

7. Bourdine A. V., Prokopyev V. I., Dmitriev E. V., Yablochkin K. A. Results of conventional field-test equipment application for identification of multimode optical fibers with high DMD. *Proceedings of SPIE*, 2009, vol. 7374, pp. 73740J-01 – 73740J-07.
8. Bourdine A. V. O diagnostike differentsial'noy modovoy zaderzhki mnogomodovykh opticheskikh volokon [About multimode optical fiber differential mode delay diagnostics]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2008, no. 4, pp. 33-38.
9. Bourdine A. V., Yablochkin K. A. Issledovanie defektov profilya pokazatelya prelomleniya mnogomodovykh opticheskikh volokon kabeley svyazi [Investigations of refractive index profile defects of silica graded-index multimode fibers of telecommunication cables]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2010, no. 2, pp. 22 – 27.
10. Bourdine A. V., Praporshchikov D. E., Yablochkin K. A. Investigation of defects of refractive index profile of silica graded-index multimode fibers. *Proceedings of SPIE*, 2011, vol. 7992, pp. 799206-1 – 799206-6.
11. Bourdine A. V., Dashkov M. V., Dmitriev E. V., Procop'ev V. I. Voprosi ocenki potencial'nykh vozmozhnostey ispolzovaniya mnogomodovykh volokon na multigigabitnykh setyakh peredachi danykh [Questions about assessment of potential opportunities of using multimode fibers at multigigabit data networks]. *VI mezdunarodnaya nauchno-technicheskaya konferenciya «Problemy tehniki i tehnologii telekammunikacii» (PTiTT)*, Kazan, 2008, pp. 241-242.
12. Bourdine A. V., Yablochkin K. A. Rezultaty izmereniy differentsial'noy modovoy zaderzhki mnogomodovykh volokon raznogo pokoleniya [Measuring results of differential mode delay in multimode optical fibers of different generations]. *VII mezdunarodnaya NTK «Fizika i technicheskie prilozheniya volnovykh processov*, Samara, 2008, pp. 298-299.

УДК 621.391:007

ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Буренин А.Н.¹, Легков К.Е.²

¹Научно-исследовательский институт «Рубин», Санкт-Петербург, РФ

²Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, РФ

E-mail: konferencia_asu_yka@mail.ru

Для обеспечения возможности осуществления широкой автоматизации процедур управления инфокоммуникационными сетями специального назначения и создания на этой основе специального программного обеспечения комплексов средств автоматизации последовательно излагаются достаточно строгие методические подходы к постановке и решению задачи управления инфокоммуникационной сетью, позволяющие впоследствии разработать соответствующее алгоритмическое обеспечение для автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: функционирование, инфокоммуникационные сети специального назначения, информационное воздействие, управление, архитектурное построение.

Введение

В настоящее время в составе ведомственных систем связи специального назначения (СН) создается ряд информационных систем и телекоммуникационных сетей, образующих в своей совокупности инфокоммуникационную сеть (ИКС) ведомства, являющуюся фактически информационным и телекоммуникационным ядром соответствующей системы связи и предоставляющей различным пользователям требуемые услуги [1-2].

Функционирование ведомственных ИКС специального назначения с высокими качественными показателями в условиях достаточно жестких требований, предъявляемых к ним со стороны спецпользователей информационных систем и

органов исполнительной власти, возможно только при решении всего комплекса задач управления, которые возлагаются на автоматизированную систему управления ИКС [3-5].

Возросшая сложность телекоммуникационных сетей, входящих в состав ведомственной ИКС (абонентские сети, объектовые сети, сети доступа, транспортная сеть, сети услуг каждого уровня сети), и процессов их функционирования, увеличение числа применяемых телекоммуникационных и информационных технологий, потенциальных ошибок в их реализации и, следовательно, в предоставлении услуг, а также возможностей противодействующей стороны по реализации различного рода воздействий на сеть,

обуславливают необходимость разработки и внедрения достаточно мощных автоматизированных подсистем мониторинга, планирования и оперативного управления, которые, в свою очередь, существенно повышают качественные показатели каждой сети, определяют критичные сетевые ресурсы и подготавливают данные по выбору адекватной программы управления.

При решении различных задач обеспечения управления ИКС СН используются различные подходы, направленные на формализованное представление процессов функционирования и управления, основой которого может служить математическая теория процессов управления общего вида [6]. При описании различных динамических систем, к которым, несомненно, относится неоднородная ИКС СН, наиболее часто используются либо линейные векторные и матричные дифференциальные уравнения, либо уравнения, приведенные к линейным.

Пусть функционирование разнородной ИКС СН описывается векторно-матричным уравнением вида:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + f(t), \quad (1)$$

где $f(t)$ – некоторая векторная функция, характеризующая детерминированные возмущения, в том числе и управление ИКС СН. При этом $x(t=0) = x_0$, то есть начальное состояние ИКС СН фиксировано.

Стабильное (установившееся) функционирование ИКС СН характеризует случай, когда матрица A постоянна. Этот случай чрезвычайно важен для практики и является целью управления ИКС СН. Решение уравнения (1) имеет вид:

$$x(t) = y(t) + \int_0^t K(t-s)f(s), \quad (2)$$

где $y(t)$ является решением однородного уравнения, и такое представление является основой систематического исследования формы решения различных классов линейных функциональных уравнений, для которых решение получается либо в форме (2), либо в более общем виде:

$$x(t) = y(t) + \int_0^t K(t,s)f(s). \quad (3)$$

Важное значение имеет вопрос устойчивости как линейных, так и нелинейных ИКС СН. Однако в настоящее время не представляется возмож-

ным установить связь между близкими по духу теориями управления и устойчивости, так как результаты в той области, где эти теории пересекаются, весьма отрывочны. Можно показать, что изучение ряда процессов управления ИКС СН приводит к задаче определения функции $f(t)$, которая минимизирует функционал

$$\Phi(t) = \int_0^t [x(t) - x_0]dt + a_1 \int_0^t f(s)ds, \quad (4)$$

где a_1 – неотрицательная константа, а переменная $x(t)$ связана с функцией $f(t)$ уравнением (2) или (3). В этом случае задача управления может быть описана следующим образом. Рассмотрим сначала ИКС СН, определяемую в любой момент времени вектором состояния $x(t)$. Предположим, что ее требуется удерживать в некотором начальном состоянии x_0 . Если ИКС СН функционирует изолированно (сама по себе), то она описывается однородным векторным уравнением

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t). \quad (5)$$

При этом по-прежнему $x(t=0)=x_0$, то есть начальное состояние ИКС СН фиксировано. Условимся, что будем оценивать отклонение от требуемого состояния ИКС СН за интервал времени $[0, T]$ посредством функционала

$$\Phi_1(t) = \int_0^T [x(t) - x_0]dt. \quad (6)$$

Назовем его ценой отклонения от требуемого состояния ИКС СН. Условимся также считать мерой цены управления ИКС СН за тот же период времени функционал

$$\Phi_2(t) = a_1 \int_0^T f(s)ds. \quad (7)$$

Функционалы (6)-(7) являются квадратичными, и мера цены управления будет определяться ценой отклонения. Если выбирать $f(t)$ так, чтобы минимизировать полную цену отклонения от требуемого состояния ИКС СН за интервал времени $[0, T]$, то приходим к сформулированной выше задаче управления. Применяя классические методы решения, получаем линейное уравнение Эйлера, что дает возможность использовать теорию гильбертова пространства для вывода основных свойств решения, которые являются общими для задач приведенного типа,

когда векторные функции $x(t)$ и $f(t)$ связаны уравнениями (2) или (3).

Рассмотренные до сих пор ИКС СН можно назвать детерминированными в том смысле, что поведение такой сети в будущем полностью определяется ее состоянием в текущий момент времени. Однако реальные ИКС СН функционируют в более сложной, случайной или даже агрессивной среде. Поэтому рассмотрим общий случай, когда на ИКС СН оказываются воздействия, которые известны не полностью и не могут быть заранее точно учтены, – в качестве примера укажем на помехи, информационные воздействия, террористические акты и т.д.

Первый (но не единственный, как будет показано ниже) путь для того, чтобы обойти «незнание» важных процессов, заключается во введении понятия случайной функции. Данное понятие помогает постановке задачи независимо от того, верят ли проектировщик и должностное лицо органа управления в то, что это влияние является случайным. Предположим, что ИКС СН описывается линейным векторным уравнением

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + f(t) + r(t), \quad (8)$$

где $r(t)$ – случайная функция, характеризующая воздействия на ИКС СН. Это означает, что для любого значения t вектор $r(t)$ является векторной случайной величиной с распределением, зависящим от времени, и функционал (4) также является случайной величиной. Для того чтобы сформулировать задачу минимизации, мы должны ввести какое-то среднее значение функционала (4). Наиболее простым из всех средних является ожидаемое значение, и, чтобы решить задачу для этого случая, необходимо определить, в силу линейности уравнения (2) и квадратичности функционала (4), лишь ожидаемое значение $r(t)$ как функцию времени t и корреляционную функцию $R[r(s), r(t)]$.

Вместе с тем для большинства ИКС СН решение задач управления невозможно осуществить классическими способами. Для таких ИКС СН характерно, что функционал, который должен быть минимизирован, линеен по f , но на функцию $f(t)$ наложены ограничения. Как правило, задачи такого рода возникают в особых условиях эксплуатации ИКС СН, и здесь основным математическим инструментом является лемма Неймана-Пирсона [6], а применяемые способы используют свойства пространств моментов.

Для функционирования реальных ИКС СН в особых условиях типичны задачи, которые не являются ни линейными, ни в достаточной мере нелинейными для того, чтобы допустить беспрепятственное использование классических методов. К этим задачам целесообразно применять комбинированные методы, связанные определением минимума по всем функциям $y(t)$ функционала

$$\Phi(t) = \int_0^T F(x, y) dt, \quad (9)$$

где векторная функция $x(t)$ и функция $y(t)$ связаны дифференциальным уравнением

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= G[x(t), y(t)]; \\ x(t=0) &= x_0, 0 \leq y(t) \leq x(t). \end{aligned} \quad (10)$$

Приведенное в (10) ограничение обычно сильно усложняет решение задачи, однако является наиболее естественным при описании различных многоэтапных процессов, а его наличие приводит к комбинации равенств Эйлера и накладываемых неравенств.

Для подавляющего большинства ИКС СН функции $F(x, y)$ и $G[x(t), y(t)]$ можно задать в приемлемо простом виде – причем минимизирующая функция $f(t)$ также имеет достаточно простую структуру

$$y(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq t \leq T_1; \\ y^*, 0 < y^* < x & \text{при } T_1 \leq t \leq T_2; \\ x & \text{при } T_2 \leq t \leq T. \end{cases} \quad (11)$$

В общем случае величины T_1 и T_2 зависят как от $x(t=0) = x_0$, так и от функций $F(x, y)$ и $G[x(t), y(t)]$.

Для каждого значения $t > 0$ имеется линейное отображение ρ^* , переводящее вектор-функцию $f(t)$ в n -мерный вектор с i -ой компонентой, равной

$$\int_0^T \exp[-l_i s] \sum_j a_{ij} f_j(s) ds, \quad (12)$$

откуда следует, что искомым временем будет то наименьшее значение $t > 0$, при котором множество $X_0 = \{x_0\}$ само содержит вектор $y(t=0)$, а поскольку этот вектор при $t > t^*$ принадлежит множеству $X_0 = \{x_0\}$, то он должен находиться на нулевом расстоянии от множества $X(t^*) = \{x(t^*)\}$. Но так как множество $X_0 = \{x_0\}$, вследствие известного факта из теории банаховых пространств замкнуто, то множество вектор-функций $f(t)$ может быть топологизировано так, чтобы оно было компактным

и чтобы каждое рассматриваемое отображение ρ^* было непрерывным. Если $f^*(t)$ удовлетворяет соотношению $\rho^* f^*(t) = -y(0)$, то существуют некие постоянные $\theta_1 \dots \theta_n$, не все равные нулю, для которых функция $f^*(t)$ максимизирует выражение

$$\begin{aligned} \sum_i \theta_i \int_0^{t^*} \exp[-l_i s] \sum_j a_{ij} f_j(s) ds = \\ = \sum_i \int_0^{t^*} (\sum_i \theta_i a_{ij} \exp[-l_i s]) f_j(s) ds, \end{aligned} \quad (13)$$

причем максимум (13) равен

$$\sum_i \int_0^{t^*} \left(\sum_i \theta_i a_{ij} \exp[-l_i s] \right) ds. \quad (14)$$

Нередко функционирование ИКС СН в особых условиях предполагает, что посторонние воздействия на нее уже нельзя рассматривать как случайные функции, а целесообразно их рассматривать как некие враждебные целям сети действия. При этом когда в процессе решения задачи управления одна из сторон стремится минимизировать меру цены расхождения, противоположная сторона старается ее максимизировать. Вместе с тем, несмотря на такие действия сторон, исследовать и решать задачи, где управляющие и деструктивные воздействия противостоят друг другу, в определенной степени легче. Уравнение, описывающее ИКС СН, принимает вид

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + f(t) + g(t), \quad (15)$$

где $g(t)$ – некоторая неслучайная векторная функция, характеризующая воздействия на ИКС СН противоположной стороны, которая может ей изменяться. При такой постановке стохастичность вводится посредством теории Бореля и фон Неймана [7], созданной специально для исследования и решения задач такого рода.

На практике решение задач управления ИКС СН изложенными выше методами затруднено и целесообразно применение способов, основанных на обеспечении показателей в виде вероятностной меры, предполагающей определение управления либо обеспечением экстремума математического ожидания заданного функционала, либо квантильными показателями, которые зависят также от многих случайных и неслучайных параметров ИКС СН:

$$\Phi^*(y) = M[\Phi(y, Param_{ИКССН})]; \quad (16)$$

$$P[\Phi(y, Param_{ИКССН}) > \Phi_{зад}] \geq P_{зад}. \quad (17)$$

Соотношение (17) применяется наиболее часто, так как позволяет использовать вероятностно-временные характеристики ИКС СН. Таким образом, для различных видов ИКС СН и разных условий их функционирования целесообразно применение разных способов решения задач управления ими, представленных в статье.

Литература

1. О связи: Федер. Закон РФ от 07.07.2003 №126-ФЗ (ред. от 13.07.2015 с изм. и доп.). Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
2. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России (Минсвязи РФ 25.01.2002) URL: <http://bazazakonov.ru/doc/?ID=30033> (д.о. 25.07.2015).
3. Буренин А.Н. Проблемы системно-архитектурного построения автоматизированной системы управления системой связи общего пользования // Телекоммуникационные технологии. №.1, 2001. – С. 83-94.
4. Буренин А.Н., Курносое В.В. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями. Наука. М.: 2011. – 464 с.
5. Легков К.Е. Буренин А.Н. Архитектура систем управления современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли // Т. 5. № 6, 2013/ - С. 42-46.
6. Беллман И., Гликсберг О., Гросс. Некоторые вопросы математической теории процессов управления. М.: ИИЛ, 1962. – 336 с.
7. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. Сов. радио. М.: 1958. – 567 с.
8. Буренин А.Н., Легков К.Е., Мясникова А.И. Некоторые подходы к системному анализу процессов управления современными мультисервисными сетями связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. Т. 4, №1, 2002. – С. 11-13.
9. Буренин А.Н., Легков К.Е., Нестеренко О.Е. К вопросу построения систем управления современными инфокоммуникационными сетями специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. Т. 5, №6, 2013. – С. 22-28.
10. Буренин А.Н., Легков К.Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: ООО «ИД Медиа Паблшер», 2015. – 348 с.

Получено 15.02.2016

Буренин Андрей Николаевич, к.т.н., доцент, главный специалист ОАО НИИ «Рубин». Тел. +7 911 147 06 70. E-mail: konferencia_asu_vka@mail.ru

Легков Константин Евгеньевич, к.т.н., зам. начальника Кафедры технологий и средств технического обеспечения и эксплуатации автоматизированных систем управления (войсками) Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. Тел. +7 911 194 12 42. E-mail: constl@mail.ru

BASIC METHODOLOGICAL APPROACHES TO FORMALIZATION OF SPECIAL INFOCOMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT

Burenin A.N.¹, Legkov K.E.²

¹ *Research Institute «Rubin», St. Petersburg, Russian Federation*

² *A.F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russian Federation*

E-mail: konferencia_asu_vka@mail.ru

Operation of modern special high performance infocommunication networks is able only when all management problems would be solved. Complication of various networks included to infocommunication network leads to extremely complicated procedures of decision making and development of control actions for design of powerful network management automated system. We present rigorous methodological approaches to state and following solution the problem of infocommunication network management that provides to develop algorithmic description for automated management systems. This makes possible to implement long-range automation for special infocommunication network management procedures and to develop special software for automation system complexes.

Keywords: operation, special infocommunication networks, information influence, management, architectural construction

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.2.04

Burenin Andrey Nikolaevich, Research Institute «Rubin», 5 Kantemirovskaja str., St. Petersburg, 197342, Russian Federation; Chief Specialist, PhD in Technical Science, Associate Professor. Tel.: +79111470670. E-mail: konferencia_asu_vka@mail.ru.

Legkov Konstantin Evgenyevich, A.F. Mozhaisky Military Space Academy, 13 Zhdanovskaya str., Saint-Petersburg, 197198, Russian Federation; Deputy Head of the Department of Technologies, Technical Support and Maintenance of the Automated Control Systems (Troops), PhD in Technical Science. Tel.: +79111941242. E-mail: constl@mail.ru.

References

1. Concerning Communications: the Federeralny Law of the Russian Federation, 07.07.2003 N 126 (ed. from 13.07.2015). (in Russian).
2. *Kontseptual'nye polozheniya po postroeniyu myl'tiservisnykh setey na VSS Rossii*. [Conceptual provisions on creation of multiservice networks of unified communications systems of Russia]. Available at: <http://bazazakonov.ru/doc/?ID=30033> (accessed 25.07.2015).
3. Burenin A.N. Problemy sistemno-arkhitekturnogo postroeniya avtomatizirovannoy sistemy upravleniya sistemoy svyazi obshchego pol'zovaniya [Problems of system-architecture construction of the automatic control system of public communication system]. *Telekommunikatsionnye tekhnologii*, 2001, no.1, pp. 83-94.
4. Burenin A.N., Kurnosov V.V. *Teoreticheskie osnovy upravleniya sovremennymi telekommunikatsionnymi setyami* [Theoretical bases of management of modern telecommunications networks]. Moscow, Nauka Publ., 2011. 464 p.
5. Legkov K.E., Burenin A.N. Arkhitektura sistem upravleniya sovremennykh infokommunikatsionnykh setey spetsial'nogo naznacheniya [The architecture of the control systems of modern communication networks]. *H&ES Research*, 2013, vol. 5, no. 6, pp. 42-46.
6. R. Bellman I., Glicksberg O. Gross. *Nekotorye voprosy matematicheskoy teorii protsessov upravleniya* [Some problems of mathematical theory of control processes]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1962, 336 p.

7. Wiener N. Kibernetika, ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine. [Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1958. 567 p.
8. Burenin A.N., Legkov K.E., Myasnikova A.I. Nekotorye podhody k sistemnomu analizu processov upravleniya sovremennymi mul'tiservisnymi setyami svyazi [Some approaches to the system analysis of management modern multiservice communication networks]. *H&ES Research*, 2012, no. 1, pp. 11-13.
9. Burenin A.N., Legkov K.E., Nesterenko O.E. K voprosu postroeniya sistem upravleniya sovremennymi infokommunikacionnymi setyami special'nogo naznacheniya [Revisiting the construction of management systems of modern infocommunication networks for special purposes]. *H&ES Research*, 2013, no. 6, pp. 22-28.
10. Burenin A.N., Legkov K.E. *Sovremennye infokommunikacionnye sistemy i seti special'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya* [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Fundamentals of construction and management]. Moscow, Media Publish-er, 2015. 348 p.

Received 15.02.2016

УДК 004.724.4

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ К НИМ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Ушанев К.В., Макаренко С.И.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, РФ

E-mail: mak-serg@yandex.ru

В статье представлена методика классификации и распределения потоков трафика на два класса, которые образуют множество потоков, нуждающихся в применении дополнительных способов управления ресурсами сети для обеспечения качества их обслуживания, и множество потоков, которые в таких способах не нуждаются. В основу методики классификации потоков трафика положен алгоритм Ланса-Вильямса. В качестве показателей требуемого качества обслуживания трафика было использовано разделение на классы трафика, соответствующие классам, принятым в ATM и в MPLS сетях. Использование методики целесообразно совместно с анализаторами трафика и в качестве дополнения к системе управления ресурсами сети. Реализация методики предполагается в виде математического обеспечения граничных маршрутизаторов транспортного ядра сетей NGN, построенных на основе технологий ATM или IP/MPLS, для повышения качества обслуживания мультимедийного трафика, обладающего сложной структурой.

Ключевые слова: сеть связи, трафик, сложная структура трафика, распределение Парето, классификация трафика.

Актуальность

Развитие телекоммуникационных систем и рост объема мультимедийного трафика, передаваемого через них, актуализируют вопросы обеспечения своевременности и качества обслуживания QoS (Quality of Service) мультимедийного трафика. Анализ качества обслуживания мультимедийного трафика показывает, что мультимедийный трафик обладает сложной структурой (наличием свойств самоподобия, фрактальной размерности, непугассоновским распределением интервала времени между поступлением пакетов и др.). При этом наличие сложной структуры ведет к существенному (до десятков раз) снижению своевременности обслуживания трафика в узлах сети.

Для обеспечения заданного QoS сложного трафика в [1] предложены разные технологии его обработки. Принципиально их можно разделить по двум основным направлениям:

- адаптация процесса обработки трафика в узлом коммутационном оборудовании сети связи к параметрам передаваемого трафика;
- адаптация передаваемого трафика к параметрам сети связи.

При адаптации передаваемого трафика к параметрам сети связи достаточно часто возникает задача принятия решения о целесообразности проведения такой адаптации. Например, при преобразовании структуры трафика с целью снижения уровня его структурной сложности, описанного в [2-4], актуальной является задача выбора критерия преобразования, чтобы определить, какой трафик считать сложным и какие потоки трафика подвергать процедуре преобразования. В более общей постановке эта задача касается и других способов адаптации трафика к параметрам сети связи.