

УДК 621.327:681.5

Р.И. Акимов,  
А.Н. Додух,  
А.Ю. Школьник

## ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПРЕССИИ АЭРОИЗОБРАЖЕНИЙ

*В статье идет речь об использовании технологий сжатия видеоданных для уменьшения цифрового объема видеоинформации, однако для интегрирования их на борту авиационных средств наблюдения требуется учитывать специфические условия. Проводится анализ существующих методов сжатия с учетом характеристик бортовой аппаратуры. Обосновывается направление совершенствования технологий компрессии изображений воздушного наблюдения.*

**Ключевые слова:** аэрокосмический мониторинг, компрессия изображений.

*У статті йдеться про використання технологій стиснення відеоданих для зменшення цифрового обсягу відеоінформації, однак для інтегрування їх на борту авіаційних засобів спостереження вимагається враховувати специфічні умови. Проведено аналіз наявних методів стиснення з урахуванням характеристик бортової апаратури. Обґрунтовується напрям удосконалення технологій повітряного спостереження.*

**Ключові слова:** аерокосмічний моніторинг, компресія зображень.

*The use of the technologies of video data compression for the contraction of video information digital volume is considered. An analysis of the existing methods of the contraction, taking into account the characteristics of onboard equipment, is carried out. The direction of the improvement of the technologies of air observation is proved.*

**Keywords:** space monitoring, compression of images.

Важным условием эффективного использования средств аэронаблюдения является обеспечение снижения времени доведения видеоинформации. На время доведения данных с борта БПЛА влияют скорость передачи данных по каналу связи и объемы передаваемых видеоданных [1; 2]. Таким образом, повышение оперативности доведения информации возможно на основе:

1) повышения скорости передачи данных с борта БПЛА. Однако реализации данного направления препятствуют ограниченные энергетические возможности бортовой аппаратуры передачи данных;

2) внедрения информационно-вычислительных систем, имеющих высокое быстродействие, также ограничивается мощностью источников питания на БПЛА и необходимостью дополнительных финансовых затрат;

3) уменьшения объемов обрабатываемых и передаваемых данных.

Необходимо отметить, что изображения характеризуются наличием различных видов избыточности (структурной, вероятностно-статистической, психовизуальной) [3; 4]. Поэтому *актуальной научно-прикладной тематикой исследования* является снижение времени доставки видеoinформации за счет компактного представления видеоданных на борту БПЛА.

### **Обоснование критерия эффективности процессов компактного представления видеоданных для бортовых средств**

С учетом предварительной компрессии изображений оперативность доставки данных определяется суммарным временем  $T(W_{сж})_д$  на компрессию и передачу сжатых данных с борта, т.е.  $T(W_{сж})_д = T_{сж} + T(W_{сж})_{пер} + T_в$ . Здесь  $T(W_{сж})_д$  – время доведения по каналам связи сжатых видеоданных;  $T_{сж}$ ,  $T_в$  – соответственно временные затраты на сжатие и на восстановление;  $v(V)_{сж}$ ,  $v(V)_в$  – количество операций, отводимое на сжатие и восстановление изображений, содержащих  $V$  элементов.

Организация компактного представления изображений на борту БПЛА связана с рядом условий, а именно:

1. Формирование изображений насыщенных мелкими объектами, что ограничивает возможность использования методов сжатия, базирующихся на сокращении вероятностно-статистической избыточности.

2. Наличие ограничений на скорость передачи данных с борта БПЛА с одной стороны, и повышением размеров изображений с другой стороны. Это приводит к необходимости повышения степени  $k_{сж}$  сжатия изображений,  $k_{сж} = W/W_{сж}$ , где  $W_{сж}$  – объем сжатого изображения. Понятно, что степень сжатия должна быть не менее заданной  $k_з$ , т.е.  $k_з \leq k_{сж}$ .

3. Наличие ограничений на энергетические возможности бортовой аппаратуры обработки данных. В первую очередь такое требование заключается в наложении ограничений на количество машинных операций, затрачиваемых на сжатие  $v_{сж}$  и восстановление  $v_в$  изображений.

4. Дистанционное получение информации о динамично меняющейся обстановке, и о заранее неизвестных объектах наблюдения. Это приводит к дополнительному ограничению на возможность внесения искажений в процессе компрессии. Количественным показателем степени искажений при обработке изображений является значение  $h_{сж}$  пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ). При этом должно выполняться неравенство  $h_{сж} \geq h_{тр}$ , где  $h_{тр}$  – требуемое значение пикового отношения сигнал/шум.

Положительный эффект от сжатия в процессе доведения данных обеспечивается в случае выполнения неравенства (рис. 1):  $T(W_{сж})_д \leq \min\{T(W)_{тр}; T_{доп}\}$  при

соответствии ограничениям, вызванных условиями функционирования бортовой аппаратуры, а именно:  $h_{сж} \geq h_{тр}$ .

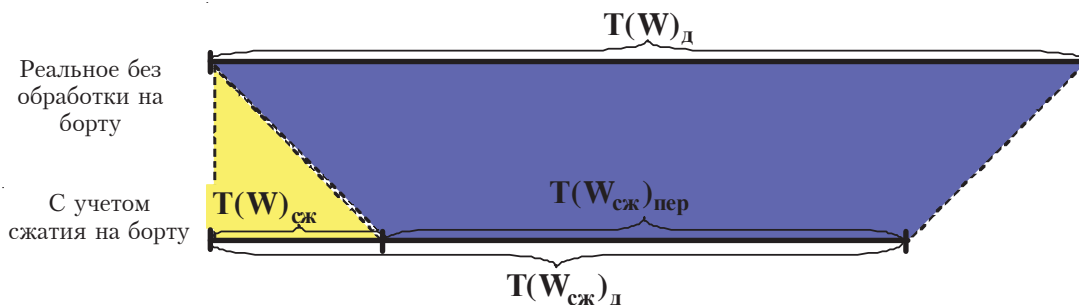


Рис. 1. Схема формирования времени доставки компактно представленных видеоданных

Здесь  $W$  – объем изображения в битах;  $T(W)_{тр}$  – необходимое время для доведения видеоданных требуемого объема, равного  $W$  бит;  $T_{доп}$  – допустимое время на доставку видеоданных с борта БПЛА с учетом ограничений на мощность бортового оборудования, время сеанса связи и времени между формированием соседних кадров  $T_{доп} = \min\{t_{сж}; t_{мк}; t_{м}\}$ ;  $t_{сж}$  – время, отводимое на сеанс связи между БПЛА и получателем информации;  $t_{мк}$  – время между формированием соседних кадров на борту БПЛА с учетом скорости и высоты полета БПЛА;  $t_{м}$  – временное ограничение на доставку данных с учетом энергетических возможностей БПЛА.

Значит, целью исследований является обоснование и выбор направления совершенствования технологий сжатия аэроизображения в системах кризисного управления для обеспечения повышения оперативности доставки видеoinформации.

#### Обоснование направления совершенствования технологий компрессии видеоданных в системе аэрокосмического мониторинга

Известные методы сжатия изображений по степени вносимых погрешностей разделяются на три класса (рис. 2) [3–6]. Первый класс методов составляют методы осуществляющие сжатие без внесения погрешности. В этом случае восстановленное изображение побитно совпадает с исходным изображением. Основными представителями данного класса являются: методы статистического кодирования; методы сжатия с выявлением цепочек элементов, имеющих одинаковые значения (модифицированный метод длин серий, метод LZW). На основе совместного использования комбинаций методов с выявлением одинаковых цепочек и статистического кодирования строятся методы сжатия данных, реализованные в таких форматах, как BMP, GIF, TIFF. Главный недостаток таких методов заключается в том, что они не обеспечивают необходимых значений степени сжатия реалистических изображений (табл. 1).

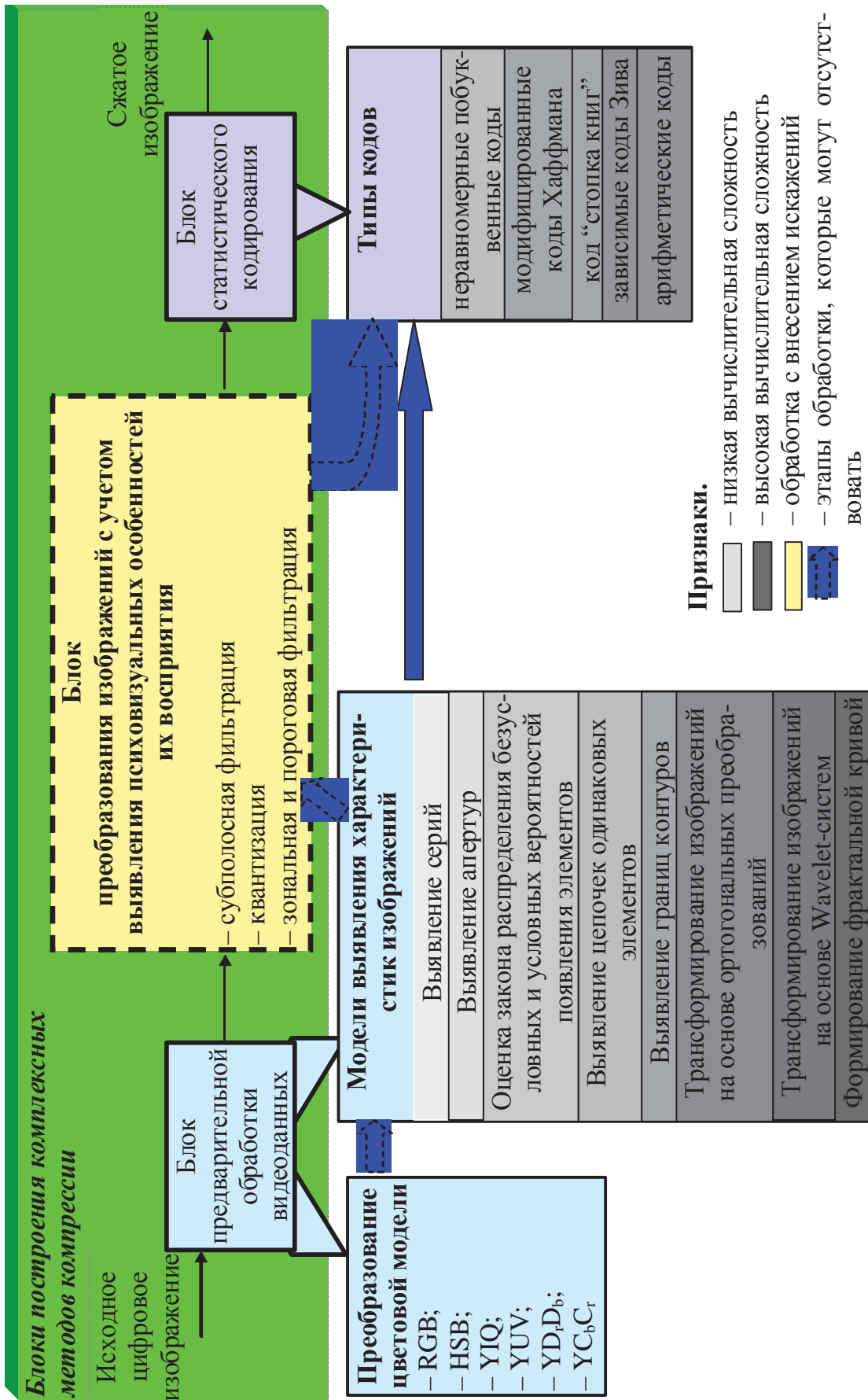


Рис. 2. Классификация моделей формирования компрессируемых изображений

СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Из анализа данных в табл. 1 следует, что степень сжатия достигает в среднем 2 раз. Такая степень сжатия позволяет обрабатывать и передавать необходимые объемы видеоданных  $W$  в течении *нескольких десятков минут* (табл. 2 и табл. 3). За требуемое время доведения будет получено не более чем 30 % от необходимого объема информации.

Таблица 1

Значение  $k_{сж}$  для разных типов изображений

Метод сжатия	Реалистические изображения	
	сильнонасыщенные	средненасыщенные
LZW	1,5	1,7
Арифметическое кодирование	1,15	1,3
JPEG	4	8
JPEG 2000	1,7	2,2

Таблица 2

Значения времени обработки и передачи сжатых средненасыщенных изображений по каналам связи, сек

Метод сжатия	$Z_{стр} \times Z_{стб}$	Скорость передачи данных, Кбит/с					
		9,6	64	128	256	2048	4096
LZW	800x600	410	64	35	16	2,2	1,1
	1024x1024	877	137	67	35	4,2	2,2
	1600x1200	1610	245	125	68	7,7	4
Арифметическое кодирование	800x600	600	90	45	22	2,8	1,4
	1024x1024	1310	146	98	49	6	3
	1600x1200	2400	360	180	90	11	5

Таблица 3

Значения минимального времени передачи сжатых средненасыщенных изображений по каналам связи, сек

Метод сжатия	$Z_{стр} \times Z_{стб}$	Скорость передачи данных, Кбит/с			
		9,6	64	256	4096
JPEG	800x600	133	20	5	0,3
	1024x1024	291	44	11	0,7
	1600x1200	535	80	20	1,2
JPEG 2000	800x600	120	18	4,5	0,28
	1024x1024	262	39	9,8	0,6
	1600x1200	<b>480</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>1</b>

Наибольшая степень сжатия достигается на основе методов, принадлежащих второму классу – методов, осуществляющих сжатие с потерей качества (табл. 1). За необходимое время доведения может быть передано не более, чем 10 % от необходимого объема информации, что не удовлетворяет требованиям к процессам управления кризисными объектами.

Таблиця 4

Значения времени обработки изображений, сек

Метод сжатия	$Z_{стр} \times Z_{стб}$			
	800x600	1024x1024	1600x1200	4000x3000
JPEG	4,2	9,6	15	102
JPEG 2000	3	6	11	72

Вторую группу методов составляют методы сжатия, использующие предварительную аппроксимирующую обработку. Под аппроксимирующей обработкой понимается описание блоков элементов изображений заданной функцией. Методы сжатия, основанные на такой обработке, используются в таких графических форматах как JPEG и JPEG2000 [3–6]. Исходя из особенностей обработки для данной группы методов свойственны следующие недостатки:

- коэффициент сжатия прямо пропорционально зависит от степени вносимых искажений;
- даже в случае использования быстрых ортогональных преобразований время на их выполнение на современных вычислительных системах достигает *нескольких минут*;
- резкое снижение степени сжатия до 1,5 раз в случае обработки насыщенных реалистических изображений.

Следовательно, уменьшение времени доведения информации для методов данной группы, обусловленное повышением степени сжатия, сопровождается безвозвратными потерями информации.

Методы сжатия *третьего* класса строятся с учетом снижения влияния недостатков, свойственных методам первых двух классов, на характеристики процессов компактного представления и восстановления видеоданных. Для этого используются комбинированные аппроксимирующие функции, и исключается этап, связанный с квантизацией компонент ортогональных преобразований. Данные подходы используются в методах сжатия формата JPEG2000 без потери качества [4]. Это позволяет снизить количество операций по сравнению с выполнением двумерных ортогональных преобразований в среднем на 30 %. Однако в этом случае снижается степень неравномерности распределения компонент ортогональных преобразований и уменьшается количество нулевых элементов.

На основе проведенного анализа следует, что существующие методы сжатия не обеспечивают системных требований относительно объемов передаваемым видеоданных с необходимым качеством за требуемое время обработки.

На основе проведенного анализа недостатков методов сжатия следует, что для повышения оперативности доведения информации необходимо:

1) осуществлять сжатие изображений с контролируемой потерей качества с использованием апертурной аппроксимации;

2) сжатие апертурных характеристик должно проводиться не только на основе сокращения статистической избыточности, но и на основе уменьшения структурной избыточности.

Достоинством такого подхода совершенствования методов сжатия является то, что на выявление апертур затрачивается относительно небольшое количество операций, искажения из-за аппроксимации носят контролируемый характер. Это создает потенциальные возможности для осуществления дополнительного структурного кодирования, что повысит степень сжатия видеоданных. Кроме того, апертурное представление изображений является более гибким к изменению структурных свойств фрагментов изображений по сравнению с ортогональными преобразованиями. Для ортогональных преобразований свойственно следующее противоречие: с одной стороны дискретное косинусное преобразование (ДКП) обеспечивает меньшую ошибку аппроксимации для слабонасыщенных изображений по сравнению с преобразованиями Хаара и Уолша. С другой стороны для сильнонасыщенных изображений преобразования Хаара и Уолша для восстановленных изображений обеспечивают меньшие визуальные искажения, чем визуальные искажения для ДКП. Поскольку в системах управления кризисными объектами используются реалистические и искусственные изображения, то выбор одного из типов ортогональных преобразований не приведет к наименьшей ошибки аппроксимации. Апертурное представление на изменение структурного содержания проявляется в изменении длины аппретуры, описывающей цепочку одинаковых элементов изображения.

Таким образом, можно заключить, что совершенствование методов компрессии изображений с контролируемой потерей их качества, обеспечивающих повышение оперативности сокращения объемов изображений и передачи информации, требуется проводить на основе предварительного выявления апертурных характеристик и дополнительного сокращения структурной избыточности.

#### *Выводы*

1. Использование технологий сжатия видеоданных (ТСВ) обеспечит: уменьшение цифрового объема видеoinформации, однако для интегрирования ТСВ на борту БПЛА требуется учитывать как особенности функционирования БПЛА, так и то, что основным классом видеоданных, формируемых на борту БПЛА, являются сильнонасыщенные мелкими деталями изображения.

2. Проведенный анализ существующих методов сжатия с учетом характеристик бортовой аппаратуры БПЛА выявил, что они не обеспечивают системных требований относительно объемов передаваемым видеоданным данных с необходимым качеством за требуемое время обработки.

3. Из анализа недостатков существующих методов сжатия следует, что для повышения оперативности доведения информации требуется разработать метод, обеспечивающий:

1) сжатие изображений с контролируемой потерей качества с использованием апертурной аппроксимации;

2) сжатие апертурных характеристик не только на основе сокращения статистической избыточности, но и на основе уменьшения интегрированной структурной избыточности.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Лабутина И.А.* Дешифрование аэрокосмических снимков: Учебное пособие / И.А. Лабутина. – М. : Аспект-Пресс, 2004. – 184 с.
2. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений : Конспект лекций / В.Б. Кашкин. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 121 с.
3. *Сэлмон Д.* Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
4. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева – Х. : ХУПС, 2009. – 252 с.
5. *Баранник В.В.* Методология обработки изображений в системах аэрокосмического мониторинга / В.В. Баранник, Ю.Н. Колтун // Сучасна спеціальна техніка. – № 1 (24). – 2011. – С. 12–17.
6. *Яковенко А.В.* Методологічні основи комплексного представлення зображень з контрольованою погрешністю / А.В. Яковенко // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – Вип. 2 (14). – С. 128–131.

Отримано 20.02.2012