

**УДК 621.391**

**Близнюк Василий Иванович**

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»  
Россия, Орёл<sup>1</sup>  
Преподаватель  
E-Mail: [v\\_bliznyuk@mail.ru](mailto:v_bliznyuk@mail.ru)

**Конышев Михаил Юрьевич**

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»  
Россия, Орёл  
Доцент  
Кандидат технических наук  
E-Mail: [misha-kon@ya.ru](mailto:misha-kon@ya.ru)

**Иванов Владимир Алексеевич**

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»  
Россия, Орёл  
Начальник факультета  
Доктор военных наук  
Профессор  
E-Mail: [misha-kon@mail.ru](mailto:misha-kon@mail.ru)

**Панкратов Алексей Владимирович**

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»  
Россия, Орёл  
Преподаватель  
Кандидат технических наук  
E-Mail: [pank75\\_75@mail.ru](mailto:pank75_75@mail.ru)

**Метод оценивания статистических свойств  
дискретного канала с памятью в системах передачи  
информации с мультиплексированием**

---

<sup>1</sup> 302020 г. Орёл Наугорское ш., д.70, кв.55.;тел.: 8-910-748-76-50;

**Аннотация.** Обоснована актуальность решения задачи оценивания статистических свойств дискретного канала с памятью в спутниковых системах связи, позволяющего использовать статистические методы декодирования помехоустойчивых кодов. Представлен метод оценивания статистических свойств дискретного канала с памятью в системах передачи информации с мультиплексированием на основе распознавания регулярных последовательностей в групповом сообщении, передаваемых в моменты отсутствия нагрузки в уплотненных каналах и учитывающий влияние скремблирования и сверточного кодирования. Получена зависимость точности оценивания комбинаций регулярных последовательностей от вероятности ошибки для разных объемах выборки на основе разработанной процедуры распознавания вида и положения регулярных последовательностей в структуре кадра мультиплексного цифрового потока. Предложена процедура оценивания значения вероятности двоичной случайной величины, характеризующей вероятность ошибки в дискретном канале связи, на основе использования апостериорной информации о регулярных последовательностях, основанная на использовании частотного подхода к оцениванию, робастная в условиях наличия пропусков в наблюдаемых данных. Представлены аналитические зависимости для вычисления оценок элементов матрицы переходных вероятностей в двоичном дискретном канале связи с памятью по известным значениям вероятностей одномерной двоичной случайной величины, в качестве которых предложено использовать полученные на основе предложенной процедуры распознавания оценки вероятности ошибки в дискретном канале связи с мультиплексированием.

**Ключевые слова:** помехоустойчивое кодирование; дискретный канал связи с памятью; системы передачи информации с мультиплексированием; цепи Маркова.

Идентификационный номер статьи в журнале 128TVN314

Спутниковая связь (СС), наряду с волоконно-оптическими системами передачи информации (СПИ), является перспективным и динамично развивающимся направлением в сфере предоставления информационно-коммуникационных услуг. Особое значение СС приобретает в чрезвычайных ситуациях, в условиях локальных вооруженных конфликтов, при организации и проведении аварийно-спасательных работ и т. п. [1]. Современное развитие ССС характеризуется расширением функциональных возможностей за счет существенного повышения эффективности использования орбитального, частотно-энергетического, пространственно-временного и других видов ресурсов. При этом спутники-ретрансляторы (СР) нового поколения отличаются использованием антенных систем, обеспечивающих формирование зон покрытия с необходимой конфигурацией, узких лучей с высоким уровнем эквивалентной изотропно-излучаемой мощности; возможностью изменения поляризации сигналов и других характеристик.

Применение антенных систем с узкой диаграммой направленности объясняется возможностью снижения энергетических затрат для обеспечения требуемой достоверности передачи и уменьшением вероятности несанкционированного использования ресурса СР.

С другой стороны, применение антенн с узкой диаграммой направленности приводит к увеличению площади зон неуверенного приема на границе зон обслуживания лучей, формируемых СР. Считается, что на формирование сигнально-помеховой обстановки в каналах ССС, образуемых в зонах неуверенного приема, значительное влияние оказывают переходные и интерференционные помехи [2, 3]. Число источников таких помех не ограничено. Это могут быть излучения от всех видов электрических устройств; космические модуляционные составляющие, излучаемые системами радиосвязи за пределами их полос, особенно когда в небольшой географической области сосредоточено большое число независимых потребителей; паразитные излучения радиочастотных генераторов различных типов. Источниками помех также могут быть: сигнал с ортогональной поляризацией, излучаемый тем же самым СР, помехи от излучений в боковых лепестках диаграмм направленности антенн земных станций (ЗС), работающих с соседним СР, продукты нелинейных искажений, или сигналы наземных радиорелейных линий, работающих в той же полосе частот, что и принимающая ЗС. В итоге сигналы с многофазной фазовой манипуляцией (ФМ), ретранслируемые СР, содержат помехи, не зависящие от полезного сигнала.

Кроме того в ССС возникают помехи, вызванные преобразованием амплитудной модуляции (АМ), в фазовую. Эффект АМ-ФМ преобразования обусловлен тем, что в тракте ретранслятора имеются элементы, у которых вносимый ими фазовый сдвиг зависит от уровня сигнала. Соответственно, эти элементы являются преобразователями АМ сигнала в ФМ, и при многостанционном доступе порождают переходные помехи двух типов: внятные и невнятные. Например, сигнал, модулированный по частоте, проходя через тракт передачи ЗС с неравномерной частотной характеристикой, приобретает паразитную АМ в соответствии с законом частотной модуляции. После прохождения через элемент с АМ-ФМ преобразованием эта паразитная АМ преобразуется в паразитную ФМ каждого из усиливаемых сигналов и после демодуляции дает внятную помеху в низкочастотном канале каждого из сигналов. Другой причиной АМ-ФМ перехода является изменение во времени огибающей суммарного сигнала при многостанционном доступе, обусловленное биениями между её составляющими. В результате продукты биений будут содержаться в фазе каждого из сигналов. Наиболее распространенные модели шумов и помех в непрерывных каналах ССС рассмотрены в [2, 3, 4, 5, 6].

Нелинейный и нестационарный характер непрерывных каналов связи является причиной образования корреляционных связей между позициями ошибок в образованных на

основе рассмотренных выше непрерывных каналах связи ССС дискретных каналах связи (ДКС), проявляющемся в группировании позиций ошибок.

Основным элементом, отвечающим за обеспечение заданного уровня достоверности приема сообщений в СПИ является совокупность кодер-декодер помехоустойчивого кода. В ССС широкое применение получили сверточные коды (СК) с декодированием по алгоритму Витерби для исправления ошибок, возникающих при передаче сигнала по каналу связи [7]. Это объясняется малой задержкой декодирования, отсутствием порогового эффекта, выражающегося в быстром увеличении вероятности ошибки при уменьшении ОСШ менее некоторого порогового значения, и слабой зависимостью вычислительной сложности декодирования от скорости кода. Алгоритм декодирования СК Витерби реализует правило максимального правдоподобия (МП) [8] и является оптимальным при ограничениях на равновероятную модель ИС и биномиальную модель модели источника ошибок (ИО) [9].

Заметим, что большинство работ по теории кодирования [10-15] относятся к случаю аддитивного гауссова шума в непрерывном канале, приводящего в ДКС к биномиальной модели ИО. Обычно это связывают с проблемой синтеза конструктивных (обладающих полиномиальной сложностью декодирования) кодов, найденных на классах кодов с сильной алгебраической структурой. В результате развитие теории помехоустойчивого кодирования долгое время связывалось с алгебраическим подходом [15] к декодированию в ущерб статистическому, под которым постепенно стали понимать лишь необходимость удовлетворения требованиям ограничений на равновероятную модель источника сообщений (ИС) и биномиальную модель ИО [16].

Одно из направлений решения проблемы электромагнитной доступности заключается в снижении внутренних и внешних шумов в тракте радиоприема (РП). Однако ощутимый эффект возможен при существенном усложнении антенных систем и увеличении их размеров. Часто это приводит к сложным и дорогостоящим решениям, поэтому обычно стремятся к повышению эффективности (достоверности) РП за счет статистической обработки результатов измерений [8,17].

Марковский характер потоков ошибок, обусловленный негауссовым характером шумов и помех в рассмотренных выше непрерывных каналах ССС обусловил необходимость развития методов повышения достоверности приема сообщений в ССС, основанных на учете статистических свойств потоков ИС и ИО в ДКС. Ранее вопросы использования статистической избыточности ИС в задачах повышения достоверности приема дискретных сообщений и описания ИО были рассмотрены в [18, 19], а возможности учета статистических характеристик ИС и ИО на этапе декодирования помехоустойчивых кодов – в [16,20,21].

Возможность повышения достоверности приема сообщений в каналах ССС на основе учета статистических свойств ИС обусловлена тем, что большинство современных ССС построенных на основе технологий мультиплексирования, при осуществлении уплотнения каналов в единый групповой поток не устраняют избыточность на выходе мультиплексора [22]. Это связано, в основном, со следующими факторами:

- отсутствием либо низкой эффективностью механизмов контроля наличия полезной нагрузки в уплотняемых каналах СПИ с мультиплексированием;
- нерешенностью проблемы эффективного кодирования компонентных потоков.

Учет статистических свойств потоков ошибок в ДКС позволяет снять ограничение в виде биномиального закона распределения комбинаций потока ошибок в ДКС, не адекватное для случая наличия марковских свойств у реальных ДКС [16].

Применительно к СК синтез оптимальных алгоритмов декодирования в условиях несогласованного канала связи должен производиться на основе критериев, учитывающих реальные статистические характеристики ИС и ИО. В группе критериев Байесового класса это возможно на основе критериев максимума апостериорной вероятности (МАВ) и минимального среднего риска (МСР) [8]. Однако, вычислительная сложность алгоритмов декодирования на основе критерия МСР, значительно ограничивает возможность их практического использования, что определяет целесообразность использования критерия МАВ в качестве критерия оптимальности.

Возможность использования алгоритма декодирования МАВ определяется наличием информации относительно статистических характеристик ИС и ИО. В условиях отсутствия априорной информации относительно распределений вероятностей ИС и ИО целесообразно использовать в алгоритме декодирования их оценки. В [23] рассмотрены подходы к решению задачи оценивания статистических свойств марковских процессов, основанные на использовании частотного подхода, однако получаемые на их основе оценки не удовлетворяют требованиям к несмещенности, состоятельности и эффективности [24]. Следовательно, для снятия ограничения в виде биномиального закона распределения комбинаций потока ошибок в ДКС, не адекватного для случая наличия марковских свойств у реальных ДКС, требуется разработка метода оценивания статистических свойств ДКС с памятью.

В случае, когда передаваемые в СПИ сообщения представляют собой мультиплексированные цифровые потоки (МЦП), восстановление закона распределения комбинаций ИО возможно осуществить на основе стратегии формирования наблюдений, основанной на использовании информации о регулярных последовательностях, передаваемых в МЦП. К регулярным последовательностям отнесем комбинации, используемые для синхронизации МЦП и комбинации «холостого хода», передаваемые в уплотненных каналах МЦП при отсутствии нагрузки. Тогда метод оценивания статистических свойств ДКС с памятью в СПИ с мультиплексированием представляет собой решение задачи оценивания статистических свойств двоичных марковских процессов в условиях выборки ограниченного объема с пропусками данных и априорной неопределенности относительно моментов наличия данных.

Последнее связано с отсутствием информации о моментах наличия и отсутствия нагрузки в каждом из уплотненных каналов МЦП, поэтому вначале требуется решить задачу распознавания уплотненных каналов без нагрузки в МЦП.

### **Распознавание уплотненных в мультиплексном цифровом потоке каналов без нагрузки и передаваемых в них комбинаций регулярных последовательностей**

Современные плезиохронные цифровые СПИ основаны на принципе согласования скоростей цифровых потоков систем, находящихся на более низком уровне иерархии, со скоростью системы более высокого уровня иерархии. Поэтому при отсутствии полезной нагрузки на выходе системы более низкого уровня иерархии для обеспечения синхронизма в потоке системы верхнего уровня иерархии используются комбинации регулярных последовательностей [22]. В случае, когда системе верхнего уровня иерархии известно о факте отсутствия полезной нагрузки на выходе системы более низкого уровня иерархии (например, на основе использования информации, получаемой на выходе детектора активности в аппаратуре ДСМЕ), комбинации регулярных последовательностей добавляются системой более высокого уровня. В ряде случаев система более высокого уровня иерархии может не обладать информацией о наличии/отсутствии нагрузки в системе низшего уровня и задача обеспечения синхронизма возлагается на систему низшего уровня [25]. Это приводит, в

общем случае, к априорной неопределенности относительно вида регулярных последовательностей, передаваемых в каждом уплотненном канале МЦП, при отсутствии нагрузки.

Решение задачи определения регулярных последовательностей (каналов без нагрузки) и их вида в МЦП возможно путем обработки и анализа канала управления. Однако, в сложных условиях сигнально-помеховой обстановки использование информации, полученной из канала управления, затрудняется вследствие ее недостаточной надежности, а в отдельных случаях канал управления может отсутствовать.

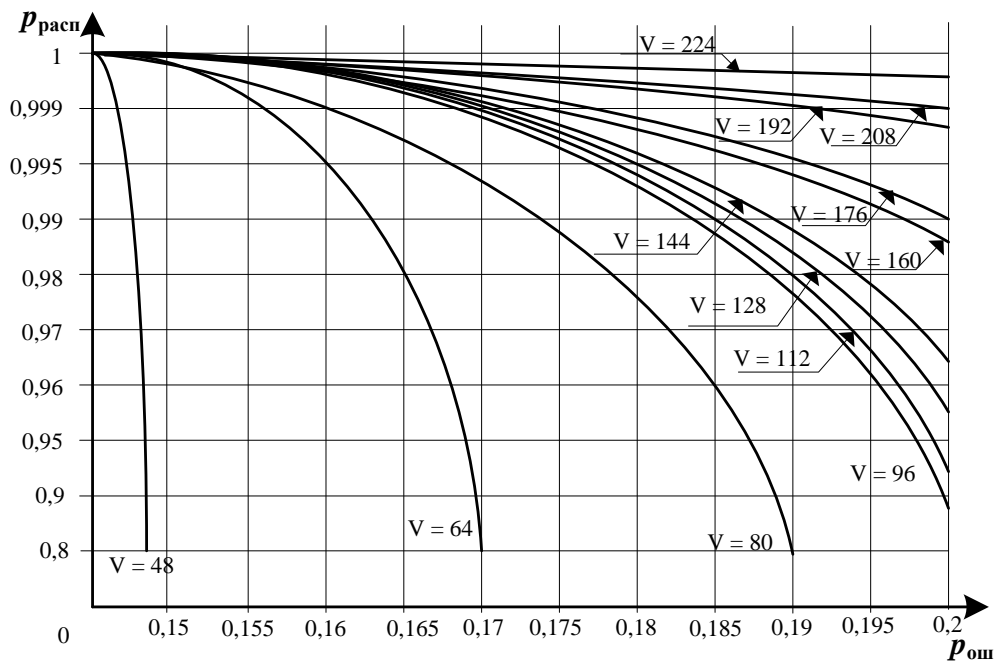
Используемая на практике аппаратура статического мультиплексирования не учитывает отсутствие нагрузки в уплотненных каналах. В результате на практике снижается значение коэффициента использования пропускной способности мультиплексного канала [21], представленного выражением

$$R_{МЦП} = \frac{1}{N_u} \sum_{h=1}^N s_h, \quad (1)$$

где  $s_h$  полагается равным 0 при отсутствии нагрузки в  $h$ -м ИС МЦП и равным 1 при наличии,  $N_u$  – количество бит в цикле МЦП,  $N$  – количество ИС, уплотненных в МЦП.

Коэффициент использования пропускной способности мультиплексного канала  $R_{МЦП}$  показывает относительное число временных интервалов с нагрузкой.

В [21] предложена процедура распознавания каналов без нагрузки в МЦП. Процедура позволяет определить как временные интервалы, закрепленные за ИС, на выходе которого отсутствует нагрузка на интервале наблюдения, так и их вид, передаваемой в моменты отсутствия полезной нагрузки. Зависимость точности оценивания комбинации регулярных последовательностей от вероятности ошибки для различных объемов выборки представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Зависимость точности оценивания комбинации регулярных последовательностей от вероятности ошибки для разных объемах выборки ( $V$ , бит)

Предложенный способ позволяет частично снять неопределенность относительно передаваемых в МЦП сообщений. Кроме того, наличие информации относительно регулярных последовательностей в МЦП позволяет получить оценки РВ комбинаций стационарного ИО. Однако, информацию о размещении в МЦП регулярных последовательностей и их виде, получаемую в результате применения разработанной процедуры распознавания уплотненных в МЦП каналов без нагрузки невозможно «в явном виде» использовать для вычисления потока ошибок, т. к. в СПИ применяется скремблирование. Помимо этого, СК обладает памятью, что приводит к неоднозначности между последовательностями на выходе кодера СК и на его входе. Рассмотрим разработанный способ восстановления двоичных последовательностей на выходе сверточного кодера, соответствующих обнаруженным в МЦП регулярным последовательностям, позволяющий учесть применение аддитивного скремблирования (АС), и особенностей формирования СК, при котором неоднозначность отсутствует.

### **Способ восстановления двоичных последовательностей на выходе сверточного кодера, соответствующих регулярным последовательностям в мультиплексированном цифровом потоке, учитывающий параметры аддитивного скремблирования и сверточного кодера**

В большинстве ССС передаваемые сообщения скремблируются с целью придания им свойств равновероятной псевдослучайной последовательности (ПСП). Это позволяет удовлетворять требованиям надежного выделения тактовой частоты и постоянной, сосредоточенной в заданной области частот спектральной плотности мощности передаваемого сигнала. Скремблирование широко применяется во многих системах связи для улучшения статистических свойств сигнала и обычно осуществляется непосредственно перед помехоустойчивым кодированием [5,9,25]. Различают два основных типа скремблирования: АС и самосинхронизирующееся (СС).

Особенностью СС является то, что он управляется скремблируемой последовательностью. Поэтому при данном виде скремблирования не требуется специальная установка состояний скремблера и дескремблера. Скремблированная последовательность записывается в регистры сдвига скремблера и дескремблера, устанавливая их в идентичное состояние. Входная последовательность  $a_k$  в соответствии со схемой регистра скремблера  $b_k = a_k \oplus (b_{k-n} \oplus b_{k-m} \dots \oplus b_{k-r})$  преобразуется в двоичную последовательность  $b_k$  путем побитового сложения по модулю 2 передаваемой последовательности с элементами скремблированной последовательности, определяемыми полиномом регистра скремблера.

На приемной стороне выделение исходной последовательности происходит путем сложения по модулю 2 принятой скремблированной последовательности с элементами дескремблированной последовательности. Таким же регистром сдвига, как на передающей стороне, формируется последовательность  $a_k = b_k \oplus (b_{k-n} \oplus b_{k-m} \dots \oplus b_{k-r})$ .

При этом даже одна ошибка в последовательности  $b_k$ , приводит к  $n+1$  ошибкам после дескремблирования, где  $n$  – число обратных связей регистра. Поэтому, СС скремблер обладает свойством размножения ошибок. [60].

Другой недостаток СС скремблера заключается в возможном появлении на его выходе так называемых «критических комбинаций». В этом случае выходная последовательность скремблера становится периодической с периодом, меньшим длины ПСП. Для устранения этого недостатка, в скремблере и дескремблере стандартов *IESS-308* и *IESS-309* предусматриваются дополнительные схемы контроля, которые выявляют наличие

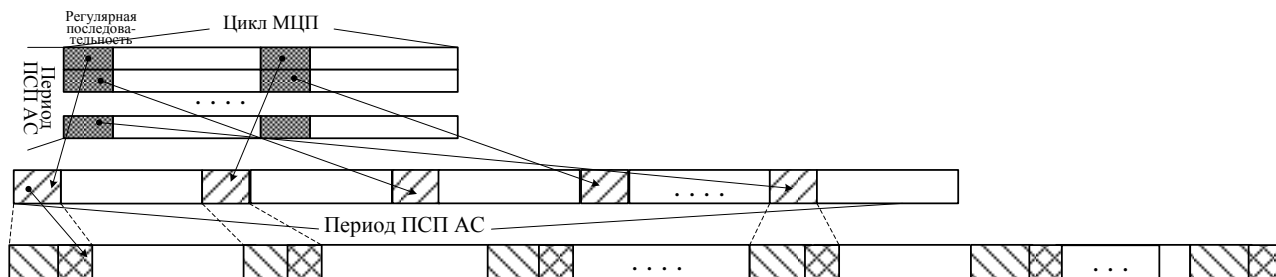
периодичности на входе и нарушают ее. Это в свою очередь усложняет реализацию данного типа скремблера.

Недостатки, присущие СС скремблеру, практически отсутствуют при аддитивном скремблировании (АС). Для него требуется предварительная установка состояний регистров скремблера и дескремблера. В АС, производится сложение по модулю 2 входного сигнала и ПСП, при этом результирующий сигнал не поступает на вход регистра. В дескремблере сигнал скремблированной последовательности также не проходит через регистр сдвига, поэтому размножения ошибок не происходит.

Суммируемые в скремблере последовательности независимы, поэтому их период всегда равен наименьшему общему кратному длительности периодов входной последовательности и ПСП и критическое состояние отсутствует. Отсутствие эффекта размножения ошибок и необходимости в специальной логике защиты от нежелательных ситуаций делают способ аддитивного скремблирования предпочтительнее. Однако при АС возникает задача фазирования скремблера и дескремблера, часто решаемая путем использования сигнала цикловой синхронизации МЦП в качестве сигнала установки (начала периода) АС.

Учет ПСП АС позволяет восстановить информацию относительно части последовательности на выходе кодера СК, соответствующий регулярным последовательностям, содержащимся в МЦП. Поскольку на вход кодера поступает скремблированная последовательность, а  $b_k = a_k \oplus m_l$ , где  $a_k$  –  $k$ -й бит МЦП;  $b_k$  –  $k$ -й бит на выходе АС;  $m_l$  –  $l$ -й бит ПСП, требуется рассчитать значения бит на выходе АС, соответствующих регулярным последовательностям.

В целом представленный выше процесс формирования комбинаций на выходе СК, соответствующих регулярным последовательностям с учетом АС и СК, представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Формирование априорно известных последовательностей на выходе кодера сверточного кода

С учетом обнаруженных в МЦП регулярных последовательностей, доля априорно известной информации на выходе СК определяется выражением

$$R'_{\text{МЦП}} = \frac{R_{\text{МЦП}} (T(A(h)) - k + 1)}{T(A(h))}, \quad (2)$$

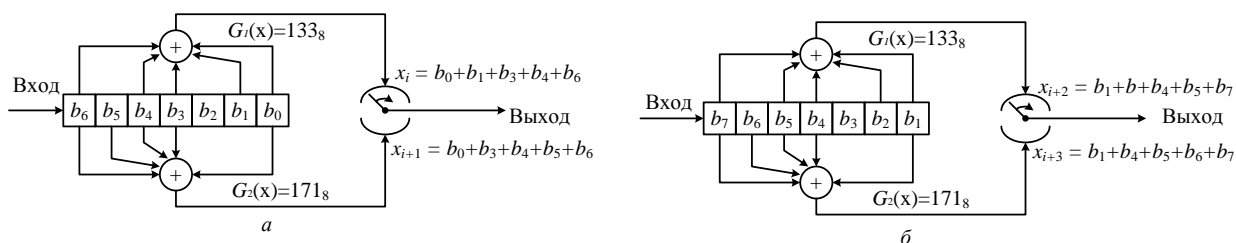
где  $T(A(h))$  – период регулярной последовательности;  $R_{\text{МЦП}}$  – коэффициент использования МЦП;  $k$  – память кодера.

Исходя из того что значения бит, в которых присутствует нагрузка точно не известны, а биты на входе СК определяются набором бит в регистре сдвига, в случае когда априорная информация относительно хотя бы одного бита в регистре отсутствует значение выхода кодера определить точно невозможно. Таким образом, указать комбинацию на выходе кодера возможно точно только в случае, когда все ячейки регистра сдвига заняты битами, априорная



информация о которых известна (т. е. когда весь регистр занят частью регулярной последовательности). В случае для НСК с  $R = 1/2$  при  $T(A(h)) \geq k$  (где  $k$  – длина кодового ограничения), известны  $2(T(A(h)) - \kappa + 1)$  бит на выходе кодера, соответствующих битам регулярной последовательности  $T(A(h))$ . Для ССК-1/2 будут известны  $2(T(A(h)) - \kappa + 1) + T(A(h))$  бит на выходе кодера, соответствующих битам регулярной последовательности  $T(A(h))$ , причем даже в случае когда  $T(A(h)) < \kappa$  будут известны  $T(A(h))$  бит на выходе кодера.

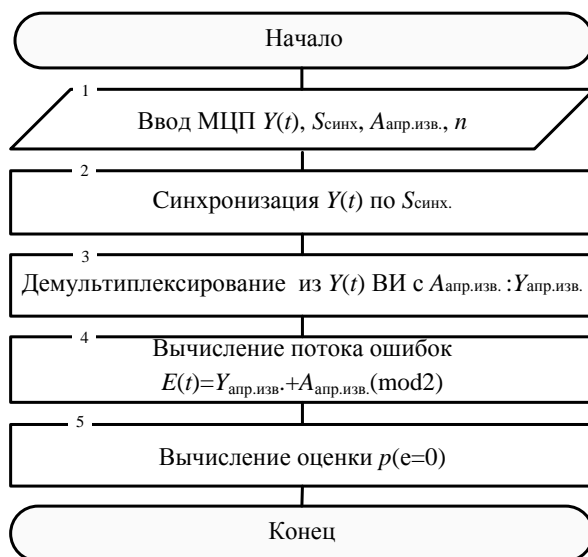
Значение бит, соответствующих регулярной последовательности на выходе кодера, определяется полиномом СК. Например, для НСК-1/2  $(133,171)_8$ , представленного на рис. 3, регулярная последовательность с  $T(A(h)) = 8$  бит, вида  $A(h) = \{b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7\}$  будет преобразована в значения  $x_i = b_0 + b_1 + b_3 + b_4 + b_6$  и  $x_{i+1} = b_0 + b_3 + b_4 + b_5 + b_6$ .



**Рис. 3.** Пример формирования бит соответствующих регулярной последовательности на выходе кодера НСК-1/2  $(133,171)_8$

Таким образом, 7 бит регулярной последовательности МЦП определяют 2 выходных бита кодированной последовательности, а 8 бит – 4 выходных бита и т. д.

Полученная информация относительно априорно известных участков последовательности на выходе СК  $Y_{\text{апр.изв.}}$  используется для оценивания вероятности одномерной ДСВ в потоке ошибок в соответствии с процедурой, представленной на рис. 4.



**Рис. 4.** Процедура вычисления оценки  $p(0)$  в потоке ошибок

Наличие информации относительно значения вероятности одномерной двоичной случайной величины (ДСВ), вычисленной посредством анализа МЦП на основе распознавания уплотненных в нем регулярных последовательностей, пересчета значений символов регулярных последовательностей в символы на выходе СК и последующей обработки с помощью процедуры, представленной на рис. 4, позволяют получить исходные данные для оценивания статистических свойств дискретного канала связи с памятью. В [26]

предложен способ оценивания значений элементов матрицы переходных вероятностей (МПВ) односвязной двоичной цепи Маркова, основанный на использовании априорной информации относительно значения одномерной ДСВ. В условиях пропусков данных указанный способ позволяет получить пригодные [27] оценки. При  $\hat{p}(0) \geq 0,5$ , соответствующем случаю реальных ДКС, значения элементов МПВ, в соответствии с [26], определяются выражениями

$$\hat{p}(0/0) = 1 - \frac{\hat{p}(1)}{2\hat{p}(0)}, \quad (3)$$

$$\hat{p}(0/1) = \frac{(1 - \hat{p}(0/0))\hat{p}(0)}{1 - \hat{p}(0)}, \quad (4)$$

$$\hat{p}(1/0) = 1 - \hat{p}(0/0), \quad (5)$$

$$\hat{p}(1/1) = 1 - \hat{p}(0/1). \quad (6)$$

Таким образом, разработанный метод оценивания статистических свойств ДКС с памятью в СПИ с мультиплексированием предусматривает выполнение следующих этапов:

1. Распознавание уплотненных в МЦП каналов без нагрузки и передаваемых в них комбинаций регулярных последовательностей посредством анализа демодулированного потока.
2. Восстановление двоичных последовательностей на выходе кодера сверточного кода, соответствующих обнаруженным в МЦП регулярным последовательностям, на основе учета параметров АС и СК.
3. Вычисление значений элементов потока ошибок на позициях бит, восстановленных в п.2.
4. Вычисление значений элементов МПВ посредством выражений (3-6).

Предложенный метод позволяет получить пригодные оценки статистических свойств ДКС с памятью в условиях отсутствия априорной информации относительно передаваемых в МЦП сообщений, аддитивного скремблирования и сверточного кодирования сообщений в случае, когда операция скремблирования осуществляется на передающей стороне до помехоустойчивого кодирования. Использование полученных оценок в декодерах помехоустойчивых кодов, построенных на основе критерия максимума апостериорной вероятности позволяет повысить достоверность приема мультиплексированных сообщений в каналах связи с памятью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Липкович Э. Б., Кисель Д. В. Проектирование и расчет систем цифрового спутникового вещания. Учебно-методическое пособие – Мн.: БГУИР, 2006.
2. Шелухин, О.И. Негауссовские процессы в радиотехнике. – М.: Радио и связь, 1998. – 310 с.
3. Шелухин, О.И. Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография. / Под ред. О.И. Шелухина.- М.: Радиотехника, 2003.– 408 с.
4. Кловский Д. Д., Конторович В. Я., Ширков С. М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
5. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь: Пер. с английского. Под ред. В. В. Маркова. – М.: Связь, 1979. – 592 с.
6. Коржик В. И., Финк Л. М., Щелкунов К. Н. Расчёт помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник. – М.: Радио и связь, 1981.
7. CDM-600 Open Network Satellite Modem (2.4 kbps – 20 Mbps) Installation and Operation Manual For Firmware Version 2.0.1 or higher [Электронный ресурс]. – Электр. опт. диск. (CD-ROM).
8. Зюко, А. Г. Теория передачи сигналов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк. – М.: Связь, 1980. –288 с.
9. Складар, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Складар Б.. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
10. Питерсон, У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки: пер. с англ. / У. Питерсон, Э. Уэлдон. – М.: Мир, 1976.
11. Кларк, Дж., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Кларк, Дж., Кейн Дж. – М.: Радио и связь, 1987. – 384 с.
12. Морелос-Сарагоса, Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение / Р. Морелос-Сарагоса. – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
13. Viterbi, A.J., Omura, J.K., Principles of Digital Communication and Coding, McGraw-Hill, 1979.
14. Блейхут, Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: пер. с англ / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1986.
15. Проскурин А.А. Модифицированный алгоритм итеративного декодирования низкоплотных кодов, учитывающий свойства и структуру кода и обеспечивающий сокращение временной и вычислительной сложности //Интернет-журнал «Наукоедение», 2014 №2 (21) [Электронный ресурс]-М.: Наукоедение, 2014 -.- Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik21/84TVN214.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
16. Панкратов А. В. Непараметрическое декодирование блоковых кодов в каналах с негауссовыми шумами / М. Ю. Коньшев, А. В. Панкратов, С. В. Шинаков // Телекоммуникации. – 2011. – № 9. – С. 23–27.

17. Финк, Л. М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. – Советское радио, 1970. – 728 с.
18. Блох, Э. Л., Попов О. В., Турин В. Я. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации. – М.: Связь, 1971. – 312 с.
19. Ростовцев, Ю. Г. Исследование методов повышения достоверности связи за счет использования статистической избыточности сигналов. – Л.: ЛВИКА, 1965. – 279с.
20. Панкратов, А. В. Декодирование сверточных кодов в системах передачи информации с мультиплексированием / М. Ю. Коньшев, А. В. Панкратов, С. В. Шинаков // Телекоммуникации. – 2010. – № 3. – С. 35–40.
21. Панкратов А. В. Методика декодирования сверточных кодов в мультиплексных каналах связи / М. Ю. Коньшев, А. В. Панкратов, С. А. Просолупов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2012. – №1 (39) часть 1. – С. 23–31.
22. Григорьев В. А. Передача сообщений / В.А. Григорьев, С. В.Григорьев. – С-Петербург: ВУС, 2002. – 255 с.
23. Ли, Ц. Оценивание параметров марковских моделей по агрегированным временным рядам / Ц. Ли, Д. Джадж, А. Зельнер. – М.: Статистика, 1977. – 221 с.
24. Вентцель Е.С., Овчарков Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчарков. – М.: Наука, 1988.
25. Гаранин С.В. Системы и сети передачи информации / Гаранин, С.В. Кунегин С.В. – М.: «Радио и связь», 2001. – 235 с.
26. Баранов В. А., Коньшев М. Ю., Шинаков С. В., Панкратов А. В. Идентификация модели двоичного марковского процесса по выборке ограниченного объема // Радиолокация, навигация, связь. RLNC 2012: материалы XVIII Международной научной конференции. Т.1 – Воронеж: ВГУ, 2012. – С. 22–33.
27. Юсупов В. М. Статистические методы обработки результатов наблюдений / Петухов Г. Б., Сидоров В. Н., Городецкий В. И., Марков В. М. – Министерство обороны СССР, 1984. – 563 с.

**Рецензент:** Баранов Владимир Александрович, доктор технических наук, доцент, ГКОУ ВПО "Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации", Россия, Орёл.

**Vasily Bliznyuk**

The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation  
Russia, Orel  
E-Mail: [v\\_bliznyuk@mail.ru](mailto:v_bliznyuk@mail.ru)

**Mikhail Konyshev**

The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation  
Russia, Orel  
E-Mail: [misha-kon@ya.ru](mailto:misha-kon@ya.ru)

**Vladimir Ivanov**

The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation  
Russia, Orel  
E-Mail: [misha-kon@mail.ru](mailto:misha-kon@mail.ru)

**Aleksey Pankratov**

The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation  
Russia, Orel  
E-Mail: [pank75\\_75@mail.ru](mailto:pank75_75@mail.ru)

## **Method of estimation of statistical properties of the discrete channel with memory in information transfer systems with multiplexing**

**Abstract.** Relevance of the solution of a problem of estimation of statistical properties of the discrete channel with memory in the satellite communication systems, allowing to use statistical methods of decoding of noiseproof codes is proved. The method of estimation of statistical properties of the discrete channel with memory in information transfer systems with multiplexing on the basis of recognition of regular sequences is presented in the group message, transferred at the moments of lack of loading in the condensed channels and considering influence of a skremblirovaniye and svertochny coding. Dependence of accuracy of estimation of combinations of regular sequences on probability of a mistake for different selection volumes on the basis of the developed procedure of recognition of a look and the provision of regular sequences in structure of a shot of a multiplex digital stream is received. Procedure of estimation of value of probability of the binary random variable characterizing probability of a mistake in a discrete communication channel, on the basis of use of aposteriorny information on the regular sequences, based on use of frequency approach to estimation, robastny in the conditions of existence of admissions in observed data is offered. Analytical dependences for calculation of estimates of elements of a matrix of transitional probabilities in a binary discrete communication channel with memory on known values of probabilities of an one-dimensional binary random variable as which it is offered to use the recognitions of an assessment of probability of a mistake received on the basis of offered procedure in a discrete communication channel with multiplexing are presented.

**Keywords:** forward error correction (FEC); discrete communication channel with memory; information transfer systems with multiplexing; Markov's chains.

Identification number of article 128TVN314

## REFERENCES

1. Lipkovich Je. B., Kisel' D. V. Proektirovanie i raschet sistem cifrovogo sputnikovogo veshhaniya. Uchebno-metodicheskoe posobie – Mn.: BGUIR, 2006.
2. Sheluhin, O.I. Negaussovskie processy v radiotekhnike. – M.: Radio i svjaz', 1998. – 310 s.
3. Sheluhin, O.I. Tenjakshev A.M., Osin A.V. Fraktal'nye processy v telekommunikacijah. Monografija. / Pod red. O.I. Sheluhina.- M.: Radiotekhnika, 2003.– 408 s.
4. Klovsij D. D., Kontorovich V. Ja., Shirkov S. M. Modeli nepreryvnyh kanalov svjazi na osnove stohasticheskikh differencial'nyh uravnenij. – M.: Radio i svjaz', 1984. – 248 s.
5. Spilker Dzh. Cifrovaja sputnikovaja svjaz': Per. s anglijskogo. Pod red. V. V. Markova. – M.: Svjaz', 1979. – 592 s.
6. Korzhik V. I., Fink L. M., Shhelkunov K. N. Raschjot pomehoustojchivosti sistem peredachi diskretnyh soobshhenij: Spravochnik. – M.: Radio i svjaz', 1981.
7. CDM-600 Open Network Satellite Modem (2.4 kbps – 20 Mbps) Installation and Operation Manual For Firmware Version 2.0.1 or higher [Jelektronnyj resurs]. – Jelekt. opt. disk. (CD-ROM).
8. Zjuko, A. G. Teorija peredachi signalov / A. G. Zjuko, D. D. Klovsij, M. V. Nazarov, L. M. Fink. – M.: Svjaz', 1980. –288 s.
9. Skljar, B. Cifrovaja svjaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie / Skljar B.. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams» □ 2003. – 1104 s.
10. Piterson, U., Ujeldon Je. Kody, ispravljajushhie oshibki: per. s angl. / U. Piterson, Je. Ujeldon. – M.: Mir, 1976.
11. Klark, Dzh., Kejn Dzh. Kodirovanie s ispravleniem oshibok v sistemah cifrovoj svjazi / Klark, Dzh., Kejn Dzh. – M.: Radio i svjaz', 1987. – 384 s.
12. Morelos-Saragosa, R. Iskusstvo pomehoustojchivogo kodirovanija. Metody, algoritmy, primenenie / R. Morelos-Saragosa. – M.: Tehnosfera, 2005. 320 s.
13. Viterbi, A.J., Omura, J.K., Principles of Digital Communication and Coding, McGraw-Hill, 1979.
14. Blejhut, R. Teorija i praktika kodov, kontrolirujushhij oshibki: per. s angl / R. Blejhut. – M.: Mir, 1986.
15. Proskurin A.A. Modificirovannyj algoritm iterativnogo dekodirovanija nizkoplotnostnyh kodov, uchityvajushhij svojstva i strukturu koda i obespechivajushhij sokrashhenie vremennoj i vychislitel'noj slozhnosti //Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014 №2 (21) [Jelektronnyj resurs]-M.: Naukovedenie, 2014 -.- Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/sbornik21/84TVN214.pdf>, svobodnyj. – Zagl. s jekrana. - Jaz. rus., angl.
16. Pankratov, A. V. Neparаметрическое декодирование блоковых кодов в каналах с негауссовыми шумами / M. Ju. Konyšev, A. V. Pankratov, S. V. Shinakov // Telekommunikacii. – 2011. – № 9. – S. 23–27.
17. Fink, L. M. Teorija peredachi diskretnyh soobshhenij / L.M. Fink. – Sovetskoe radio □ 1970. – 728 s.

18. Bloh, Je. L., Popov O. V., Turin V. Ja. Modeli istochnika oshibok v kanalah peredachi cifrovoj informacii. – M.: Svjaz', 1971. – 312 s.
19. Rostovcev, Ju. G. Issledovanie metodov povyshenija dostovernosti svjazi za schet ispol'zovanija statisticheskoj izbytochnosti signalov. – L.: LVIKA, 1965. – 279s.
20. Pankratov, A. V. Dekodirovanie svertochnyh kodov v sistemah peredachi informacii s mul'tipleksirovaniem / M. Ju. Konyshev, A. V. Pankratov, S. V. Shinakov // Telekommunikacii. – 2010. – № 3. – S. 35–40.
21. Pankratov, A. V. Metodika dekodirovanija svertochnyh kodov v mul'tipleksnyh kanalah svjazi / M. Ju. Konyshev, A. V. Pankratov, S. A. Prosolupov // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta. – 2012. – №1 (39) chast' 1. – S. 23–31.
22. Grigor'ev, V. A. Peredacha soobshhenij / V.A. Grigor'ev, S. V. Grigor'ev. – S-Peterburg: VUS, 2002. – 255 s.
23. Li, C. Ocenivanie parametrov markovskih modelej po agregirovannym vremennym rjadam / C. Li, D. Dzhadzh, A. Zel'ner. – M.: Statistika, 1977. – 221 s.
24. Ventcel', E.S., Ovcharkov L.A. Teorija verojatnostej i ee inzhenernye prilozhenija / E.S. Ventcel', L.A. Ovcharkov. – M.: Nauka, 1988.
25. Garanin, S.V. Sistemy i seti peredachi informacii / Garanin, S.V. Kunegin S.V. – M.: «Radio i svjaz'», 2001. – 235 s.
26. Baranov V. A., Konyshev M. Ju., Shinakov S. V., Pankratov A. V. Identifikacija modeli dvoichnogo markovskogo processa po vyborke ogranichennogo ob#ema // Radiolokacija, navigacija, svjaz'. RLNC 2012: materialy HVIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. T.1 – Voronezh: VGU, 2012. – S. 22–33.
27. Jusupov, V. M. Statisticheskie metody obrabotki rezul'tatov nabljudenij / Petuhov G. B. □ Sidorov V. N. □ Gorodeckij V. I. □ Markov V. M. – Ministerstvo oborony SSSR □ 1984. – 563 s.