

УДК 681.518.5

## Моделирование систем передачи данных с адаптацией к состоянию канала связи\*

О.В. КУПРИЯНОВА<sup>1</sup>, А.В. ЛЕВЕНЕЦ<sup>2</sup>, ЧЬЕ ЕН УН<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 680035, РФ, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, Тихоокеанский государственный университет, магистрант. E-mail: [olia\\_mail.ru@mail.ru](mailto:olia_mail.ru@mail.ru)

<sup>2</sup> 680035, РФ, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, Тихоокеанский государственный университет, доцент, кандидат технических наук. E-mail: [levlvi@bk.ru](mailto:levlvi@bk.ru)

<sup>3</sup> 680035, РФ, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, Тихоокеанский государственный университет, заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор. E-mail: [chye@ais.khstu.ru](mailto:chye@ais.khstu.ru), [chye.enun@mail.ru](mailto:chye.enun@mail.ru)

Основной задачей для любой системы передачи информации является борьба с различного рода помехами. По мере усложнения задач, возлагаемых на информационно-измерительные системы, возникает необходимость разработки адаптивных систем передачи данных, в которых адаптивные методы должны способствовать достижению высокого качества управления при отсутствии достаточной полноты априорной информации о характеристиках управляемого процесса или в условиях неопределенности. Главной особенностью такого усложнения следует считать ограниченность практической возможности для подробного изучения и описания процессов, протекающих в объекте измерения. В данной работе исследуется один из способов адаптации процессов передачи данных в информационно-измерительных системах, заключающийся в манипуляции разрядностью передаваемых данных в зависимости от состояния канала связи. Исследование проведено на имитационной модели системы передачи данных, построенной на основе двоичного симметричного канала и с применением помехоустойчивого кода Боуза–Чоудхури–Хоквингема. В основе предлагаемой адаптивной системы лежит оценка состояния канала передачи данных, по которой осуществляется выбор разрядности передаваемых данных и параметров помехоустойчивого кода, обеспечивающих заданную вероятность ошибки на приемном конце с учетом ограниченной пропускной способности канала связи. В том случае, если состояние канала связи не позволяет передать данные с заданным уровнем надежности, то передаются только старшие биты данных, а младшие сохраняются в некоторой буферной памяти и передаются позднее. Оценка состояния канала связи производится по статистике декодирования помехоустойчивого кода на приемном конце с передачей этой статистики в том или ином виде на передающую сторону. Результаты имитационного моделирования показывают корректность предложенного решения и позволяют оценить основные параметры систем передачи данных с таким способом адаптации.

**Ключевые слова:** имитационная модель, информационно-измерительные системы, помехоустойчивое кодирование, адаптивные системы, метод итераций, передача данных, контроль, канал связи

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-120-132

---

\* Статья получена 05 ноября 2015 г.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует большое разнообразие вариантов построения каналов передачи информации, ориентированных на работу с информационно-измерительными системами (ИИС) различного вида. Одной из важных задач систем передачи информации являются борьба с различного рода помехами, среди которых наиболее распространенным является аддитивный белый гауссов шум, который формируется, в частности, различными электронными компонентами, например, резисторами и твердотельными устройствами [1]. Другие источники помех могут возникать вне системы, например, представлять собой переходные помехи от других пользователей канала связи. В том случае, если шум и другие помехи занимают тот же диапазон частот, что и полезный сигнал, их влияние может быть минимизировано путем соответствующего выбора передаваемого сигнала и демодулятора в приемнике.

Еще одним видом мешающих воздействий, встречающихся в информационном канале передачи данных, можно назвать затухание сигнала, фазовые и амплитудные искажения сигнала, а также искажения, обусловленные многопутевым распространением волн. Все эти виды помех ведут к тому, что надежность функционирования информационно-измерительной системы снижается в силу искажения или потери передаваемой по каналам связи информации [2, 3]. Здесь следует отметить, что под надежностью информации обычно понимается степень соответствия принятой приемником информации с той, которая была передана от источника сообщения.

Различные попытки повысить надежность каналов передачи данных приводят к усложнению информационно-измерительных систем. Так, система передачи данных становится все более универсальной средой, служащей для передачи информации различного типа, например, измерительной, тестовой, служебной и т. д. [4]. При этом повышение уровня универсальности приводит к ужесточению требований к этой системе, т. е. надежность системы должна существенно увеличиваться.

Следует отметить продолжающуюся тенденцию усложнения решаемых ИИС задач, причем специфической особенностью такого усложнения следует считать ограниченность практической возможности для подробного изучения и описания процессов, протекающих в объекте измерения, что и обуславливает все более широкое применение адаптивных систем передачи данных (АСПД). Отсюда следует основная особенность разработки АСПД, заключающаяся в необходимости достижения высокого качества управления при отсутствии достаточной полноты априорной информации о характеристиках управляемого процесса или в условиях неопределенности. Следует отметить, что по мере усложнения задач, возлагаемых на ИИС, указанная неопределенность возрастает, поэтому становится сложнее заранее определить характер изменения динамических свойств самой системы, а также управляемого процесса. По мере уменьшения объема априорных сведений о системе прямо пропорционально увеличиваются трудности в обеспечении качества управления [5, 6].

В настоящее время в адаптивных системах передачи найдены достаточно эффективные способы преодоления указанных трудностей [7]. Так, эффективность приспособления в АСПД может достигаться за счет того, что часть алгоритма по получению и обработке недостающей информации об управля-

емом процессе осуществляется самой системой в процессе ее работы. Данный метод частичного переноса функции способствует более полному использованию рабочей информации при формировании управляющих воздействий, а также позволяет существенно снизить влияние неопределенности на качество управления, компенсируя в определенной степени недостаток априорного знания разработчика системы об управляемом процессе.

## АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В основе предлагаемой адаптивной системы лежит оценка состояния канала передачи данных, по которой осуществляется выбор разрядности передаваемых данных и параметров помехоустойчивого кода, обеспечивающих заданную вероятность ошибки на приемном конце с учетом ограниченной пропускной способности канала связи. В том случае, если состояние канала связи не позволяет передать данные с заданным уровнем надежности, то передаются только старшие биты данных, а младшие сохраняются в некоторой буферной памяти и передаются позднее. Оценка состояния канала связи производится по статистике декодирования помехоустойчивого кода на приемном конце с передачей этой статистики в том или ином виде на передающую сторону.

Для обеспечения помехоустойчивости передачи информации был выбран код Боуза–Чоудхури–Хоквингема (БЧХ). В теории кодирования под таким кодом понимают широкий класс циклических кодов, применяемых для защиты информации от ошибок, который отличается возможностью построения кода с заранее определенными корректирующими свойствами, а именно, минимальным кодовым расстоянием [8, 9]. Основные параметры кода БЧХ задаются образующим полиномом, для построения которого необходимо знать требуемую длину кода  $N$  (которая не может быть произвольной) и требуемое минимальное кодовое расстояние  $d \leq N$ .

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема модели предлагаемой адаптивной системы передачи данных. От источника сообщения (ИС) данные поступают на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [10, 11]. С помощью блока коррекции разрядности (БКР) достигается требуемая разрядность кода. Кодер БЧХ зашифровывает полученные данные и передает их по двоичному симметричному каналу (ДСК). Декодер БЧХ расшифровывает полученную закодированную последовательность и передает ее на приемник сообщения (ПС). Длина кода  $N$  определяется как сумма разрядности информационных бит  $k$  и избыточности кода  $i$ .

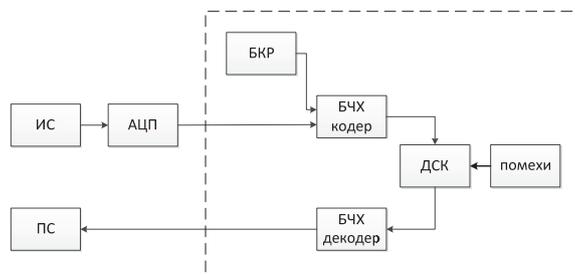


Рис. 1. Структурная схема модели передачи данных

Так как параметр  $k$  жестко задан и напрямую зависит от разрядности АЦП, то для того чтобы применять данный вид помехоустойчивого кодирования, нужно обеспечить соответствующее равенство  $k$  и  $s$ . Для этого разрядность АЦП с помощью БКР искусственно увеличивается путем добавления младших разрядов и, соответственно, сдвига старших так, что результирующая разрядность примет значение  $s$ .

При проведении исследования параметры применяемых кодов БЧХ  $N$  и  $k$  были условно ограничены следующими значениями:

$$N = 31, k = \{26, 21, 16\};$$

$$N = 63, k = \{57, 51, 45, 39, 36, 30, 24, 18, 16\};$$

$$N = 127, k = \{71, 64, 57, 50, 43, 36, 29, 22\};$$

$$N = 255, k = \{47, 45, 37, 29, 21\};$$

$$N = 511, k = \{49, 40, 31, 28, 19\}.$$

Таким образом, при разрядности исходных данных  $k = 16$  можно выбрать разрядность кода  $N$  равной 31 или 63 из первой и второй группы соответственно. При смене группы избыточность кода  $i$  также будет принимать разные значения в зависимости от  $N$  и  $k$ . С увеличением  $N$  увеличивается  $i$ , обеспечивая более высокую восстанавливающую способность кода БЧХ. Следует отметить, что для передачи  $n$  информационных бит можно выбрать код с параметром  $k$ , больше чем  $n$ . В этом случае избыточность данных, очевидно, приведет к избыточности кода БЧХ, однако при этом увеличится его восстанавливающая способность.

Моделирование адаптивных систем производилась в среде Simulink, которая позволяет строить динамические модели систем различного вида [12]. Данная среда удобна для разработки и отладки моделей информационно-измерительных систем передачи данных, так как включает в себя ряд специализированных библиотек, предоставляющих инструменты для разработки, анализа и тестирования моделей цифровых и аналоговых систем и устройств связи и передачи информации. На рис. 2 представлена имитационная модель системы передачи данных в ИИС с адаптацией к состоянию в ДСК связи и использованием помехоустойчивого БЧХ-кода.

На рис. 3 приведена функциональная схема модели системы передачи данных.

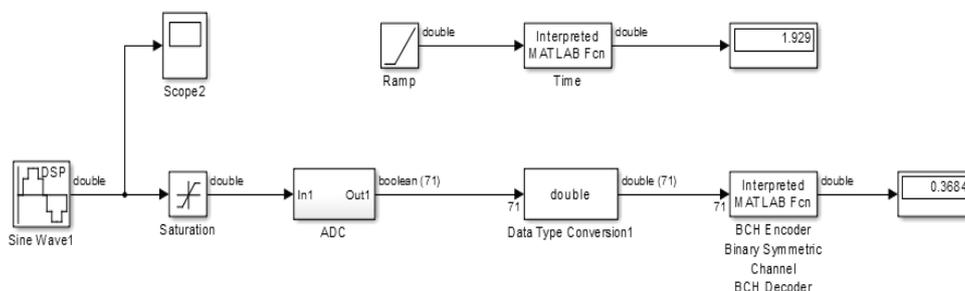


Рис. 2. Адаптивная модель передачи данных с использованием БЧХ-кодирования

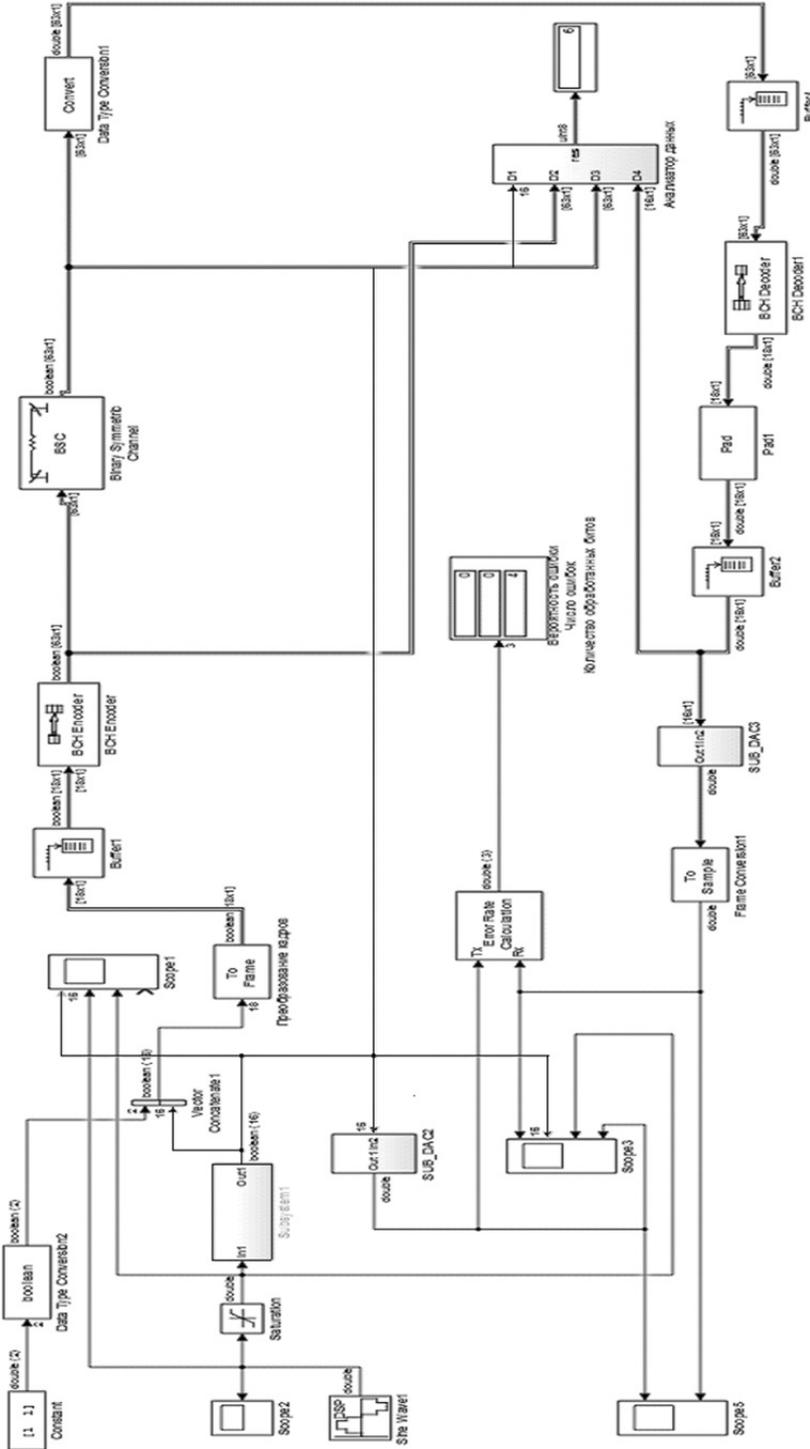


Рис. 3. Функциональная схема модели передачи данных

Аналоговый сигнал, поступающий от источника сообщения SineWave1, проходя через блок ограничения Saturation, поступает на 16-разрядный АЦП (с разрядностью  $q = 16$ ), реализованный с помощью подсистемы ADC. Далее дискретная последовательность поступает на блок BCH Encoder Binary Symmetric Channel BCH Decoder (на рис. 1 выделена пунктиром). Данная подсистема отвечает за принятие цифровой последовательности, ее кодирование с помощью помехоустойчивого БЧХ-кода, затем передачу закодированного сообщения по ДСК и, наконец, декодирование сообщения [13, 14]. Помимо этого, в данном блоке осуществляется алгоритм адаптации системы на основе метода итераций. Блоки BCH Encoder Binary Symmetric Channel BCH Decoder и Time написаны на языке М.

Алгоритм работы модели, представленной на рис. 3, состоит в следующем. В процессе передачи данных производится оценка состояния канала связи и выбирается помехоустойчивый код с параметрами, обеспечивающими заданную вероятность ошибки при минимальной избыточности кода [15, 16]. В том случае, если состояние канала связи ухудшится до такой степени, что удовлетворяющий заданной вероятности код будет невозможно передать по каналу связи в силу существующего ограничения пропускной способности, то выбирается такой помехоустойчивый код, который передаст меньшее число бит, чем в исходном информационном слове  $k$ , но обеспечит при этом заданную вероятность.

Остаток данных сохраняется в «буфере остатка», из которого данные будут переданы только в том случае, когда канал будет свободен от передачи более приоритетных данных или его состояние не улучшится. Очевидно, что для обеспечения на приемной стороне хотя бы общего представления о передаваемом параметре в первую очередь должны передаваться старшие биты информационного слова.

На рис. 4 представлены результаты имитационного моделирования системы передачи данных, построенной на предлагаемых принципах. График зависимости разрядности кода от количества итераций  $t$  показан на рис. 4, а. На рис. 4, б цифрой 1 показан график зависимости вероятности ошибки системы от  $t$ . Цифрой 2 на рис. 4, б и 4, в показана величина вероятности ошибки в ДСК  $P_{\text{ошк}}$ , равная 0,5. На рис. 4, в цифрой 1 обозначен график поведения абсолютной погрешности  $\lambda = P_{\text{ошк}} - P_3$ . На рис. 4, г показана зависимость разрядности данных от количества отсчетов.

На графиках один отсчет соответствует 0,0145 секунды модельного времени. За основу исходного сообщения был произвольно выбран аналоговый сигнал синусоидального вида с амплитудой  $Am$ , равной десяти, и частотой  $F$ , равной 2 Гц. Длительность одного исследуемого сигнала  $T$  составляет 5 секунд, что соответствует по времени 350 итерациям.

Так как помехи в канале связи имеют произвольный характер, можно предположить, что пропускной способности канала для передачи данных будет недостаточно на протяжении всего рассматриваемого периода для полной передачи всех данных. Для учета этой ситуации время моделирования  $t$  было увеличено в два раза с целью обеспечения гарантированной передачи данных из буфера остатка.

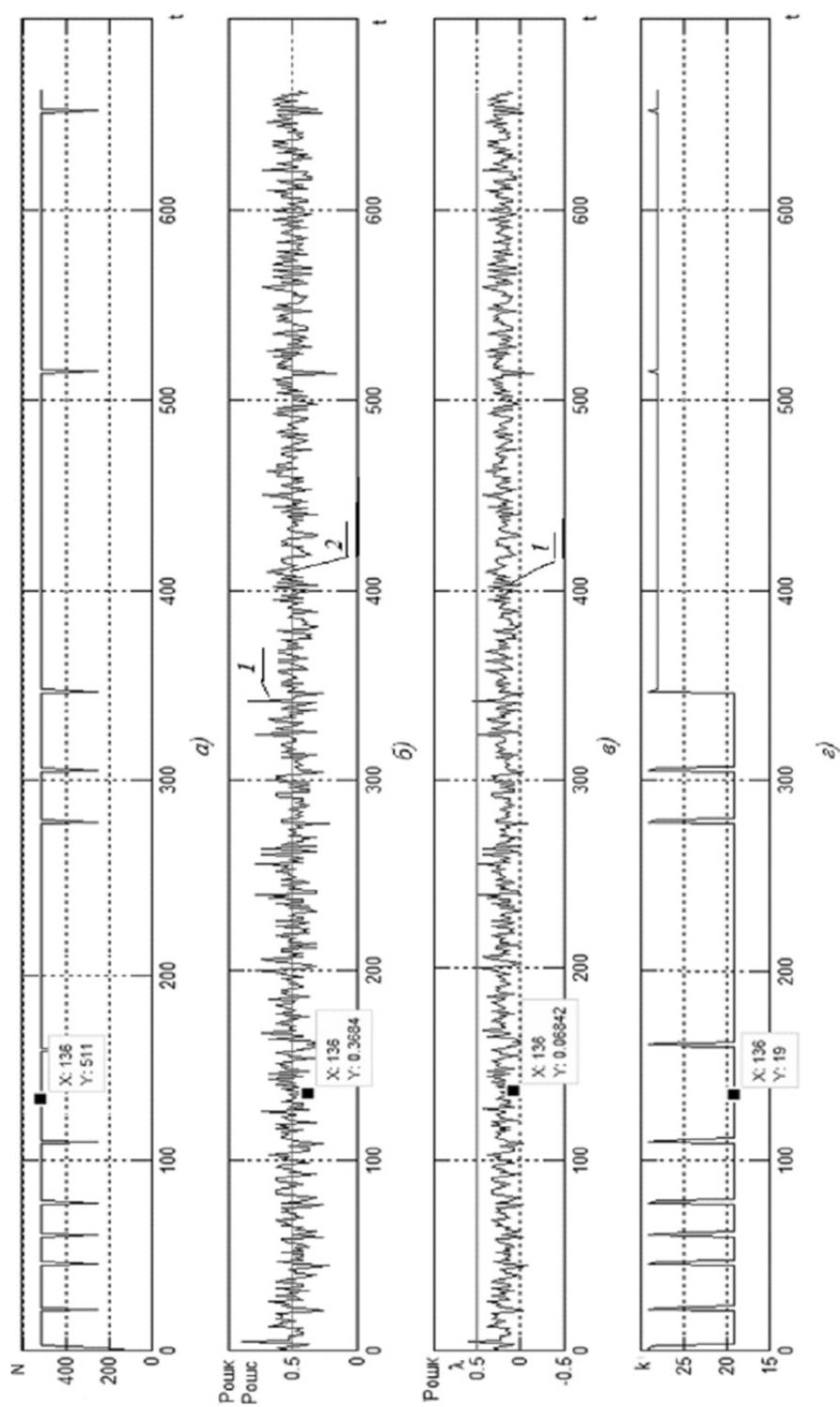


Рис. 4. Результаты имитационного моделирования при фиксированном значении  $P_{\text{ошк}} = 0,5$

Анализируя результаты исследования, представленные на рис. 3 и 4, можно отметить, что в момент модельного времени 1,929 секунды вероятность ошибки в системе составляет  $P_{\text{ошк}} = 0,3684$ . Остальные параметры адаптивной системы в данный момент времени принимают следующие значения:  $q = 16$ ,  $k = s = 26$ ,  $N = 511$ , вероятность ошибки в ДСК составляет  $P_{\text{ошк}} = 0,5$ , а заданная вероятность системы  $P_3$  равна нулю. График на рис. 4, *г* показывает, что в рассматриваемый момент времени происходит ухудшение в ДСК, поэтому происходит уменьшение  $k$  до значения 19, т. е. идет передача только старших бит. Непереданные части данных из буфера остатка в этих условиях начинают передаваться только после 350-й итерации.

На рис. 5 представлены результаты имитационного моделирования системы передачи данных в ИИС с адаптацией к состоянию канала связи со следующими заданными параметрами: первые 200 отсчетов  $P_{\text{ошк}} = 0,5$ , последующие 250 отсчетов  $P_{\text{ошк}} = 0,3$ , при этом заданная вероятность системы  $P_3$  принимается равной 0,3.

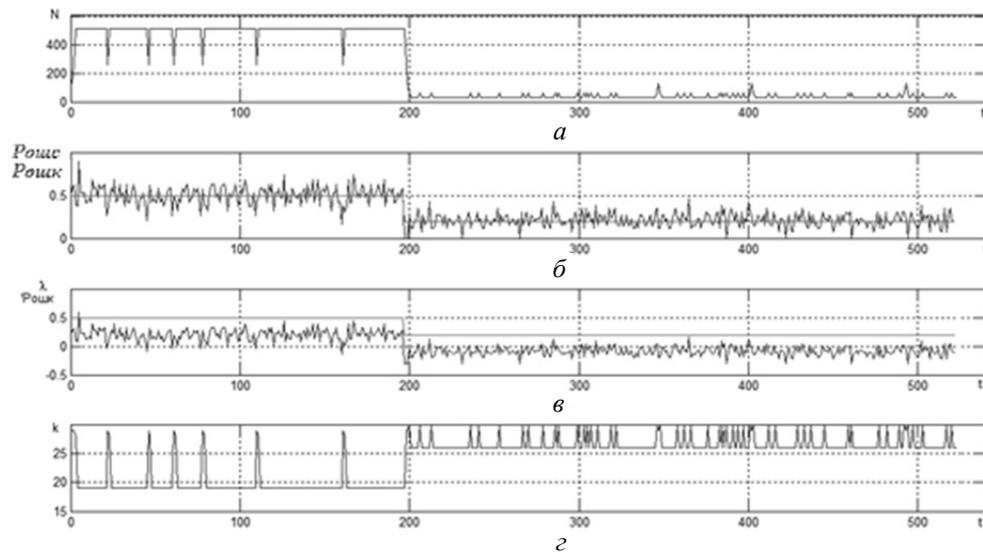


Рис. 5. Результаты имитационного моделирования при однократном скачкообразном изменении состояния канала связи за время моделирования

Для показанного на рис. 5, *г* случая на периоде  $200 < t < 350$  не наблюдается ярко выраженных изменений поведения системы, так как в этом случае значения  $P_{\text{ошк}}$  и  $P_3$  совпадают и равны 0,3.

На рис. 6 представлены результаты имитационного моделирования системы передачи данных в информационно-измерительных системах с адаптацией к состоянию канала связи со следующими параметрами: первые 100 отсчетов  $P_{\text{ошк}} = 0,6$ , последующие 100 отсчетов  $P_{\text{ошк}} = 0,1$  и последние 150 отсчетов  $P_{\text{ошк}} = 0,3$ , а заданная вероятность системы  $P_3$  принимается равной 0,3.

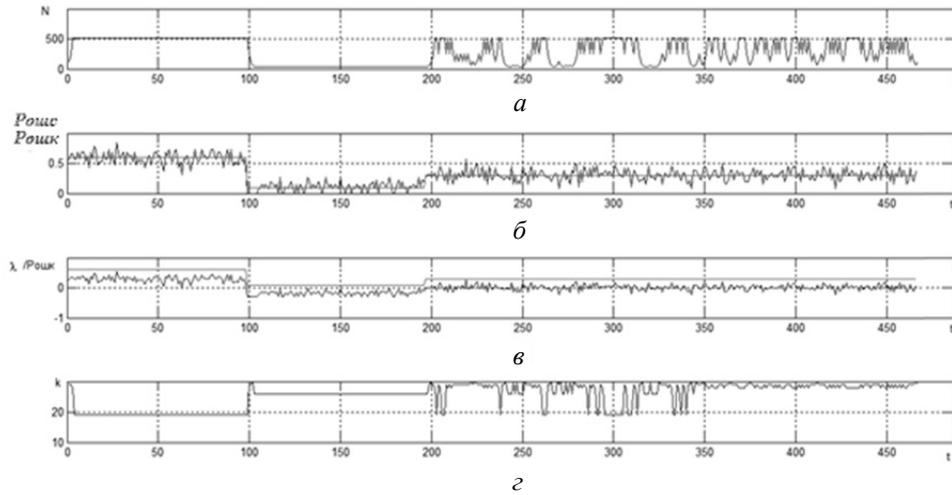


Рис. 6. Результаты имитационного моделирования при двойном изменении состояния канала связи

Из рис. 6 и 7 следует, что разработанная имитационная модель передачи данных ИИС обеспечивает адаптацию к состоянию канала связи с различным уровнем помех в канале. Так, например, рис. 6 показывает реакцию модели на неоднородное поведение ошибки в канале, поэтому после 350-й итерации передача еще не переданных частей данных  $W$  из буфера остатка на рис. 6, г происходит с небольшой интенсивностью.

Полученные в ходе проведенного исследования графики зависимости количества непереданных частей данных  $W$  от вероятности ошибки в канале  $P_{\text{ошк}}$  показаны на рис. 7. На рисунке кривой 1 обозначен график зависимости вероятности ошибки в канале связи при  $P_3 = 0,1$ , а кривой 2 – для  $P_3 = 0,3$ .

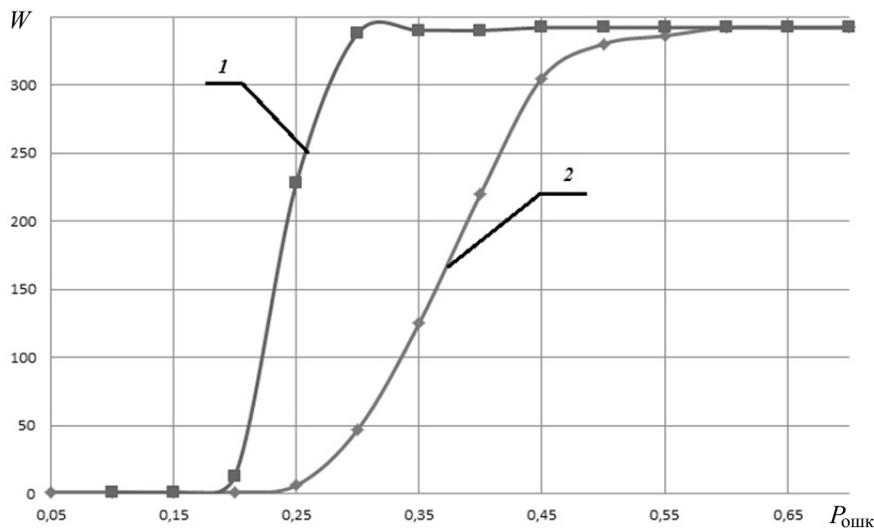


Рис. 7. Зависимость количества непереданных частей данных  $W$  от  $P_{\text{ошк}}$

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением  $P_{\text{ошк}}$  количество непереданных частей данных  $W$  увеличивается, причем чем меньше зна-

чение  $P_3$ , тем при более меньших значениях  $P_{\text{ошк}}$  начинает происходить заполнение буфера остатка. Также следует отметить, что диапазон значений  $P_{\text{ошк}}$ , при котором происходит заполнение буфера остатка и стабилизация максимального значения  $Z$ , также прямо зависит от значения  $P_3$ . Так, при  $P_3$ , равной 0,1, ширина этого диапазона составляет примерно 0,17, а для  $P_3 = 0,3$  эта величина увеличивается почти в два раза и составляет примерно 0,36. Такие результаты объясняются тем, что при возрастании уровня зашумленности в канале передаче данных возникает необходимость переходить к более мощным помехоустойчивым кодам, за счет чего и достигается заданная вероятность ошибки адаптивной системы передачи данных.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основываясь на результатах проведенных экспериментов, можно сделать вывод о том, что предложенный метод адаптации к состоянию канала связи в системе передачи данных обеспечивает требуемый уровень заданной надежности. Разработанная имитационная модель позволяет работать с различным уровнем шума в каналах связи, причем возникновение ошибки в канале может носить как однородный характер на протяжении всей передачи данных, так и случайный.

Следует также отметить, что разработанная модель системы передачи данных с адаптацией к состоянию канала связи может найти свое применение в ИИС с повышенным уровнем требований к качеству передаваемой информации при низких требованиях к быстродействию, так как предложенное решение не предполагает проведения сложных вычислений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 2003. – 1099 с.
2. Прокис Д. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
3. Осипов Н.А., Шавин А.С., Тарасов А.Г. Модели каналов передачи информации автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения в среде Simulink // Труды МАИ. – 2015. – № 83. – С. 24–34.
4. Куприянова О.В., Левенец А.В. Оценка влияния БЧХ кодирования на канал с аддитивным белым гауссовским шумом // Межотраслевой институт «Наука и образование». – 2015. – № 4 (11). – С. 28–32.
5. Куприянова О.В., Левенец А.В. Диагностика канала передачи дискретных сообщений // Информационные технологии XXI века: сборник научных трудов. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – С. 38–46.
6. Жидков И.А., Левенец А.В., Чье Ен Ун. Оценка состояния канала связи по результатам декодирования помехозащищенного кода // Информатика и системы управления. – 2009. – № 3 (21). – С. 72–78.
7. Теория автоматического управления. В 2 ч. Ч. 2. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления / А.А. Воронов и др.; под ред. А.А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 504 с.
8. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. – М.: Мир, 1986. – 576 с.
9. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М.: Мир, 1976. – 596 с.

10. Передача дискретных сообщений / В.П. Шувалов, Н.В. Захарченко, В.О. Шварцман, С.В. Свет, Г.И. Скворцов, В.В. Лебедев. – М.: Радио и связь. – 1990. – 464 с.
11. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: самоучитель. – М.: ДМК-пресс, 2008. – 784 с.
12. Шувалов В.П. Прием сигналов с оценкой их качества. – М.: Связь, 1979. – 240 с.
13. Kupriyanova O.V., Levenets A.V. Assessment of quality of data transmission to the binary symmetric channel using BCH encoding // European Science and Technology: Materials of the X International Research and Practice Conference, Munich, Germany, 28–29 May 2015. – Waldkraiburg; Munich, Germany: Vela Verlag, 2015. – Vol. 2. – P. 319–324.
14. Воронин В.В. Теоретические проблемы диагностирования экспертных систем. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 164 с.
15. Куприянова О.В., Левенец А.В., Чье Ен Ун. Оценка состояния канала связи по статистике декодирования помехоустойчивых кодов // Вестник ТОГУ. – 2015. – № 3 (38). – С. 111–120.
16. Чье Ен Ун, Куликов Д.А. Алгоритмы и средства повышения надежности передачи измерительных данных в автоматизированной системе контроля горного давления // Вестник ТОГУ. – 2009. – № 2 (13). – С. 35–44.

*Куприянова Ольга Викторовна*, магистрант, ассистент кафедры автоматизации и системотехники Тихоокеанского государственного университета. Основные направления научных исследований: теория автоматического управления, цифровая обработка данных. Имеет более 20 публикаций. E-mail: olia\_mail.ru@mail.ru

*Левенец Алексей Викторович*, кандидат технических наук, доцент Тихоокеанского государственного университета. Основное направление научных исследований – передача данных, сжатие данных. Имеет более 100 публикаций, 4 монографии. E-mail: levalvi@bk.ru

*Чье Ен Ун*, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизации и системотехники Тихоокеанского государственного университета. Основное направление научных исследований – измерительные преобразователи и системы. Имеет более 250 публикаций, 11 монографий. E-mail: chye@ais.khstu.ru, chye.enun@mail.ru

### ***Simulation of data transmission systems with the adaption to the communication channel state\****

*O.V. KUPRIYANOVA<sup>1</sup>, A.V. LEVENETS<sup>2</sup>, CHYE EN UN<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Pacific National University, 136, Tihookeanskaya Street, Khabarovsk, 680035, Russian Federation, master's degree student. E-mail: olia\_mail.ru@mail.ru

<sup>2</sup> Pacific National University, 136, Tihookeanskaya Street, Khabarovsk, 680035, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor. E-mail: levalvi@bk.ru

<sup>3</sup> Pacific National University, 136, Tihookeanskaya Street, Khabarovsk, 680035, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), department head, professor. E-mail: chye@ais.khstu.ru, chye.enun@mail.ru

The primary goal for any system of data transmission is noise reduction. As the complexity of information-measuring system tasks increase, there is a necessity to develop adaptive data transmission systems. In such systems adaptive methods must provide high quality control when a priori information about the controlled process characteristics is not complete. The main peculiarity of such complication is a limited practical possibility for detailed learning and describing the processes occurring in the object of measurement. One of the methods of data transmission process adaptation in information-measuring systems is researched. The method consists in digit capacity manipulation of the data being transmitted depending on a communi-

---

\* Received 05 November 2015.

cation channel state. The research was carried out using an imitation model of the data transmission system constructed on the basis of the binary symmetric channel and with the use of the noise-resistant BCH-code. The basis for the proposed adaptive system is the estimation of a data transmission channel state. By this estimation the choice of digit capacity of the transmitted data and parameters of a noise-immune code is made. They provide a specified error probability at the receiver end taking into account a restricted carrying capacity of the communication channel. If the communication channel state does not allow transferring data with a specified reliability level, only high data bits are transferred, but low bits are stored in some buffer memory and are transferred later. The estimation of a communication channel state is made according to the result of the BCH-code decoding by the receiver end. This statistics is transmitted in one form or another to the transmitter end. The results of modeling show the correctness of the proposed solution and allow estimating the main parameters of data transmission systems with such adaptation.

**Keywords:** Simulation model; information-measuring systems; error control coding; adaptive systems; iterative method; data transmission; control; communication channel

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-120-132

## REFERENCES

1. Sklar B. *Digital communications: fundamentals and applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall PTR, 2001. 1079 p. (Russ. ed.: Sklyar B. *Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye*. Translated from English. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 2003. 1099 p.).
2. Proakis J.G. *Digital communications*. New York, McGraw-Hill, 1995. 928 p. (Russ. ed.: Prokis D. *Tsifrovaya svyaz'*. Translated from English. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 2000. 800 p.).
3. Osipov N.A., Shavin A.S., Tarasov A.G. Modeli kanalov peredachi informatsii avtomatizirovannykh sistem podgotovki i puska raket kosmicheskogo naznacheniya v srede Simulink [Models channels transmission information the automated systems of preparation and launch space rockets in the Simulink environment]. *Trudy MAI*, 2015, no. 83, pp. 24–34.
4. Kupriyanova O.V., Levenets A.V. Otsenka vliyaniya BChKh kodirovaniya na kanal s additivnym belym gaussovskii shumom [Estimation of influence of bch coding per channel with additive white Gaussian noise]. *Mezhotraslevoi institut "Nauka i obrazovanie" – Russian Interdisciplinary Institute "Science and Education"*, 2015, no. 4 (11), pp. 28–32.
5. Kupriyanova O.V., Levenets A.V. [Diagnostics of the channels of transmission of discrete messages]. *Informatsionnye tekhnologii XXI veka* [Information technologies of the XXI century]. Khabarovsk, Tikhookeanskii gosudarstvennyi universiteta Publ., 2015, pp. 38–46.
6. Zhidkov I.A., Levenets A.V., Chye En Un. Otsenka sostoyaniya kanala svyazi po rezul'tatam dekodirovaniya pomexho-zashchishchennogo koda [Evaluation channel status communication on the results of decoding the noise immunity of the code]. *Informatika i sistemy upravleniya – Information Science and Control Systems*, 2009, no. 3 (21), pp. 72–78.
7. Voronov A.A., ed. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya*. V 2 ch. Ch. 2. *Teoriya nelineinykh i spetsial'nykh sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Automatic control theory. In 2 pt. Pt. 2. The theory of nonlinear and special automatic control systems]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 504 p.
8. Blahut R. *Theory and practice of error control codes*. Reading, MA, Addison-Wesley Publ., 1984. 500 p. (Russ. ed.: Bleikhut R. *Teoriya i praktika kodov, kontroliruyushchikh oshibki*. Moscow, Mir Publ., 1986. 576 p.).
9. Peterson W., Weldon E. *Error-correcting codes*. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge, MA, London, MIT Press, 1972. 560 p. (Russ. ed.: Piterson U., Ueldon E. *Kody, ispravlyayushchie oshibki*. Moscow, Mir Publ., 1976. 596 p.).
10. Shuvalov V.P., Zakharchenko N.V., Shvartsman V.O., Svet S.V., Skvortsov G.I., Lebedyantsev V.V. *Peredacha diskretnykh soobshchenii* [Digital Messaging]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1990. 464 p.

11. D'yakonov V.P. *Simulink 5/6/7 samouchitel'* [Simulink 5/6/7: self]. Moscow, DMK-press, 2008. 784 p.
12. Shuvalov V.P. *Priem signalov s otsenkoi ikh kachestva* [Reception of signals with the evaluation of their quality]. Moscow, Svyaz' Publ., 1979. 240 p.
13. Kupriyanova O.V., Levenets A.V. Assessment of quality of data transmission to the binary symmetric channel using BCH encoding. *European Science and Technology: Materials of the X International Research and Practice Conference*, Munich, Germany, 28–29 May 2015, vol. 2, pp. 319–324.
14. Voronin V.V. *Teoreticheskie problemy diagnostirovaniya ekspertnykh sistem*. Vladivostok, Dal'nauka, 2005. 164 p.
15. Kupriyanova O.V., Levenets A.V., Chye En Un. Otsenka sostoyaniya kanala svyazi po statistike dekodirovaniya po-mekhoustoichivnykh kodov [Estimation of the communication channel state by statistic data of decoding the error correcting codes]. *Vestnik TOGU – Bulletin of Pacific National University*, 2015, no. 3 (38), pp. 111–120.
16. Chye En Un, Kulikov D.A. Algoritmy i sredstva povysheniya nadezhnosti peredachi izmeritel'nykh dannykh v avtomatizirovannoy sisteme kontrolya gornogo davleniya [Algorithms and means for improving reliability in the measurement data transmission in an automated mountain pressure control system]. *Vestnik TOGU – Bulletin of Pacific National University*, 2009, no. 2 (13), pp. 35–44.