

characteristics of traffic have been formulated, allowing for more accurate network load forecasting and improved network design accuracy. The results of the analysis and proposed hypotheses formed the basis of a methodological approach for designing a prospective multiservice network in Kazakhstan. The proposed methodology aims to optimize the use of network resources, improve the quality of service for users, and increase the network's resilience to changing operational conditions. The practical significance of this work lies in the development of recommendations for designing and modernizing telecommunication networks, which will provide Kazakhstan with modern infocommunication services and accelerate the digitalization of its economy. The scientific value of the work lies in the development of approaches to assessing the characteristics of multiservice traffic and adapting the «Network-2030» concept to national conditions.

**Key words:** multiservice network, methodological approach, infocommunication services, quality of service, mathematical model, net present value.

#### Сведения об авторах

**Амирали Ажибекович Сеилов** – докторант кафедры информационных систем, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-5069>.

**Джамалбек Алиаскарович Тусупов** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных систем; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: tussupov\_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

**Шахмаран Жүрсінбекович Сеилов\*** – кандидат технических наук, профессор кафедры компьютерной и программной инженерии; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: seilov\_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Әмірәлі Әжібекұлы Сеилов** – Ақпараттық жүйелер кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-5069>.

Джамалбек Алиасқарұлы Тусупов – физика-математика ғылымдарының докторы, ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tussupov\_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

**Шахмаран Жүрсінбекұлы Сеилов\*** – техника ғылымдарының кандидаты, компьютерлік және программалық инженерия кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: seilov\_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

#### Information about the authors

**Amirali Azhibekovich Seilov** – PhD student, Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-5069>.

**Dzhamalbek Aliaskarovich Tussupov** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Information Systems; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: tussupov\_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

**Shakhmaran Zhursinbekovich Seilov\*** – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Computer and Software Engineering; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: seilov\_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Поступила в редакцию 20.02.2025

Принята к публикации 10.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-6](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-6)

MPHTI: 49.01



**Д. Шингисов, Д. Тусупов, Ш. Сеилов\***

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
010000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Пушкина, 11

\*e-mail: seilov\_shzh@enu.kz

## ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА

**Аннотация:** Мультисервисный трафик характеризуется стохастической природой, что значительно усложняет задачи оценки пропускной способности и производительности телекоммуникационных сетей. Для эффективного планирования и проектирования современных сетей необходимо использование достоверных методов анализа и оценки статистических

характеристик трафика, таких как интенсивность потока, коэффициенты вариации, автокорреляция, распределение интервалов между пакетами и длительность сессий. В статье представлен анализ методов сбора, обработки и интерпретации параметров мультисервисного трафика. Рассмотрены подходы к проведению сетевого мониторинга и использования статистического анализа данных в условиях изменчивости сетевой нагрузки. Особое внимание уделено формулированию научно обоснованных гипотез для моделирования поведения трафика различных типов: голосового, видео трафика и данных. Это позволяет более точно учитывать особенности каждого типа трафика при прогнозировании нагрузки на сеть. В результате исследования разработаны рекомендации по выбору методов измерений и анализа трафика для обеспечения оптимального распределения сетевых ресурсов. Также предложены подходы по повышению надежности и точности оценки производительности сети в условиях непредсказуемых изменений нагрузки. Полученные результаты будут применены для формирования методики проектирования перспективной мультисервисной сети в Республике Казахстан, что обеспечит повышение эффективности использования сетевой инфраструктуры, оптимизацию процессов маршрутизации и улучшение качества обслуживания конечных пользователей. Итоги работы будут полезны специалистам в области телекоммуникаций, проектирования и эксплуатации сетей для решения задач по повышению производительности и надежности мультисервисных сетей.

**Ключевые слова:** мультисервисный трафик, телекоммуникационная сеть, система массового обслуживания, входящий поток заявок, длительность обслуживания заявок.

**Введение.** В последние десятилетия сформировалась устойчивая тенденция в развитии телекоммуникационных сетей на базе пакетных технологий передачи и коммутации. В результате создаются телекоммуникационные сети по обмену мультисервисным трафиком (речи, данных и видео). Статистические характеристики мультисервисного трафика заметно отличаются от аналогичных свойств того трафика, который создается телекоммуникационными сетями, предназначенными для обслуживания трафика одного вида. По этой причине исследование статистических характеристик мультисервисного трафика становится актуальной научно технической задачей, имеющей теоретическую ценность и практическую значимость.

Проблему исследования статистических характеристик мультисервисного трафика можно разделить на три крупные задачи. Первая задача направлена на изучение стохастических свойств потока заявок. Термин «заявка», принятый для систем массового обслуживания (СМО), имеет два толкования. Заявкой считает запрос на предоставление услуги. Предоставление услуги осуществляется в виде процесса по обмену пакетами. Каждый пакет также представляет заявку, которая должна быть обслужена. Вторая задача связана с анализом параметров длительности обслуживания заявок, под которыми также понимаются как запросы на предоставление услуги, так и порождаемые ими пакеты. Третья задача – определение повторяемости статистических характеристик, полученных в процессе измерения мультисервисного трафика, то есть их устойчивость.

Методы решения перечисленных выше задач рассматриваются в трех разделах статьи. В процессе проведения исследований были определены направления, требующие дополнительного изучения. Эти направления изложены в четвертом разделе статьи.

### Характеристики потока заявок

Современный коммутационный узел (КУ), осуществляющий установление соединения и обработку пакетов, в теории телетрафика [1, 2] обычно рассматривается как СМО с возможностью ожидания начала обслуживания на счет наличия буферного накопителя. СМО любой сложности может рассматриваться как «черный ящик» [3], для которого определены внешние и внутренние функции. Обмен информацией между терминалами пользователей обычно осуществляется через несколько КУ, количество которых обозначается далее как  $L$ . Это означает, что заявки проходят через такое же количество СМО. В этом случае модель тракта обмена информацией представляет собой многофазную СМО, изображенную на рисунке 1.

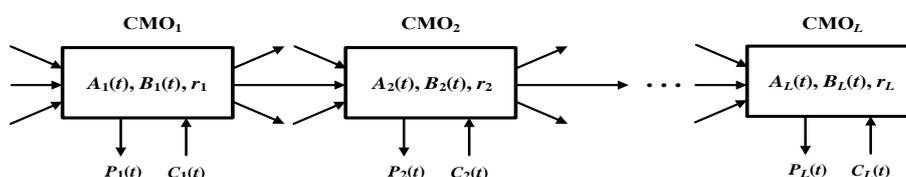


Рисунок 1 – Модель тракта обмена информацией в виде многофазной СМО

Для каждой  $i$ -й СМО определены четыре функции и одно число, имеющие следующие значения:

- $A_i(t)$  – функция распределения длительности интервалов между моментами поступления заявок на вход  $i$ -й СМО;
- $B_i(t)$  – функция распределения длительности обслуживания заявок в  $i$ -й СМО;
- $C_i(t)$  – процесс, который формализует набор алгоритмов для управления  $i$ -й СМО;
- $P_i(t)$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  заявки не могут быть обслужены, то есть теряются;
- $r_i$  – количество мест в очереди для ожидания начала обслуживания (размер буферной памяти в КУ).

В статье рассматриваются функции  $A_i(t)$  и  $B_i(t)$ , которым присуща стохастическая природа. В данном разделе анализируется функция  $A_i(t)$ . В монографии [4] показана целесообразность выделения двух семейств распределений  $A_i(t)$ . Первое семейство включает возможные функции  $A_i(t)$ , заданные на всей положительной полуоси –  $[0, \infty)$ . Далее подобные распределения обычно обозначаются как  $A_U(t)$ ; символ « $U$ » – первая буква в слове «unlimited», то есть без ограничения на положительной полуоси. Второе семейство включает возможные функции  $A_i(t)$ , заданные на ограниченном интервале положительной полуоси –  $[a, b]$ . Подобные распределения обозначаются как  $A_R(t)$ ; символ « $R$ » – первая буква в слове «restricted», то есть ограниченный на заранее заданном отрезке времени.

Далее рассматривается СМО без указания ее номера. Поэтому нижний индекс « $i$ » более не используется. При проведении измерений определяется ступенчатая функция  $A(t)$ , всегда принадлежащая к семейству  $A_R(t)$ . Причем результаты изменений представляются в виде гистограммы  $a(t)$ , которая является первой производной от функции  $A(t)$ . Если измерения не проводятся, то принимается обоснованная гипотеза о виде распределения  $A(t)$ . Эта гипотеза может быть представлена функцией, которая принадлежит либо семейству  $A_U(t)$ , либо семейству  $A_R(t)$ . Основные виды семейств  $A_U(t)$  и  $A_R(t)$  приведены, например, в справочнике [5].

Измерения трафика обычно проводятся с некоторым постоянным периодом  $\tau$ , что позволяет в точке  $k\tau$  оценить приращение измеряемой функции  $p_k$ . Последнее приращение фиксируется в некоторой точке  $m\tau$ . Полученные результаты могут быть компактно представлены в виде преобразования Лапласа-Стилтьеса [6], которое обозначается как  $\psi(s)$ . Эта функция определяется следующей формулой [6]:

$$\psi(s) = \sum_{k=0}^m p_k \exp(-k\tau s). \quad (1)$$

Если функция  $A(t)$  задана посредством соотношения (1), то  $j$ -й начальный момент исследуемого распределения  $A^{(j)}$  определяется следующим образом [6]:

$$A^{(j)} = \tau^j \sum_{k=0}^m p_k k^j. \quad (2)$$

Формула (2) позволяет просто найти математическое ожидание исследуемой случайной величины  $A^{(1)}$  и ее второй начальный момент  $A^{(2)}$  по известным правилам [5, 6]:

$$A^{(1)} = \tau \sum_{k=0}^m p_k k, \quad A^{(2)} = \tau^2 \sum_{k=0}^m p_k k^2. \quad (3)$$

Соотношения (3) используются для расчета дисперсии распределения  $\sigma^2$  и коэффициента вариации  $C_A$  [2, 5]:

$$\sigma^2 = \tau^2 \left[ \left( \sum_{k=0}^m p_k k^2 \right) - \left( \sum_{k=0}^m p_k k \right)^2 \right], \quad C_A = \frac{\sigma}{\tau \sum_{k=0}^m p_k k}. \quad (4)$$

Параметры  $A^{(1)}$  и  $C_A$  считаются основными характеристиками распределения  $A(t)$ . Они позволяют оценивать ряд параметров СМО, весьма важных с практической точки зрения. В некоторых случаях гистограмму  $a(t)$  аппроксимируют непрерывной кривой, которая позволяет упростить часть операций по дальнейшему использованию полученных результатов. На рисунке 2 показан пример такой аппроксимации при помощи функции  $a_U(t)$ . Параметры функции  $a_U(t)$  принято оценивать методом наименьших квадратов [7].

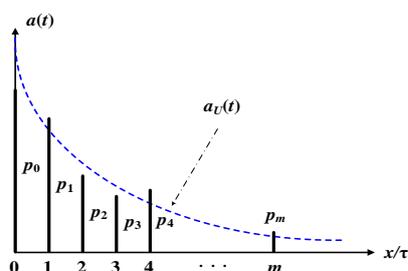


Рисунок 2 – Замена гистограммы  $a(t)$  непрерывной функцией  $a_U(t)$

Замена гистограммы  $a(t)$  непрерывными функциями  $a_U(t)$  или  $a_R(t)$  вносят ошибку, которую сложно оценить при проведении дальнейших математических операций с полученными данными. По этой причине уместно оперировать функциями  $a(t)$  или  $A(t)$ , однозначно связанными между собой, что способствует получению точных оценок для СМО.

К сожалению, в некоторых случаях проведение измерений невозможно и статистические характеристики мультисервисного трафика отсутствуют. В подобных ситуациях выдвигается обоснованная гипотеза о характере распределения  $A(t)$ . В последнее время большой интерес связан с использованием бета-распределения [4, 8 – 11], которое входит в семейство  $A_R(t)$ . Математические операции с бета-распределением, обозначенным далее как  $Beta(t)$ , весьма сложны, но их можно упростить, преобразовав его в ступенчатую функцию.

С этой целью функция  $Beta(t)$  представляется своими отсчетами, которые берутся с интервалом  $\tau$ . Таким образом, приращения функции  $Beta(t)$  легко вычисляются, образуя конечную совокупность значений  $p_k$ . Такая операция позволяет далее использовать соотношения (1) – (4), по которым оцениваются величины  $A^{(1)}$  и  $C_A$ . На рисунке 3 показан пример аппроксимации  $Beta(t)$  ступенчатой функцией  $A_R(t)$ . Такой пример, использован, в частности, в [12] для описания входящего потока IP-пакетов в маршрутизатор.

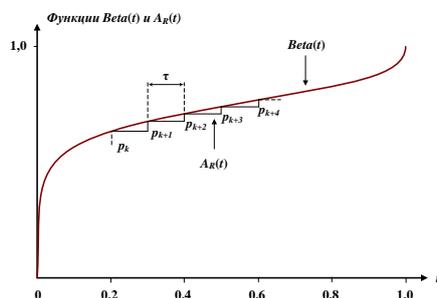


Рисунок 3 – Аппроксимация бета-распределения функцией  $A_R(t)$

При таком представлении непрерывного распределения ступенчатой функцией необходимо корректно выбрать величину  $\tau$ . Для выбранного примера  $Beta(t)$  коэффициента вариации  $C_A$  равен пяти. Очевидно, что больших значений  $C_A$  исследуемая функция резко растет в самом начале оси абсцисс. В принципе, можно использовать метод взвешенных наименьших квадратов [7], но такой подход усложняет дальнейшие расчеты. По этой причине проще уменьшить величину  $\tau$ . В работе [12] предложено соотношение, которое позволяет корректно оценить величину  $\tau$  с учетом тех значений  $C_A$ , который превышают единицу, при заданной допустимой относительной ошибке  $\delta$ :

$$\tau \leq \begin{cases} 2\delta A^{(1)}, & \text{если } C_A < 1 \\ \frac{2\delta A^{(1)}}{C_A}, & \text{если } C_A \geq 1 \end{cases} \quad (5)$$

Результаты имитационного моделирования, выполненные для разных распределений непрерывной случайной величины на ограниченном интервале времени  $t$ , показали, что условие (5) вполне приемлемо для инженерных расчетов. Это означает, что соотношения (1) – (5) образуют научно обоснованную методику для описания распределений вида  $A_R(t)$  любой природы.

Величина  $A^{(1)}$  обратно пропорциональна интенсивности входящего потока заявок  $\lambda$  [1, 2]. Это означает, что статистические характеристики входящего потока заявок, измеренные в течение некоторого отрезка времени от  $T_1$  до  $T_2$ , позволяют построить функцию  $\lambda(t)$ . Эта функция может служить основой для краткосрочного прогнозирования роста интенсивности входящего потока заявок. Данное утверждение справедливо при трактовке заявок как требований на установление соединений (организацию сеансов связи) и в случае анализа потока пакетов как заявок на обслуживание.

### Характеристики длительности обслуживания заявок

Длительность обслуживания заявок рассматривается для времени сеансов связи и для пакетов. При этом следует отметить заметные различия в соответствующих распределениях  $B(t)$ . Длительность обработки пакетов близка к постоянной величине [13]. Для сеансов связи, относящихся к телефонным разговорам, к передаче данных и к просмотру видеoinформации, характерны весьма существенные разбросы как средних значений длительности обработки заявок  $B^{(1)}$ , так и коэффициентов вариации  $C_B$ . Следует отметить, что величина  $B^{(1)}$  обратно пропорциональна интенсивности обслуживания  $\mu$ , которая определяется среднее количество заявок, обработанных за единицу времени. Для оценки величин  $B^{(1)}$  и  $C_B$  могут использоваться соотношения (1) – (4), в которые следует подставлять соответствующие функции  $B(t)$ .

Для пакетов можно ввести предположение, что  $C_B \approx 0$ . Паспортные данные тех видов КУ, которые представляют собой маршрутизаторы, содержат информацию о параметре  $\mu$ . По этим причинам численная оценка величин  $B^{(1)}$  и  $C_B$  представляется простой задачей. Совсем другая ситуация складывается с оценкой величин  $B^{(1)}$  и  $C_B$  применительно к длительности сеанса связи. Первая проблема заключается в определении сеанса связи. Дело в том, что с одного компьютера может быть установлено несколько сессий Интернет. Простым примером может служить параллельное скачивание файлов и просмотр видеоролика с одного персонального компьютера (ПК).

В стационарных телефонных сетях подобных ситуаций не возникало. В теории телетрафика длительность обслуживания заявки рассматривалась как отрезок времени от начала использования ресурсов автоматической телефонной станции (телефонная трубка снята) до завершения разговора (телефонная трубка положена). Очевидно, что подобное определение для сессий Интернет не подходит за исключением ситуаций, когда устанавливается всего одна сессия.

Предположим, что количество одновременно протекающих сессий равно  $n$ , а функция распределения длительности  $j$ -й сессии определяется, на основании проведенных измерений, выражением  $B_j(t)$ , которое представляет собой ступенчатую функцию. Для ступенчатой функции  $B_j(t)$  всегда существует преобразование Лапласа-Стилтьеса  $\varphi_j(s)$ . Распределение  $B(t)$  для рассматриваемого случая, как показано в [14], определяется следующим образом:

$$B(t) = \sum_{j=1}^n r_j B_j(t). \quad (5)$$

Соответственно, преобразование Лапласа-Стилтьеса функции (5), которое обозначается как  $\varphi(s)$ , выражается таким соотношением [6]:

$$\varphi(s) = \sum_{j=1}^n r_j \varphi_j(s). \quad (6)$$

Из соотношения (6), согласно правилам вычисления моментов из преобразования Лапласа-Стилтьеса [6], определяются среднее значение  $B^{(1)}$  и коэффициент вариации  $C_B$ :

$$B^{(1)} = \sum_{j=1}^n r_j B_j^{(1)}, \quad C_B = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n r_j B_j^{(2)} - \left(\sum_{j=1}^n r_j B_j^{(1)}\right)^2}}{\sum_{j=1}^n r_j B_j^{(1)}}. \quad (7)$$

Форма представления распределение  $B(t)$  свидетельствует о необходимости уточнения термина «длительность обслуживания» применительно к мультисервисному трафику. Возможные варианты трактовки термина «длительность обслуживания» иллюстрирует рисунок 4. Он базируется на гипотезе о трехэтапной модификации услуги, предоставленной двум студентам, которые используют современные ПК.

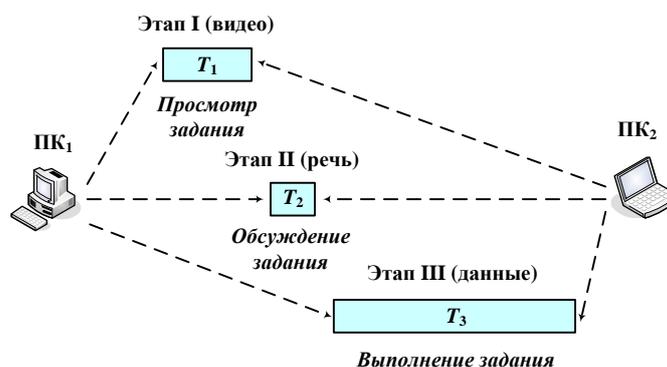


Рисунок 4 – Уточнение понятия «длительность обслуживания»

Предоставление услуги на этапе I включает в просмотр задания, которое оформлено в виде ролика длительностью  $T_1$ . Предполагается, что по типу передаваемой информации этап I может рассматриваться как трансляция видео. На этапе II студенты обсуждают план выполнения задания в течение времени  $T_2$ . В этом случае тип передаваемой информации может классифицироваться как речь. Выполнение задание, осуществляемое на этапе III, может заключаться с работой с пакетом прикладных программ в течение времени  $T_3$ . Это означает, что тип информации трактуется как данные.

Под длительностью обслуживания можно понимать сумму  $T_1 + T_2 + T_3$ . Такое определение представляется уместным, если необходимо оценить суммарное время поддержки услуги (длительность сеанса связи) между ПК1 и ПК2. С другой стороны ресурсы, которые затрачиваются на поддержку каждого из трех этапов ( $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ ), будут различаться. Они будут минимальны на этапе II и существенно больше на этапах I и III. Причем на этих этапах могут фиксироваться неравенства вида  $R_1 > R_3$  и  $R_1 < R_3$  даже при близких значениях  $T_1$  и  $T_3$ .

По всей видимости, для анализа параметров мультисервисного трафика статистику длительности обслуживания следует вести отдельно по разным этапам. Такое деление может оказаться разумным при выборе тарифной политики Операторов связи и Поставщиков инфокоммуникационных услуг. В остальных случаях под длительностью обслуживания уместно понимать сумму  $T_1 + T_2 + T_3$ . Тем не менее, данный вопрос требует дополнительного исследования.

#### Устойчивость статистических характеристик

Смысл термина «устойчивость» и основные положения одноименной теории меняются со временем [15] и различаются в отдельных научных дисциплинах. Применительно к статистическим характеристикам мультисервисного трафика уместно ввести три определения:

- под устойчивостью функций  $A(t)$  и  $B(t)$  на отрезке времени  $[t_1, t_2]$  понимается такое их поведение, при котором они не меняют выявленные законы распределений случайных величин с заданной точностью;
- под устойчивостью пиковых значений величин  $\lambda_{\max}$  и  $\mu_{\max}$  на отрезке времени  $[t_1, t_2]$  понимается такое их поведение, при котором они не отклоняются от результатов, полученных при других измерениях, на заданный порог;
- под воспроизводимостью функций  $A(t)$  и  $B(t)$  на отрезке времени  $[t_1, t_2]$  понимается их устойчивость, подтвержденная при повторных экспериментах с использованием разных методик измерений и разных способов обработки статистической информации.

Устойчивость (sustainability) иногда заменяют повторяемостью (repeatability). Такой подход может быть использован для первого и второго определений. Следует подчеркнуть, что воспроизводимость (reproducibility) считается более важным фактором, чем повторяемость, так как позволяет выявить ошибки, которые могут содержаться в методиках измерений и в способах обработки статистической информации [16]. Примеры устойчивости для первого и второго определений показаны на рисунке 5 для распределения  $A(t)$  и пикового значения  $\lambda_{\max}$ . Они иллюстрируют поведение трех ступенчатых функций из семейства  $A(t)$  и пяти пиковых значений  $\lambda_{\max}$ .

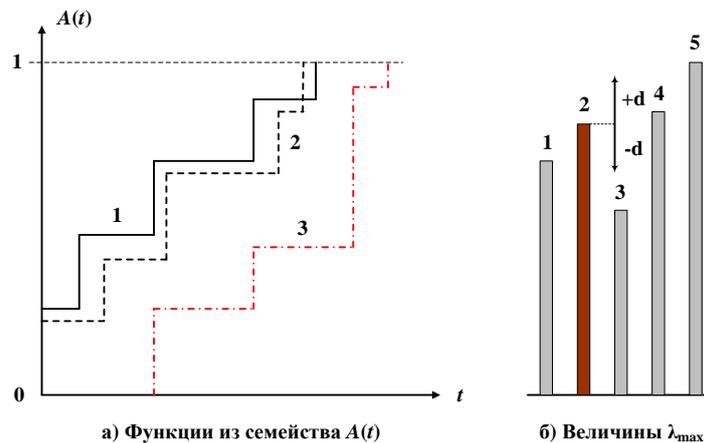


Рисунок 5 – Примеры устойчивости для функций  $A(t)$  и пиковых значений  $\lambda$

Различия между тремя распределениями из семейства  $A(t)$  определяются либо по критериям согласия [17], либо методом измерения расстояний между функциями [18]. В рассматриваемом примере, в левой части рисунка 5, предполагается, что распределения под номерами «1» и «2» устойчивы. Иными словами, они отражают единый устойчивый характер функции  $A(t)$ . Распределение под номером «3» имеет иной характер, что может объясняться различными причинами, поиск которых представляет собой отдельную задачу, которая требует проведения дополнительных исследований.

Различия между величинами  $\lambda_{\max}$  определяется отклонением на модуль величины  $d$  от выбранного эталонного значения. Таким значением служит величина  $\lambda_{\max}$ , полученная за счет проведения большого объема измерений. В левой части рисунка 5 таким эталоном служит результат под номером «2». Очевидно, устойчивость рассматриваемой статистической характеристикой служат результаты под номерами «2», «3» и «4». Величины  $\lambda_{\max}$ , соответствующие номерам «1» и «5» отклоняются от эталонного значения более чем на порог  $d$ , взятый по модулю. По этой причине не могут считаться устойчивыми характеристиками.

При анализе устойчивости статистических характеристик важно корректно выделить величину отрезка времени  $[t_1, t_2]$ . По всей видимости, этот отрезок времени заканчивается при введении новых видов инфокоммуникационных услуг, которые могут заметно изменить параметры мультисервисного трафика. Такая же операция должна осуществляться при смене технологий передачи, коммутации и обработки информации.

#### Направления дальнейших исследований

В процессе работы над статьей были выявлены те направления, которые требуют проведения дополнительных исследований. Их можно свести к трем задачам, связанным между собой единством цели, которая определяется выбранным объектом исследования.

Во-первых, для получения устойчивых оценок статистических характеристик мультисервисного трафика необходимо определить тот интервал времени, на котором следует осуществлять анализ измеряемых параметров. Скорее всего, ширина этого интервала времени будет уменьшаться по мере практической реализации основных положений концепции «Сеть-2030». Анализ динамики изменения интервала времени, на котором следует осуществлять анализ измеренных параметров с точки зрения их устойчивости, важен также для краткосрочного прогнозирования изменений мультисервисного трафика.

Во-вторых, актуальным вопросом остается анализ причин, вследствие которых существенно различаются распределения  $A(t)$  и  $B(t)$  с аналогичными функциями, полученными примерно в одно время. Аналогичным вопросом становится и заметное различие пиковых значений этих распределений. Особый интерес связан с различиями пиковых значений при близких величинах математического ожидания  $A^{(1)}$  и  $B^{(1)}$ .

В третьих, при резком изменении плотности распределений  $A(t)$  и  $B(t)$  может стать полезным упомянутый выше метод взвешенных наименьших квадратов [7]. Видимо область его применения может быть связана с результатами анализа третьей производной от функций  $A(t)$  и  $B(t)$ , как предложено в [19] для выявления аномалий трафика.

**Заключение.** По результатам, изложенным в этой статье, можно сделать ряд выводов, которые представимы следующими положениями:

1. Проблему исследования статистических характеристик мультисервисного трафика уместно разделить на три крупные задачи. Они связаны с анализом распределений  $A(t)$  и  $B(t)$ , а также с определением устойчивости полученных оценок.

2. Пары параметров  $A^{(1)}$ ,  $C_A$ , и  $B^{(1)}$ ,  $C_B$  считаются основными характеристиками распределений  $A(t)$  и  $B(t)$ . В статье предложена научно обоснованная методика по оценке этих параметров, используя результаты измерений, а при невозможности их проведения – за счет формирования обоснованных гипотез относительно вида функций  $A(t)$  и  $B(t)$ .

3. Замена результатов измерений, полученных в виде гистограммы непрерывными функциями, вносит ошибку в дальнейший анализ стохастических характеристик мультисервисной сети. По этой причине целесообразно оперировать исходными данными, представленными при помощи гистограммы, что устраняет ошибку аппроксимации. Кроме того, упрощается ряд математических операций при использовании правил расчета начальных моментов распределений через преобразование Лапласа-Стилтьеса.

4. Предложенные определения для устойчивости статистических оценок мультисервисного трафика соответствуют трактовкам, принятым в современной научной литературе. Использование этих определений позволяет применять сравнительно простые методы для выявления устойчивости статистических оценок мультисервисного трафика.

### Список литературы

1. Akimaru H. Teletraffic: Theory and Applications / H. Akimaru, K. Kawashima // Telecommunication Networks and Computer Systems. – 2012. – 225 p.
2. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения / С.Н. Степанов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 867 с.
3. Bunge M.A. General Black Box Theory / M.A. Bunge // Philosophy of Science. – 1963. – Vol. 30, № 4. – P. 346-358.
4. Леваков А.К. Сеть связи следующего поколения в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков // Анализ моделей телетрафика. – М.: ИРИАС, 2019. – 124 с.
5. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Наука, 2001. – 296 с.
6. Кристаллинский Р.Е. Преобразования Фурье и Лапласа в системах компьютерной математики / Р.Е. Кристаллинский, В.Р. Кристаллинский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 216 с.
7. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: Физматгиз, 1958. – 334 с.
8. 3GPP TR 37.868 V11.0.0 (2011-09) Technical Report 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on RAN Improvements for Machine-type Communications; (Release 11). Sophia Antipolis, 2011. – 28 p.
9. Wei C.H. Modeling and analysis of random access channels with bursty arrivals in OFDMA wireless networks / C.H. Wei, G. Bianchi, R.G. Cheng // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2015. – Vol. 14, № 4. – P. 15.
10. Sharma S.K. Distributed Caching Enabled Peak Traffic Reduction in Ultra-Dense IoT Networks / S.K. Sharma, X. Wang // IEEE Communications Letters. – 2018. – Vol. 22, Issue 6. – P. 1252-1255.
11. Ермаков А.В. Выбор функции распределения для описания процесса поступления пакетов в маршрутизатор / А.В. Ермаков, Н.А. Соколов // Информация и космос. – 2021. – № 3. – с. 31-36.
12. Levakov A.K. Using a Step Distribution Function to Describe the Incoming Packet Flow / A.K. Levakov, A.N. Sokolov, N.A. Sokolov // Proceedings of XXII International Scientific Conference «Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications», Moscow, 2019. – P. 469-476.
13. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи / Н.А. Соколов. – СПб.: Техника связи, 2012. – 432 с.
14. Башарин Г.П. Массовое обслуживание в телефонии / Г.П. Башарин, А.Д. Харкевич, М.А. Шнепс. – М.: Наука, 1968. – 240 с.

15. Мухин Р.Ф. Эволюция основных положений теории устойчивости / Р.Ф. Мухин // Чебышевский сборник. – 2022. – № 23(4). – с. 327-349.
16. Vitek J. Repeatability, reproducibility and rigor in systems research / J. Vitek, T. Kalibera // Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Embedded Software (EMSOFT). – 2011. – P. 33-38.
17. Кендалл М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стюарт. – М.: Наука, 1966. – 587 с.
18. Ватульян А.О. Измерение расстояния между функциями / А.О. Ватульян // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – № 11. – с. 123-127.
19. Оценка роста интенсивности входящего трафика / В.Ю. Гойхман и др. // Электросвязь. – 2018. – № 3. – с. 75-77.

### References

1. Akimaru H. Teletraffic: Theory and Applications / H. Akimaru, K. Kawashima // Telecommunication Networks and Computer Systems. – 2012. – 225 p. (In English).
2. Stepanov S.N. Teoriya teletrafika: kontseptsii, modeli, prilozheniya / S.N. Stepanov. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2015. – 867 s. (In Russian).
3. Bunge M.A. General Black Box Theory / M.A. Bunge // Philosophy of Science. – 1963. – Vol. 30, № 4. – R. 346-358. (In English).
4. Levakov A.K. Set' svyazi sleduyushchego pokoleniya v chrezvychainykh situatsiyakh / A.K. Levakov // Analiz modelei teletrafika. – M.: IRIAS, 2019. – 124 s. (In Russian).
5. Vadzinskii R.N. Spravochnik po veroyatnostnym raspredeleniyam / R.N. Vadzinskii. – SPb.: Nauka, 2001. – 296 s. (In Russian).
6. Kristalinskii R.E. Preobrazovaniya Fur'e i Laplasya v sistemakh komp'yuternoii matematiki / R.E. Kristalinskii, V.R. Kristalinskii. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2021. – 216 s. (In Russian).
7. Linnik YU.V. Metod naimen'shikh kvadratov i osnovy matematiko-statisticheskoi teorii obrabotki nablyudenii / YU.V. Linnik. – M.: Fizmatgiz, 1958. – 334 s. (In Russian).
8. 3GPP TR 37.868 V11.0.0 (2011-09) Technical Report 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on RAN Improvements for Machine-type Communications; (Release 11). Sophia Antipolis, 2011. – 28 p. (In English).
9. Wei C.H. Modeling and analysis of random access channels with bursty arrivals in OFDMA wireless networks / C.H. Wei, G. Bianchi, R.G. Cheng // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2015. – Vol. 14, № 4. – R. 15. (In English).
10. Sharma S.K. Distributed Caching Enabled Peak Traffic Reduction in Ultra-Dense IoT Networks / S.K. Sharma, X. Wang // IEEE Communications Letters. – 2018. – Vol. 22, Issue 6. – R. 1252-1255. (In English).
11. Ermakov A.V. Vybor funktsii raspredeleniya dlya opisaniya protsessa postupleniya paketov v marshrutizator / A.V. Ermakov, N.A. Sokolov // Informatsiya i kosmos. – 2021. – № 3. – с. 31-36. (In Russian).
12. Levakov A.K. Using a Step Distribution Function to Describe the Incoming Packet Flow / A.K. Levakov, A.N. Sokolov, N.A. Sokolov // Proceedings of XXII International Scientific Conference «Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications», Moscow, 2019. – R. 469-476. (In English).
13. Sokolov N.A. Zadachi planirovaniya setei ehlektrosvyazi / N.A. Sokolov. – SPb.: Tekhnika svyazi, 2012. – 432 s. (In Russian).
14. Basharin G.P. Massovoe obsluzhivanie v telefonii / G.P. Basharin, A.D. Kharkevich, M.A. Shneps. – M.: Nauka, 1968. – 240 s. (In Russian).
15. Mukhin R.F. Ehvol'yutsiya osnovnykh polozhenii teorii ustoichivosti / R.F. Mukhin // Chebyshevskii sbornik. – 2022. – № 23(4). – с. 327-349. (In Russian).
16. Vitek J. Repeatability, reproducibility and rigor in systems research / J. Vitek, T. Kalibera // Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Embedded Software (EMSOFT). – 2011. – R. 33-38. (In English).
17. Kendall M. Teoriya raspredelenii / M. Kendall, A. Styuart. – M.: Nauka, 1966. – 587 s. (In Russian).
18. Vatul'yan A.O. Izmerenie rasstoyaniya mezhdru funktsiyami / A.O. Vatul'yan // Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal. – 2000. – № 11. – с. 123-127. (In Russian).
19. Otsenka rosta intensivnosti vkhodyashchego trafika / V.YU. Goikhman i dr. // Ehlektrosvyaz'. – 2018. – № 3. – с. 75-77. (In Russian).

**Д. Шыңғысов, Д. Тусупов, Ш. Сеилов\***  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Пушкин көшесі, 11  
\*e-mail: seilov\_shzh@enu.kz

## **МУЛЬТИСЕРВИСТІК ТРАФИКТИҢ СТАТИСТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН БАҒАЛАУ**

*Мультисервистік трафик стохастикалық табиғатымен сипатталады, бұл телекоммуникациялық желілердің өткізу қабілеті мен өнімділігін бағалау міндеттерін айтарлықтай қиындатады. Қазіргі заманғы желілерді тиімді жоспарлау және жобалау үшін трафиктің ағын қарқындылығы, өзгеріштік коэффициенттері, автокорреляция, пакеттер арасындағы интервалдар таралуы және сессия ұзақтығы сияқты статистикалық сипаттамаларын талдаудың және бағалаудың сенімді әдістерін қолдану қажет. Мақалада мультисервистік трафик параметрлерін жинау, өңдеу және түсіндіру әдістеріне талдау жасалған. Желілік мониторинге жүргізу тәсілдері және желі жүктемесінің өзгермелілігі жағдайында статистикалық деректерді талдау әдістерін қолдану қарастырылды. Әртүрлі трафик түрлерінің – дауыстық, бейнетрафик және деректер трафиінің мінез-құлқын модельдеу үшін ғылыми негізделген гипотезаларды тұжырымдауға ерекше назар аударылды. Бұл әрбір трафик түрінің ерекшеліктерін желі жүктемесін болжау кезінде дәлірек ескеруге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижесінде желілік ресурстарды оңтайлы бөлу үшін өлшеу және талдау әдістерін таңдауға ұсыныстар әзірленді. Жүктеменің күтпеген өзгерістері жағдайында желінің өнімділігін бағалау сенімділігі мен дәлдігін арттыру тәсілдері де ұсынылды. Алынған нәтижелер Қазақстан Республикасында перспективалы мультисервистік желі жобалау әдістемесін әзірлеуге қолданылатын болады, бұл желі инфрақұрылымын пайдалану тиімділігін арттыруға, маршруттау процестерін оңтайландыруға және соңғы пайдаланушыларға қызмет көрсету сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Жұмыстың қорытындылары телекоммуникациялар саласындағы мамандарға, сондай-ақ мультисервистік желілердің өнімділігі мен сенімділігін арттыру мәселелерін шешуде желілерді жобалау және пайдалану мамандарына пайдалы болады.*

**Түйін сөздер:** мультисервистік трафик, телекоммуникациялық желі, кезек күту жүйесі, кіріс ағын, сұраныс өңдеу ұзақтығы.

**D. Shingissov, D. Tussupov, Sh. Seilov\***  
L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Pushkin Street, 11  
\*e-mail: seilov\_shzh@enu.kz

## **EVALUATION OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF MULTISERVICE TRAFFIC**

*Multiservice traffic is characterized by its stochastic nature, which significantly complicates the tasks of evaluating the capacity and performance of telecommunication networks. For effective planning and design of modern networks, it is necessary to use reliable methods for analyzing and evaluating the statistical characteristics of traffic, such as flow intensity, variation coefficients, autocorrelation, packet interarrival time distribution, and session duration. This paper presents an analysis of methods for collecting, processing, and interpreting multiservice traffic parameters. Approaches to network monitoring and the use of statistical data analysis under conditions of variable network load are considered. Special attention is given to formulating scientifically grounded hypotheses for modeling the behavior of different traffic types, such as voice, video, and data traffic. This allows for more accurate consideration of the specific characteristics of each traffic type when predicting network load. As a result of the study, recommendations were developed for selecting measurement and analysis methods to ensure optimal distribution of network resources. Approaches to improving the reliability and accuracy of performance evaluation under unpredictable load changes are also proposed. The results obtained will be applied to the development of a methodology for designing a prospective multiservice network in the Republic of Kazakhstan, which will enhance the efficiency of network infrastructure use, optimize routing processes, and improve the quality of service for end users. The findings will be useful for telecommunication specialists, as well as those involved in the design and operation of networks, in addressing tasks related to improving the performance and reliability of multiservice networks.*

**Key words:** multiservice traffic, telecommunication network, queuing system, incoming request flow, request service duration.

### **Сведения об авторах**

**Данияр Серикович Шингисов** – докторант кафедры информационных систем, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: shingissov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

**Джамалбек Алиаскарович Тусупов** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных систем; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: tussupov\_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

**Шахмаран Журсинбекович Сеилов\*** – кандидат технических наук, профессор кафедры компьютерной и программной инженерии; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: seilov\_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Данияр Серікұлы Шыңғысов** – ақпараттық жүйелер кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: shingissov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

**Джамалбек Алиасқарұлы Тусупов** – физика-математика ғылымдарының докторы, ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tussupov\_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

**Шахмаран Жүрсінбекұлы Сеилов\*** – техника ғылымдарының кандидаты, компьютерлік және программалық инженерия кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: seilov\_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

#### Information about the authors

**Daniyar Serikovich Shingissov** – PhD student, Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: shingissov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

**Dzhamalbek Aliaskarovich Tussupov** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Information Systems; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: tussupov\_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

**Shakhmaran Zhursinbekovich Seilov\*** – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Computer and Software Engineering; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: seilov\_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Поступила в редакцию 20.02.2025

Поступила после доработки 20.04.2025

Принята к публикации 21.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-7](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-7)

МРНТИ: 50.41.25



**Т.С. Жылкыбаев<sup>1</sup>, А.Д. Золотов<sup>1\*</sup>, Б.К. Копабаева<sup>1</sup>, Н.К. Алгазинов<sup>2</sup>, Д.А. Жумагажинов<sup>1</sup>,  
Г.Ж. Шуйтенов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Шәкәрім университет,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Торайгыров университет,

140000 Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 64

<sup>3</sup>Esil university,

040005, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жубанова, 7

\*e-mail: Azol64@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОДООЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

**Аннотация:** Целью исследования в данной статье является совершенствования работы городских водоочистных сооружений, использующих биологическую очистку с использованием нейросетевых технологий. Перед управлением аэрацией в аэротенке нейросеть обрабатывает объём поступающих сточных вод (датчики расхода и уровня измеряют объём поступающих сточных вод, скорость потока и его динамику). Датчики растворённого кислорода контролируют уровень кислорода в аэротенке, что является критически важным для работы микроорганизмов. Например, если прогнозируется увеличение объёма воды, система заранее увеличивает подачу кислорода. Постоянный сбор данных с датчиков позволяет сравнивать фактические параметры с прогнозными, корректируя работу системы в режиме реального времени. Интеграция