

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-6-25-30

Шерстнева Алина Анатольевна,
Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
г. Санкт-Петербург, Россия, shers7neva@gmail.com

Шерстнева Ольга Григорьевна,
Сибирский Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики,
г. Новосибирск, Россия, o.g.sherstneva@ya.ru

Manuscript received 16 May 2022;
Accepted 14 June 2022

Ключевые слова: машинное обучение, надежность, прогнозирование, алгоритм, равномерное распределение, нормальное распределение

Расчет показателей надежности и получение оценок надежности инфокоммуникационных систем и сетей в целом основано на различных предположениях о законах распределения эмпирических данных, полученных в результате эксперимента или в процессе эксплуатации. В качестве теоретических и практических исследований, приведен алгоритм расчета числовых значений случайной величины случайного процесса с использованием параметрического метода. В статье приведен алгоритм трансформации разных видов распределения параметров надежности, являющихся случайными величинами. Выведены расчетные формулы. Решена задача получения хи-квадрат распределения из четырех нормально распределенных случайных последовательностей. Программная реализация выполнена с помощью программы математического моделирования Matlab. Предложены графики, иллюстрирующие преобразование равномерно распределенной случайной последовательности в экспоненциально распределенную последовательность. Приведено сравнение результатов теоретически и практически выполненных преобразований.

Информация об авторах:

Шерстнева Алина Анатольевна, к.т.н., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия

Шерстнева Ольга Григорьевна, к.т.н., Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики, г. Новосибирск, Россия

Для цитирования:

Шерстнева А.А., Шерстнева О.Г. Преобразование параметров надежности с использованием параметрического метода // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №6. С. 25-30.

For citation:

Sherstneva A.A., Sherstneva O.G. Reliability parameters transformation using parametric method. T-Comm, vol. 16, no.6, pp. 25-30.
(in Russian)

Введение

Надежность [1-3] инфокоммуникационных систем и сетей связи является одним из основных свойств, характеризующих способность этих систем в полном объеме выполнять свои функции, обозначенные в нормативно-технической документации, правовых актах, рекомендациях ITU-T, ISO и других документах, в течении определенного заданного временного интервала. Надежность характеризуется целым рядом показателей [1-3] по которым делается вывод о надежности инфокоммуникационной системы в целом [1-5] в различных условиях ее эксплуатации. В зависимости от состава параметров, входящих в расчетные формулы, показатели надежности считаются единичными или комплексными.

Например, комплексный показатель надежности – это математическое ожидание числа связей. В формулу расчета этого показателя входит другой комплексный показатель – коэффициент готовности/коэффициент простоя. Для расчета этих коэффициентов необходимо рассчитывать единичные показатели надежности, такие как вероятность связности, интенсивность отказов, интенсивность восстановления, наработка на отказ и многие другие [6]. Некоторые из единичных показателей устанавливаются исходя из полученных системой мониторинга статистических данных. К таким показателям, например, относят интенсивность отказов, интенсивность восстановления, интенсивность проведения периодического контроля за работоспособностью отдельно взятого сетевого элемента или его составляющих. Перечисленные показатели являются мало предсказуемыми случайными величинами, значения которых влияют на конечный результат оценки надежности сети. Обработка и выдача результата осуществляется в определенное время и за период, называемый либо администратором системы, либо встроенным программным обеспечением, либо по мере необходимости.

Решение задач определения расчетных комплексных показателей надежности, как правило, приводится с условием экспоненциального распределения единичных параметров, входящих в состав расчетных формул. Как известно, экспоненциальное распределение применяется для независимых событий, число которых, за определенный временной интервал, подчиняется дискретному распределению Пуассона. Такой подход является основным в математической теории надежности. Но для исследования инфокоммуникационных систем и сетей связи не меньшую значимость для расчета показателей надежности этих систем имеют эмпирические данные, закон распределения которых заранее неизвестен.

Постановка задачи

Расчет надежностных показателей, как комплексных, так и единичных необходим для оценки надежности инфокоммуникационных систем и сетей связи в изменяющихся условиях их использования. Другими словами, не только для получения текущей оценки ее работоспособности, но и для прогнозирования надежности их работы при пограничных ситуациях с учетом возможных изменений нормативных показателей эксплуатации, вызванных какими-либо чрезвычайными ситуациями. При этом желательно опираться на эмпирические данные. Желательно также выявить закон распределения, фиксируемых системой мониторинга, слу-

чайных событий. Для расчета надежности указанных систем строят статистические модели, в которых основным законом распределения является нормальный закон распределения случайных величин [3]. При моделировании с учетом эмпирических данных, первоначально необходимо выявить закон их распределения. В большинстве случаев закон их распределения близок к нормальному или экспоненциальному закону.

Для получения расчетных комплексных показателей надежности предпочтительным является принятие экспоненциального закона распределения. Поскольку принятие этого допущения позволяет использовать уже известные формулы расчета надежности сложных технических систем, опубликованные в ряде работ отечественных и зарубежных исследователей данной темы [7-12]. Экспоненциальное распределение широко применяется при исследовании систем массового обслуживания, а именно при анализе очереди поступления запросов в инфокоммуникационную систему.

В статье, в качестве теоретических и практических исследований, приведен алгоритм расчета числовых значений случайной величины случайного процесса с использованием параметрического метода. Предложены графики, иллюстрирующие преобразование равномерно распределенной случайной последовательности в экспоненциально распределенную последовательность. Решается задача получения хи-квадрат распределения из четырех нормально распределенных случайных последовательностей.

Теоретические исследования

A. Экспоненциальное распределение

Равномерно распределенная случайная величина $X \sim R(0,1)$ с соответствующей функцией распределения:

$$f_X(x) = 1_{(a,b)}(x) \frac{1}{b-a} \Rightarrow f_X(x) = 1_{(0,1)}(x)$$

отображается функцией $g(X)$ так, что:

$$G(X) = Y = -\frac{1}{a} \ln(X), a > 0.$$

Следовательно, инверсия функции будет определяться таким образом:

$$g^{-1}(Y) = X = e^{-\alpha Y}.$$

Поскольку $g(X)$ является монотонной функцией, функция плотности вероятности новой случайной величины Y рассчитывается:

$$f_Y(y) = f_X(g^{-1}(y)) \left| \frac{dg^{-1}(y)}{dy} \right| = 1_{(0,1)}(e^{-\alpha y}) \left| -\alpha e^{-\alpha y} \right|$$

С учетом функции:

$$1_M(x) = \begin{cases} 1 & x \in M \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases},$$

можно изменить границы интервала $(0, 1)$, поскольку аргумент $e^{-\alpha y}$ является монотонной функцией с $\alpha > 0$ и условием:

$$0 < e^{-\alpha y} \leq 1 \text{ если } y \geq 0 \\ \Rightarrow f_Y(y) = 1_{(0,1)} |-\alpha e^{-\alpha y}| = 1_{(0,\infty)}(y) - \alpha e^{-\alpha y},$$

где $f_Y(y)$ это функция плотности вероятности экспоненциально распределенной случайной величины [13]. При $\alpha = 0,5$:

$$f_Y(y) = 1_{(0,\infty)}(y) - \alpha e^{-\alpha y} = 1_{(0,\infty)}(y) \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}y}.$$

Функция плотности вероятности для хи-квадрат распределения случайной величины с $n=2$ степенями свободы Z приблизительно равна:

$$\chi_n^2 \Rightarrow f_Z(z) = \begin{cases} 0 & z \leq 0 \\ 2^{-\frac{n}{2}} \Gamma(\frac{n}{2})^{-1} z^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{z}{2}} & z > 0 \end{cases}$$

$$\text{при } n = 2 \Rightarrow f_Z(z) = 1_{(0,\infty)}(z) \frac{1}{2} e^{-\frac{z}{2}}$$

Математическое ожидание может быть рассчитано через функцию плотности Y :

$$E(Y^2) = \mu_Y = \int_{-\infty}^{\infty} y f_Y(y) dy = \frac{\alpha}{2} \int_0^{\infty} y e^{-\alpha y} dy = \frac{1}{\alpha}.$$

Дисперсия:

$$V_{ar}(Y) = \sigma_Y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (y - \mu_Y)^2 f_Y(y) dy = E(Y^2) - \mu_Y^2, \\ E(Y^2) = \alpha \int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-\alpha y} dy.$$

Интегрируя по частям $E(Y^2) = \frac{2}{\alpha^2}$ получаем:

$$V_{ar}(Y) = E(Y^2) - \mu_Y^2 = \frac{1}{\alpha^2}.$$

B. Хи-квадрат распределение

Хи – квадрат распределенная случайная величина $Z \sim \chi_n^2$ с n степенями свободы определяется как [14]:

$$\chi_n^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2,$$

где $X_i \sim N(0,1)$,

$$f_{\chi_n^2}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ \frac{x^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma(\frac{n}{2})} & x > 0 \end{cases}$$

При увеличении числа степеней свободы до 4, случайная величина Z определяется:

$$Z = \sum_{i=1}^{n=4} X_i^2.$$

Плотность X^2 рассчитывается:

$$F_W(\omega) = P\{X^2 \leq \omega\} = \begin{cases} 0 & \omega \leq 0 \\ P\{-\sqrt{\omega} \leq W \leq \sqrt{\omega}\} & \omega > 0 \end{cases} \\ \Rightarrow f_W(\omega) = \begin{cases} 0 & \omega \leq 0 \\ \frac{f_X(\sqrt{\omega}) + f_X(-\sqrt{\omega})}{2\sqrt{\omega}} & \omega > 0 \end{cases}$$

Далее, чтобы показать, что X^2 имеет распределение от хи-квадрат распределенной случайной величины с одной степенью свободы, с помощью функции плотности распределения стандартизированной нормально распределенной случайной величины [13-14] получаем:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) \\ \Rightarrow f_W(\omega) = f_{\chi_1^2}(\omega) = \begin{cases} 0 & \omega \leq 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\omega}} e^{-\frac{\omega}{2}} & \omega > 0 \end{cases}$$

Путем свертки соответствующих функций плотности X^2 вычисляем функцию плотности Y_1 и Y_2 . Так как $X_1^1, X_2^2, X_3^2, X_4^{21} \sim \chi_1^2$, то:

$$f_Y = f_{Y_1} = f_{Y_2} = f_{\chi_1^2} f_{\chi_1^2}.$$

Плотность хи-квадрат распределенной случайной величины:

$$f_{\chi_1^2}(x) = 1_{[0,\infty]}(x) \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} e^{-\frac{x}{2}},$$

тогда приняв, что $x = y = (1 - u^2)$ и проведя ряд преобразований, получим функцию плотности хи-квадрат распределенной случайной величины с $n=2$ степенями свободы:

$$f_Y(y) = f_{\chi_1^2} f_{\chi_1^2} = 1_{[0,\infty]}(y) \frac{1}{2} e^{-\frac{y}{2}}.$$

При условии, что $f_Y(y) = f_{Y_1}(y_1) = f_{Y_2}(y_2)$, плотность хи-квадрат распределенной случайной величины с $n=4$ степенями свободы:

$$f_Z(z) = f_{Y_1}(y) f_{Y_2}(y) = 1_{(0,\infty)}(z) \frac{z^{\frac{z}{2}-1}}{4} e^{-\frac{z}{2}} = f_{\chi_4^2}(z).$$

Математическое ожидание:

$$E(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} z f_Z(z) dz = \frac{1}{4} \int_0^{\infty} z^2 e^{-\frac{z}{2}} dz.$$

Интегрируя по частям, получаем $E(Z) = 4$.

Дисперсия рассчитывается как:

$$E(Z)^2 = \int_0^\infty z^2 \frac{z}{4} e^{-\frac{z}{2}} dz.$$

Можно вычислить функцию плотности распределения величины Z , используя две независимые экспоненциально распределенные случайные величины:

$$Y_1 \sim E(\lambda_1) \Rightarrow f_{Y_1}(y) = \lambda_1 e^{-\lambda_1 y} 1_{[0,\infty]}(y);$$

$$Y_2 \sim E(\lambda_2) \Rightarrow f_{Y_2}(y) = \lambda_2 e^{-\lambda_2 y} 1_{[0,\infty]}(y).$$

$$Z = Y_1 + Y_2$$

$$\Rightarrow f_Z(z) = f_{Y_1}(y) f_{Y_2}(y) = 1_{[0,\infty]}(z) \frac{1}{4} z e^{-\frac{z}{2}},$$

$$\text{при } \lambda_1 = \lambda_2 = \frac{1}{2}.$$

Итак, сумма двух независимых экспоненциально распределенных случайных величин с $\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{1}{2}$ это случайная величина с распределением хи-квадрат с 4 степенями свободы.

Результаты экспериментов

Задача состоит в преобразовании равномерно распределенной случайной последовательности на интервале $[0, 1]$ в экспоненциальную распределенную последовательность с помощью $\alpha = 1/2$.

Равномерно распределенная последовательность x , где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, n = 1000$ может быть преобразована в экспоненциальную распределенную последовательность с помощью $g(X) = Y = -\frac{1}{\alpha} \ln(X)$ with $\alpha = 0,5$ так, что новая последовательность y , где $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ рассчитывается:

$$y = -\frac{1}{\alpha} \ln(x) = -2 \ln(x).$$

Последовательность y является выборкой случайной величины Y с плотностью:

$$f_Y(y) = 1_{[0,\infty]}(y) 0,5 e^{-0,5y}.$$

Далее вычисляем среднее значение, дисперсию преобразованной последовательности:

$$\Rightarrow \mu_z = \frac{1}{\alpha} = 2;$$

$$\Rightarrow \sigma_z^2 = \frac{1}{\alpha^2} = 4.$$

На рисунке 1 приведены графики функции плотности вероятности распределения последовательности Y . Графики получены с помощью программы математического моделирования Matlab. Красным цветом выделено теоретическое значение функции плотности.

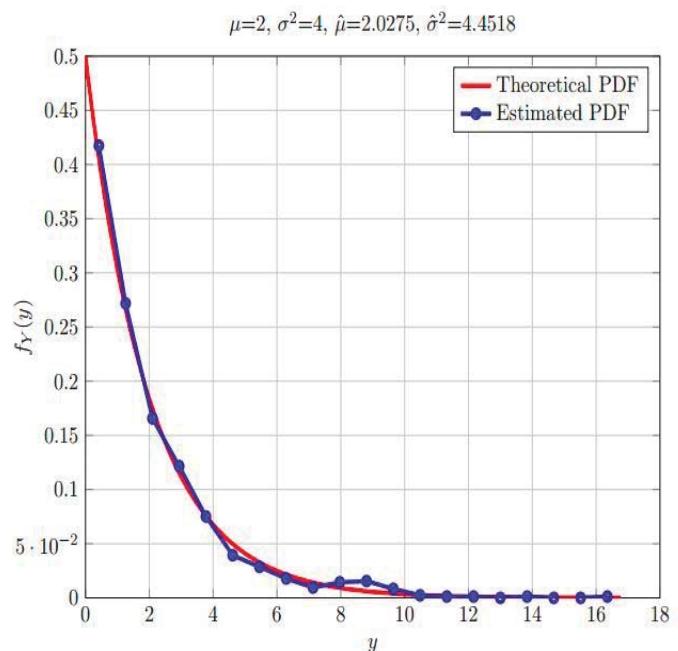


Рисунок 1. Функция плотности вероятности распределения последовательности Y

Согласно полученным данным, преобразованная выходная последовательность подчиняется экспоненциальному или хи-квадрат распределению.

Следующей задачей является получение хи-квадрат распределения из четырех нормально распределенных случайных последовательностей.

Для ее решения определяем сумму квадратов четырех случайных последовательностей поэлементно. С четырьмя независимыми нормально распределенными случайными последовательностями $x_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m})^T, m = 1000 i = 1, 2, 3, 4$, вычисляем функцию z :

$$z_j = \sum_i x_{i,j}^2 = x_{1,j}^2 + x_{2,j}^2 + x_{3,j}^2 + x_{4,j}^2,$$

где $j = 1, 2, \dots, m$.

Новая последовательность z является выборкой случайной величины $Z \sim \chi_4^2$ с функцией плотности:

$$f_z(z) = \frac{z}{4} e^{-\frac{z}{2}}$$

$$\Rightarrow \mu_z = 4$$

$$\Rightarrow \sigma_z^2 = 8$$

На рисунке 2 приведены графики зависимости плотности вероятности последовательности z . Красным цветом выделено теоретическое значение функции плотности. Соответственно синим цветом результаты программной реализации.

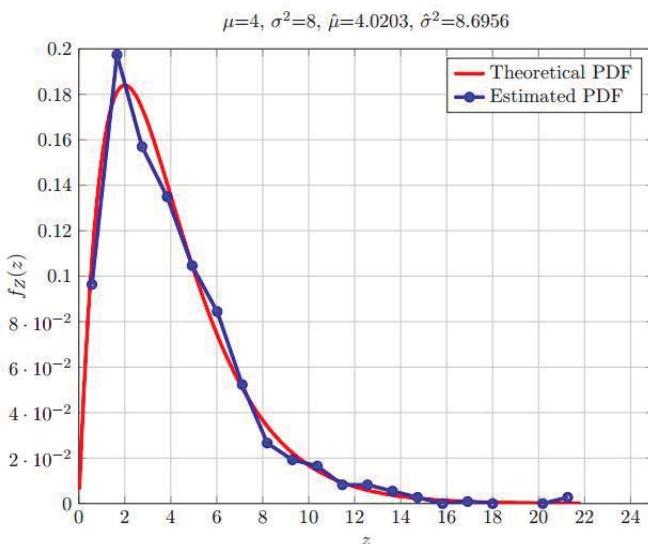


Рисунок 2. Функция плотности вероятности распределения последовательности Z

Согласно графику, функция плотности вероятности случайной величины Z является распределением хи-квадрат с 4 степенями свободы.

Заключение

Основу надежности любой технически сложной системы составляет анализ процессов, связанных с ее функционированием на протяжении всего «жизненного цикла». Влияние на оценку надежности телекоммуникационных сетей оказывают случайные величины, такие, например, как число неуспешно обслуженных запросов, число отказов за определенный временной интервал, ранжированных по виду и типу, согласно нормативно-технической документации, среднее время локализации отказов и многие другие. Для оценки значений этих случайных величин важно не только в моменте определять закон их распределения, но и оперативно выполнять преобразование полученных на их основе параметров надежности в случае изменения закона распределения исходных величин.

Для практического использования известных формул теории телетрафика, теории вероятности с целью расчета показателей надежности, необходимо устанавливать закон распределения эмпирических данных, полученных в процессе эксплуатации инфокоммуникационных систем и сетей связи или на этапе их проектирования и предварительного тестирования. В статье решены задачи преобразования нормального распределения в экспоненциальное [15-16], хи-квадрат распределение с двумя и четырьмя степенями свободы.

Для выполнения преобразований предлагается использовать параметрический метод. Для получения результатов расчета предложено использовать метод математического моделирования, а именно возможности программы Matlab.

В результате были получены графики функции плотности вероятности для последовательностей Y и Z , построенные по теоретическим выкладкам и имеющимся программным результатам. Приведен подробный алгоритм выполненных преобразований.

Алгоритм, изложенных преобразований может быть полезен как при теоретическом изучении сути проблемы, так и при его программной реализации.

Литература

- ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. 1989. 33 с.
- ГОСТ 27.002-2015. Термины и определения. Москва. Стандартинформ. 2016. 24 с.
- ГОСТ Р. 50779.21. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Ч.1. Нормальное распределение. 1996.
- ГОСТ Р ИСО 28640. Статистические методы. Генерация случайных чисел. 2012. 15 с.
- ГОСТ Р 50779.21. (2004). Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. 47с.
- Шерстнева О.Г. Основы теории надежности средств и сетей связи: Учебное пособие. Новосибирск, СибГУТИ, 2018. 150 с.
- Zain Aalabdain Al Namer. Systematization of approaches to the development of quality systems indicators and network services reliability. T-Comm, 2021. №5, pp. 58-61.
- Zarghami S.A., Gunawan I., Schultmann F. Exact Reliability Evaluation of Infrastructure Networks Using Graph Theory. Qual. Reliab. Eng. Int., 2020, no. 36, pp. 498-510.
- Wanqing Guan, Haijun Zhang, Victor C.M. Leung. Analysis of traffic performance on network slicing using complex network theory. IEEE Transactions Technology, 2020, vol. 69, pp. 15188-15199.
- Evstafiev V.V., Rudenko N.V., Semenov V.A., Sumin D.L. Features of assessment of reliability characteristics of communication networks. Proceedings of the North Caucasus Branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, 2018, no. 1, pp. 102-104. (in Russian)
- Batenkov K.A. Analysis of the reliability of multipole communication networks by the method of full states bitching. Information Technology. Problems and solutions. Materials of the International Scientific and Practical Conference, 2018, no. 1 (5), pp. 405-411. (in Russian)
- Lobastova M.V., Matyukhin A.Yu., Mutkhanna A.S. Analysis of network synchronization network reliability. Information technology and telecommunications. Information technology and telecommunications, 2020, vol. 8, 4, pp. 93-99.
- Еременко, В.Т. Методы и модели теории телетрафика: учебное пособие. Орёл. ОГУ имени И.С. Тургенева. 2019. 244 с.
- Денисов В.И., Лемешко Б.Ю., Постовалов С.Н. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим: Методические рекомендации. Часть I. Критерии типа χ^2 . Новосибирск. НГТУ, 1998. 126 с.
- Шерстнева А.А. Прогнозирование тренда данных телетрафика. Свидетельство о регистрации программы ЭВМ № 2021660813, 1.07.2021.
- Шерстнева А.А. Оценка параметров инфокоммуникационной системы. Свидетельство о регистрации программы ЭВМ № 2021660651, 29.06.2021.

RELIABILITY PARAMETERS TRANSFORMATION USING PARAMETRIC METHOD

Alina A. Sherstneva, SPbSUT, St. Petersburg, Russia, shers7neva@gmail.com

Olga G. Sherstneva, SibSUTIS, Novosibirsk, Russia, sherstneva@ngs.ru

Abstract

As a whole calculation of reliability indicators and obtaining estimates of the reliability for infocommunication systems and networks is based on various assumptions about the distributions laws of empirical data obtained as a result of an experiment or during operation. As theoretical and practical studies an algorithm for calculating the numerical values of a random variable in a random process using the parametric method is presented. The article is aimed to transform different types of distribution. Calculated formulas are derived. The problem of obtaining a chi-square distribution from four normally distributed random sequences is solved. Software implementation was performed using the mathematical modeling program Matlab. Graphs are proposed to illustrate the transformation of a uniformly distributed random sequence into an exponentially distributed sequence. A comparison between theoretically and practically completed transformations is given.

Keywords: machine learning; reliability, forecasting; algorithm, uniform distribution, normal distribution.

References

1. GOST 27.002-89. (1989). Nadezhnost' v texnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. 33 p.
2. GOST 27.002. (2015). Terminy i opredeleniya. Moskva. Standartinform. 2016. 24 p.
3. GOST R. 50779.21. (1996). Statisticheskie metody'. Pravila opredeleniya i metody' rascheta statisticheskix xarakteristik po vyborochnym dannym. Ch.I. Normalnoe raspredelenie.
4. GOST R ISO 28640. (2012). Statisticheskie metody'. Generaciya sluchajnyx chisel. 15p.
5. GOST P 50779.21. (2004). Statisticheskie metody'. Pravila opredeleniya i metody' rascheta statisticheskix xarakteristik po vyborochnym dannym. 47 p.
6. O.G. Sherstneva (2018). Osnovy teorii nadezhnosti sredstv i setej svyazi: Uchebnoe posobie. Novosibirsk. SibGUTI, 150 p.
7. Zain Aalabdain Al Namer. (2021). Systematization of approaches to the development of quality systems indicators and network services reliability. T-comm, Moscow, №5, pp. 58-61.
8. S.A. Zarghami, I. Gunawan, F. Schultmann (2020). Exact Reliability Evaluation of Infrastructure Networks Using Graph Theory. *Qual. Reliab. Eng. Int.*, no. 36, pp. 498-510.
9. Wanqing Guan, Haijun Zhang, Victor C.M. Leung. (2020). Analysis of traffic performance on network slicing using complex network theory. *IEEE Transactions Technology*, vol. 69, pp. 15188-15199.
10. V.V. Evstafiev, N.V. Rudenko, V.A. Semenov, D.L. Sumin (2018). Features of assessment of reliability characteristics of communication networks. *Proceedings of the North Caucasus Branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics*, no. 1, pp. 102-104.
11. K.A. Batenkov (2018). Analysis of the reliability of multipole communication networks by the method of full states bitching. *Information Technology. Problems and solutions. Materials of the International Scientific and Practical Conference*, no. 1 (5), pp. 405-411.
12. M.V. Lobastova, A.Yu. Matyukhin, A.S. Mutkhanna (2020). Analysis of network synchronization network reliability. *Information technology and telecommunications. Information technology and telecommunications*. Vol. 8, 4, pp. 93-99.
13. V.T. Eremenko (2019). Metody i modeli teorii teletrafika: uchebnoe posobie. Orel, OGU imeni I.S. Turgeneva, 244 p.
14. V.I. Denisov, B.Yu. Lemeshko, S.N. Postovalov (1998). Prikladnaya statistika. Pravila proverki soglasiya opytogo raspredeleniya s teoretycheskim: Metodicheskie rekomendacii. Chast I. Kriterii tipa χ^2 . Novosibirsk, NGTU, 126 p.
15. A.A. Sherstneva (2021). Prognozirovaniye trenda dannykh teletrafika. Svidetel'stvo o registratsii programmy EVM № 2021660813, 1.07.2021.
16. A.A. Sherstneva (2021). Otsenka parametrov infokommunikatsionnoy sistemy. Svidetel'stvo o registratsii programmy EVM № 2021660651, 29.06.2021.

Information about authors:

Alina A. Sherstneva, Candidate of Tech. Sciences, associated professor, The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, Department of Infocommunication Systems, Saint Petersburg, Russia

Olga G. Sherstneva, Candidate of Tech. Sciences, associated professor, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Department of Electrical Communication, Novosibirsk, Russia