

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ОТ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ВИДЕОКОНТРОЛЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

М.М. Матюшин, Д.А. Махалов

Докт. техн. наук М.М. Матюшин; Д.А. Махалов (АО «ЦНИИмаш»)

В статье рассматривается разработанная специалистами Центра управления полетами АО «ЦНИИмаш» методика обработки информации, получаемой от бортовой системы видеоконтроля ракет-носителей «Союз», указаны особенности получаемой информации, методы восстановления искаженных участков. Приведены результаты обработки, полученные при пусках РН «Союз-2» и «Союз-ФГ».

**Ключевые слова:** обработка информации, ракета-носитель «Союз», бортовая система видеоконтроля (БСВК) РН, «Орбита IV-МО», ТПК «Союз MS-10», коды Рида-Соломона.

### **Automatic Processing of the Information Received from the Space Rocket Onboard Video Control System. M.M. Matyushin, D.A. Makhhalov**

The paper discusses the information processing method developed by the Mission Control Center (AO TSNIImash) specialists, used to process the information received from the Soyuz space rocket onboard video control system. Specific features of the information being received are presented. Methods of restoring corrupt information are proposed. The results of information processing during real Soyuz-FG and Soyuz-2 space rocket launches are given.

**Keywords:** information processing, Soyuz space rocket, space rocket onboard video control system, Orbita IV-MO, Soyuz MS-10 spacecraft, Reed-Solomon encoding.

Бортовая система видеоконтроля (БСВК) является новой системой, устанавливаемой на ракетах-носителях (РН) типа «Союз», и предназначена для сбора и передачи видеоинформации с целью контроля и видеофиксации процессов функционирования элементов РН на этапах подготовки к пуску, пуске и полете РН. БСВК РН обеспечивает видеоконтроль, в частности, следующих процессов функционирования РН «Союз» в полете:

- отделение боковых блоков, центрального блока, створок головного обтекателя, панелей хвостового отсека III ступени;
- отделение головного блока (разгонный блок + космический аппарат) от переходного отсека;
- ориентацию и вращение ракеты космического назначения (РКН);
- состояние переходного отсека во время полета.

БСВК была разработана с максимальным задействованием существующих технических средств и наземной инфраструктуры, с минимальными доработками бортовых систем РН. Формируемая БСВК видеoinформация передается на Землю в структуре телеметрического сигнала формата «Орбита IV-МО», принимается существующими наземными приемно-регистрирующими станциями (НПРС) и передается по существующим каналам передачи телеметрических данных.

Циклограмма работы БСВК определяется под каждый конкретный запуск на основании расчетных времен ключевых событий полета РН. Видеосъемка осуществляется в реальном масштабе времени тремя видеокамерами, результат передается в виде независимых видеокадров в формате JPEG. Несмотря на то, что реализуемая в БСВК технология обеспечивает существенно меньшую частоту формирования видеокадров в сравнении с потоковым видео, она обладает немаловажным преимуществом, а именно: искажение одного видеокадра никак не влияет на возможность декодирования последующих видеокадров. Информация БСВК передается на НПРС в режиме непосредственной передачи или в режиме воспроизведения из оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) БСВК. Данные в структуре «Орбита IV-МО» закодированы помехозащищенными кодами Рида-Соломона [1, 2] со следующими характеристиками:

- 16 – размер слова, в битах;
- 5888 – размер кодового блока в 16-разрядных словах;
- 5760 – количество информационных слов в блоке;
- 128 – количество проверочных символов;
- порождающий полином поля Галуа:

$$\alpha = 1 + x^4 + x^{13} + x^{15} + x^{16}; \quad (1)$$

- порождающий многочлен Рида-Соломона:

$$g(x) = \prod_{i=1}^{128} (x + \alpha^i). \quad (2)$$

Информация БСВК РН принимается одновременно несколькими наземными приемно-регистрирующими станциями (НПРС), расположенными по трассе полета РН, и передается различным потребителям. Потребители осуществляют прием и объединение потоков информации, обработку и отображение результатов.

Информация БСВК играет важную роль при анализе полета РН и возможных нештатных ситуаций, она позволяет оперативно и объективно формировать образ происходящих на РН процессов, впоследствии целенаправленно подтверждая или опровергая их по ТМИ, что подтверждается многолетним мировым опытом использования подобных систем на средствах выведения [3]. С.П. Королев говорил, что ракета, запущенная

в космос без радиотелевизионной аппаратуры, подобна камню, брошенному из средневековой пращи [4]. Особую значимость информация БСВК имеет на динамических участках, при этом следует отметить, что динамические процессы сопровождаются повышенными вибрациями и ухудшением принимаемого сигнала БСВК. Кроме того, высокоинформативный сигнал БСВК (3,14 Мбит/с) подвержен периодическим сбоям на всем интервале полета. Таким образом, существуют объективные препятствия к проведению анализа полета РН на всем активном участке с использованием видеоинформации, что придает особую актуальность работам, направленным на повышение качества обработки информации БСВК с восстановлением сбоев. В статье рассматривается разработанная авторами методика обработки информации БСВК, позволяющая эффективно восстанавливать сбойную информацию.

### **Обработка информации БСВК**

Для автоматизированной обработки поступающей информации БСВК в ЦУП АО «ЦНИИмаш» был создан специальный макет программного комплекса. Поскольку информация БСВК передается в структуре телеметрического сигнала по каналам передачи телеметрической информации (ТМИ), в основу программного комплекса были положены классические методы обработки ТМИ [5–9]. Общая методика обработки информации БСВК, реализованная в комплексе, включает в себя несколько этапов (рис. 1):

- прием потоков информации от НПРС в реальном времени или ввод информации из файлов;
- поиск кадров «Орбита IV-МО» в битовом потоке, полученном от каждой НПРС;
- выделение из найденных кадров кодовых блоков и декодирование их по методу Рида-Соломона;
- объединение кодовых блоков из различных принятых потоков в единый поток (единый носитель) на основе их качества (сбойности);
- выделение массивов полезной информации;
- разделение массивов полезной информации по режимам непосредственной передачи (НП) и воспроизведения (ВП);
- выделение видеок кадров JPEG из массивов полезной информации;
- обработка служебной информации видеок кадров JPEG, разделение видеок кадров по камерам;
- вывод результатов обработки видеоинформации БСВК пользователю в виде формуляров, изображений, видео и графиков; отображение в реальном времени.

Любое восстановление сбойной информации возможно лишь на основе знаний о ее структуре. Поэтому кратко рассмотрим иерархическую структуру кадра телеметрической системы «Орбита IV-МО» [10] (рис. 2).

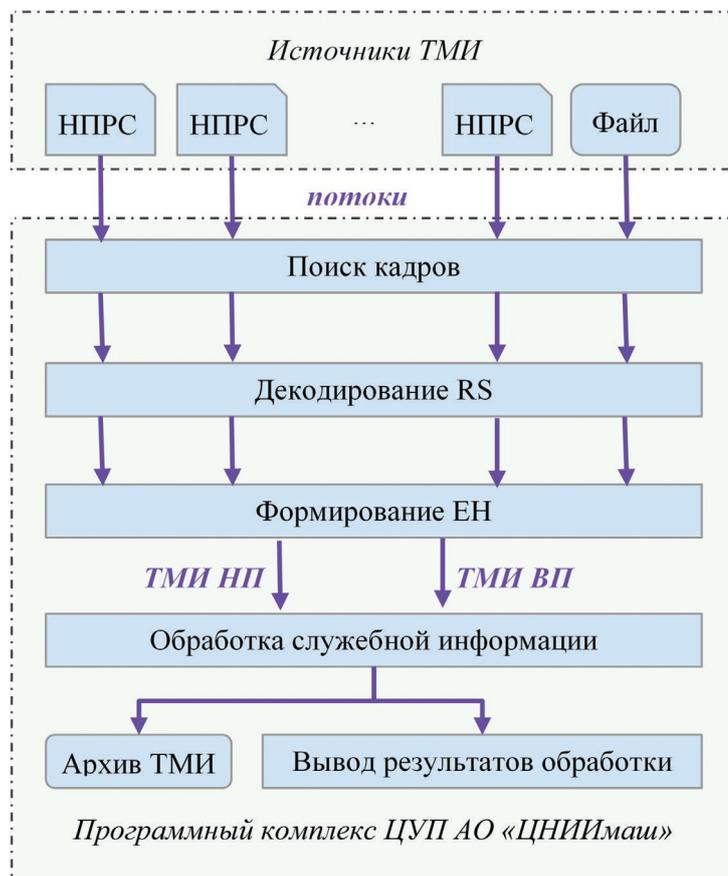


Рис. 1. Методика обработки информации БСВК

Кадр «Орбита IV-МО»				
Группа 1	Группа 2	...	Группа 127	Группа 128
<b>Группа</b>				
Фраза 1	Фраза 2	...	Фраза 127	Фраза 128
<b>Фраза</b>				
Слово 1	Слово 2	...	Слово М-1	Слово М
<b>Слово</b>				
Разряд 1	Разряд 2	...	Разряд 11	Разряд 12

Рис. 2. Структура кадра «Орбита IV-МО»

Кадр представляет собой иерархию элементов: каждый кадр передается ровно 1 секунду и состоит из 128 групп, каждая группа – из 128 фраз. Каждая фраза содержит M 12-разрядных слов. Число M зависит от текущей информативности системы и может принимать значения (16, 8, 4, 2, 1). При передаче видеоданных БСВК с использованием системы «Орбита IV-МО» задано M = 16, что соответствует информативности передачи:

$$128 \cdot 128 \cdot 16 \cdot 12 = 3\,145\,728 \text{ бит/с} \approx 3,14 \text{ Мбит/с.}$$

Старший разряд каждого нечетного слова фразы содержит переменную информацию: в зависимости от порядкового номера слова внутри фразы в нем передается бит маркера фразы или бит служебной информации группы. Остальные разряды нечетных слов, а также все разряды четных слов содержат измерительную информацию. Таким образом, в каждой фразе из 16 12-разрядных слов передается:

$$8 \cdot 11 + 8 \cdot 12 = 184 \text{ бита} = 23 \text{ байта}$$

видеоданных. При этом каждые 4 последовательные группы потока «Орбита IV-МО» (начиная с 1-й) образуют кодовый блок Рида-Соломона из 5888 16-разрядных слов. Каждый блок Рида-Соломона в соответствии с исходными параметрами кодирования содержит 5760 информационных слов и 128 контрольных слов.

Поиск кадров «Орбита IV-МО» в информационном потоке осуществляется по маркеру фразы путем последовательного сдвига предполагаемого места фразы по последовательности слов. Из найденных фраз выделяется служебная информация (рис. 3), по содержанию которой определяется, каким образом фразы разделить на группы, исходя из того, что старший разряд каждой нечетной фразы является разрядом служебной информации группы. Таким образом, в 128 последовательных фразах передается 64 разряда служебной информации группы.

Служебная информация для одной группы																																
64 разряда																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Маркер номера группы							M	Метка текущего времени (МТВ)																	Метка времени НОВ, старше 7 разрядов							0
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	
Метка времени НОВ, младше 7 разрядов							0	Шифр системы							Сигналы системы				МТВ, десятки тысяч секунд		Маркер группы или маркер цикла (в зависимости от номера группы)											

Рис. 3. Структура служебной информации для одной группы

Данные измерений из четырех последовательных групп (с 1 по 4 группы, с 5 по 8 группы и т. д.) объединяются в кодовый блок из 5888 16-разрядных слов и декодируются по методу Рида-Соломона (РС) [1, 2]. Декодирование кодового блока РС начинается с нахождения синдрома принятой последовательности. Синдромом называется последовательность символов, получаемых путем подстановки корней порождающего многочлена кода РС в многочлен кодового блока  $r(x)$ :

$$S_i = r(\alpha^{c(b+i)}), 0 \leq i \leq 2t-1. \quad (3)$$

Для БСВК  $t = 64$ ,  $c = 1$ ,  $b = 1$ .

Поскольку корни порождающего многочлена являются корнями любого корректного кодового блока, то при отсутствии ошибок все компоненты синдрома  $S_i = 0$ , и на этом декодирование заканчивается. Следует отметить, что вычисление элементов синдрома для 16-разрядных кодов РС является настолько трудоемкой операцией, что современный компьютер со средними характеристиками может не успевать выполнять в реальном времени декодирование потоков БСВК, поступающих одновременно с двух и более станций. Для решения этой проблемы применяется простая оптимизация, основанная на теории вероятности: если  $S_0 = 0$  и  $S_1 = 0$ , полагается, что все остальные  $S_i = 0$ , и вычислять их не требуется, а кодовый блок является корректным. Таким образом, декодирование корректной информации выполняется существенно быстрее поступления информации. Если же не все компоненты равны 0, то решается ключевая система уравнений для кода РС:

$$\sum_{j=0}^e \sigma_j S_{e-j+i} = 0, 0 \leq i \leq 2t-1-e, \quad (4)$$

где  $e$  – количество ошибок, которое является неизвестным, но предполагается, что оно не превышает  $t$ , а  $\sigma_j$  – неизвестные, являющиеся коэффициентами так называемого многочлена локатора ошибок  $\sigma(x)$ . Для решения ключевой системы уравнений используется итеративный алгоритм Берлекэмп-Мессе [1], использующий регистр сдвига с линейной обратной связью.

Имея коэффициенты многочлена локатора ошибок, позиции ошибок в кодовом блоке можно найти с помощью процедуры Ченя [1], которая основывается на том, что если в позиции  $n$  есть ошибка, то в этой позиции

$$\sum_{i=0}^e \sigma_i \alpha^{-c(in)} = 0. \quad (5)$$

Таким образом, процедура поиска позиций ошибок сводится к перебору всех возможных позиций  $n$  и вычислению указанной суммы для каждой позиции. Если эта сумма равна 0, то в соответствующей позиции содержится ошибка.

Для вычисления значений ошибок определяется многочлен значений ошибок

$$A(x) = \left[ \sigma(x)S(x) \right]_0^{2t-1}, \quad (6)$$

где  $\left[ f(x) \right]_i^j$  обозначает срез многочлена  $f(x)$  от  $i$  до  $j$ , то есть сумму его членов при степенях от  $i$  до  $j$  включительно. Многочлен  $A(x)$  можно вычислить как непосредственно, так и в процессе решения ключевой системы уравнений, используя модифицированный алгоритм Берлекэмп-Мессис [1].

Далее значения ошибок вычисляются по формуле Форни:

$$z_{n_j} = \frac{\alpha^{-c(b-1)n_j} A(\alpha^{-cn_j})}{\sigma'(\alpha^{-cn_j})}, \quad (7)$$

где  $\sigma'(x)$  – производная  $\sigma(x)$ , вычисляемая по обычным правилам вычисления производных от многочленов, с поправкой на то, что все арифметические операции производятся в соответствующем поле Галуа.

Для исправления любых  $e$  независимых ошибок и одновременно любых  $r$  независимых стираний должно выполняться условие:

$$2e + r \leq 2t, \quad (8)$$

где  $2t$  – число проверочных символов кода Рида-Соломона. То есть кодирование Рида-Соломона позволяет восстановить до 64 искаженных 16-разрядных слов в одном таком блоке, а при известных позициях ошибок (такие ошибки называют стираниями) – до 128 ошибок. В среднем алгоритм позволяет исправить от 75 % до 100 % искаженных кодовых блоков в записи информации БСВК с одного пуска РН. При этом с искажениями может оказаться до 20 % от общего числа кодовых блоков. Декодированные данные объединяются в массивы измерений и выдаются на дальнейшую обработку.

БСВК обеспечивает возможность одновременной передачи видеоданных в реальном масштабе времени и записи в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) или выдачи из него. Запись в память одновременно возможна с одной или двух видеокамер. Выдача изображения из ОЗУ БСВК осуществляется параллельно с выдачей изображений в режиме непосредственной передачи. Определение режима выдачи производится по 51-му биту служебной информации группы (0 – выдача НП, 1 – выдача НП+ВП). В информации режима НП+ВП содержится как информация непосредственной передачи (НП), так и информация, воспроизведенная (ВП) из ОЗУ, при этом нечетные слова массива полезной информации содержат информацию из ОЗУ, четные – информацию НП. Таким образом, при обработке ТМИ режима НП+ВП полученный массив измерений разделяется на массив измерений НП и массив измерений из ОЗУ.

Полученные массивы измерений содержат видеокadres, передаваемые непрерывным потоком в виде кадров-изображений формата JPEG [11], старшими разрядами вперед. При этом, к кадрам в формате JPEG присоединяются заголовки и эпилоги, позволяющие проверить целостность получения видеокadra (рис. 4). Заголовок и эпилог содержат собственные идентификаторы и счетчик видеокadres. Для каждой камеры ведется свой отдельный счетчик. Помимо этого, для контроля в эпилог записывается длина видеокadra в байтах.

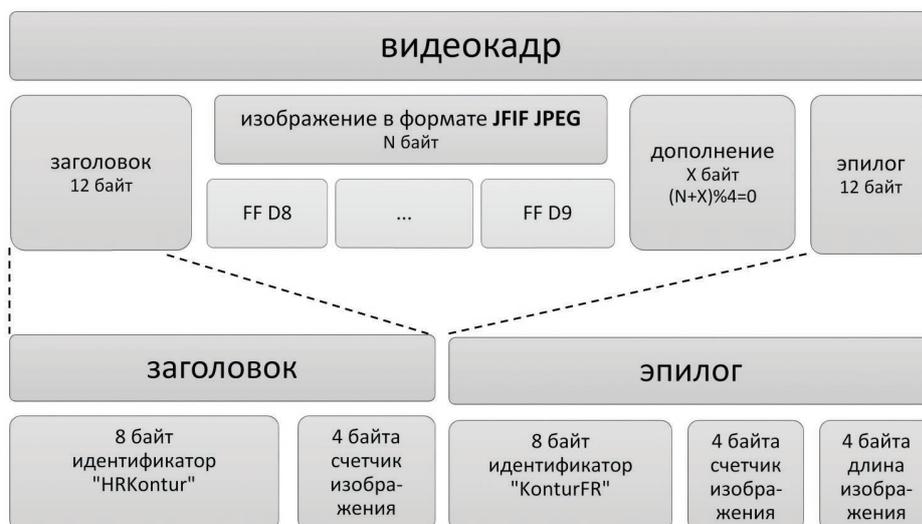


Рис. 4. Структура видеокadra

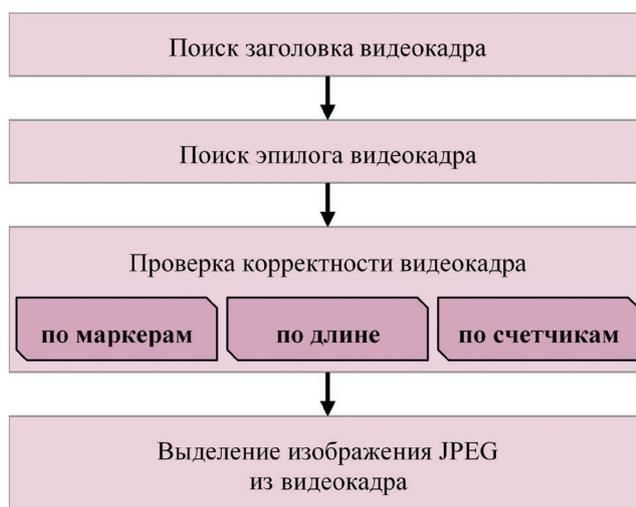


Рис. 5. Алгоритм выделения изображений из массива измерений

Выделение видеокadres из массивов измерений осуществляется по следующему алгоритму (рис. 5):

- 1) поиск заголовка по идентификатору заголовка;
- 2) поиск эпилога по идентификатору эпилога;
- 3) проверка найденного видеокadra на корректность:
  - наличие маркера начала изображения  $FFD8_{16}$  и маркера конца изображения  $FFD9_{16}$ ;
  - длина изображения в байтах с учетом маркеров начала и конца изображения в сумме с длиной дополнения кратна 4;
  - длина изображения с учетом маркеров начала и конца изображения совпадает с длиной изображения, записанной в эпилоге;
  - счетчик изображения камеры из заголовка видеокadra совпадает со счетчиком изображения камеры из эпилога;
- 4) выдача видеокadra в формате JPEG.

Определение камеры, снявшей полученный видеокادر, производится по номеру камеры, входящему в состав служебного заголовка EXIF каждого видеокadra. Также из заголовка EXIF можно выделить время съемки видеокadra в системе времени БСВК. Начальной точкой отсчета времени в БСВК считается время включения системы или время прохождения команды НОВ «Начало отсчета времени».

В заголовке EXIF передаются некоторые телеметрические параметры БСВК, которые на данном этапе обработки извлекаются из корректных видеокadres. В качестве примера таких параметров на рис. 6 приведены графики температуры трех видеокамер БСВК в градусах Цельсия.

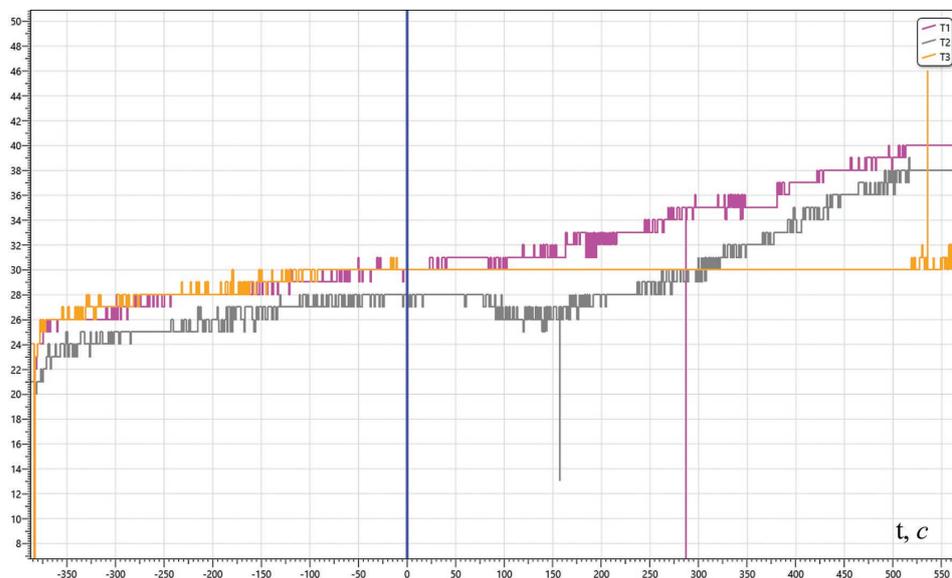


Рис. 6. Графики температур видеокамер БСВК по времени от КП

Примеры получаемых в результате обработки информации БСВК видеокадров с различных пусков приведены на рис. 7–10.

При передаче информации БСВК  $I$  с борта на НПС сигнал подвергается воздействию помех  $D$ , и на обработку поступает искаженный сигнал  $I' = \{I \cap D\}$ . В отличие от большинства видов телеметрической информации информация БСВК требует максимально качественной обработки зашумленных участков, ведь один искаженный байт может испортить целый видеокадр или его существенную часть. Для минимизации влияния искажений на результат обработки были разработаны специальные методы восстановления искаженной информации. Рассмотрим их подробнее.



Рис. 7. Пуск РН «Союз-У» с ТГК «Прогресс МС-05» 22.02.2017, космодром Байконур, 18 секунд после старта



Рис. 8. Пуск РН «Союз-2.1а» с КА «Канопус-В» № 3 и № 4 01.02.2018, космодром Восточный, отделение I ступени



Рис. 9. Пуск РН «Союз-2.1а» с ТГК «Прогресс МС-08» 13.02.2018, космодром Байконур, ТГК после отделения



Рис. 10. Пуск РН «Союз-2.1а» с ТГК «Прогресс МС-08» 13.02.2018, космодром Байконур, вид на Землю после отделения ТГК

### **Метод выбора информационного потока по качеству**

На всем протяжении полета информация БСВК принимается одновременно несколькими НПРС, расположенными по трассе полета. Например, в середине полета РН сигнал может приниматься четырьмя средствами космодрома Байконур и отдельным измерительным пунктом в г. Барнауле. При этом в обработку подается информация с одного выбранного потока. Если кодовый блок, выделенный из информации текущего потока, по кодам Рида-Соломона окажется некорректным, автоматически назначается текущим тот поток, у которого информация будет корректной.

Для реализации указанного метода выполняется полная временная синхронизация потоков от всех источников с точностью до миллисекунды. Хотя временная шкала на всех НПРС должна быть синхронизирована с СЕВ, это может не выполняться, и алгоритм синхронизации выполняет коррекцию времени отдельных потоков по служебной информации структуры «Орбита-IV». То есть время одного потока назначается эталонным, затем находятся одинаковые кодовые группы с других потоков и вычисляется разница времени между ними и группой эталонного потока.

### **Метод объединения частично корректных версий блоков**

В случае, когда кодовый блок, полученный из всех потоков, окажется некорректным, специальный алгоритм пытается объединить несколько версий этого кодового блока, считая достоверными слова, повторяющиеся в нескольких версиях, и помечая в качестве стираний слова, являющиеся везде различными. Коды Рида-Соломона способны исправить вплоть до 128 искаженных слов (см. формулу 8), если известны их позиции, и именно это свойство используется для восстановления зашумленной информации. В ходе экспериментальной отработки метода отмечены случаи успешного исправления до 127 ошибок в одном кодовом блоке. Указанный метод позволяет обрабатывать существенно зашумленную информацию, причем качество обработки тем выше, чем больше наземных измерительных станций одновременно ведет прием.

### **Метод обнаружения участков потерь информации**

Используя маркеры фразы и группы, метод поиска кодовых блоков обнаруживает потери слов, которые случаются при слабом уровне сигнала и на динамических участках. Кроме того, отдельные, достаточно крупные фрагменты информации могут пропадать при передаче информации с НПРС по сетям наземного сегмента. При обнаружении участка пропадания информации массив измерений дополняется нулевыми значениями по количеству неполученных слов измерений. Такое дополнение не может восстановить утерянную информацию, но позволяет сохранить структуру получаемого

видеокадра за счет того, что хороший участок видеокадра после потерянного будет «на своем месте». При этом итоговый видеокадр будет содержать пустую область. Пример такого видеокадра приведен на рис. 11. Блок с пропущенными участками также может быть использован для формирования объединенного кодового блока, алгоритм формирования которого описан выше. В этом случае для сравнения и объединения использоваться будут только действительно полученные (ненулевые) слова.



Рис. 11. Видеокадр с участком потерянной ТМИ.  
Пуск РН «Союз-2.1а» с КА «Канопус-В» № 3 и № 4 01.02.2018,  
космодром Восточный

### **Метод восстановления заголовков изображений JPEG**

В используемом формате изображений JFIF JPEG в начале изображения располагаются служебные заголовки и таблицы служебной информации [11]. Для видеокадров БСВК содержимое этих заголовков и таблиц определено документацией и, по большей части, является константным. При этом при некорректных значениях этой служебной информации полученный видеокадр может быть нечитаемым или отображаться некорректно даже при корректных значениях слов непосредственно изображения. Авторами разработан специальный модуль, который восстанавливает известные сбойные поля служебной части, таким образом увеличивая количество корректных видеокадров.

### **Метод восстановления номера камеры**

Полученные из информации БСВК видеокадры разделяются и выводятся отдельно для каждой камеры БСВК. При получении зашумленной ТМИ номер камеры, передаваемый в заголовке видеокадра, может быть искажен

и, вследствие этого, видеокадр может быть выведен на экран для другой камеры. Такие искажения ТМИ, как правило, не влияют на качество полученного видеокадра, но сильно осложняют анализ поведения РН на основе полученных видеокадров, а при работе в реальном времени приводят к мельканию изображений. С целью минимизации подобных ошибок при обработке информации БСВК разработан метод определения соответствующей видеокадру камеры, основанный на следующих критериях:

- счетчик видеокадров ведется отдельно для каждой камеры и изменяется от 0 до 255 с шагом 1;
- видеокадры передаются строго по очереди с каждой из работающих в данный момент камер (если работает не одна камера);
- зашумленный код номера камеры наиболее похож именно на код номера искомой камеры.

На основе этих критериев рассчитывается степень соответствия видеокадра той или иной камере. Видеокадр приписывается той камере, соответствие которой максимально.

### **Применение методов восстановления информации БСВК**

Получение корректных и максимально качественных результатов при обработке информации БСВК особенно важно при возникновении нештатных или аварийных ситуаций на участке выведения, особенно учитывая то, что нештатные ситуации на РН зачастую приводят к дополнительным вибрационным и ударным нагрузкам, вносящим искажения в передаваемый сигнал. Кроме того, при обработке информации БСВК в реальном времени с целью вывода ее для руководства или широкой общественности необходимо достигать максимально качественного результата. Применение разработанных методов восстановления позволяет исправить существенную часть искажений информации, зачастую возникающих при нештатных ситуациях, что может дать дополнительную информацию о функционировании систем и составных частей РН и сыграть решающую роль при анализе процесса выведения.

Информация БСВК наряду с телеметрической информацией, поступившей от систем БР-92 РН «Союз-ФГ» и МБИТС-ТКП ТПК «Союз МС», играла ключевую роль при анализе результатов нештатного выведения ТПК «Союз МС-10» 11.10.2018 и способствовала скорейшему установлению причин аварии. На рис. 12 представлено изображение, полученное при обработке информации БСВК на этом пуске, свидетельствующее о нештатном поведении блока «Д» первой ступени РН «Союз-ФГ» в процессе отделения. На рис. 13–14 представлены изображения с указанного пуска, полученные без использования описанных методов восстановления информации и после их использования.



Рис. 12. Пуск РН «Союз-ФГ» с ТПК «Союз МС-10» 11.10.2018, космодром Байконур, нештатное отделение I ступени



Рис. 13. Пуск РН «Союз-ФГ» с ТПК «Союз МС-10» 11.10.2018, космодром Байконур, восстановление видеокadra

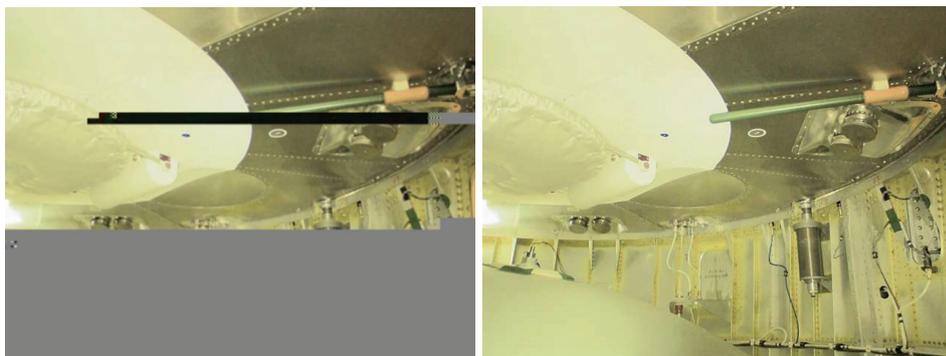


Рис. 14. Пуск РН «Союз-ФГ» с ТПК «Союз МС-10» 11.10.2018, космодром Байконур, восстановление видеокadra

## Представление результатов обработки

Авторами разработан макет программного комплекса, предназначенного для представления полученных результатов обработки информации БСВК в виде значений отдельных параметров, графиков, документов, изображений, видео. Также результаты обработки наглядно отображаются на формулярах системы отображения ТМИ, в режиме реального времени при поступлении ТМИ БСВК от РН через НПРС или в режиме воспроизведения обработанной информации БСВК с заданного пуска из архива телеметрического информационно-вычислительного комплекса ЦУПа [9]. Реализована возможность воспроизведения информации БСВК совместно с ТМИ РН и транспортного корабля с одного и того же пуска для их совместного анализа. На рис. 15 представлен формуляр системы отображения ТМИ, на котором пользователь может видеть видеокadres, полученные с каждой из камер, принимаемые от БСВК РН в реальном времени. Если информация с какой-либо камеры не поступает в данный момент, ее изображение на формуляре затеняется. На рис. 16 представлен формуляр-мнемосхема, отображающая циклограмму реальной работы БСВК, построенную по принятой информации с указанием основных событий пуска. На циклограмме отображается наличие информации БСВК, включение и выключение видеокамер, периоды записи и чтения из ОЗУ БСВК.



Рис. 15. Отображение видеоданных с камер БСВК на формуляре.  
Пуск РН «Союз-2.1а» с ТПК «Союз МС-18» 09.04.2021,  
космодром Байконур

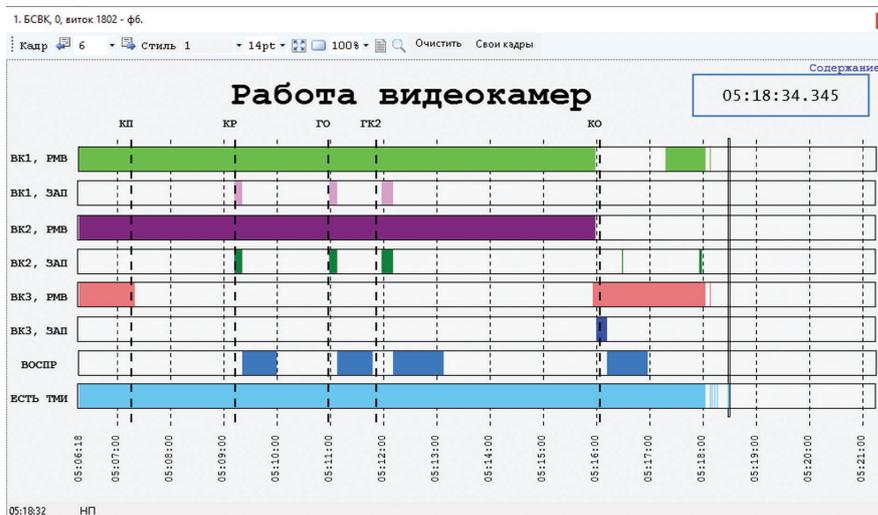


Рис. 16. Циклограмма работы видеокамер.  
 Пуск РН «Союз-2.1а» с КА «Канопус-В» № 3 и № 4 01.02.2018,  
 космодром Восточный

При отображении видеоинформации особое внимание уделяется плавности смены кадров. Неравномерность поступления ТМИ, вызванная особенностями передачи ТМИ по каналам связи, особенностям обработки, переключением с одной НПСР на другую и пр., полностью нивелируется в программе отображения ТМИ с использованием точного времени формирования каждого видеокadra и небольшой буферизации изображений на время, не более 400 мс.

В процессе обработки информации БСВК вычисляются различные параметры о получаемом потоке, содержащие информацию о качестве информации и ее информативности, диагностические параметры БСВК, служебную информацию. На рис. 17 приведен пример графиков частоты передачи видеокadров с каждой камеры, вычисленной по формуле:

$$v_i = \frac{1}{t_{i-1} - t_i}, \tag{9}$$

где  $t_i$  – время получения  $i$ -го кадра. Видно, что в процессе полета эта частота постоянно меняется, что связано со следующими условиями:

1. Выдача информации воспроизведения (см. циклограмму на рис. 16) приводит к двукратному снижению частоты передачи видеокadров реального времени.
2. Видеокadры с большим числом мелких деталей в формате JPEG имеют больший размер, следовательно, передаются реже по каналу с фиксированной информативностью (3,14 Мбит/с).

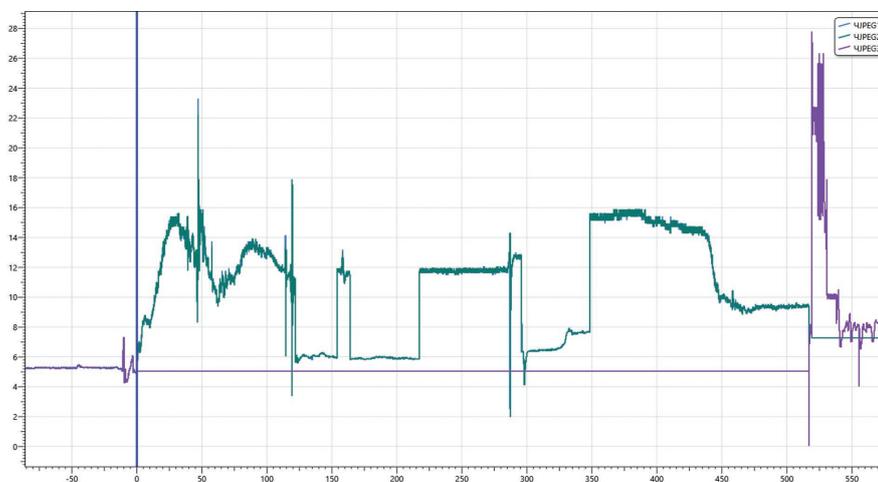


Рис. 17. Частота передачи видеокадров с каждой камеры

3. При передаче видеокадров с трех видеокамер (передается до 0 секунды – до КП) частота каждой камеры минимальна, а при передаче с одной камеры (начиная с 525-й секунды) – максимальна.

## Заключение

На РН «Союз» устанавливается бортовая система видеоконтроля (БСВК), передающая информацию, крайне важную для проведения анализа причин возникновения и развития нештатных и аварийных ситуаций в полете РН, а также оперативного контроля полета РН. Высокий уровень влияния возникающих искажений информации на качество результатов обработки обуславливает потребность разработки специальных методов восстановления искажений. В статье предложены новые методы обработки информации от БСВК и восстановления сбойных видеокадров, позволяющие повысить качество изображений и обрабатывать в том числе существенно зашумленную информацию. Разработанные методы основываются на структуре кадра БРТС «Орбита-IV», формата заголовков изображений JPEG и свойствах кодов Рида-Соломона. Создан макет программного комплекса, реализующего разработанные методы, который успешно применяется для обработки информации БСВК как в реальном времени, так и в отложенном режиме. Созданный комплекс использовался для восстановления искаженных видеоизображений, полученных с БСВК РН «Союз-ФГ» в процессе аварийного запуска ТПК «Союз МС-10» 11.10.2018.

В развитие описанных методов восстановления информации планируется разработка метода восстановления, учитывающего особенности структуры изображений в формате JPEG, а также рекурсивное использование указанных методов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Титов А.М. Применение кодов Рида-Соломона для передачи данных от бортовых телеметрических систем и вычислительных комплексов // Космонавтика и ракетостроение. – 2020. – Вып. 5(116). – С. 114–129.
- [2] The Consultative Committee for Space Data Systems. TM synchronization and channel coding. Recommendation for Space Data System Standards // CCSDS 131.0-B-3. Blue Book. Issue 3. Washington, D.C.: CCSDS, September 2017.
- [3] Ridenoure R. RocketCam systems for providing situational awareness on rockets, spacecraft, and other remote platforms // SPIE Proceedings volume 5418 Spaceborne Sensors (1 September 2004), Defense and Security, 2004.
- [4] Теория и практика космического телевидения / Под редакцией Умбиталиева А.А., Цыцулина А.К. – СПб.: НИИ телевидения, 2017.
- [5] Таченов С.А. Особенности анализа полных потоков ТМИ от КА и РН // Сборник статей VII научно-технической конференции молодых ученых и специалистов Центра управления полетами. – г. Королев, ЦНИИмаш, 2017. – С. 240–248.
- [6] Титов А.М. Реализация преобразований значений телеметрических параметров. Часть 1 // Космонавтика и ракетостроение. – 2016. – Вып. 8(93). – С. 77–86.
- [7] Титов А.М. Реализация преобразований значений телеметрических параметров. Часть 2 // Космонавтика и ракетостроение. – 2017. – Вып. 1(94). – С. 75–82.
- [8] Матюшин М.М., Титов А.М. Теоретические основы обработки телеметрической информации: монография. – М.: Машиностроение-Полет, 2018.
- [9] Махалов Д.А., Титов А.М. Автоматизированный анализ телеметрической информации // Космонавтика и ракетостроение. – 2017. – Вып. 2(95). – С. 146–155.
- [10] ОАО «ОКБ МЭИ». Система ИТС «Орбита IV АН5-01». Руководство по эксплуатации. ЯГАИ.468157.124 РЭ. 2012.
- [11] The International Telegraph and Telephone Consultative Committee. Information technology – Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images – Requirements and Guidelines // CCITT Recommendation T.81. CCITT, September 1992.

## REFERENCES

- [1] Titov A.M. Application of Reed-Solomon Codes for Data Transmission from On-board Telemetry Systems and Computer Systems // Cosmonautics and Rocket Engineering. – 2020. – No 5(116). – pp. 114–129.
- [2] The Consultative Committee for Space Data Systems. TM synchronization and channel coding. Recommendation for Space Data System Standards // CCSDS 131.0-B-3. Blue Book. Issue 3. Washington, D.C.: CCSDS, September 2017.
- [3] Ridenoure R. RocketCam Systems for Providing Situational Awareness on Rockets, Spacecraft, and other Remote Platforms // SPIE Proceedings volume 5418 Spaceborne Sensors (1 September 2004), Defense and Security, 2004.
- [4] Theory and Practice of Space Television / Edited by Umbitaliev A.A., Tsytsulin A.K. – SPb.: Research Institute of Television, 2017.
- [5] Tachenov S.A. Features of the Analysis of the Full Telemetry Streams Received from Spacecraft and Launch Vehicles // Proceedings of the VII Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists of the Mission Control Center – Korolev, AO TsNIIMASH. 2017. pp. 240–248.

- 
- [6] Titov A.M. Implementing Transformations of Telemetry Parameters. Part 1 // Cosmonautics and Rocket Engineering. – 2016. – No 8(93). – pp. 77–86.
- [7] Titov A.M. Implementing Transformations of Telemetry Parameters. Part 2 // Cosmonautics and Rocket Engineering. – 2017. – No 1(94). – pp. 75–82.
- [8] Matyushin M.M., Titov A.M. Theoretical Basis of a Telemetry Information Processing: Monograph. – Moscow: Mashinostroenie-Polyot, 2018.
- [9] Makhalov D.A., Titov A.M. Automated Analysis of Telemetry Information // Cosmonautics and Rocket Engineering. – 2017. – No 2(95). – pp. 146–155.
- [10] OAO OKB MEI. ITS System “Orbita IV AN5-01”. Manual. YaGAI.468157.124 RE. 2012.
- [11] The International Telegraph and Telephone Consultative Committee. Information technology – Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images – Requirements and Guidelines // CCITT Recommendation T.81. CCITT, September 1992.