

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Введение

Все большая востребованность инфокоммуникационных услуг обществом в целом и каждым пользователем в частности стимулирует развитие новых технологий в сфере информатизации и телекоммуникаций, формируя, тем самым, архитектуру глобального информационного пространства. Технологической основой информационного общества является Глобальная информационная инфраструктура (ГИИ), которая должна обеспечить возможность свободного доступа к информационным ресурсам [1, 2].

В силу того, что технологии развиваются параллельно с развитием информационного общества, важной задачей является исследование динамического поведения телекоммуникационной сети (ТКС) с выявлением перспективных направлений эволюции в условиях рыночных ограничений и нестабильности (ограничения капиталовложений на строительство и реконфигурацию существующих сетей играет немаловажную роль при прогнозировании состояния ТКС). Учет различных факторов, влияющих на тенденции развития и расширения телекоммуникационной инфраструктуры, включая решение задач анализа и обеспечения наблюдаемости, управляемости и, прежде всего, устойчивости функционирования сети, особенно в условиях, близких к перегрузкам, позволит адекватно прогнозировать будущее состояние ТКС и соответственно влиять на эффективность ее функционирования и управление доступными ресурсами.

Перспективы развития Глобальной информационной инфраструктуры

Глобальная информационная инфраструктура рассматривается в качестве основы Информационного общества, обслуживающей его информационные (науку, образование, средства массовой информации, рекламу и т. д.) и другие структуры [1, 2]. ГИИ должна представлять собой инфраструктуру, которая обеспечивает развитие, реализацию и функциональную совместимость существующих и будущих служб и приложений в области телекоммуникаций и информационных технологий с возможностью свободного доступа к ее ресурсам любого жителя планеты в произвольном месте и в любое время с обеспечением необходимого уровня безопасности и конфиденциальности в условиях приемлемой стоимости и качества (рис. 1)

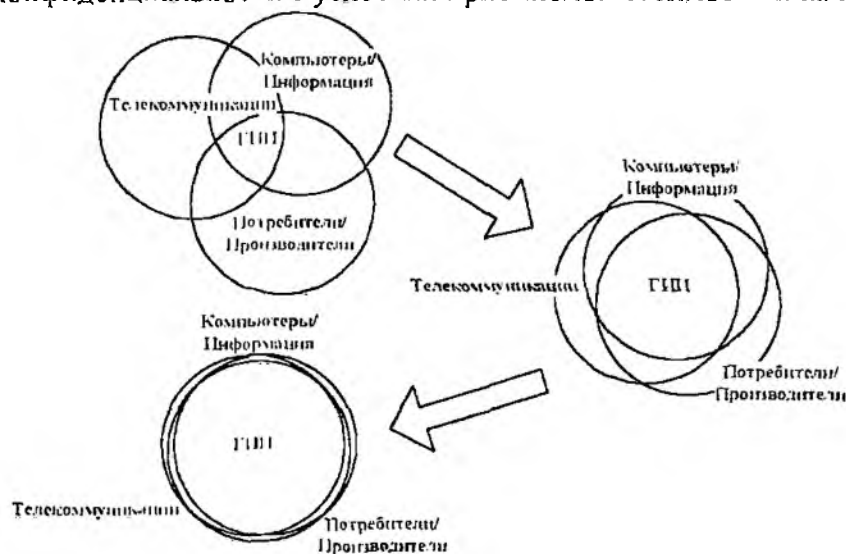


Рис. 1

Доступ к информационным ресурсам в ГИИ реализуется посредством услуг связи нового типа – инфокоммуникационных услуг. За предоставление данных услуг отвечает сеть связи следующего поколения (Next Generation Networks, NGN) – концепция построения сетей связи, обеспечивающих предоставление неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и созданию новых услуг за счет унификации сетевых решений [1, 2]. В рамках концепции NGN предполагается реализация универсальной транспортной сети с распределенной коммутацией, вынесение функций предоставления услуг в оконечные сетевые узлы и интеграцию с традиционными сетями связи (рис. 2).

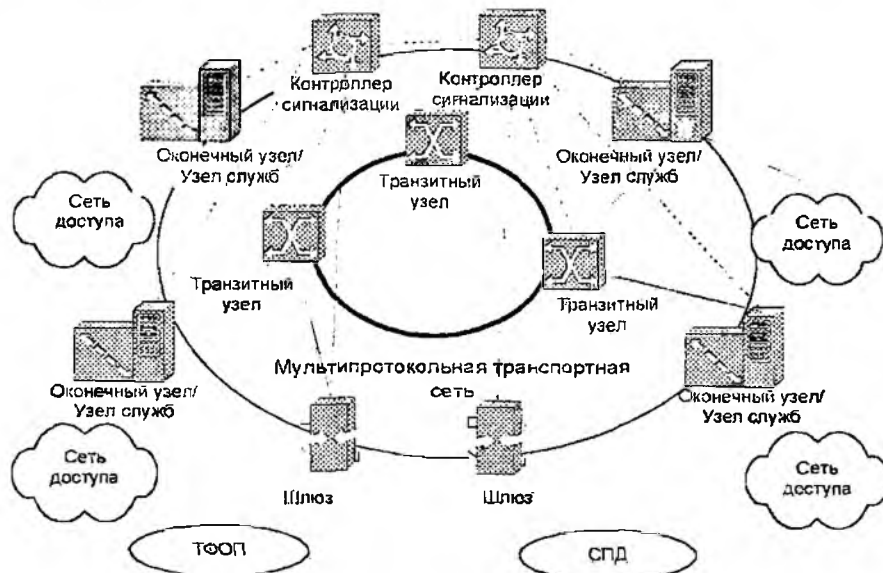
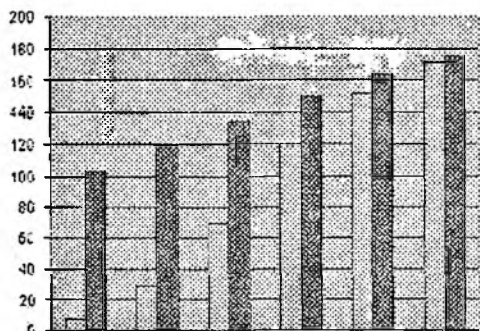
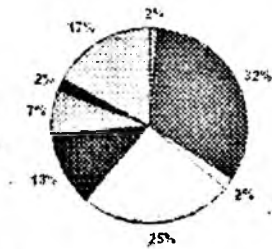


Рис 2

Поскольку транспортная система является одной из основных составляющих NGN, то при ее проектировании либо расширении важен выбор оптимальных структурно-функциональных параметров сети, а также обоснование экономической целесообразности использования тех или иных транспортных технологий. Для оценки состояния телекоммуникационной инфраструктуры и для последующего прогнозирования ее развития необходим учет множества факторов, включающих базовые показатели (количество пользователей / объем трафика, объем инвестиций в интернет-технологии и инфраструктуру и т.д.), внутренние факторы (политические, экономические, технологические и др.), а также граничные условия (например, развитие рынка информационных услуг зависит от обеспечения безопасности хранения и передачи информации в сети). Так, на рис. 3 отображены прогнозируемые изменения количества пользователей мобильной связи и Интернета в мире (рис. 3, а), а также факторы, сдерживающие рост Интернета (рис. 3, б).



а



б

Рис 3

При этом оценку состояния ТКС необходимо осуществлять в процессе постоянного изменения множества технико-экономических и др. показателей развития инфокоммуникаций. Известно, что наиболее адекватным описанием динамического поведения телекоммуникационной системы является представление ее математической модели нелинейными дифференциальными уравнениями, поэтому возникает вопрос об исследовании областей устойчивости функционирования ТКС при управлении развитием ресурсов транспортной сети, т.к. незначительное изменение упомянутых выше одного или нескольких показателей может привести к существенному изменению прогнозируемого состояния системы в целом.

В этом случае заслуживает внимания модель развития транспортной системы ГИИ [3, 4]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = u(t)\sqrt{x(t)} - nx(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ – отношение стоимости основных фондов (наличных ресурсов инфокоммуникаций) к количеству пользователей в условиях, когда количество пользователей приблизительно равно количеству населения; $u(t)$ – доля дохода, направленная на увеличение основных фондов телекоммуникаций – капитальные вложения в ресурсы – модернизация и расширение транспортных систем; n – амортизационная постоянная; $\sqrt{x}(t)$ – производственная функция. При этом имеют место следующие ограничения:

$$0 \leq u(t) \leq 1 \text{ и } 0 \leq n \leq 1.$$

Представленная модель является динамической и носит нелинейный характер, анализ же ее устойчивости позволит наиболее точно осуществить прогноз развития транспортной системы при постоянном влиянии различных факторов технического и экономического плана (увеличение пользовательского трафика, изменение количества предоставляемых услуг и объема ресурсов, рыночная нестабильность, ограниченность капиталовложений и т.д.).

Анализ устойчивости прогнозирования развития транспортной системы

Под устойчивостью подразумевается характер реакции динамической системы на малое возмущение ее состояния. Примем, что ТКС будет устойчивой, если незначительные изменения структурных и функциональных параметров сети не вызывают существенного изменения ее состояния. В качестве математического аппарата для анализа устойчивости широкое распространение получили теория бифуркаций динамических систем и теория катастроф [5]. Использование данных теорий при математическом описании процессов, протекающих в ТКС, открывает широкие возможности по обеспечению ее устойчивости по отношению к резким непредвиденным изменениям ее структуры (например, при выходе из строя сетевого элемента или целого участка сети), условий функционирования (например, при скачкообразном увеличении интенсивности поступающего в сеть трафика или изменении пропускной способности каналов связи), а также изменениям технико-экономической базы перспективного развития и модернизации ТКС.

В том случае, если динамическая система представляется дифференциальным уравнением, для анализа устойчивости режимов ее функционирования реализуется методика, основанная на анализе бифуркационных свойств исследуемой системы [6, 7]. Используем указанную методику для анализа устойчивости состояний динамической системы, заданной уравнением (1).

Шаг 1. Согласно методике на первом шаге осуществляем поиск стационарных состояний системы (1), для которых характерно $\frac{dx}{dt} = 0$, т.е.

$$u\sqrt{x} - nx = 0.$$

Получим два корня $x_1^0 = 0$ и $x_2^0 = \frac{u^2}{n^2}$.

Шаг 2. На втором шаге анализируется устойчивость в окрестности полученных стационарных точек путем исследования динамики поведения (эволюции) малых возмущений, вводимых в исходное уравнение.

В связи с тем, что проблема устойчивости, как уже упоминалось, связана с анализом реакции системы на малое возмущение ее состояния, она может быть исследована в рамках линейного приближения. Пусть $x''(t)$ есть некоторое частное решение уравнения (1). Исследуем устойчивость этого решения (состояния), для чего введем в рассмотрение переменную $y(t)$, которая задает малое отклонение от частного решения:

$$y(t) = x(t) - x''(t), \quad (2)$$

где $x(t)$ – возмущенное решение,

При этом задача состоит в исследовании изменения во времени малого возмущения, в данном случае $y(t)$, которое подчиняется уравнению (2). Обозначив левую часть уравнения (1) через F , эволюцию малого возмущения $y(t)$ можно представить в виде линейного уравнения

$$y = A(t)y, \quad \text{где } A(t) = \left. \frac{dF}{dx} \right|_{x=x''(t)}, \quad (3)$$

которое получено с учетом разложения функции F в степенной ряд в окрестности частного решения $x''(t)$ [6]:

$$F(y) = \left. \frac{dF}{dx} \right|_{x=x''(t)} \cdot y(t) + \left. \frac{d^2F}{dx^2} \right|_{x=x''(t)} \cdot y^2(t) + \dots, \quad (4)$$

где производные функции F должны вычисляться в точках, соответствующих частному решению.

Рассмотрим уравнение для возмущений (3) применительно к полученным стационарным точкам x_1^0 и x_2^0 . Подставив в выражение (3) корень x_1^0 , реализуемого решения не получим, т.к. присутствует деление на ноль. Рассмотрим уравнение (3) применительно к стационарному состоянию x_2^0 :

$$y = \left(\frac{n}{2\sqrt{x_2^0}} - n \right) y = -\frac{n}{2} y, \quad A = -\frac{n}{2}. \quad (5)$$

Решением уравнения (5) будет $y = \exp(At)$. Возмущение y экспоненциально затухает во времени (A – отрицательное число). Это означает, что состояние x_2^0 устойчиво (рис. 4)

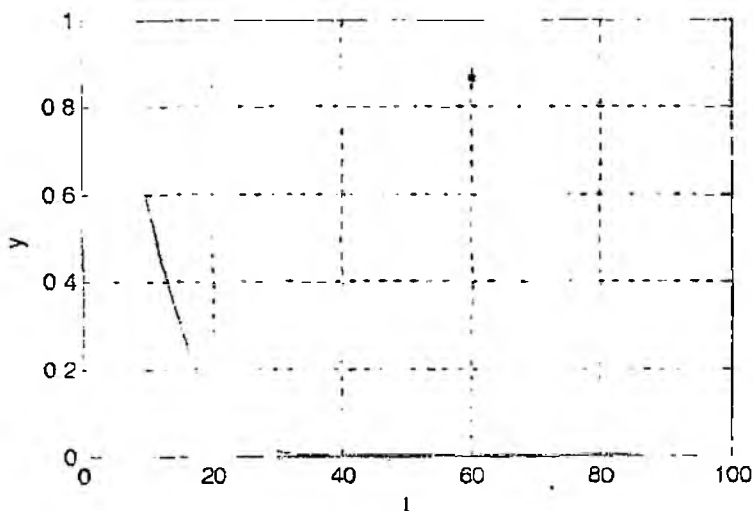


Рис. 4

Выводы

Эволюция сферы информационных и телекоммуникационных технологий повлекла становление и бурное развитие глобального информационного пространства. Концепция развития, расширения или модификации существующих сетевых структур, в частности транспортной системы ГИИ, должна рассматриваться как с технических, так и с экономических позиций. При прогнозировании развития телекоммуникационной инфраструктуры необходимо учитывать множество факторов, которые отражают уровень национального прогресса в области макроэкономики и инфраструктуры информационных и коммуникационных технологий. Однако динамичность изменения многих факторов приводит к необходимости своевременной оценки и учета этих показателей при прогнозировании развития ТКС. Наиболее подходящим описанием динамического поведения телекоммуникационной системы является представление ее математической модели нелинейными дифференциальными уравнениями, что влечет необходимость исследования устойчивости прогнозируемого состояния при незначительных изменениях тех или иных показателей. В результате такого исследования условия устойчивости могут быть сформулированы как дополнительные ограничения, накладываемые на параметры $x(t)$ и $u(t)$ (т.е. стоимость основных фондов телекоммуникаций и доходы, затрачиваемые на увеличение этих фондов).

В данной работе проанализирована устойчивость модели развития транспортной системы ГИИ, которая позволяет спрогнозировать скорость изменения во времени стоимости наличных ресурсов относительно количества пользователей. В качестве математического аппарата использовалась теория катастроф, которая позволяет выявить качественные изменения в поведении динамической системы при незначительном изменении внутренних либо внешних факторов, влияющих на состояние данной системы. Анализ показал, что развитие ресурсов транспортной сети при использовании предлагаемой модели прогнозирования будет отображать наиболее приближенное к действительному (модель будет устойчива) состояние информационно-коммуникационной системы при каких-либо изменениях технико-экономических факторов.

Список литературы: 1. *Рекомендация МСЭ-Т Y.100* "Обзор стандартов для глобальной информационной инфраструктуры" (ITU-T Rec. Y.100 "General overview of the Global Information Infrastructure standards development"). 1998, June. 2. *Рекомендация МСЭ-Т Y.110* "Принципы и архитектура глобальной информационной инфраструктуры" (ITU-T Rec. Y.110 "Global Information Infrastructure principles and framework architecture") 1998, June. 3. 1998, June. 3. *Климаш М. М.* Повністю оптичні мережі: принципи побудови, функціонування та створення національної інформаційної інфраструктури // Матеріали НПК «Сучасні проблеми телекомунікацій-2003». 2003. С. 15-24. 4. *Климаш М. М., Бондаренко В. Г., Мельник Д. С., Москвітін В. Д.* Основні закономірності розвитку інфокомунікацій і їх особливості в країнах з перехідною економікою // Матеріали НПК «Сучасні проблеми телекомунікацій-2003». 2003. С. 29-42. 5. *Томпсон Дж. М. Т.* Неустойчивости и катастрофы в науке и технике: Пер. с англ.: М.: Мир, 1985. 254 с. 6. *Анщенко В. С.* Сложные колебания в простых системах: Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиофизических системах: М.: Наука. Гл. ред физ.-мат. лит., 1990. 312 с. 7. *Старкова Е. В.* Анализ устойчивости функционирования механизмов борьбы с перегрузками телекоммуникационной сети // Радиотехника. 2007. № 151. С. 78-84.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 17.11.2008