

## ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ ТРАФИКА КОНВЕРГЕНТНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Максим Соломицкий

**Аннотация:** Предложено формальное описание конвергентной телекоммуникационной сети и процессов в ней. Выполнен анализ возможности использования математического аппарата теории телетрафика для создания модели трафика конвергентной телекоммуникационной сети. Определена необходимость разработки модели взаимодействия конвергентной телекоммуникационной сети с внешней средой с учетом самоподобного характера поступающего потока.

**Ключевые слова:** конвергентная телекоммуникационная сеть, поток вызовов, математическая модель.

**Ключевые слова классификации ACM:** G.3 PROBABILITY AND STATISTICS – Distribution functions, G. Mathematics of Computing – G.0 GENERAL, G.3 PROBABILITY AND STATISTICS – Stochastic processes.

*Для мага самая трезвая вещь, которую он может сделать,  
– это перевести эти сущности на абстрактный уровень.  
Чем меньше интерпретаций делают маги, тем лучше.*

*К. Кастанеда*

---

### Введение

Современное общество производит и потребляет разные виды информации, для доставки которой используются различные информационные и телекоммуникационные сети. Такое разнообразие сетей является технически нецелесообразным и экономически невыгодным. В связи с этим особую актуальность приобретает проведение фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ в области создания современных телекоммуникационных сетей, обслуживающих разнородный трафик.

При решении задач проектирования и оптимизации телекоммуникационной сети (ТС) актуальной остается задача определения нагрузки поступающей на сеть. Это связано с тем, что величина нагрузки является одним из основополагающих факторов при расчете необходимого количества каналов связи, систем коммутации и другого сетевого оборудования. Существующие методы расчета сетевого оборудования основаны на моделях нагрузки, разработанных для таких известных классов сетей, как информационно-вычислительные [1,2], передачи данных [3,4], телефонные, которые призваны реализовать обслуживание пользователей только в определенной четко ограниченной области. Создаваемую в настоящее время конвергентную телекоммуникационную сеть (КТС) нельзя отнести ни к одному из этих классов. Поэтому существующие модели взаимодействия ТС с внешней средой (модели нагрузки) и методы расчета сетевого оборудования непригодны для решения задач анализа и проектирования КТС.

В связи с этим, на первый план выходят задачи развития и модернизации моделей и методов описания архитектуры ТС и процессов в этих сетях, которые можно рассматривать в качестве основы для создания математического аппарата разработки и совершенствования моделей и методов синтеза и модернизации КТС. При этом представляет интерес исследование режимов работы ТС в процессе их

реконструкции и модернизации, когда существенно изменяется интенсивность внешнего воздействия на сетевые элементы. Структурная сложность КТС и ее отдельных частей, большое количество и разнообразие исходных данных, необходимость прогнозирования этих данных – все это обуславливает высокий уровень теоретической сложности решения задач построения и развития сети, в особенности, касающихся исследования ее динамики. Следовательно, нужны методы, позволяющие создать аппарат расчета сети в условиях ее динамического развития [5].

В статье под КТС понимается совокупность аппаратно-программных средств и архитектурно-технологических методов доставки информации территориально удаленным пользователям, позволяющая на единой цифровой основе обеспечить различные виды услуг по обработке и доставке разнородной информации, при обеспечении требований пользователей к своевременности и качеству доставки циркулирующей в сети интегральной информации. Объектом исследования данной работы является взаимодействие КТС с внешней средой. Согласно приведенному определению КТС накладывает ограничения на предмет исследования – потоки информации, формирующие нагрузку на сеть.

---

### **1. Конвергентная телекоммуникационная сеть как объект исследования и проектирования**

---

Развитие концепции конвергентных телекоммуникационных сетей обусловлено, главным образом, необходимостью предоставления всего спектра современных информационно-коммуникационных услуг (ИКУ) в рамках единой универсальной ТС, обладающей технической возможностью организации новых служб для обеспечения рентабельности сети в будущем.

При планировании, построении, эксплуатации и развитии КТС возникает совокупность проблем, в каждой из которых, и всей их совокупности, можно выделить задачи, требующие взаимной увязки и совместимых оптимизационных решений. Согласно [6], первая из этих задач – проведение анализа потребностей пользователей в услугах связи, для удовлетворения которых создается сеть, – т.е. определение ожидаемой нагрузки на сеть. Такой анализ включает определение потенциальных объемов информационных потоков, распределение их в пространстве и времени. Здесь планирование заключается в уточнении видов и объемов традиционных и новых услуг связи, выборе правильных соотношений между объемами агрегируемых в потоке трафика различных ИКУ и определении характера распределения потоков, созданных этими услугами. Вторая задача планирования развития – оптимизация структуры КТС и распределения в ней информационных потоков. Третья задача, возникающая уже на фазе эксплуатации КТС, – это экспериментальное исследование такой системы.

Рассматривая КТС как большую систему, необходимо на этапах проектирования провести декомпозицию структуры и выполняемых ею функций на отдельные звенья и компоненты. При этом, исходя из целевого назначения КТС, выделим в качестве базового процесса, составляющего суть функционирования системы, процесс преобразования информации, т. е. информационную технологию. Такой подход позволит с единой системной позиции рассмотреть все составляющие технологического процесса преобразования информации в КТС на различных уровнях абстракции и дать общую характеристику процесса на уровне системы в целом [6].

Исходя из динамики процесса преобразования информации в КТС, выделим две его составляющие: вычислительный процесс, отражающий преобразование информации в основном во времени, и информационный процесс, связанный с преобразованием информации в основном в пространстве. Очевидно, что такое деление достаточно условно, как впрочем, и всякая классификация. Вычислительный и информационный процессы, как компоненты единого технологического процесса преобразования информации, находятся в тесной взаимосвязи, дополняя друг друга в зависимости от целей исследования и уровня рассмотрения. Вычислительный процесс состоит из подпроцессов таких как: ввод, вывод, хранение, обработка данных и т. п., а информационный процесс включает сбор, распределение, передачу, коммутацию информационных потоков и т. п. Остальные подпроцессы в сети учтем как

внешние воздействия. Проведение декомпозиции технологического процесса преобразования информации в КТС позволит оценить вероятностно-временные характеристики вычислительного и информационного процессов на уровне разработки структурных элементов системы, а также вероятностно-временные характеристики их составляющих. Это важно, поскольку объем необходимого оборудования зависит не только от интенсивности потока и вероятности потерь вызовов, но и от вероятностно-временной структуры потока вызовов. Таким образом, для правильного построения и расчета сетей необходимо иметь максимально точную информацию о поступающей нагрузке и о характере потока вызовов, создающего эту нагрузку [7]. Так как решение задачи построения и оптимизации КТС с системных позиций должно быть получено с учетом тесного взаимодействия сети с пользователями, необходимо ввести понятие входящего информационного потока, отражающего и позволяющего описать воздействие пользователей на КТС.

---

## 2. Формальное описание сетевого трафика и процессов, отражающих воздействие пользователей на КТС

---

В работе под сообщением пользователя (СП), т. е. информационным сообщением, поступающим из внешней информационной метаструктуры в транспортную систему КТС, будем понимать основную исследуемую единицу информации пользователя, т. е., по терминологии информационно-вычислительных сетей, «конечную последовательность данных, формируемую для передачи и имеющую законченное смысловое значение» [8]. В сети СП передаются в виде коммутируемых информационных единиц (КЕ), например сообщений, пакетов, дейтаграмм и т. д., длина которых может отличаться или не отличаться от длины СП. Трафик в сети может быть представлен в виде потоков с интенсивностью  $\lambda$ , причем для сетевых данных  $\lambda = \lambda(\alpha)$ , где  $\alpha$  – в общем случае вектор, составляющие которого определяются алгоритмами управления обменом и коммутацией в КТС, а также структурой сети и ее узлов коммутации (УК). В КТС от пользователей поступают различные виды информации (оперативные и диалоговые данные, речь, видеопотоки, фоновая информация и т. д.), которые формируют агрегированный трафик КТС. Доля каждой из агрегируемых информационных категорий в общем объеме информации в КТС и в отдельных ее участках может меняться в течение времени в широких пределах.

В соответствии с режимами коммутации, приоритетами и видами информации различные виды поступающих от пользователей запросов на ресурсы КТС можно классифицировать в виде трехмерной матрицы, элементы  $a_{ij}^k$  которой являются условными (закодированными) обозначениями запросов, т. е.

$a_{ij}^k$  – код запроса  $i$ -го вида информации  $j$ -го приоритета на  $k$ -й режим коммутации. Каждый запрос, кроме кода, имеет характеристики (параметры)  $p_0^D$ ,  $T^D$ ,  $D^D$ , которые могут быть фиксированы для каждого отдельного запроса, где  $p_0^D$  – максимальная допустимая вероятность искажения символа;  $T^D$  – максимально допустимая средняя задержка СП или КЕ;  $D^D$  – допустимая дисперсия времени задержки.

Для полноты морфологического описания КТС необходимо описание модели сетевого трафика. Модель трафика определяется законом распределения интервалов времени между моментами поступлений СП; законом распределения числа КЕ в СП; классом приоритетности, определяемым в общем случае срочностью доставки; ценностью информации; адресом источника и адресом получателя информации и т. д. В связи с тем, что основным назначением КТС является обеспечение требуемого качества обслуживания пользователей (реализация пользовательских требований на передачу информации), поток поступивших в сеть СП определяет нагрузку на КТС.

### 3. Формальное описание архитектуры КТС

Рассматривая взаимодействие внешней среды и элементов КТС и обработку цифровой информации каждым из элементов этой сети в соответствии с принципами модели взаимодействия открытых систем (ВОС), проведем формальное описание архитектуры КТС в виде внешней среды и сетевой среды. Каждая из этих сред представляется в свою очередь в виде двух сред: внешняя среда – средами генерации и распространения, сетевая среда – средами взаимодействия и обработки. Предложенная иерархия сред отображена на рис.1.

Выделение среды генерации позволит описать воздействие пользователей на сеть, т. е, потоков их запросов на ресурсы сети; среда распространения позволяет отразить воздействие внешних мешающих факторов (помех, сбоев и т. п.) на распространение физических сигналов (электрических, оптических и т.д.); среда взаимодействия дает возможность описать сеть в целом, как единую систему, взаимодействующую с внешней средой на системном уровне (уровне сред генерации и взаимодействия); среда обработки – возможность описать основные структурные элементы сети, обрабатывающие цифровую формацию: УК, концентраторы, абонентские пункты, тракты передачи и т. п. с учетом взаимодействия с внешней средой на реализационном (аппаратно-программном) уровне (уровне сред распространения и обработки).

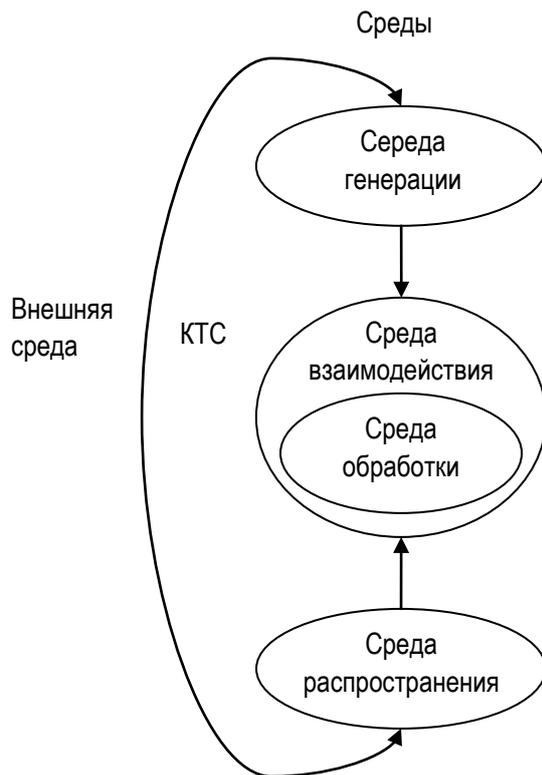


Рисунок 1 – Иерархия сред согласно формальному описанию КТС

Среду взаимодействия представим как некоторую однородную или регулярную информационно-вычислительную среду [9], состоящую из УК. Рассматриваемые узлы представляется целесообразным формализовать в виде совокупности открытых систем. Согласно модели ВОС все соединения между открытыми системами являются дуплексными, а рассматриваемые узлы среды взаимодействия подчиняются следующим правилам:

- связь между объектами одного и того же уровня двух или более открытых систем в рамках узла среды взаимодействия может осуществляться через объекты смежных уровней, исключая физический;
- объекты открытых систем, находящиеся в разных узлах среды взаимодействия, соединяются между собой обязательно через физические уровни этих систем.

Для описания и анализа особенностей среды взаимодействия можно воспользоваться предложенным в [9] аппаратом иерархических матриц связности. Структура любой сети может быть задана с помощью простой квадратной матрицы связности (МС), размерность которой определяется числом узлов в сети  $N_u$ . Однако такая МС будет иметь большую размерность при применении в КТС, к тому же в ней в явном виде нельзя отразить факт наличия и особенности некоторых вторичных сетей. Аппарат же иерархических матриц, представляющий собой совокупность квадратных и прямоугольных МС, позволяет устранить эти недостатки.

Среду обработки (информационно-вычислительную среду) представим в виде децентрализованных структур однотипных элементов – абстрактных узлов и коммутационных систем, показанных на рис. 2 [9,10]. Понятие «абстрактного узла» взято из концепции «теории разговоров», в рамках которой это понятие использовалось для формального описания протоколов в сетях передачи данных и вычислительных сетях. В силу того, что «теория разговоров» характеризуется, прежде всего, тем, что она строится на формулировке связей и правил обмена между соседними узлами сети, при этом более сложные структуры создаются путем последовательного наращивания, т. е. на одном уровне, понятие «абстрактного узла» в исходной форме представляется неприемлемым, т. к. подобные структуры трудно реализуются при наличии нескольких одновременных «разговоров» из-за ограничений по производительности, и, следовательно, для реализации УК с необходимой для КТС высокой производительностью понятие «абстрактного узла» необходимо переработать. При этом предположим, что полученное формальное представление процессов в сетевых узлах на базе среды обработки, описываемой в виде абстрактных узлов с приемлемой для КТС структурой, позволит решать задачи идентификации процессов коммутации и обмена информацией на различных уровнях иерархии КТС.

Выделение среды распространения отражает наличие стохастических мешающих воздействий внешней среды на распространение информации в КТС, что соответствует 1 и 2 уровням модели ВОС. Наиболее простой из математических моделей для описания среды распространения является модель независимых ошибок, которая исходит из предположения, что ошибки в дискретном канале связи возникают независимо друг от друга, т. е. между ними отсутствует корреляция.

Экспериментальные работы в области исследования каналов связи не подтвердили гипотезы о независимости ошибок, а выявили тенденцию к их группированию (пакетированию) [11].

Известно много математических моделей дискретных каналов связи, в которых различным образом отражается экспериментально установленный факт группирования ошибок. Существующие модели по способу описания параметров потоков ошибок можно условно разделить на две большие группы. Модели первой группы отражают чисто математический подход к вопросу описания потока ошибок, но при этом, как правило, игнорируется физическая сторона процессов, происходящих в каналах связи, и механизм группирования ошибок не задается в явном виде. В моделях второй группы делаются попытки в какой-то степени учесть физические явления, которые приводят к появлению ошибок. В моделях этой группы используется понятие пакета ошибок, механизм образования которых задается в явном виде.

Наиболее целесообразным представляется строить математическую модель среды распространения, оперируя понятиями, близкими к физическим явлениям, происходящим в каналах связи, т. е. на 1 уровне модели ВОС.

Разработка адекватной модели для описания ошибок в каналах связи различных типов, используемых в КТС, является целью отдельного глубокого исследования и в рамках данной работы не рассматривается.

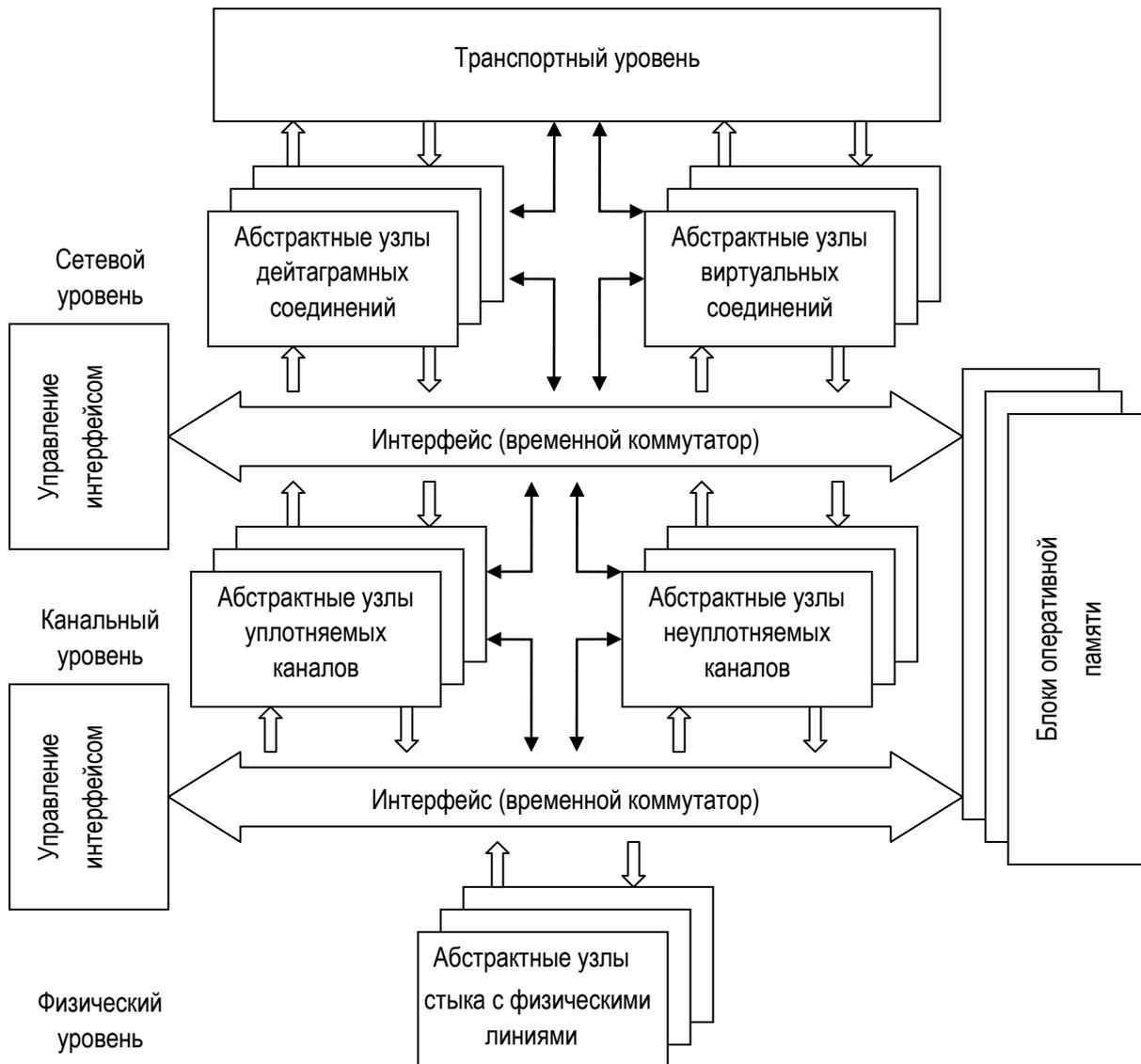


Рисунок 2 – Формальное представление среды обработки

#### 4. Модель взаимодействия КТС с внешней средой как математическая основа модели нагрузки КТС

Согласно формальному описанию, введенному в предыдущем разделе, внешние воздействия на КТС со стороны пользователей представляются в виде среды генерации, отражающей динамику пользовательских запросов на ресурсы КТС и характер этих запросов. С точки зрения специалистов, занимающихся исследованием и проектированием системы управления КТС, любая модель взаимодействия с внешней средой должна рассматриваться как математическая основа, позволяющая создать приемлемые для практики методы идентификации и анализа вероятностно-временных характеристик процесса функционирования сети. Рассмотрение передачи различных видов информационных сообщений пользователей (СП) в виде потоков коммутируемых информационных

единиц (KE) дает возможность перейти к формальному описанию среды генерации, сводимому к описанию воздействия входящих потоков (вызовов) на сеть.

Модель потока вызовов изучается достаточно давно. В [12] потоком вызовов (событий) называется последовательность вызовов, поступающих через какие-либо интервалы или в какие-либо моменты времени. При этом в опубликованных работах поток вызовов определяется тремя эквивалентными способами: последовательностью вызывающих моментов, последовательностью промежутков времени между вызывающими моментами и последовательностью чисел, определяющих количество вызовов, поступающих в течение заданных отрезков времени. Такие способы задания потоков являются исчерпывающим при рассмотрении передачи речи по телефонной сети с позиционным мультиплексированием. Однако КТС обслуживает трафик с использованием как позиционного, так и меточного мультиплексирования. Поэтому очевидно, что поток КТС помимо распределения во времени должен определяться и количеством передаваемой информации.

Выполним анализ основных свойств потоков, поступающих на ТС, на основании базисных работ [12–14] и определим возможность применения рассмотренных потоков для КТС.

Вероятность поступления некоторого количества требований в промежутке определенной длины для стационарного ординарного потока без последствия, называемого простейшим потоком, рассчитывают по формуле Пуассона. При этом распределение вероятностей промежутка между поступлением соседних требований подчиняется экспоненциальному закону, а математическое ожидание этой, экспоненциально распределенной, случайной величины равно ее дисперсии. Для применения этой математической модели на КТС необходимо наложить большое количество ограничений и проводить ее исследования с детерминированными режимами использования сетевых ресурсов, которые бы позволили удовлетворить предположениям о стационарности и ординарности поступающего в сеть потока. Однако даже в таком случае модель не может быть пригодной, т.к. предположение об отсутствии последствия потока не соответствует действительности, поскольку, как это будет показано ниже, поток КТС обладает долгосрочной зависимостью поступления информации. В виду этого представляется целесообразным использование свертки вероятностей поступления требований по формуле Пуассона и аппарата для определения корреляции вероятностного процесса поступления требований. Это же касается и одного из важных свойств пуассоновского потока – аддитивности.

Для применения математических моделей нестационарного (ординарного потока без последствия) и неординарного (группового стационарного потока без последствия) пуассоновских потоков к КТС необходимо, как и в случае простейшего потока, учесть и определенным образом математически описать корреляции между поступлениями требований. Представляется целесообразным переработать и модернизировать параметры указанных нестационарного и неординарного потоков, что позволит определить наличие и задать характер зависимости между моментами поступления требований в потоках. Это же касается и группы нестационарных потоков (симметричного, примитивного и потока с повторными вызовами) с простым последствием.

Для применения моделей потоков (Пальма, Эрланга) с ограниченным последствием в качестве математической модели потока КТС необходимо пересмотреть характер, рассматриваемого в рамках этих моделей, последствия. Для этого необходимо задать математическое описание корреляции промежутков между требованиями. В частности, в случае потока Эрланга [15] характер изменений тождествен вышесказанному в рамках анализа пуассоновских потоков.

Подытожив можно сказать, что математический аппарат теории телетрафика [12–14] дает хорошие результаты при его применении для телефонных сетей с коммутацией каналов и иногда удовлетворительные результаты для сетей передачи данных, вычислительных систем с коммутацией пакетов и сообщений. Однако ни один из рассмотренных потоков не пригоден для адекватного описания потока интегрального трафика циркулирующего внутри КТС, полученного в результате развития, взаимопроникновения и слияния информационных и коммуникационных технологий на протяжении нескольких десятков лет [16].

Хорошо проработанные вопросы анализа математических моделей систем массового обслуживания (СМО) с ожиданием [17] имеют важное значение для проектировщиков сетей и системных аналитиков и очень полезны при проектировании, планировании ресурсов и предсказании производительности сети. Однако во многих реальных случаях результаты, полученные на основе анализа очередей в СМО, существенно отличаются от фактически наблюдаемой производительности, т.к. анализ очередей применим лишь в случае, когда трафик данных подчиняется распределению Пуассона [18].

Многочисленные исследования [20–27], проведенные за последнее десятилетие прошлого века и в начале нынешнего учеными разных стран, позволяют утверждать, что во многих ситуациях трафик современных сетей обладает особой структурой, не позволяющей использовать при проектировании привычные методы, основанные на Марковских моделях и формулах Эрланга, которые хорошо себя зарекомендовали как аппарат проектирования телефонных сетей с коммутацией каналов. Игнорирование этих особенностей трафика приводит к недооценке или переоценке нагрузки и к неоправданно оптимистическим решениям [19]. Особенности, о которых идет речь, вызваны проявлением эффекта самоподобия трафика.

В статье [20] показано, что анализ очередей с использованием предположения о пуассоновском потоке не представляет адекватную модель современного сетевого трафика. Опираясь на большое количество исходных данных и статистический анализ, авторы утверждают, что для трафика в сетях с применением технологии *Ethernet* требуется новый метод моделирования и анализа сетевого трафика. Эта статья вызвала поток исследовательских работ по данному вопросу. Анализ множества статистических тестов [20] приводит к выводу, что трафик сети, работающей по технологии *Ethernet*, является самоподобным с параметром Херста  $H=0,9$ . Характер трафика, полученного при помощи самоподобной модели с  $H=0,9$ , оказался довольно близким к данным, полученным в реальных условиях. Авторами показано, что метод, заключающийся в моделировании трафика сети с использованием технологии *Ethernet* путем суперпозиции нескольких Парето-подобных источников *ON/OFF*, каждый из которых находится в одном из двух состояний: *ON*, в котором он активно передает пакеты, и *OFF*, в течении которого он бездействует, во-первых, позволяет получить результаты, сходные с данными реального трафика сети, работающей по технологии *Ethernet*, во-вторых, для него требуется определить совсем немного параметров. Исследователями было обнаружено, что изучаемый трафик сети с применением технологии *Ethernet* соответствует самоподобному трафику с  $H=0,9$  [21].

В [22] сообщается об исследовании трафика Интернет, включающем более полумиллиона запросов к *web*-документам. Данные, полученные по методологии сходной с той, что применялась в исследовании сети, работающей по технологии *Ethernet*, показали, что трафик, формируемый *web*-браузерами, является самоподобным. Сходные результаты опубликованы в [23,24]. Исследуемые данные хорошо соответствуют распределению Парето, в процессе исследований обнаружено, что файлы, доступные в Интернет, обладают медленно затухающими распределениями интенсивности объемов передаваемых данных при загрузке файлов пользователями.

Исследования [25] показали, что модели, основанные на пуассоновском распределении, не соответствуют поведению сетей с системой сигнализации № 7, при этом обнаружилось, что модели самоподобного трафика обеспечивают лучшее соответствие для потоков управляющих сигналов, формируемых в цифровых телекоммуникационных сетях (цифровой сети интегрального обслуживания и др.).

В [26] сообщается об исследовании широкого спектра потоков, циркулирующих в сетях, работающих по протоколу *Transmission Control Protocol (TCP)*, а также об анализе трафика в сетях, работающих по протоколам *File Transfer Protocol (FTP)* и *Terminal Network (TELNET)*. При этом сделаны следующие общие выводы.

В используемых обычно пуассоновских моделях существенно недооценивается неравномерность трафика сетей, работающих по протоколу *TCP*, в широком диапазоне временных шкал.

Для интерактивного трафика сетей, работающих по протоколу *TELNET*, процесс поступления вызовов с последующим установлением соединений хорошо моделируются пуассоновским распределением, однако предположение о пуассоновском распределении поступления пакетов существенно недооценивает неравномерность трафика.

Для групповой пересылки данных, осуществляемой по протоколу *FTP*, структура трафика заметно отличается от пуассоновского; процесс поступления заявок, приводящих к последующему установлению сеансов связи по протоколу *FTP*, хорошо соответствует пуассоновской модели, но скорость поступления данных по соединениям *FTP* оказывается существенно более неравномерной, кроме того, распределение количества байтов в каждом сеансе является медленно затухающим.

Так же долгосрочно зависимыми (обладающими медленно затухающими распределениями) являются задержки доставки пакетов по протоколу *User Datagram Protocol* в Интернет [27].

Модель взаимодействия КТС с внешней средой, учитывающая фактор самоподобия и отражающая воздействие на сеть пользователей, формирующих поступающую нагрузку, на данный момент в опубликованных источниках не представлена.

---

## Заключение

Сформулированные в работе формальные представления и подход позволят специалистам в области исследования и проектирования сетей, используя в качестве конструктивного принципа метод восхождения от, предложенного в работе, абстрактного к конкретному, воспроизвести КТС как в целом, так и отдельные ее части, и создать приемлемые для практики методы идентификации и анализа функционирования КТС. Предложенное в работе формальное описание сред КТС и входных потоков позволит описать взаимодействие КТС с внешней средой на системном уровне, что особенно важно как для последующей идентификации сети, как объекта управления, так и для построения самообучающихся моделей при адаптивном управлении сетью. Взаимодействие КТС с внешней средой позволит определить модель трафика КТС, необходимую для повышения качества обслуживания пользователей, математическую основу метода расчета нагрузки КТС.

Проведенное исследование моделей взаимодействия КТС с внешней средой указывает на невозможность использования существующего математического аппарата для определения вероятностно-временных характеристик КТС, сетьюобразующим процессом которой является конвергенция и, следовательно, внутри которой обеспечивается доставка сложной по своей природе и структуре интегральной информации, формируемой объединенным трафиком меточного и позиционного мультиплексирования). Очевидно, что потоки КТС помимо распределения во времени должны характеризоваться длиной отдельных сообщений, и для их описания представляется целесообразным использовать суперпозицию наиболее адекватных потоков, описываемых рассмотренными математическими моделями, с учетом того, что формируемый этими потоками трафик является самоподобным, как это показано в [28]. В работе показана необходимость разработки модели нагрузки КТС как математической основы метода расчета нагрузки, учитывающей самоподобный характер трафика в этой сети.

---

## Благодарности

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта *ITHEA XXI* Института информационных теорий и их приложений *FOI ITHEA* и Ассоциации *ADUIS* Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

---

## Литература

1. Бутрименко А. В. Разработка и эксплуатация сетей ЭВМ / Бутрименко А. В. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 256 с.
2. Вычислительные сети (адаптивность, помехоустойчивость, надежность) / С. И. Самойленко, А. А. Давыдов, В. В. Золотарев и др. – М.: Наука, 1981. – 278 с.

3. Захаров Г. П. Методы исследования сетей передачи данных / Захаров Г. П. – М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.
4. Клейнрок Л. Коммуникационные сети (стохастические потоки и задержки сообщений) / Клейнрок Л. – М.: Наука, 1970. – 256 с.
5. Гайворонская Г. С. Экономические аспекты модернизации телекоммуникационной сети / Гайворонская Г. С. // Зв'язок. – 2007. – №2 (70). – С.15-21.
6. Советов Б. Я. Построение сетей интегрального обслуживания / Советов Б. Я., Яковлев С. А.– Л.: Машиностроение, 1990. – 332 с.
7. Унификация метода расчёта оборудования телекоммуникационных сетей / Гайворонская Г. С., Сомсиков Д. А. и др. // Холодильна техніка і технологія. – 2008. – №5 (115). – С.65-68.
8. Вычислительные сети и сетевые протоколы / Д. Дэвис, Д. Барбер, У. Прайс и др. – М.: Мир, 1982. – 562 с.
9. Советов Б. Я. Разработка протоколов обмена интегральной информацией в информационно-вычислительных сетях с использованием рекомендации Х.25 // Рекомендация МККТТ Х.25 и ее применение в информационно-вычислительных сетях / Советов Б. Я., Цанов В. А., Яковлев С. А. – М.: изд. Междун. Центра науч.-техн. инф., 1983. – С. 83-103.
10. Разработка моделей для оценки эффективности методов управления в информационных сетях с учетом динамики их развития / В. П. Ильин, С. С. Йонев, С. А. Яковлев и др. // Системные принципы организации моделей развития. – М.: изд. НС «Кибернетика», 1981. – С. 41-52. – (Вопр. кибернетики; Вып. 72).
11. Gilbert E. Capacity of burst-noise channel // BSTJ / Gilbert E., – V. 39. – N. 3, – P. 941-957.
12. Лившиц Б.С. Теория телетрафика / Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. – М.: Связь, 1979. – 224 с.
13. Элдин А. Основы теории телетрафика / Элдин А., Линд Г. – М.: Связь, 1972. – 200 с.
14. Крылов В. В. Теория телетрафика и ее приложения / Крылов В. В., Самохвалова С. С. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
15. Гайворонская Г.С. О возможности применения метода этапов для имитационного моделирования потоков вызовов в сетях связи / Г.С. Гайворонская // Зв'язок. – 1998. – № 2. – С.35-36
16. Гайворонская Г. С. Инфокоммуникации: Учеб. пособие / Гайворонская Г.С. – Одесса: ОДАХ, 2006. – 90 с.
17. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Клейнрок Л. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
18. В. Столлингс. Современные компьютерные сети/В. Столлингс.– СПб.: Питер, 2003.– 783с.
19. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 3. – Мультисервисные сети /под ред. профессора В. П. Шувалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.
20. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended version)/Will E. Leland, Murad S. Taqqu, Walter Willinger, Daniel V. Wilson// IEEE/ACM Transactions on Networking – 1994, February.
21. Self-Similarity Through High Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level / Willinger W., Taqqu M., Sherman R., and Wilson D. // IEEE/ACM Transactions on Networking – 1997, February.
22. Crovella M. Self-Similarity in World-Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes / Crovella M., Bestavros A. // Proceedings, ACM Sigmetrics Conference on Measurements and Modeling of Computer Systems – 1996, May.
23. Arlitt M. Workload Characterization of a Web Proxy in a Cable Modem Environment / Arlitt M., Friedrich R., Jin T. // ACM Performance Evaluation Review – 1999, September.
24. Arlitt M. A Workload Characterization Study of the 1998 World Cup Web Site / Arlitt M., Jin T. // IEEE Network – 2000, May/June.
25. Statistical Analysis of CCSN/SS7 Traffic Data from Working CCS Subnetworks / Diane E. Duffy, Allen A. McIntosh, Mark Rosenstein, Walter Willinger // IEEE Journal on Selected Areas in Communications – 1994, April.
26. Giroux N. Quality of Service in ATM Networks / Giroux N., Ganti S. // Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall – 1999.
27. Borella M. Measurement and Analyses of Long-Range Packet Dependent Behavior of Internet Packet Delay / Borella M., Brewster G. // IEEE INFOCOM '98 – 1998, April.
28. Гайворонская Г.С. Исследование параметров объединенного потока вызовов / Г.С. Гайворонская // Труды УГАС "Информатика и связь". – 1997. – С. 222 – 226.

---

### Информация об авторах

---

**Максим Соломицкий** – Одесская государственная Академия холода; магистрант кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса – 82, 65082, Украина; e-mail: sage89@mail.ru

Главные области научных исследований: потоки вызовов, нагрузка в современных телекоммуникационных сетях. Проблемы создания конвергентных телекоммуникационных сетей