# СОДЕРЖАНИЕ

J

Журнал зарегистрирован Федераль- ной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64098

от 18 декабря 2015 г.

Учредитель – Государственное бюджетное образовательное учреж- дение высшего образования Московской области «Технологиче- ский университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика- космонавта А.А. Леонова»

(141074, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42) Издается с сентября 2014 г.

Выходит 4 раза в год

ISSN 2409-1650

Журнал «Информационно- технологический вестник» включён в Перечень ведущих периодических из-

даний ВАК

Группы научных специальностей и научные специ- альности в рамках групп научных специальностей, по которым издание входит в Перечень:

2. Технические науки; 2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь; 2.3. Информационные

технологии и телекоммуникации [2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычис- лительных систем, комплексов и компьютерных сетей], 2.5. Машиностроение [2.5.13. Проектирова- ние конструкция и производство летательных аппа- ратов], 2.6. Химические технологии, науки о мате- риалах, металлургия; [2.6.17. Материаловедение]

Подписной индекс в каталоге

«Почта России» ПП997

Главный редактор

**Артюшенко Владимир Михайлович,**

д.т.н., профессор

Над выпуском работали Паршина Ю.С. Пирогова Е.В. Багдасарян А.А. Харитонова А.А.

Адрес редакции: 141070, Королев,

Ул. Октябрьская,10а

Тел. (495)543-34-31 (доб.138),

E-mail: rio-kimes@mail.ru, Site: [www.unitech-mo.ru](http://www.unitech-mo.ru/)

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в мате- риалах, в том числе рекламных, предос-

тавленных авторами для публикации Материалы приводятся в авторской

редакции.

***СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ***

Артюшенко В.М.

**АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ПАКЕТА ОШИБОК В УЗКОПОЛОСНОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ**

**С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ АВТОМАТОВ………..…3**

Воловач В.И., Артюшенко В.М., Строганова С.М. **ОЦЕНКА ЗАЩИТНОГО РАССТОЯНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ**

**ОТ ПОМЕХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ………….10**

Самаров Е.К.

**АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОШИБОК СВЯЗИ НА КАЧЕСТВО ПОТОКОВОГО ВИДЕО В СЕТЯХ**

**БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА………………………………26**

***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ***

Меньшикова Л.В., Яковлев Д.А., Найденова Д.М.

**ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**РАЗРАБОТКИ WEB-САЙТОВ……………….……………….38**

Стреналюк Ю.В., Леандров И.Н. **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ, ПОВЫШЕНИЕ ИХ**

**ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ ПРИНЦИПОВ И КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ**

**СЕТИ (ЧАСТЬ 3)………………………………………………...60**

Строганова С.М., Теодорович Н.Н., Шумилин М.П. **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА БЕСПРОВОДНЫЕ УСТРОЙСТВА**

**МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ…………….……………...67**

***ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ***

***И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ***

Аббасова Т.С.

**ИНТЕРАКТИВНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ПОМОЩНИК ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭКИПАЖА...……………..……………...84**

Антипова Т.Н., Тихонов В.А.

**ПРИМЕНЕНИЕ РОБАСТНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫМИ**

**ИСПЫТАНИЯМИ………………………………………………9*2***

Мороз А.П., Полехин А.И., Полехина Г.Е., Полехина К.А. **АНАЛИЗ СВОЙСТВ РЯДОВ ДОПУСТИМЫХ ЧАСТОТ ОПРОСА ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ**

J

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

1. **Барканов Е.Н.,** Dr.sc.ing.
2. **Васильев Н.А.,** д.т.н., про- фессор
3. **Леоненко Д.В.,** д.ф.-м.н., профессор

4.

**Тимофеев**

профессор

**А.Н.,** д.т.н.,

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

1. **Аббасов Э.М.,** к.т.н.
2. **Аббасова Т.С.,** к.т.н., до- цент
3. **Бухаров С.В.,** д.т.н., профес- сор
4. **Бершадский В.А.,** д.т.н., профессор кафедры
5. **Воловач В.И.,** д.т.н., про- фессор
6. **Кучеров Б.А.,** к.т.н.
7. **Логачев И.А.,** к.т.н.
8. **Логачева А.И.,** д.т.н., про- фессор
9. **Макаров М.И.,** д.т.н., про- фессор
10. **Матвиенко Ю.Г.,** д.т.н., профессор
11. **Мороз А.П.,** д.т.н., профес- сор
12. **Мосалов О.П.,** к.ф.-м.н.
13. **Разумовский И.М.,** д.ф.- м.н., профессор
14. **Рудаков В.Б.,** д.т.н., про- фессор
15. **Самаров Е.К.,** д.т.н., доцент
16. **Скрябин М.Л.,** к.т.н.
17. **Соляной В.Н.,** к.т.н.
18. **Стреналюк Ю.В.,** д.т.н., профессор
19. **Халиулин В.И.,** д.т.н., про- фессор
20. **Чесноков А.В.,** д.т.н.
21. **Щурин К.В.,** д.т.н., профес- сор

Подписано в печать 20.03.2023 Формат B5

Печать офсетная. Усл.печ.л. 13,2 Тираж 500 экз.

Заказ № 95-01 Отпечатано в типографии

ООО «Научный консультант» г. Москва

Хорошевское шоссе, 35, корп. 2

**В СИСТЕМАХ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ**

**АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ………………………….101**

Панин И.Г., Щурин К.В.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНЕТРОНОВ ДЛЯ АКТИВАЦИИ ЖИДКИХ**

**ДИАМАГНЕТИКОВ……………………………………………119**

***МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ***

Прохоров В.Ю., Фролов С.В., Абразумов В.В., Токарева О.В.

**УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫЙ КОМПОЗИТ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ НАВЕСНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО**

**ОБОРУДОВАНИЯ……………………………………………...133**

Соловьев М.Е., Кокарев С.С., Балдаев С.Л., Балдаев Л.Х,

**ПРОФИЛЬ ПЯТНА НАПЫЛЕНИЯ НАКЛОННОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАНЕСЕНИИ**

**ПОРОШКОВОГО ПОКРЫТИЯ.……………………………..152**

Сошина Т.О.

**ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ TIN ПОД ВЛИЯНИЕМ МОЩНОСТИ**

**ИМПУЛЬСНОЙ МАГНЕТРОННОЙ СИСТЕМЫ………...173**

Спирин Б.Л., Фролов С.В., Абразумов В.В.

**МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ СТРУКТУР…………………181**

Шахназаров К.Ю., Вологжанина С.А., Хузнахаметов Р.М.

**ОБЪЯСНЕНИЕ АНОМАЛИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ**

**СВОЙСТВ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ…………………………..196**

УДК 621.396

# Анализ вероятности появления пакета ошибок в узкополосном канале связи с использованием теории автоматов

**В.М. Артюшенко**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационные технологии и управляющие системы,

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Рассмотрена и проанализирована вероятность появления пакета оши- бок в узкополосном канале связи с использованием теории автоматов. Пред- ставлена модель, имеющая три состояния, позволяющая определить появление b ошибок в блоке, состоящем из m бит и пропускную способность узкополосного канала связи*. *Показано, что пропускная способность канала связи может быть представлена как функция от длины пакета данных и числа ошибок, которые могут быть исправлены.*

Пакет ошибок, узкополосный канал связи, теория автоматов, вероятность появ- ления пакета ошибок, пропускная способность канала связи.

# Analysis of the probability of occurrence of a packet of errors in a narrow- band communication channel using the theory of automata

**V.M. Artyushenko**, doctor of Technical Sciences, Professor,

head of the Department of information technologies and control systems, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The probability of occurrence of a packet of errors in a narrow-band commu- nication channel using the theory of automata is considered and analyzed. A model with three states is presented, which makes it possible to determine the occurrence of b errors in a block consisting of m bits and the bandwidth of a narrowband communica- tion channel. It is shown that the bandwidth of the communication channel can be rep- resented as a function of the length of the data packet and the number of errors that can be corrected.*

Error packet, narrow-band communication channel, automata theory, probability of occurrence of error packet, bandwidth of the communication channel.

**Введение.** В цифровых радиоканалах очень важен такой параметр как пропускная способность. Максимальное значение этого параметра позволяет максимально эффективно использовать систему передачи данных [1-3].

Основной задачей канала связи является передача блоков данных и их

защита с применением специальных схем кодеров. Канальные кодеры могут ис- правлять *b* бит в последовательности длиной *m*.

Когда число ошибок превышает число в *b* бит, происходит искажение принятой информации. Затухание радиоволн может приводить к появлению па- чек ошибок.

Очень важно определить количество верно переданной информации и пропускную способность канала связи.

Как известно, пропускная способность определяется как:

*m*

*B* 1 *P*(*k*, *m*) , (1)

*k* *b*

где *P*(*k, m*) – вероятность наличия *k* ошибок в блоке данных длиной *m*.

Необходимо определить вероятность *P*(*k, m*) для оптимизации пропуск- ной способность канала связи.

Вероятность ошибок *P*(*k, m*) является функцией, зависящей от характери- стик канала связи. Длина пакета ошибок зависит от параметров канала связи и сильно различается для узкополосных и широкополосных каналов связи.

Теория автоматов используется для предсказания ошибок и может быть применена к модели Гильберта-Эллиота, имеющий два состояния. Однако, мо- дель Гилберта-Эллиота достаточно сложно применить к широкополосным кана- лам связи. Для этой цели лучше всего подходит модель Фричмана, имеющая не- сколько состояний и позволяющая предсказать появление пачек ошибок.

Из открытых источников известно, что модели Фричмана не способны предсказать поведение ошибок.

В данной работе описано в общих чертах исследование, проведенное с использованием модели Фричмана с тремя состояниями для оценки вероятности *P*(*b*, *m*) применительно к узкополосному каналу связи. Данная работа позволяет расширить подход к моделированию широкополосных каналов связи.

В данной статье содержатся теоретические сведения и результаты ком- пьютерного моделирования, позволяющие оценить предсказание вероятности ошибок связи. Мы также определили зависимости между пропускной способно- стью канала связи, размером пакета данных и длиной пачек ошибок.

Анализируя полученные результаты можно предсказать вероятность по- явления пакета ошибок, а также определить пропускную способность канала свя- зи для трех состояний, вероятность изменения состояния и вероятность устано- вившегося режима работы.

Полученные результаты хорошо соотносятся с результатами моделирова-

ния.

Опишем в общих чертах теорию автоматов применительно к определе-

нию вероятностей ошибок.

**Теория автоматов, применительно к определению вероятностей ошибок*.*** Теория автоматов использует граф переходов между ошибочными со- стояниями. Благодаря этому можно определить вероятность наличия ошибки или вероятность без искажённой передачи данных. На рисунке 1 показано три со- стояния модели Фричмана, определенных для узкополосного канала.



**Рисунок 1 – Модель Фричмана с 3 состояниями**

Модель Фричмана содержит два ошибочных конечных состояния (A и В), при этом одна ошибка приводит к смене состояния. Единственным ограничением данной модели является то, что переходы осуществляются только между состоя- ниями А и В.

Данной диаграмме соответствует матрица переходных состояний:

*D (у) =*

*х*

*РЗ1 РЗ2 РЗЗ*

. (2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Р11* | *0* | *Р1З* |
|  *0 Р22 Р2З* |

Здесь *x* – переданный бит, а *y* – полученный бит. При этом необходимо определить получены неискаженные данные или бит подвергся ошибке.

В теории автоматов матрицу переходных состояний преобразуют таким образом, чтобы матрица переходов *F*(*z* =0/*x*), *F*(*z* =1/*x*) при наличии ошибки *z* ме- няла своё состояние.

То есть, если *z* = 0, то никакой ошибки не произошло, если же *z* = 1, то имела место ошибка.

Для оценки матрицы переходных состояний применительно к модели Фричмана с 3 состояниями используются формулы:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Р11* | *0* | *0* |
| *F(z = 0/x) = 0* | *Р22* | *0* ; |
| *РЗ1* | *РЗ2* | *0* |

(3)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *0* | *0* | *Р1З* |
| *F(z = 1/x) = 0* | *0* | *Р2З* . |
| *0* | *0* | *РЗЗ* |

Теория автоматов позволяет определить вероятность появления последо- вательности ошибок *wn* при ошибочной передаче слова *un* (*n* – число бит), а, сле- довательно, определить вероятность перехода в новое состояние

*Р(wn, un) = aF(z1/x)F(z2/x)F(zЗ/x)F(zn/x)*, (4)

где **– это распределение вероятности *P*(*wn*, *un*).

Если изменение состояния не зависит от переданной последовательности данных, то вероятность ошибки будет определяться как:

*Р(wn) = aF(z1/x)F(z2/x)F(zЗ/x)F(zn/x)*, (5)

Вероятность появления ошибки *P*(1) после *m* верных переходов после ошибки *P*(0*m*/1) равна:

*Р(1) = aF(z = 1/x)*, (6)

*т*

*Р(1/0m) = Р (О*

*1*

*) Р(1)*. (7)

Отсюда:

*т т*

*Р (О ) = oF(z=1/х)(F(z=О/х)) Е*. (8)

*1 oF(z=1/х)Е*

Данное уравнение может быть упрощено, если вероятность *P*(0*m*/1) выра- зить через вероятности изменения всех трех состояний модели Фричмана:

*Р (О ) = (Р 1) Рm + (Р 2) Рm* . (9)

*т*

*1 Р11 11*

*Р22* *22*

Функция *f*(*k*) является вероятностью возвращения в первое состояние:

*f(k) = Р(0k-1/1) - Р (О ) = Р(0k-11/1)*. (10)

*k*

*1*

Используя выше выведенные уравнения можно определить вероятность появления *b* ошибок в последовательности, состоящей из *m* бит:

*m-b-2 2Р 2Р11*

*Р(Ь, т) = (РЗРЗ1Р11*

*(2Р11 + (т - Ь - 1)РЗ1 +*

*11*

*Р*

*) +*

*-Р22*

*m-b-2 (2Р*

*+ (т - Ь - 1)Р*

*- 2Р 1Р22 )* .

*+ РЗРЗ2Р22* *22*

*З2 Р11*

*-Р22*

*∑b-1 M(r, Ь - 1)*

*r=1*

(11)

Для 2 *b* *m* :

*m-З*

*2Р 2Р11*

*Р(1, т) = РЗРЗ1Р11*

 *(т - 2)РЗ1 +*

*11*

*Р*

 *+*

*-Р22*

*m-З (т - 2)Р*

*- 2Р 1Р22* . (12)

*+ РЗРЗ2Р22*

*З2 Р11*

*-Р22*

бок:

Для *b* = 1, в противном случае определяется вероятность отсутствия оши-

*Р(0, т) = Р1(Р11)n-1 + Р2(Р22)n-1*. (13)

Здесь *P*3 – вероятность установившегося режима, соответствующая пере- ходу в третье состояние модели Фричмана, а *M*(*r*, *l*) – вероятность наличия *r* ошибок в блоке данных длиной l бит.

Эта вероятность определяется из выражения:

*M(r, l) = ∑b-1*

*j=r-1*

*M(r - 1, j) f(l - j) where M(1, l) = f(l)*. (14)

На основании выше изложенного была написана программа для модели- рования на компьютере, в которой описано три состояния модели Фричмана. Были определены вероятности перехода из одного состояния в другое.

Моделирование проводилось для случайно выбранного состояния. Смена состояний происходила в соответствии с вычисленными вероятностями. Ошибка происходила при моделировании в состоянии 2. Зарегистрированные ошибки были сохранены в отчете.

Был выбран промежуток длиной *M* бит, в котором вероятность возникно- вения ошибки минимальна. Каждый раз при возникновении ошибки в интервале *а*...*b* внутренний счетчик увеличивался на единицу.

На рисунке 2 представлены результаты сравнения теоретических (сплош-

ная линия) и эмпирических (пунктирная линия) расчетов.

Вероятность наличия *b* бит в блоке данных длиной *m* бит измерена в про- цессе моделирования. Мы определили пропускную способность канала связи при успешной передаче сообщений с использованием схем кодирования информа- ции. Мы также определили вероятность *P*(*b*, *m*) с помощью уравнения 11. Полу- ченные результаты хорошо сочетаются с теоретическими выкладками.

**Выводы**. В данной работе описан метод, позволяющий определить про- пускную способность канала связи при условии безошибочной передачи сооб- щений. Были определены вероятности появления пачек ошибок. Результаты из- мерений получены для трех состояний модели Фричмана.

Результаты моделирования хорошо согласуются с теоретическими дан- ными. Было доказано, что любой другой метод определения вероятностей появ- ления пачек ошибок и вычисления пропускной способности канала занимает в 2- 3 раза больше времени. Показано, что данный метод весьма точен. Однако он имеет ряд недостатков, в первую очередь, связанных с оценкой параметров узко-

полосных каналов связи.



**Рисунок 2 – Сравнение теоретических и эмпирических результатов**

В настоящее время проводятся исследования, направленные на определе- ние вероятностей ошибок и пропускной способности канала на основании мето- дов, разработанных для широкополосной связи. Можно определить вероятности ошибок с помощью импульсной характеристики канала связи. При этом необхо- димо применение специальных алгоритмов, позволяющих ослабить влияние межсимвольной интерференции.

*Литература*

1. Артюшенко В.М., Шелухин О.И., Афонин М.Ю. Цифровое сжатие видеоин- формации и звука: Учебное пособие / Под ред. В.М. Артюшенко. М.: Изда- тельско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2003. 426 с.
2. Kittel L. «The Set-up &: use of Generative Stochastic Channel Models for Mobile Radio Data Communications» IEEE International Conference on Communications 1982, pp 2II.4.1-2II.4.5.
3. Kanal L.N. & Sastry A.R.K. «Models for Channels with Memory Ac Their Appli- cation to Error Control» Proc. IEEE July 1978. Vol. 66 No 7.