.

Введение. Телекоммуникационная система стала важным инструментом развития всех сфер деятельности в современной компании любого профиля. Основное назначение телекоммуникационной системы заключается в поддержке функций качественного и надежного обмена информацией, необходимой для процесса обучения, проведения исследований и работы системы административного управления.

В последние годы объемы информационных потоков заметно возросли, что позволило повысить эффективность всех сфер деятельности организации. С другой стороны, стоимость телекоммуникационной системы с ростом информационных потоков увеличивается, составляя значительную долю затрат в бюджете организации. Для оптимизации затрат на создание и развитие телекоммуникационной системы необходимо решить ряд задач. Одна из таких задач заключается в оценке затрат на телеком-

муникационную систему как функции ее пропускной способности, т. е. объема циркулирующих информационных потоков. Решению этой задачи посвящена настоящая статья.

Методика и результаты исследования

Модели телекоммуникационной системы.

Телекоммуникационная система обычно рассматривается с двух точек зрения. Во-первых, интересны ее топологические характеристики. Они изучаются при помощи моделей в виде графов [1, 2]. Во-вторых, важны способности телекоммуникационной системы по доставке информации с заданными качественными показателями. Эти возможности исследуются за счет формирования моделей в виде систем и сетей массового обслуживания [3, 4].

Обе модели можно объединить. Результат такой операции показан на рис. 1 для пяти элементов, объединенных в кольцо с двумя хордами.

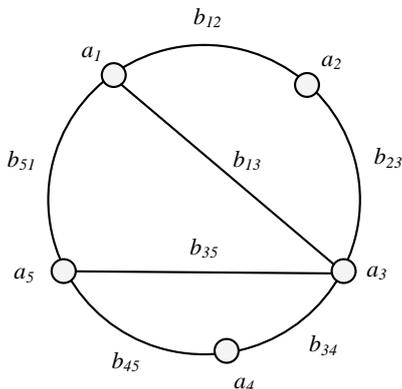


Рис. 1. Объединение моделей телекоммуникационной системы

С точки зрения топологической модели узлы a_i ($i = \overline{1, 5}$) представляют собой вершины графа, которым могут быть поставлены в соответствие параметры надежности, стоимостные показатели или иные атрибуты телекоммуникационной системы. Линии b_{ij} в топологической модели представляют собой ребра графа. Они могут характеризовать, например, длины трактов обмена информацией, параметры их надежности или стоимостные показатели. С точки зрения модели массового обслуживания узлы a_i рассматриваются как системы телетрафика. Чаще всего i -я система телетрафика описывает процессы функционирования современного узла коммутации с производительностью H_i , в котором происходит обработка IP -пакетов. Линия b_{ij} служит моделью тракта обмена IP -пакетами между узлами коммутации i и j ; она характеризуется пропускной способностью C_{ij} .

При необходимости модели элементов a_i могут быть детализированы в соответствии с характеристиками, типичными для систем телетрафика. Это замечание справедливо и для элементов модели b_{ij} .

Методологический подход к расчету стоимостных оценок. Стоимостные оценки сценариев создания и модернизации телекоммуникационной системы могут быть получены разными способами. Для сравнения сценариев уместно использовать подход, основанный на расчетах, которые оперируют денежными единицами. Этот подход используется в работах Международного союза электросвязи. В частности, в [5, 6] он применен для решения задач проектирования местных (город-

ских и сельских) сетей телефонной связи. В литературе на английском языке денежные единицы известны как *monetary unit*.

Соответствующий экономико-математический метод позволяет определить предпочтение, но не оценивает реальных величин оценки стоимости. В монографии [7] на основании положений, приведенных в [5], получен следующий набор для стоимости линейных трактов цифровых систем передачи идентичной длины:

- 6 Мбит/с – одна денежная единица;
- 45 Мбит/с – четыре денежные единицы;
- 150 Мбит/с – девять денежных единиц.

Отношения номиналов скоростей (величин пропускной способности) образуют такой ряд: 1,0 – 7,5 – 25,0. Цены, выраженные в денежных единицах, формируют ряд следующего вида: 1,0 – 4,0 – 9,0. Если необходимо построить линейный тракт со скоростью 30 Мбит/с, то целесообразно выбрать ту ЦСП, которая обеспечивает скорость обмена данными в 45 Мбит/с. Применение пяти систем, каждая из которых поддерживает скорость обмена информацией в 6 Мбит/с, обойдется дороже. Уверенно делая вывод об эффективности использования оборудования, которое работает на скорости 45 Мбит/с, лицо, принимающее решение (ЛПР), может ничего не знать о реальной стоимости проекта. По этой причине метод, основанный на расчете денежных единиц, можно считать весьма эффективным на этапе предварительного (качественного) анализа возможных решений.

Доступные статистические данные позволяют выразить капитальные затраты на тракт обмена данными между узлами коммутации i и j , обозначаемые далее K_{ij} , как функцию пропускной способности C_{ij} , в такой форме:

$$K_{ij} \approx r + s \cdot C_{ij}^x. \quad (1)$$

Параметры r , s и x определяются методом наименьших квадратов [8, 9]. Для указанных выше отношений величин пропускной способности искомые значения представимы такими числами: $r = 0$, $s \approx 1,0027$, $x \approx 0,6832$. Эти данные хорошо согласуются с утверждением, приведенным в [10, 11], о том, что величины K_{ij} и C_{ij} связаны между собой следующим соотношением:

$$K_{ij} \approx \alpha_1 + \beta_1 \sqrt{C_{ij}}. \quad (2)$$

Капитальные затраты на i -й узел коммутации, обозначаемые далее как K_i , также могут быть выражены в виде зависимости от его производительности H_i . Анализ доступной информации о стоимости современных узлов коммутации подтверждает возможность использования формулы (2) для оценки величины K_i :

$$K_i \approx \alpha_2 + \beta_2 \sqrt{H_i}. \quad (3)$$

Телекоммуникационная система состоит из N узлов коммутации и $(N + M)$ трактов обмена данными. Для модели, показанной на рис. 1, $N = 5$, $M = 2$. Капитальные затраты на линейно-кабельные сооружения определяются, в основном, длинами элементов b_{ij} — трактов обмена информацией. Каждому элементу b_{ij} соответствует длина l_{ij} , которая определяет соответствующие капитальные затраты $K_{ij}(l)$ при помощи коэффициента пропорциональности η :

$$K_{ij}(l) \approx \eta l_{ij}. \quad (4)$$

В результате суммарные инвестиции на создание телекоммуникационной системы K_S определяются значениями K_i , K_{ij} и $K_{ij}(l)$:

$$K_S \approx \sum_{\{N\}} K_i + \sum_{\{N+M\}} (K_{ij} + K_{ij}(l)). \quad (5)$$

Величины K_S для схожих организаций могут существенно различаться при наличии территориально разнесенных площадок, так как в этом случае заметно возрастают значения слагаемых вида $K_{ij}(l)$. При правильном

прогнозировании требований к телекоммуникационной системе затраты $K_{ij}(l)$ практически не меняются по мере повышения пропускной способности трактов обмена информацией и производительности узлов коммутации. Этот факт позволяет упростить исследование динамики дополнительных инвестиций, необходимых для развития телекоммуникационной системы.

Характер затрат на развитие телекоммуникационной системы. Исследования по созданию и дальнейшей эволюции телекоммуникационной системы, проведенные в Северо-Восточном федеральном университете, показали, что затраты на модернизацию K_M определяются, в основном, величинами приращений пропускной способности узлов коммутации ΔH_i . Оценка величины K_M определяется соотношением, схожим с формулами (2) и (3):

$$K_M \approx \alpha_M + \beta_M \sum_{i=1}^N \sqrt{\Delta H_i}. \quad (6)$$

На рис. 2 приведена зависимость затрат на модернизацию телекоммуникационной системы от приращения производительности узлов коммутации при их разном количестве в составе сети. Для получения качественных зависимостей принято, что $\alpha_M = 0$, $\beta_M = 1$, все величины ΔH_i идентичны, а приращения выражены в относительных единицах, которые меняются в диапазоне от 0 (отсутствие изменений производительности) до 100.

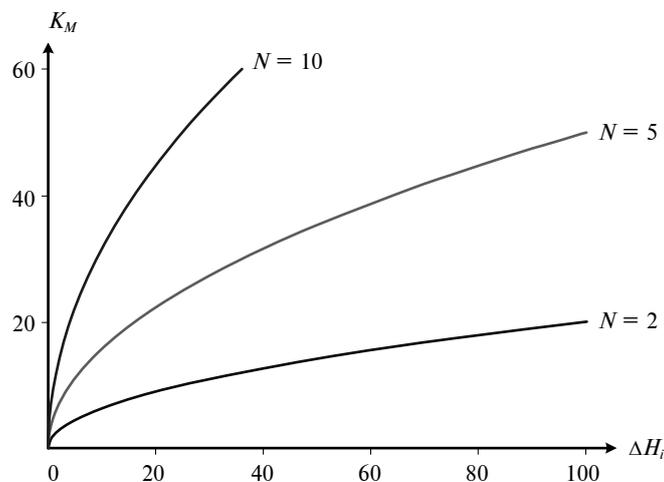


Рис. 2. Затраты на модернизацию телекоммуникационной системы



Ход кривых наглядно иллюстрирует целесообразность создания телекоммуникационной системы организации с минимальным количеством узлов коммутации за счет повышения их производительности. Этот вывод совпадает с утверждением, которое было получено в результате исследования технико-экономических характеристик для телекоммуникационных систем, создаваемых на разных уровнях иерархии сети связи общего пользования [12, 13].

Выводы и рекомендации. Полученные результаты следует рассматривать как полезную информацию, помогающую ЛПР решать поставленные перед ним задачи. Они не заменяют технико-экономическое обоснование, необходимое для создания и модернизации телекоммуникационной системы современной организации. ЛПР получает инструмент, позволяющий выбрать пути долгосрочного развития телекоммуникационной системы с учетом неопределенности относительно прогноза требований к величине производительности узлов коммутации и пропускной способности трактов обмена данными [13].

Для выбора путей модернизации телекоммуникационной системы в составе современной организации целесообразно про-

вести ряд исследований. Среди этих исследований уместно выделить три задачи.

Во-первых, не теряет актуальности задача разработки долгосрочных прогнозов развития телекоммуникационных систем [14]. Применительно к рассматриваемым вопросам интересны прогностические оценки, основанные на качественном и количественном анализе развития телекоммуникационных систем в передовых организациях.

Во-вторых, для ЛПР важны риски [15], возникающие при выборе альтернатив развития телекоммуникационной системы. Исследование рисков помогает принимать решения, которые минимизируют неизбежные ошибки ЛПР, проектировщиков и эксплуатационного персонала.

В-третьих, необходимо тщательно изучить перспективные требования к принципам эволюции телекоммуникационной системы с учетом новой тенденции в развитии терминального оборудования – Интернета вещей [16]. По всей видимости, практическая реализация концепции «Интернет вещей» потребует заметного роста производительности ряда компонентов в составе телекоммуникационной системы организации. Выбор граничного значения по оси абсцисс на рис. 2 продиктован именно этими соображениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харари Ф. Теория графов. М.: Эдиториал УРСС, 2003.
2. Оре О. Графы и их применение. М.: КомКнига, 2006.
3. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М.: Либроком, 2010.
4. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. М.: Либроком, 2010.
5. International Telegraph and Telephone Consultative Committee. Manual «Local Network Planning». ITU, Geneva, 1979.
6. ITU-D. New Technologies for Rural Applications. Final Report of ITU-D Focus Group 7, 2000.
7. Соколов Н.А. Эволюция местных телефонных сетей. Пермь: Книга, 1994.
8. Корн Т., Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984.
9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1986.
10. Давыдов Г.Б., Рогинский В.Н., Толчан А.Я. Сети электросвязи. М.: Связь, 1977.
11. Рогинский В.Н., Харкевич А.Д., Шнепс М.А., Давыдов Г.Б., Толчан А.Я. Теория сетей связи. М.: Радио и связь, 1981.
12. Жданов И.М., Кучерявый Е.И. Построение городских телефонных сетей. М.: Связь, 1972.
13. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи. СПб.: Техника связи, 2012.
14. Кузовкова Т.А., Тимошенко Л.С. Анализ и прогнозирование развития телекоммуникаций. М.: Горячая линия – Телеком, 2009.
15. Котов В.И. Риск-анализ на основе функций чувствительности и теории нечетких множеств. СПб.: Астерион, 2014.
16. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю., Самсонов М.Ю. Интернет вещей. Самара: Ас Гард, 2014.

REFERENCES

1. **Kharari F.** Teoriia grafov [Graph theory]. M.: Editorial URSS, 2003. (rus)
2. **Ore O.** Grafy i ikh primeneniye [Graphs and their application]. M.: KomKniga, 2006. (rus)
3. **Saati T.L.** Elementy teorii massovogo obsluzhivaniia i ee prilozheniia [Elements of queuing theory and its applications]. M.: Librokom, 2010. (rus)
4. **Khinchin A.Ia.** Raboty po matematicheskoi teorii massovogo obsluzhivaniia [Work on the mathematical theory of queuing]. M.: Librokom, 2010. (rus)
5. International Telegraph and Telephone Consultative Committee. Manual «Local Network Planning». ITU, Geneva, 1979.
6. ITU-D. New Technologies for Rural Applications. Final Report of ITU-D Focus Group 7, 2000.
7. **Sokolov N.A.** Evoliutsiia mestnykh telefonnykh setei [The evolution of local telephone networks]. Perm': Kniga, 1994. (rus)
8. **Korn T., Korn G.** Spravochnik po matematike dlia nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Mathematical Handbook for Scientists and Engineers]. M.: Nauka, 1984. (rus)
9. **Bronshtein I.N., Semendiaev K.A.** Spravochnik po matematike dlia inzhenerov i uchashchikhsia vuzov [Handbook of mathematics for engineers and university students]. M.: Nauka, 1986. (rus)
10. **Davydov G.B., Roginskii V.N., Tolchan A.Ia.** Seti elektrosviasi [Telecommunication network]. M.: Sviaz', 1977. (rus)
11. **Roginskii V.N., Kharkevich A.D., Shneps M.A., Davydov G.B., Tolchan A.Ia.** Teoriia setei sviasi [Communication Network Theory]. M.: Radio i sviaz', 1981. (rus)
12. **Zhdanov I.M., Kucheriayvi E.I.** Postroenie gorodskikh telefonnykh setei [The construction of urban telephone networks]. M.: Sviaz', 1972. (rus)
13. **Sokolov N.A.** Zadachi planirovaniia setei elektrosviasi [Task planning of telecommunication networks]. SPb.: Tekhnika sviasi, 2012. (rus)
14. **Kuzovkova T.A., Timoshenko L.S.** Analiz i prognozirovaniye razvitiia tele-kommunikatsii [Analysis and forecasting of development of telecommunications]. M.: Goriachaia liniia – Telekom, 2009. (rus)
15. **Kotov V.I.** Risk-analiz na osnove funktsii chuvstvitel'nosti i teorii nechet-kikh mnozhestv [Risk analysis based on the sensitivity functions and fuzzy sets theory]. SPb.: Asterion, 2014. (rus)
16. **Rosliakov A.V., Vaniashin S.V., Grebeshkov A.Iu., Samsonov M.Iu.** Internet veshchei [Интернет вещей]. Samara: As Gard, 2014. (rus)

ЕРМАКОВ Алексей Валентович – проректор по техническому направлению Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, кандидат экономических наук.

677000, ул. Белинского, д. 58, г. Якутск, Республика Саха (Якутия). E-mail: Ermakov-it@yandex.ru

ERMAKOV Aleksei V. – North-Eastern Federal University in Yakutsk.

677980. Belinskiy str. 58. Yakutsk. Republic of Sakha (Yakutia). Russia. E-mail: Ermakov-it@yandex.ru
