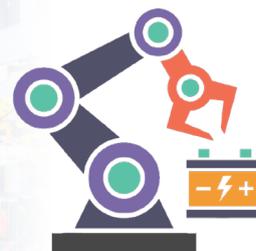


Энергетика. Автоматика.
Информационно-коммуникационные технологии



DOI 10.52209/1609-1825_2021_3_221

УДК 629.7.05.001

Оптимизация служебной информации и помехоустойчивость в информационно-измерительных системах со сжатием данных

ЕСМАГАМБЕТОВ Булат-Батыр Саухымович, д.т.н., профессор, bulatbatyr@mail.ru,
Южно-Казахстанский университет им. М.О. Ауэзова, Казахстан, 160012, Шымкент, пр. Тауке хана, 5,

Аннотация. Статья посвящена вопросам оптимального формирования служебной информации и повышения помехоустойчивости в радиотелеметрических системах. В телеметрических системах космических летательных аппаратов с использованием необратимого сжатия данных возможно использование нескольких методов формирования сообщений. В канальном пакете выходных данных может быть несколько кодовых слов, определяющих его состав. Они могут быть объединены и расставлены в строго определенной последовательности. Необходимость передачи служебной информации снижает эффективность приемо-передающих систем. Поэтому проблема сокращения объема служебной информации является чрезвычайно актуальной. При обработке в информационных системах огромных потоков данных отдельные их измерения или целые группы измерений могут быть искажены или потеряны вследствие разных причин, например, ввиду выхода за пределы шкалы измерений. Восстановление сжатых данных при передаче по каналам связи сопровождается погрешностями, связанными с искажением информационной и служебной частей сообщений из-за наличия помех в канале передачи. Поэтому возникает необходимость обеспечения достоверности данных измерений на всех этапах преобразования данных, в том числе на этапе сжатия.

Ключевые слова: сжатие данных, служебная информация, существенные отсчеты, коэффициент сжатия, буферное запоминающее устройство, телеметрический кадр, помехоустойчивость, случайный процесс, избыточность.

Введение

В канальном пакете выходных данных может

быть несколько кодовых слов, определяющих его состав. Они могут быть объединены и расставле-

ны в строго определенной последовательности. Такой пакет данных представляет собой кодовую комбинацию постоянной или переменной длины, причем постоянная длина пакета формируется в случае заранее определенного и неизменного объема информации на интервале выдачи данных, а переменная – в противном случае. С канальным пакетом данных далее можно обращаться как с единым целым: снабжать его адресной информацией об источнике сообщения, информацией об интервале времени, на котором был сформирован пакет, для привязки существенных отсчетов ко времени, дополнительными проверочными символами и кодами для повышения помехоустойчивости передачи или с этой же целью определенным образом формировать структуру пакета. Адресная, временная и синхронизирующая информация в литературе называется служебной.

Восстановление сжатых данных при передаче по каналам связи сопровождается погрешностями, связанными с искажением информационной и служебной частей сообщений из-за наличия помех в канале передачи. К этим погрешностям добавляются ошибки, обусловленные квантованием передаваемых реализаций по уровню и дискретизацией по времени. Реальные каналы связи часто оказываются нестационарными с наличием помех, коррелированных с полезным сигналом. Такие каналы вносят существенные искажения при восстановлении сигналов на приемной стороне.

Теория вопроса

Рассмотрим принципы формирования служебной информации в системах со сжатием данных. Существуют следующие системы, отличающиеся способом выравнивания потоков сжатых данных [1]:

- с буферным запоминающим устройством (БЗУ);

- с адаптивным коммутированием.

Для систем с БЗУ характерно наличие переменной задержки в буфере, а системы с адаптивным коммутированием работают в реальном масштабе времени, что и обуславливает особенности формирования служебной информации [2]. Для анализа различных способов ее формирования введем понятие коэффициента сжатия полосы частот канала передачи:

$$K_{\text{сж}}^F = \frac{n_{\text{вх}}}{n_{\text{вых}}},$$

где $n_{\text{вх}}$ – объем измерительной информации в кадре,

$$n_{\text{вых}} = \frac{Nn_{\text{и}}}{K_{\text{сж}}} + n_{\text{адр}} + n_{\text{вр}},$$

где $K_{\text{сж}}$ – коэффициент сжатия по числу отсчетов; N – число каналов в адаптивной системе; $n_{\text{и}}$ – объем информационной части одного измерения; $n_{\text{адр}}$ – объем адресной информации; $n_{\text{вр}}$ – объем временной информации.

Описание методов анализа

Сравнивать различные способы формирования служебной информации следует при одинаковых входных условиях [3]. Допустим, что объем измерительной информации для всех отсчетов одинаков, а вероятность появления существенных отсчетов для всех случаев также одинакова и равна

$$p_{\text{сущ}} = \frac{1}{\bar{K}_{\text{сж}}},$$

где $\bar{K}_{\text{сж}}$ – усредненный коэффициент сжатия.

При групповом способе формирования служебной информации производится анализ каждого отсчета и присвоение символа 1 существенным отсчетам и символа 0 – избыточным [4]. По этим индексам формируется одинаковый адрес кадра $n_{\text{адр}}$, за которым следуют информационные части сообщения $n_{\text{и}}$ только тех каналов, отсчеты которых оказались существенными. Формирование группового адреса для системы, содержащей пять каналов, показано на рисунке 1, при этом существенные отсчеты содержатся в первом и третьем каналах. Временная информация при данном способе не передается, а подсчет числа кадров возлагается на ЭВМ. Коэффициент сжатия в этом случае равен

$$K_{\text{сж}}^F = \frac{n_{\text{вх}}}{n_{\text{вых}}} = \frac{Nn_{\text{и}}}{n_{\text{адр}} + \frac{n_{\text{и}}N}{K_{\text{сж}}}},$$

где N – число измерительных каналов в кадре. При $n_{\text{адр}} = N$ выше приведенное выражение можно записать в виде

$$K_{\text{сж}}^F = \frac{n_{\text{и}}K_{\text{сж}}}{K_{\text{сж}} + n_{\text{и}}}.$$

Недостатком этого способа является низкая помехоустойчивость, так как неправильный прием одного символа в адресной информации может привести к ошибочной расшифровке всей измерительной информации.

В следующем способе вероятность неправильной расшифровки уменьшается за счет передачи временной синхροинформации через несколько кадров (псевдокадр) $m \geq 1$, где m – число кадров в псевдокадре [5]. В этом случае, если происходит сбой разряда служебной информации, то теряется только один псевдокадр. При уменьшении числа кадров в псевдокадре уменьшается вероятность неправильной расшифровки сжатых данных, но при этом возрастают аппаратные затраты

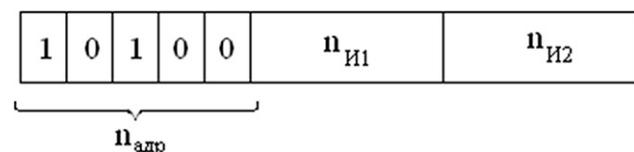


Рисунок 1 – Формирование группового адреса

на реализацию способа, так как увеличивается необходимый объем памяти. Эффективность данного способа можно описать следующим соотношением

$$K_{\text{сж}}^F = \frac{n_n N}{N + \frac{n_{\text{вр}}}{m} + \frac{n_n N}{K_{\text{сж}}}}$$

В третьем способе формирования служебной информации адресная информация передается с каждым существенным отсчетом, а временная информация кодируется одним разрядом в каждом слове [6]. В начальном слове каждого кадра в этом разряде записывается 1, а во всех последующих словах данного кадра – 0. Таким образом один дополнительный разряд в словах позволит расшифровать каждый кадр, а адресная информация существенных отсчетов – точно определить временную привязку этих кадров. На рисунке 2 показано пояснение этого способа. Для правильной расшифровки данных необходимо в каждом кадре, даже если все выборки избыточны, передавать один измерительный отсчет. Поэтому эффективность данного способа можно описать формулой

$$K_{\text{сж}}^F = \frac{n_n N}{(\log N + 1 + n_n) \left(\frac{N}{K_{\text{сж}}} + p \right)},$$

где N – число каналов в кадре;

$p = \left(1 - \frac{1}{K_{\text{сж}}} \right)^N$ – вероятность не появления существенных отсчетов в кадре.

Недостаток этого способа заключается в низкой помехоустойчивости, так как искажение одного временного разряда приводит к сдвигу всей информации в кадре. Поэтому с учетом передачи времени через $m \geq 1$ кадров в псевдокадре эффективность способа можно описать соотношением

$$K_{\text{сж}}^F = \frac{n_n N}{(\log N + 1 + n_n) \left(\frac{N}{K_{\text{сж}}} + p \right) + \frac{n_{\text{вр}}}{m}}$$

В четвертом способе адресная информация передается с каждым существенным отсчетом. В этом случае объем адресной информации равен

$$N_{\text{адр}} = \frac{N \log N}{K_{\text{сж}}}.$$

Для исследования погрешности восстановления непрерывных реализаций с учетом иска-

жений сжатых данных в канале связи моделировались процессы для разных способов передачи информации в стационарных и нестационарных каналах. При моделировании генерировались сигналы в виде суммы экспоненциального тренда и стационарной составляющей недифференцируемого случайного процесса. Для сжатия использовались апертурные алгоритмы и алгоритмы, ограничивающие дисперсию ошибки восстановления [7]. Учитывались искажения как информационной, так и случайной части сообщения. Адресная информация формировалась с каждым существенным отсчетом.

Обсуждение результатов

На рисунке 3 показана зависимость объема служебной информации $n_{\text{адр}}$ от коэффициента сжатия. Из анализа рисунка следует, что при коэффициентах сжатия $K_{\text{сж}} < K_{\text{пор}}$ выгоднее применять групповой способ формирования служебной информации, а при $K_{\text{сж}} > K_{\text{пор}}$ – формировать адресную информацию с каждым существенным отсчетом. Например, при $N=64$ и $K_{\text{сж}}=30$ объем служебной информации $-\Delta n_{\text{адр}}$ сокращается почти в 6 раз и наоборот при $K_{\text{сж}}=4$ и $N=60$ объем служебной информации $+\Delta n_{\text{адр}}$ увеличивается более чем в 2 раза.

В информационно-измерительных системах, использующих сжатие данных с буферным запоминающим устройством (БЗУ), которое выравнивает поток сжатых данных во времени, можно передавать дополнительную информацию о задержке сообщений в БЗУ, с привязкой измерений по времени [8]. Кодирование времени задержки в БЗУ производится прямо пропорционально заполнению буферного ЗУ. Время задержки информации, поступающей в БЗУ, равно $t_{\text{зад}} = qT$, где q – число заполненных ячеек памяти; T – период считывания информации из одной ячейки.

Использование БЗУ имеет следующие преимущества:

- достаточно простая аппаратная реализация;
- при автоматическом изменении аперттуры в зависимости от заполнения буферной памяти не требуется дополнительной служебной информации о величине аперттуры;
- при сбое информации в кадре последующая информация не искажается.

К недостаткам можно отнести наличие погрешности $t_{\text{ош}}$ временной привязки измерений.

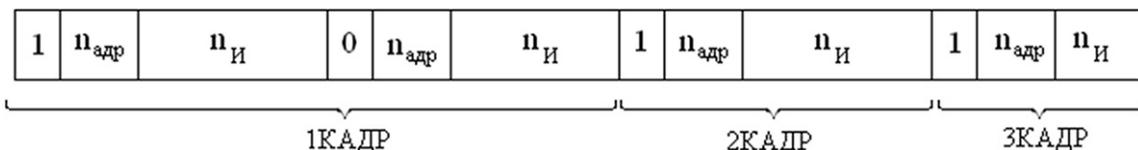


Рисунок 2 – Формирование адресной информации с каждым существенным отсчетом

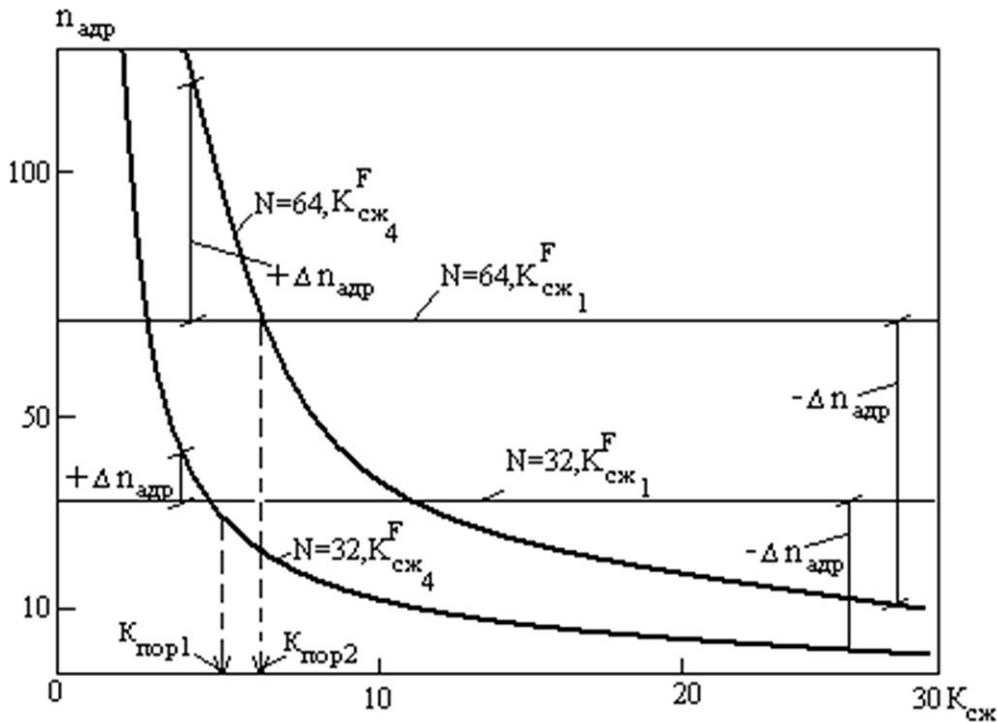


Рисунок 3 – Зависимость объема служебной информации от коэффициента сжатия

Этот недостаток можно исключить, если моменты считывания существенных отсчетов в канале привязать к анализу текущих выборок на избыточность в определенном информационном канале. Кроме того, при поступлении в БЗУ каждого существенного отсчета необходимо передавать число выборок, ожидающих считывания в канал связи, т.е. заполнение в БЗУ [9].

Рассмотрим теперь вопросы помехоустойчивости сжатых данных.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение сложных алгоритмов сжатия целесообразно лишь для гладких, слабо зашумленных нестационарных сигналов и в стационарных каналах очень высокого качества.

При вероятностях ошибки приема символа сообщения $p > 10^{-2}$ и относительной мощности стационарной составляющей $h = 1,0$ разница в погрешности восстановления нестационарных сообщений между простейшим экстраполяционным алгоритмом и достаточно сложным интерполяционным становится пренебрежимо малой. Наличие искажений адресной информации в стационарном канале (рисунок 4) почти на порядок повышает погрешность восстановления при апертуре $\varepsilon > 3\%$, но мало влияет на нее при незначительных апертурах ($\varepsilon < 1\%$).

Применение алгоритмов сжатия с контролем среднеквадратической погрешности восстановления в нестационарном канале целесообразно лишь при очень малых апертурах (менее 1%) и малой относительной мощности стационарной составляющей сигнала ($h = 0,1$). Для сильно за-

шумленных сигналов ($h = 1,0$) погрешность восстановления практически не зависит от апертюры, а значит, и от коэффициента сжатия. При сжатии простейшим экстраполяционным алгоритмом эта тенденция проявляется еще резче.

На погрешность восстановления увеличение числа r проверочных символов корректирующего кода слабо влияет после $r = 4$ (рисунок 5) в плохом канале ($p = 10^{-1}$). В хорошем канале ($p < 10^{-4}$) погрешность оказывается приемлемой и без кодирования, поэтому можно рекомендовать применение для защиты адресной, временной и информационной частей сообщения коротких

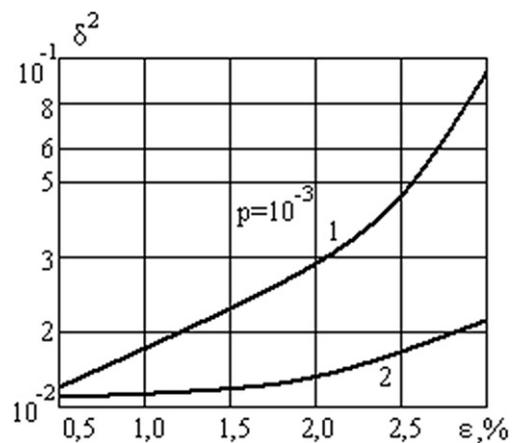


Рисунок 4 – Погрешности восстановления нестационарных сообщений

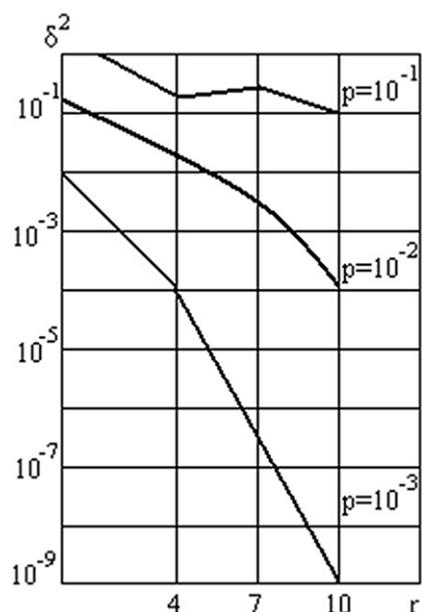


Рисунок 5 – Погрешность восстановления при использовании корректирующего кода

простейших циклических кодов Хэмминга. Этот вывод является следствием того, что группирование ошибок при передаче сжатых данных в каналах с памятью существенно (на 1-2 порядка) снижает погрешность восстановления сообщений по сравнению с передачей их в каналах с независимыми ошибками [10].

Заключение

В статье рассмотрены вопросы формирования служебной информации и помехоустойчивости передаваемых данных в радиотелеметрических системах. Приведены полученные зависимости объема служебной информации от коэффициента сжатия. Представленные результаты позволяют выбрать способ формирования служебной информации в зависимости от коэффициента сжатия. Анализ помехоустойчивости сжатых данных позволяет сделать вывод об использовании более простых алгоритмов сжатия данных по сравнению со сложными, несмотря на лучшую помехозащищенность последних.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свириденко В.А. Анализ систем со сжатием данных. – М.: Связь, 1977. – 184 с.
2. Адаптивные телеизмерительные системы / А.В. Фремке. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 248 с.
3. Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Космическая электроника. М.: Техносфера, 2015. – 696 с.
4. Назаров А.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике: Учебный курс. – СПб: Наука и техника, 2007. – 667 с.
5. Mamchev G.V. The radio communication and television bases. The manual for high schools. – М.: the Hot line – a Telecom, 2007. – 416 p.
6. Salamon D. Compression of data, images and a sound. – М.: Technosphere, 2004. – 368 p.
7. Некрасов М.В., Пакман Д.Н., Антамошкин А.Н. Методы унификации современных средств обработки телеметрической информации в центрах управления полётами космических аппаратов // Вестник СибГАУ. № 1 (53). – Красноярск, 2014. С. 48-53.
8. Есмагамбетов Б.-Б.С. Основные характеристики системы формирования потоков сжатых сообщений // Вестник Национальной Академии Наук РК. – Алматы, 2006. – № 3. – С. 16-17.
9. Есмагамбетов Б.-Б.С. Формирование служебной информации для систем с буферным запоминающим устройством // Доклады Национальной академии наук РК. – Алматы, 2006. – № 3. – С. 22-23.
10. Эльшафеи М.А., Сидякин И.М., Харитонов С.В., Ворнычев Д.С. Исследование методов обратимого сжатия телеметрической информации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. № 3. – М., 2014. С. 92-104.

Деректерді қысу ақпараттық-өлшеу жүйелеріндегі қызметтік ақпаратты оңтайландыру және бөгеуі орнықтылық

ЕСМАГАМБЕТОВ Болат-Батыр Саухымұлы, т.ғ.д., профессор, bulatbatyr@mail.ru,
М.О. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан, 160012, Шымкент,
Тәуке хан даңғылы, 5,

Аңдатпа. Мақала қызметтік ақпаратты оңтайлы қалыптастыру және радиотелеметриялық жүйелердегі кедергіге төзімділікті арттыру мәселелеріне арналған. Ғарыштық ұшу аппараттарының телеметриялық жүйелерінде деректердің қайтымсыз сығылуын пайдалана отырып, хабарламаларды қалыптастырудың бірнеше әдістерін пайдалануға болады. Шығу деректерінің арналық пакетінде оның құрамын анықтайтын бірнеше кодтық сөздер болуы мүмкін. Олар біріктірілуі және қатаң белгіленген реттілікке орналастырылуы мүмкін. Қызметтік ақпаратты беру қажеттілігі қабылдау-тарату жүйелерінің тиімділігін төмендетеді. Сондықтан қызметтік ақпарат көлемін қысқарту мәселесі өте өзекті болып табылады. Ақпараттық жүйелерде деректердің орасан зор ағындарын өңдеу кезінде олардың жекелеген өлшемдері немесе тұтас өлшеу топтары әртүрлі себептердің салдарынан, мысалы, өлшеу шкаласының шегінен шығуына байланысты бұрмалануы немесе жоғалуы мүмкін. Байланыс арналары арқылы беру кезінде қысылған деректерді қалпына келтіру хабарлардың ақпараттық және қызметтік бөліктерін бұрмалаумен байланысты қателіктермен қоса

беріледі. Сондықтан деректерді түрлендірудің барлық кезеңдерінде, оның ішінде қысу кезеңінде осы өлшемдердің дұрыстығын қамтамасыз ету қажеттілігі туындайды.

Кілт сөздер: деректерді қысу, қызметтік ақпарат, елеулі есептеулер, қысу коэффициенті, буферлік есте сақтау құрылғысы, телеметриялық кадр, бөгеул орнықтылық, кездейсоқ процесс, артықтық.

Optimization of Service Information and Noise Immunity in Data Compression Information and Measurement Systems

YESMAGAMBETOV Bulat-Batyr, Dr. Tech. Sci., Professor, bulatbatyr@mail.ru,
M.O. Auezov South Kazakhstan University, Kazakhstan, 160012, Shymkent, Tauke Khan Avenue, 5,

Abstract. The article is devoted to issues of optimal generation of service information and improvement of noise immunity in radio telemetry systems. In telemetry systems of spacecraft using irreversible data compression, several methods of generating messages can be used. In the channel output packet, there may be several codewords defining its composition. They can be combined and arranged in a strictly defined sequence. The need to transmit overhead information reduces the efficiency of the transceiver systems. Therefore, the problem of reducing the volume of service information is extremely urgent. When processing huge data streams in information systems, individual measurements or whole groups of measurements can be distorted or lost due to various reasons, for example, due to going beyond the scale of measurements. Recovery of compressed data during transmission on communication channels is accompanied by errors related to distortion of information and service parts of messages due to presence of interference in transmission channel. Therefore, it is necessary to ensure the reliability of the measurement data at all stages of data conversion, including the compression step.

Keywords: data compression, overhead information, significant counts, compression ratio, buffer memory, telemetry frame, noise immunity, random process, redundancy.

REFERENCES

1. Sviridenko V.A. Analiz sistem so szhatiem dannyh [Analysis of systems with data compression]. Moscow: Svjaz', 1977. 184 p.
2. A.V.Fremke. Adaptivnye teleizmeritel'nye sistemy [Adaptive telemetry systems]. Leningrad: Jenergoizdat, 1981. 248p.
3. Belous A.I., Soloduha V.A., Shvedov S.V. Kosmicheskaja jelektronika [Space Electronics]. Moscow: Tehnosfera, 2015. 696 p.
4. Nazarov A.V. i dr. Sovremennaja telemetrija v teorii i na praktike: Uchebnyj kurs. [Modern telemetry in theory and practice. Training course]. Saint Petersburg: Nauka i tehnika, 2007. 667 p.
5. Mamchev G.V. The radio communication and television bases. The manual for high schools. Moscow: the Hot line – a Telecom, 2007. 416 p.
6. Salamon D. Compression of data, images and a sound. – Moscow: Technosphere, 2004. 368 p.
7. Nekrasov M.V., Pakman D.N., Antamoshkin A.N. Metody unifikacii sovremennyh sredstv obrabotki telemetricheskoj informacii v centrakh upravlenija poljotami kosmicheskikh apparatov [Methods of nification of modern telemetry information processing tools in spacecraft flight control centers] // Vestnik SibGAU [Bulletin of SibSAU]. no. 1 (53). Krasnojarsk, 2014, pp. 48-53.
8. Yesmagambetov B.-B.S. Osnovnye harakteristiki sistemy formirovanija potokov szhatyh soobshhenij [Main characteristics of compressed message flow generation system] // Vestnik Nacional'noj Akademii Nauk RK [Bulletin of the National Academy of Sciences of Kazakhstan]. Almaty, 2006. – no. 3, pp. 16-17.
9. Yesmagambetov B.-B.S. Formirovanie sluzhebnoj informacii dlja sistem s bufernym zapominajushhim ustrojstvom [Generation of overhead information for systems with buffer memory] // Doklady Nacional'noj akademii nauk RK [Reports of the National Academy of Sciences of Kazakhstan]. Almaty, 2006. – no. 3, pp. 22-23.
10. Jel'shafei M.A., Sidjakin I.M., Haritonov S.V., Vornychyev D.S. Issledovanie metodov obratimogo szhatija telemetricheskoj informacii [Study of methods of reversible compression of telemetry information] // Vestnik MGTU im. N.Je. Baumana. Ser. Priborostroenie, no. 3 [Bulletin of MSTU named after N.E. Bauman. Ser. Instrument making, no. 3]. Moscow, 2014, pp. 92-104.