

УДК 004.7:519.87(043.3)

## РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

*Торошанко Я. И., Танцюра Л. И.*

*Государственный университет телекоммуникаций,  
Украина, г. Киев, 03680, ул. Соломенская, 7.  
[toroshanko@ukr.net](mailto:toroshanko@ukr.net); [ludatan64@gmail.com](mailto:ludatan64@gmail.com)*

*Дёмина Л. А.*

*Украинский государственный центр радиочастот,  
Украина, г. Киев, 03179, проспект Победы, 15-й км.  
[dominal@ukr.net](mailto:dominal@ukr.net)*

## РЕТРОСПЕКТИВНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ І КЕРУЮЧИХ СИГНАЛІВ В ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

*Торошанко Я. І., Танцюра Л. І.*

*Державний університет телекомунікацій,  
Україна, м. Київ, 03680, вул. Солом'янська, 7.  
[toroshanko@ukr.net](mailto:toroshanko@ukr.net); [ludatan64@gmail.com](mailto:ludatan64@gmail.com)*

*Дьоміна Л. О.*

*Український державний центр радіочастот,  
Україна, м. Київ, 03179, проспект Перемоги, 15-й км.  
[dominal@ukr.net](mailto:dominal@ukr.net)*

## RETROSPECTIVE IDENTIFICATION OF SIGNAL AND CONTROL DATA IN INTELLIGENT TELECOMMUNICATION NETWORKS

*Toroshanko Ya.I., Tantsyura L.I.*

*State University of Telecommunication,  
7, Solomenskaya St., 03680, Kyiv, Ukraine.  
[toroshanko@ukr.net](mailto:toroshanko@ukr.net); [ludatan64@gmail.com](mailto:ludatan64@gmail.com)*

*Dyomina L.O.*

*The Ukrainian state centre of radio frequencies,  
15th km Peremogy ave., 03179, Kyiv, Ukraine.  
[dominal@ukr.net](mailto:dominal@ukr.net)*

**Аннотация.** В работе рассмотрена система управления интеллектуальной телекоммуникационной сетью с большим количеством сетевого оборудования и задержками сигнальной и управляющей информации. Принципиальными особенностями таких систем управления является, во-первых, дрейф параметров автономных сегментов как объектов управления, а, во-вторых, отсутствие гарантий устойчивости решений дифференциально-разностных уравнений, которыми описывается система. Предложено использовать методы анализа устойчивости дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом для решения обратной задачи идентификации. На основе системного подхода к сети как к сложной локально-стационарной системе

---

*Торошанко Я. И., Танцюра Л. И., Дёмина Л. А.*

111

разработана модель сетевого сегмента как объекта управления при некоррелированности возмущений и помех с полезными сигналами. Очерчен круг вопросов принудительного введения системы управления в зону устойчивости. Рассмотрена задача оценивания чувствительности системы управления к дрейфам и внезапным отклонениям коэффициентов дифференциально-разностных уравнений из-за задержек сигнальной и управляющей информации.

**Ключевые слова:** интеллектуальная сеть, дифференциально-разностное уравнение, дрейф параметров автономных сегментов, задержки сигнальной и управляющей информации.

**Анотація.** У роботі розглянута система управління інтелектуальною телекомунікаційною мережею зі значною кількістю мережного обладнання і затримками сигнальної й керуючої інформації. Принциповими особливостями таких систем управління є, по-перше, дрейф параметрів автономних сегментів як об'єктів управління, а, по-друге, відсутність гарантій стійкості рішень диференційно-різницевих рівнянь, якими описується система. Запропоновано використовувати методи аналізу стійкості диференційних рівнянь з аргументом, що відхиляється, для розв'язання зворотної задачі ідентифікації. На основі системного підходу до мережі як до складної локально-стаціонарної системи розроблена модель мережного сегмента як об'єкта керування при некорельованості збурень і завад з корисними сигналами. Обкреслене коло питань примусового введення системи керування в зону стійкості. Розглянута задача оцінювання чутливості системи керування до дрейфів і раптових відхилень коефіцієнтів диференційно-різницевих рівнянь через затримки сигнальної й керуючої інформації.

**Ключові слова:** інтелектуальна мережа, диференційно-різницеве рівняння, дрейф параметрів автономних сегментів, затримки сигнальної й керуючої інформації.

**Abstract.** The control system of an intelligent telecommunication network with plenty of network equipment and delays of signal and control data is considered. The principal features of such control systems are, firstly, drift of parameters of autonomous segments as controlled objects, and, secondly, absence of guarantees of stability of decisions of differential and difference equations which describe the system. It is suggested to use the methods of analysis of stability of differential equations with a deviating argument for the decision of inverse problem of identification. On the basis of systems approach to the network as to the complex locally stationary system the model of network segment is developed as object of control at non-correlated disturbances and interference with useful signals. The circle of questions of the forced introduction of the control system in the area of stability is outlined. The task of evaluation of sensitiveness of the control system is considered to drifts and random deviations of coefficients of differential and difference equations from the delays signal and control data.

**Keywords:** intelligent network, differential and difference equation, drift of parameters of autonomous segments, delay of signal and control data.

Для развития новых, ориентированных на клиента, высокотехнологичных услуг телекоммуникаций необходимо разрабатывать и внедрять новые сервисы. Процесс адаптации новых функций, протоколов и интерфейсов к функциям сетевых и коммутационных узлов оказывается длительным и трудоемким.

Идея интеллектуальных сетей заключается в отделении функций поддержки, создания (разработки) и тестирования новых телекоммуникационных услуг от основных функций коммутационного узла. Функции предоставления услуг, некогда бывшие прерогативой традиционных коммутационных систем, мигрируют на независимые от коммутатора компьютерные платформы.

Здесь нужно отметить, что интеллектуальная сеть по своему смыслу и решаемым задачам не имеет ничего общего с системами так называемого искусственного интеллекта [1]. По существу, это всего лишь архитектурная концепция организации сетей связи, наиболее приспособленная для внедрения новых комплексных услуг и отделения их от процессов коммутации. Кроме того, новые услуги часто представляют собой многоступенчатые иерархические процедуры. Проблемы управления интеллектуальной сетью с широким спектром таких услуг имеют свою специфику.

Система управления интеллектуальной телекоммуникационной сетью с пакетной коммутацией и с большим количеством разнообразных сетевых коммутационных узлов

является сложной системой с неполной информацией о ее состоянии и параметрах. Кроме того, в таких системах имеют место задержки сигнальной и управляющей информации, возникающие при доставке данных по каналам связи и при обработке в промежуточных коммутационных узлах.

Рассмотрим влияние задержек сигнальной и управляющей информации на эффективность поиска и определения мест отказов, перегрузок и аварийных режимов в сетях связи. Постоянное наблюдение параметров и состояния системы поиска отказов необходимо для обеспечения стабильного функционирования этой системы, включая нагрузку отдельных маршрутов и узлов сегмента сети. Специфика проблемы вызвана задержками передачи сигнальной и управляющей информации, которые имеют случайный характер и могут изменяться в широких пределах. Задержка аргумента даже для простого дифференциального уравнения первого порядка с постоянными коэффициентами приводит к появлению последствия (это формально соответствует произвольной вариации порядка уравнения). Кроме того, если исходное уравнение имеет устойчивое решение, стабильность решения того же уравнения с задержанным (так называемым отклоняющимся) аргументом не гарантирована. Такие дифференциальные уравнения называют уравнениями с отклоняющимся аргументом [3,4].

Общего метода решения таких проблем не существует, но установлено [4], что наиболее эффективным методом качественного анализа дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом является аппроксимация производных конечными разностями. Другими словами, осуществляется переход от дифференциальных к разностным уравнениям. Очевидно, такой подход является вполне естественным для цифровых систем и телекоммуникационных сетей с пакетной коммутацией. В работе [5] показано, что при управлении потоками и процессами в информационно-коммуникационных сетях имеют место задержки получения информации о состоянии и параметрах сети, которые носят случайный характер и могут изменяться в широких пределах. Также имеют место задержки информации, используемой для изменения параметров сетевых узлов, маршрутов и автономных частей.

**Целью статьи** является разработка системы управления интеллектуальной телекоммуникационной сетью с большим количеством сетевого оборудования и случайными задержками сигнальной и управляющей информации. Система управления должна обеспечивать работоспособность сети как сложной системы в условиях возникновения сбоев и отказов в аппаратуре, неконтролируемых изменений режимов работы, действия возмущений, помех и других неблагоприятных факторов.

В данной статье рассмотрены задачи математического описания систем с задержками информации и приведены результаты компьютерного моделирования.

**Математическая модель системы управления с задержками информации.** Задача оценивания параметров и состояния динамической системы с запаздыванием, которая используется в качестве модели сегмента сети, представляет собой задачу ретроспективной идентификации [5]. Предполагается, что рассматриваемый сегмент является практически независимым от других сегментов и связан с ними соответствующими линиями передачи.

Рассмотрим проблему дискретизации дифференциального уравнения с запаздывающим аргументом и обеспечением стабильности решения. Неоднородное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами и отклоняющимся аргументом имеет следующий вид:

$$\frac{dy_{as}(t)}{dt} = by_{as}(t - \tau_k) + u(t - \tau_m), \quad (1)$$

где  $y_{as}(t)$  – искомая функция;  $u(t)$  – возбуждение;  $b$  – коэффициент обратной связи;  $\tau_k, \tau_m$  – задержки сигнальной и управляющей информации соответственно, причем в общем случае  $\tau_k \neq \tau_m$ .

В условиях сопоставимой малости интервалов тактовой синхронизации сети по сравнению с изменениями ее параметров и состояния можно дискретизировать уравнение (1) следующим образом. Аппроксимируем его уравнением в конечных разностях вида

$$y_{as}(n) \cong y_{as}(n-1) + by_{as}(n-k) + u(n-m), \quad (2)$$

где  $y_{as}(n)$  – функция состояния объекта;  $u(n-m)$  – управляющий сигнал;  $k$  и  $m$  являются задержками сигналов состояния и управления соответственно. В общем случае  $n \neq m$ .

Системная функция объекта, которая описывается уравнением (2), имеет следующий вид:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - bz^{-k}} \quad (3)$$

характеристический полином которой имеет достаточно специфический вид:

$$z^k - z^{k-1} - b = 0. \quad (4)$$

Системная функция (3) имеет нуль  $m$ -го порядка, который расположен в бесконечно удаленной точке  $z$ -плоскости, и  $k$ -полюсов, расположенных на равных угловых расстояниях  $\Delta\varphi = 2\pi/k$  друг от друга. На рис. 1 и 2 изображены системные функции вида (3) для случаев  $b = 0,9; k = 6$  и  $b = 0,9; k = 10$ .

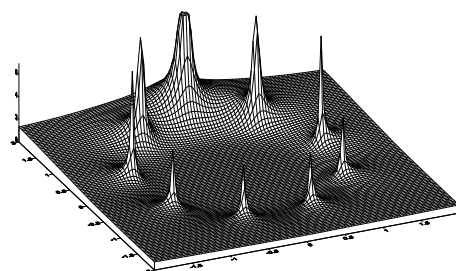
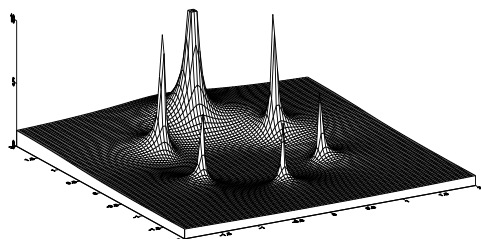


Рисунок 1 – Системная функция вида (3).  $b = 0,9; k = 6$       Рисунок 2 – Системная функция вида (3).  $b = 0,9; k = 10$

В [5] вычислены асимптотические оценки устойчивости систем с характеристическим полиномом вида (4) и области устойчивости. Показано, что для поддержания устойчивости системы управления необходимо уменьшать абсолютную величину коэффициента обратной связи в контуре управления при увеличении задержек сигналов управления. Однако проблема поиска зависимости между коэффициентом обратной связи и задержкой не имеет однозначного решения в замкнутой форме. Кроме того, имеют место неконтролируемые отклонения динамических характеристик и ухудшение качества управления.

Уравнение (2) можно рассматривать как самое простое уравнение управления сосредоточенным объектом с задержками сигналов состояния и управления. С использованием метода дискретизации дифференциального уравнения с задерживающимся аргументом разработана типичная модель узла сети как объекта контроля, которая показана на рис. 3.

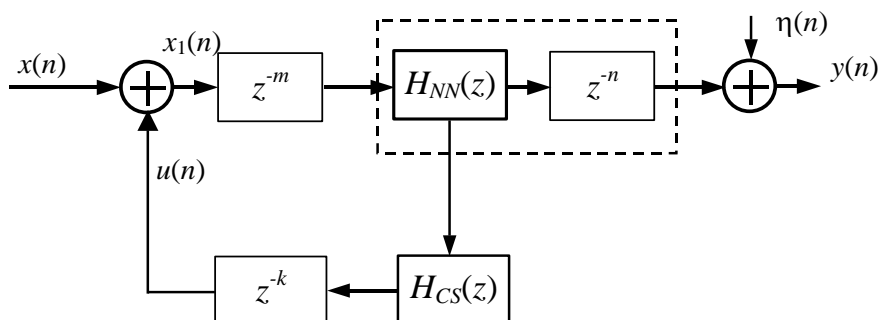


Рисунок 3 – Типичная структура системы контроля и управления сетевым узлом

Здесь  $x(n)$  – информационный сигнал;  $u(n)$  – управляющий сигнал;  $z^{-m}$ ,  $z^{-k}$  – элементы задержки, которая имеет место при доставке информации; в общем случае значение задержки информации о восходящем и нисходящем каналах обмена данными не совпадают ( $k \neq m$ );  $z^{-l}$  – элемент задержки реакции узла сети на вариации его состояния;  $z^{-r}$  – задержка обработки пакета в объекте управления;  $\eta(n)$  – внешние шумы и помехи, обуславливающие искажения и потери пакетов.

Фактически узел сети как объект управления – это система обратной связи, которая должна предоставлять некоторый отклик на вариации его состояния, например, общие перегрузки, затор приема, уменьшение пропускной способности, опустошение буфера, ненадлежащее функционирование, полный или частичный отказ и т.п. Для корректной работы систем управления надежностью, время отклика должно быть настроено весьма тщательно [6]. При очень коротком периоде реакции селевого узла система управления будет получать последовательность противоречивых информационных сигналов. Система будет находиться в состоянии незатухающих колебаний и не придет в стабильное состояние. С другой стороны, если период реакции будет слишком длинным, механизм управления состоянием будет реагировать слишком медленно, чтобы вообще принести какую-нибудь настоящую пользу. Чтобы иметь соответствующее качество процесса управления, нужно применять определенный способ адаптации, но правильный выбор постоянных времени – это нетривиальный вопрос. Рассмотрим эту проблему более детально.

Уравнение системы в конечных разностях для управляющих данных имеет такую форму:

$$u_1(n) = u(n - m)h_{NN}(n) + u_1(n - k - l)h_{CS}(n). \quad (5)$$

Запишем выражение для передаточной функции  $H_1(z) = X_1(z)/X(z)$  объекта, которым управляет система управления:

$$H_1(z) = \frac{1}{1 - H_{NN}(z)z^{-m}H_{CS}(z)z^{-(k+l)}}. \quad (6)$$

Соответствующее выражение для передаточной функции  $H_y(z)$  системы в целом имеет следующий вид:

$$H_y(z) = \frac{z^{-r}}{1 - H_{NN}(z)H_{CS}(z)z^{-(m+k+l)}} + \Xi(z), \quad (7)$$

где соотношение энергии сигнала к модулю комплексной спектральной плотности внешней помехи  $\xi(n)$

$$|Q_{\xi}(z)| = \frac{\left| \left[ X_1(z^{-(m+r)}) H_{NN}(z^{-r}) \right] \left[ X_1^*(z^{m+r}) H_{NN}^*(z^r) \right] \right|}{|\Xi(z) \Xi^*(z^{-1})|} \quad (8)$$

Выражение (7) в случае больших отношений сигнал/шум сходится к общей передаточной функции (6) системы с задержками сигнальной и управляющей информации.

**Результаты численного анализа.** С использованием выражений (5...8) было проведено цифровое моделирование системы управления параметрами коммутационного узла. Были исследованы параметры системы управления для различных параметров сетевого трафика (в частности, трафика Triple/QuadroPlay с самоподобными свойствами) и с различными случайными погрешностями и искажениями. Для обеспечения глобальной стабильности системы управления были специально подобраны коэффициенты обратной связи.

Главный результат моделирования – это зависимость вариаций длины очереди от времени реакции сетевого узла (число периодов  $l$ , которому соответствует задержка  $z^{-l}$ ) по сравнению с временем задержки обработки и доставки данных (число периодов соответственно  $z^{-m}$ ,  $z^{-k}$ ). В качестве тестового информационного сигнала  $x(t)$  была выбрана ступенчатая функция изменения мгновенной интенсивности сетевого трафика с наложенным на нее аддитивным случайным процессом, распределенным по закону Парето.

На рис. 4 представлены результаты моделирования для двух значений относительной задержки реакции сетевого узла  $l$  при полной задержке обработки данных и доставки  $m+k=10$ :  $l=20$  (рис. 4,а) и  $l=10$  (рис. 4,б). Здесь  $q(k)$  – переходная характеристика системы управления с задержками обработки информационного и управляющего сигналов.

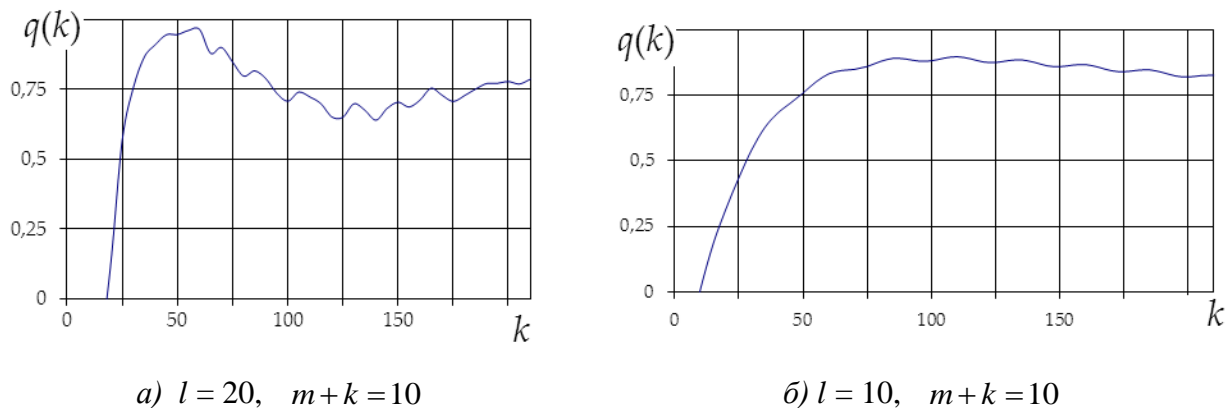


Рисунок 4 – Вариация нормализованной текущей длины очереди в буфере сетевого узла

Как видно из рис. 4, при значительной разнице задержки реакции сетевого узла и полной задержки обработки и доставки данных имеет место минимальный запас устойчивости системы управления по критерию перегрузки буфера. При всплесках сетевой активности, обусловленных, например, пачечностью самоподобного трафика, растет риск перегрузки буфера, отбрасывания пакетов управляющего сигнала, и, как следствие, перехода системы управления сетью в режим незатухающих колебаний [8]. В то же время при согласовании упомянутых задержек обеспечивается достаточный ресурс устойчивости управления по критерию перегрузки буфера для тех же статистических характеристик всплеска сетевой активности.

Надо отметить, что задержки в обнаружении и распознавании полезных сигналов и помех или фактов отказов оборудования имеют место не только при описании статистических характеристик, но и при оценке различных временных параметров сигналов, применении принципов накопления сигналов и тому подобное. Для оптимального выбора таких важных характеристик систем управления, как текущее время реакции объекта контроля, необходимо постоянно анализировать задержки сигнальной и управляющей информации и настраивать под них параметры коммутационных узлов. Вполне логично выбирать величину текущего времени реакции объекта контроля близкой к величине упомянутых задержек. Об этом же свидетельствуют и результаты цифрового моделирования.

Это можно делать, например, с использованием элементарного разностного уравнения первого порядка с коэффициентом, который задается в зависимости от характеристик сетевых узлов и текущих параметров трафика [5, 6].

**Выводы.** Для обеспечения безусловной работоспособности сложных систем в условиях возможного наличия различных дефектов в аппаратуре, изменения режимов работы, действия возмущений, помех и других неблагоприятных факторов в системы закладывается разного рода избыточность: структурная, аппаратная, сигнальная, информационная и другие. Дополнительные аппаратные или вычислительные ресурсы, предназначенные для управления сетью и для борьбы с перегрузками, должны находиться в состоянии резерва и включаться в работу после определения времени и места найденной перегрузки, обеспечивая необходимый уровень функционирования системы.

Поэтому в данной работе предложен подход, основанный на регулярном контроле параметров и состояния сетевых узлов с учетом задержек поступающей информации о параметрах и состоянии конкретного сетевого узла и задержек управляющей информации, необходимой для регулирования параметров сетевого узла как объекта управления.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гольдштейн Б.С. Интеллектуальные сети / Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. – М.: Радио и связь, 2000. – 500 с.
2. Гельфандбейн Я.А. Ретроспективная идентификация возмущений и помех / Я.А. Гельфандбейн, Л.В. Колосов. – М.: Советское радио, 1972. – 232 с.
3. Эсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом / Л.Э. Эсгольц, С. Б. Норкин. – М.: Наука, 1971. – 296 с.
4. Беллман Р. Дифференциально-разностные уравнения; пер. с англ. / Р. Беллман, К.Л. Кук. – М.: Мир, 1967.– 548 с.
5. Лесная Н.Н. Разработка алгоритма управления интеллектуальными мультисервисными сетями / Н.Н. Лесная // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: зб. наук. праць. – Вип. 11. – К., 2005. – С. 150 – 155.
6. Таненбаум А.С. Компьютерные сети, 5<sup>th</sup> Ed. / А.С. Таненбаум, Давид Д. Весерал, 2011. – 960 с.

#### REFERENCES:

1. Goldstein B.S., Ehriel I.M., Rerle R.D. Intelligent networks. – M.: Radio i swyaz', 2000. – 500 pp.
2. Gelfandbeyn Y.A., Kolosov L.V. The retrospective identification of disturbances and interference. – M.: Sovetskoye radio, 1972. – 232 pp.
3. El'sgol'ts L. E., Norkin S. B. Introduction to the theory of differential equations with deviating argument. – M.: Nauka, 1971. – 296 pp.
4. Bellman R., Cook K. L. Differential difference equations. – M.: Mir, 1967. – 548 pp.
5. Lesnaya N. N. Development of control algorithm intelligent multiservice networks // Problems efficiency infrastructure. – Collected Works, issue 11. – Kyiv, 2005. – 150 – 155 pp.
6. Tanenbaum, A.S. Computer Networks, 5<sup>th</sup> Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 pp.