

# МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ С ПРОТОКОЛОМ СИНХРОННОГО ВРЕМЕННОГО ДОСТУПА С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-2-25-29

Manuscript received 26 October 2020  
Accepted 24 November 2020

Гезалов Эльчин Бахтыевич,  
Азербайджанский Технический Университет,  
г. Баку, Азербайджан, [gelchin\\_63@mail.ru](mailto:gelchin_63@mail.ru)

**Ключевые слова:** неоднородная локальная сеть, протокол синхронного временного доступа, подстанция, подсеть, буфер, кадр, временное окно, интервал обслуживания

В последние годы локальные сети связи (ЛСС) широко используются в системах сбора, обработки информации и управления различными объектами. При этом для реализации этих прикладных процессов используются бесконфликтные протоколы доступа, обеспечивающие режим реального времени. Одним из таких протоколов доступа является протокол синхронного временного доступа, рассматриваемый в данной работе. В работах, посвященных исследованию и разработке локальных сетей связи (ЛСС) не всегда учитывается надежность их элементов. Однако при исследовании и разработке локальных сетей связи необходимо учитывать влияние процессов отказов и восстановлений станций и канала связи на характеристики сетей. Не учет этих процессов приводит к искусственному завышению производительности сетей и увеличению потерь сообщений в них. Рассматривается локальная сеть связи, неоднородная по интенсивности входящего потока сообщений и типу сообщений, с протоколом синхронного временного доступа. Все коммуникационные станции рассматриваемой локальной сети состоят из трех подстанций: подстанции речи, подстанции видеоинформации и подстанции данных. Подстанции речи образуют подсеть речи, подстанции видеоинформации – подсеть видеоинформации, а подстанции данных – подсеть данных. Подстанции в пределах одноименной подсети однородны по своей активности. Разрабатывается модель рассматриваемой локальной сети в дискретном времени, позволяющая оценить влияние процессов отказов и восстановлений подстанций станций сети и канала связи на ее характеристики. На основе разработанной модели локальной сети выбраны и определены вероятностно-временные характеристики исследуемой сети.

#### Информация об авторе:

Гезалов Эльчин Бахтыевич, к.т.н., доцент кафедры "Телекоммуникация и информационная безопасность" Азербайджанского Технического Университета, Баку, Азербайджан

#### Для цитирования:

Гезалов Э.Б. Модель неоднородной локальной сети связи с протоколом синхронного временного доступа с учетом надежности ее элементов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №3. С. 25-29.

#### For citation:

Gezalov E.B. (2021) Model of heterogeneous local communication network with synchronous time access protocol, considering the reliability of its elements. T-Comm, vol. 15, no.3, pp. 25-29. (in Russian)

## Введение

В настоящее время известен широкий класс моделей и методов расчета неоднородных и однородных локальных сетей связи [1-7]. Так, в [1] рассматривается широкий класс моделей и методов расчета локальных сетей связи. При этом приводится подход для разработки модели ЛСС с контролируемым доступом с учетом надежности станций сети, рассматриваются вопросы резервирования локальных сетей. В [2] приводятся модели и методы расчета локальных эфирных сетей с учетом надежности станций для синхронно-случайного доступа и случайного синхронного временного доступа.

В [3,4] разрабатываются модели неоднородных по интенсивности входящего потока сообщений локальных сетей с учетом характеристик надежности канала связи. В [5-7] рассматриваются гибридные пакетные сети, объединяющие неоднородные локальные сети. В них приводятся модели гибридных сетей связи с учетом характеристик надежности спутниковых каналов и каналов связи локальных сетей.

Однако, в существующих работах не рассматриваются модели ЛСС, неоднородных по интенсивности входящего потока сообщений и типу сообщений, с учетом показателей надежности станций и канала связи. Поэтому представляет интерес разработка модели неоднородной локальной сети связи с учетом показателей надежности станций сети и канала связи.

## Модель сети

Рассмотрим локальную сеть, основными элементами физической структуры которой являются коммуникационные станции (КС), реализующие доступ компьютеров абонентов к моноканалу локальной сети. Каждый абонент имеет возможность передавать и принимать неоднородный трафик (пакетированная речь, видео и данные), если его компьютер подключен к локальной сети. Для доступа к общему каналу и передачи КС в сети используют протокол синхронного временного доступа.

В локальной сети связи с протоколом синхронного временного доступа КС работают следующим образом. На каждой КС буфер разделен на три части: одна часть буфера для хранения речевых пакетов (буфер-1), вторая часть (буфер-2) для хранения пакетов видеoinформации и третья часть (буфер-3) для хранения пакетов данных.

В сети с протоколом СВД станции с помощью устройств цикловой синхронизации в определенном логическом порядке осуществляют передачу пакетов одинаковой длины, известной всей сети. Каждой станции известен момент доступа. Станция управления сетью указывает всем станциям очередность доступа в цикле работы сети.

В рассматриваемой неоднородной сети каждая станция получает право доступа к общему каналу сразу после окончания временного окна станции, предыдущей в логическом порядке (для локальной сети кольцевой структуры – эта станция, предыдущая соседняя в физическом кольце; для сети шинной структуры – это станция, предыдущая соседняя в логическом кольце).

Если в буфере-1, буфере-2 и буфере-3 станции, получившей управление на доступ, имеются соответственно речевой

пакет, пакет видео и пакет данных, они передаются в канал. После чего право доступа получает следующая соседняя станция. Если же буферы станций сети пусты, временное окно, выделенное станции не используется другими и сеть в течение этого времени простаивает. Каждое временное окно, выделенное станции, состоит из трех окон для передачи речи, видео и данных. Цикл работы сети при этом состоит из  $3N$  временных окон.

Все КС рассматриваемой локальной сети состоят из трех подстанций, подстанции речи, подстанции видеoinформации и подстанции данных. Подстанции речи образуют подсеть речи, подстанции видеoinформации – подсеть видеoinформации, а подстанции данных – подсеть данных. Подстанции в пределах одноименной подсети однородны по своей активности.

Предполагаются заданными вектор неоднородности  $A$  и интенсивность входящего потока сообщений на сеть  $\Lambda$ . Предполагаются также, что любая подстанция КС, также как и канал связи может выйти из строя.

Рассматриваемая локальная сеть является неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и типу сообщений. Неоднородность по интенсивности входящего потока сообщений для такой сети описывает вектор неоднородности  $A$ , который определяется в данном случае двумя коэффициентами неоднородности:

$$\begin{aligned} A &= [A_{12}, A_{13}], \\ A_{12} &= \Lambda_2 / \Lambda_1, A_{13} = \Lambda_3 / \Lambda_1, \Lambda_1 = N_1 \lambda_1 k_1, \Lambda_2 = N_2 \lambda_2 k_2, \Lambda_3 = N_3 \lambda_3 k_3, \\ \lambda_1 &= q_R / T, \lambda_2 = q_V / T, \lambda_3 = q_D / T, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3$  – интенсивности входящих потоков сообщений соответственно на подсеть речи, подсеть видеoinформации и подсеть данных, [бит/с],  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – интенсивности входящих потоков сообщений, поступающих соответственно в буферы-1, буферы-2 и буферы-3 станций сети, [пак/с],  $k_1, k_2, k_3$  – длины информационных полей кадра соответственно для подстанции речи, подстанции видеoinформации и подстанции данных, [бит],  $q_R, q_V, q_D$  – вероятности поступления сообщений на интервале  $T = C^{-1}$  соответственно в буферы-1, буферы-2 и буферы-3 станций сети,  $C$  – скорость модуляции в канале связи,  $N_1, N_2, N_3$  – количество подстанций в подсети речи, подсети видеoinформации и подсети данных,  $N_1 = N_2 = N_3 = N$ .

Необходимо определить вероятностно-временные характеристики рассматриваемой неоднородной локальной сети.

Модель однородной по интенсивности входящего потока сообщений локальной сети с протоколом СВД получена в [1]. Модель получена для случая идеальных станций и канала связи сети.

Очевидно, что при этом протоколе доступа среднее время обслуживания сообщения в любой подстанции не зависит от интенсивности входящего потока сообщений на сеть. Поэтому для рассматриваемой неоднородной сети модель обслуживания сообщений идентична модели обслуживания сообщений для неоднородной сети с протоколом СВД.

Тогда Z-преобразования ряда распределения (Z-пр.р.) интервала обслуживания соответственно сообщения речи, видео и данных для неоднородной ЛСС с протоколом СВД для случая идеальных подстанций и канала связи, когда для защиты от ошибок используется алгоритм РОС-ОЖ с передачей квитанции в синхронном режиме сразу после окончания приема кадра станцией–получателем запишется в виде:

$$\begin{aligned} g_R(Z) &= \frac{Q_{kR}g_{sR}(Z)}{1 - P_{kR}g_{sR}(Z)}, Q_{kR} + P_{kR} = 1 \\ g_V(Z) &= \frac{Q_{kV}g_{sV}(Z)}{1 - P_{kV}g_{sV}(Z)}, Q_{kV} + P_{kV} = 1 \\ g_D(Z) &= \frac{Q_{kD}g_{sD}(Z)}{1 - P_{kD}g_{sD}(Z)}, Q_{kD} + P_{kD} = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $g_{sR}(z), g_{sV}(z), g_{sD}(z)$  – Z-пр.р. интервала обслуживания соответственно сообщения речи, видео и данных для неоднородной ЛСС с идеальными подстанциями и протоколом СВД для случая однократной передачи,  $g_{sR}(z) = g_{sV}(z) = g_{sD}(z) = Z^{-3N_{ok}}$ ,  $Q_{kR}, Q_{kV}, Q_{kD}$  – вероятности успешной передачи соответственно сообщения речи, видео и данных,  $Q_{kR} = (1 - p)^{n_{kR}}, Q_{kV} = (1 - p)^{n_{kV}}, Q_{kD} = (1 - p)^{n_{kD}}$ ,  $n_{kR}, n_{kV}, n_{kD}$  – длина сообщения речи, видео и данных в битах,  $p$  – вероятность ошибки в биномиальном дискретном канале.

Рассмотрим использование протокола СВД в локальной сети с ненадежными станциями и каналом связи.

Представим по отношению к рассматриваемой станции подстанции речи, видео и данных остальных станций двойными генераторами независимых интервалов соответственно  $T_{ok}$  и  $T_{a1}, T_{ok}$  и  $T_{a2}, T_{ok}$  и  $T_{a3}$ .

Тогда Z-пр.р. интервалов, генерируемых подстанциями речи, видео и данных имеет вид:

$$\begin{aligned} f_{s1}(z) &= Q_{n1}z^{-n_{ok}} + P_{n1}z^{-n_{a1}} \\ f_{s2}(z) &= Q_{n2}z^{-n_{ok}} + P_{n2}z^{-n_{a2}} \\ f_{s3}(z) &= Q_{n3}z^{-n_{ok}} + P_{n3}z^{-n_{a3}} \end{aligned} \quad (3)$$

где  $Q_{n1}, Q_{n2}, Q_{n3}$  – вероятности нахождения соответственно подстанций речи, видео и данных станций локальной сети в работоспособном состоянии,  $Q_{n1} = 1 - P_{n1}, Q_{n2} = 1 - P_{n2}, Q_{n3} = 1 - P_{n3}$ ,  $n_{ok}$  – длина в битах временного окна, выделенного каждой подстанции в цикле работы сети для передачи кадра,  $n_{a1}, n_{a2}, n_{a3}$  – длина в битах временного интервала нахождения соответственно подстанции речи, видео и данных в неработоспособном состоянии.

Вероятности нахождения подстанций речи, видео и данных станций локальной сети в работоспособном состоянии есть коэффициенты готовности соответственно подстанций речи, видео и данных станций сети, то есть:

$$Q_{n1} = K_{Г1}, Q_{n2} = K_{Г2}, Q_{n3} = K_{Г3}.$$

Интервал обслуживания сообщения для станций ЛСС при этом представим случайной величиной, состоящей из случайных величин интервала доступа (интервал между двумя последовательными передачами рассматриваемой станции) и интервала передачи [1]. Учитывая компоненты интервала обслуживания и (3), запишем Z-пр.р. интервала обслуживания соответственно сообщения речи, видео и данных для неоднородной ЛСС с протоколом СВД и ненадежными подстанциями для случая однократной передачи:

$$\begin{aligned} g_{sp}(z) &= Z^{-3n_{ok}} (Q_{n1}Z^{-n_{ok}} + P_{n1}Z^{-n_{a1}})^{N-1} \times \\ &\times (Q_{n2}Z^{-n_{ok}} + P_{n2}Z^{-n_{a2}})^{N-1} \times \\ &\times (Q_{n3}Z^{-n_{ok}} + P_{n3}Z^{-n_{a3}})^{N-1} \\ g_{sp}(z) &= g_{sV}(z) = g_{sD}(z) \end{aligned} \quad (4)$$

В случае идеальных подстанций станций неоднородной ЛСС, то есть при  $Q_{n1} = Q_{n2} = Q_{n3} = 1$ , из выражения (4) получаем выражение для  $g_{sR}(z), g_{sV}(z), g_{sD}(z)$  из (2).

Для получения модели рассматриваемой сети связи воспользуемся подходом из [3-7]. При биномиальных входящих потоках подстанции станций ЛСС моделируются стохастической системой  $M^D / G^D / 1$ .

Тогда моделью гибридной сети связи является система уравнений в Z-преобразованиях для рядов распределений дискретного времени задержки сообщений для подстанций речи, видео и данных станций ЛСС:

$$\begin{cases} f_{qR}(Z) = \frac{(1 - \theta_R)h_R(Z)(1 - Z)}{1 - p_R Z - q_R Z h_R(Z)}, \\ f_{qV}(Z) = \frac{(1 - \theta_V)h_V(Z)(1 - Z)}{1 - p_V Z - q_V Z h_V(Z)}, \\ g_{qD}(Z) = \frac{(1 - \theta_D)h_D(Z)(1 - Z)}{1 - p_D Z - q_D Z h_D(Z)}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $\theta_R, \theta_V, \theta_D$  – вероятности занятого состояния буферов соответственно подстанций речи, видео и данных станций сети,  $h_R(Z), h_V(Z), h_D(Z)$  – Z-пр.р. интервала обслуживания сообщений в неидеальном канале соответственно для подстанций речи, видео и данных станций сети,  $q_R, q_V, q_D$  – вероятность поступления сообщения на такте  $T$  в буфер соответственно подстанции речи, видео и данных станций ЛСС,  $p_R = 1 - q_R, p_V = 1 - q_V, p_D = 1 - q_D$ .

Определим компоненты, входящие в (4). Для получения модели обслуживания сообщений в неоднородной локальной сети связи с учетом показателей надежности каналов связи воспользуемся подходом из [3,4]. Подход основан на использовании модели надежности системы, предложенной О.С. Чугреевым, Ю.А. Ариненко, Б.В. Шитовым. Модель надежности учитывает коэффициент готовности  $K_{Гк}$  и распределение времени восстановления  $T_V$  канала связи в виде отдельного параметра.

Тогда выражения для  $h_R(Z), h_V(Z), h_D(Z)$  для неоднородной локальной сети связи запишутся соответственно в виде:

$$\begin{aligned} h_R(Z) &= g_R(Z/(\mu\psi_v(Z) + \bar{\mu})), \\ h_V(Z) &= g_V(Z/(\mu\psi_v(Z) + \bar{\mu})), \\ h_D(Z) &= g_D(Z/(\mu\psi_v(Z) + \bar{\mu})), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\mu$  – вероятность возникновения отказа в канале ЛСС на интервале  $T$ ,  $\bar{\mu}$  – вероятность отсутствия отказа в канале ЛСС на интервале  $T$ ,  $\psi_v(Z)$  – Z-пр.р. дискретного в интервалах  $T$  времени восстановления канала ЛСС.

Вероятности  $\theta_R, \theta_V, \theta_D$  определяются из уравнений интерференции:

$$\begin{cases} \theta_R = q_R \bar{n}_{sR}, \bar{n}_{sR} = (d/dZ^{-1})h_R(Z)|_{Z=1}, \\ \theta_V = q_V \bar{n}_{sV}, \bar{n}_{sV} = (d/dZ^{-1})h_V(Z)|_{Z=1}, \\ \theta_D = q_D \bar{n}_{sD}, \bar{n}_{sD} = (d/dZ^{-1})h_D(Z)|_{Z=1}, \end{cases} \quad (7)$$

где  $\bar{n}_{sR}, \bar{n}_{sV}, \bar{n}_{sD}$  – среднее дискретное время обслуживания сообщений, передаваемых по ненадежному восстанавливаемому каналу соответственно для подстанций речи, видео и данных станций ЛСС.

Соотношения (4) – (7) представляют модель неоднородной локальной сети связи с протоколом синхронного временного доступа с учетом надежности ее элементов в дискретном времени.

## Выводы

Разработана модель неоднородной локальной сети связи с протоколом синхронного временного доступа в дискретном времени, учитывающая процессы отказов и восстановлений подстанций станций сети и канала связи. Разработанная модель позволяет определить вероятностно-временные характеристики исследуемой неоднородной локальной сети связи и учесть влияние на них процессов отказов и восстановлений подстанций станций сети и канала связи, а также – решать различные системные задачи и проектные процедуры.

## Литература

1. Суздаев А.В., Чугреев О.С. Передача данных в локальных сетях связи. М.: Радио и связь, 1987. 168 с.
2. Демченков С.В. Модели и методы расчета локальных эфирных сетей множественного доступа // Автореферат кандидатской диссертации. Санкт-Петербург, СПб ГУТ, 2002. 12 с.
3. Гезалов Э.Б., Тагиев Н.Д. Модель неоднородной локальной сети с протоколом LLC и ненадежным каналом связи // Известия АН Азербайджана. Серия физико-технических и математических наук. Том XVII. Информатика и проблемы управления. №б. Баку. 1997. С. 33-37.
4. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной локальной сети с учетом характеристик надежности канала связи // Сборник научных трудов Днепропетровского Государственного Университета Украины «Актуальные проблемы информатизации и информационных технологий». Том II. Днепропетровск, ДНУ 2007. С. 43-48.
5. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной гибридной сети связи с учетом показателей надежности каналов связи // Журнал «Ученые записки» Высшей Военно-Морской школы Азербайджана. №XXI. Баку, 2012. С. 131-141.
6. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной по протоколу доступа гибридной сети связи с учетом показателей надежности каналов связи // Сборник научных трудов ОНАС им. А.С. Попова.-Одесса, 2013. №1. С. 140-145.
7. Гезалов Э.Б. Модель неоднородной гибридной сети связи с протоколом комбинированного доступа с учетом показателей надежности каналов связи // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 4. С. 13-19. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-4-13-19

## MODEL OF HETEROGENEOUS LOCAL COMMUNICATION NETWORK WITH SYNCHRONOUS TIME ACCESS PROTOCOL, CONSIDERING THE RELIABILITY OF ITS ELEMENTS

*Elchin B. Gezalov, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan, [gelchin\\_63@mail.ru](mailto:gelchin_63@mail.ru)*

### Abstract

In the article the local communication network, heterogeneous on the intensity of the incoming message flow and the type of messages, with synchronous time access protocol is considered. All communication stations of the considered local network consist of three substations: speech substations, video information substations and data substations. Speech substations form the speech subnet, video information substations form the video information subnet, and data substations form the data subnet. Substations within the same subnet are homogeneous in their activity. A model of the considered local network in discrete time is being carried out, which allows assessing the effect of the failure processes and restoration of substations of network stations and the communication channel on its characteristics. Based on the developed model of the local network, the probability-time characteristics of the considered network are selected and determined.

**Keywords:** *heterogeneous local area network, synchronous time access protocol, substation, subnet buffer, frame, time window, service interval.*

### References

1. A.V. Suzdalev, O.S. Chugreev (1987). Data transmission in local communication networks. Moscow: Radio and communication. 168 p.
2. S.V. Demchenkov (2002). Models and methods for calculating local ether multiple access networks. *Avtoreferat kandidatskoj dissertacii [Abstract of the Candidate's dissertation]*. St. Petersburg: SUT. 12 p.
3. E.B. Gezalov, N.D. Tagiev (1997). The model of a heterogeneous local network with LLC protocol and an unreliable communication channel. *Proceedings of the Azerbaijan Academy of Sciences. Series of physical and technical and mathematical sciences*. Vol. XVII. Informatics and problems of management. No. 6. Baku. P. 33-37.
4. E.B. Gezalov (2007). A model of a heterogeneous local network taking into account the reliability characteristics of the communication channel. *Collection of scientific papers of the Dnipropetrovsk State University of Ukraine "Actual problems of informatization and information technology"*. Vol. II. Dnepropetrovsk: DSU. P. 43-48.
5. E.B. Gezalov (2012). Model of a heterogeneous hybrid communication network taking into account reliability indicators of communication channels. *Journal "Scientific notes" of the Higher Naval School of Azerbaijan*. No. XXI. P. 131-141.
6. E.B. Gezalov (2013). Model of a hybrid communication network inhomogeneous according to the access protocol, taking into account reliability indicators of communication channels. *Collection of Scientific Works of ONAS A.S. Popova*. Odessa. No.1. P. 140-145.
7. E.B. Gezalov (2018). Model of a heterogeneous hybrid communication network with a combined access protocol taking into account reliability indicators of communication channels. *Transactions of communication educational institutions*. Vol. 4. No. 4. P. 13-19. DOI: 10.31854 / 1813-324X-2018-4-4-13-13-19

### Information about author:

**Elchin B. Gezalov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Telecommunication and Information Security, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan