

СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник, доктор технічних наук, професор,
А.В. Яковенко, кандидат технічних наук,
А.Ю. Школьник,
В.В. Шинкарев

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ВИДЕОМОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Проводится анализ способов применения средств аэрокосмического мониторинга с учетом изменения особенностей возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Анализируются тенденции развития источников информации в процессе дистанционного мониторинга. Устанавливается взаимосвязь цикла управления в процессе мониторинга и времени на доведение видеoinформации. Обосновывается необходимость совершенствования технологий формирования и обработки видовых изображений.

Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг, компрессия изображений.

Здійснено аналіз способів застосування засобів аерокосмічного моніторингу з урахуванням зміни особливостей виникнення і ліквідації надзвичайних ситуацій. Досліджено тенденції розвитку джерел інформації у процесі дистанційного моніторингу. Встановлено взаємозв'язок циклу управління у процесі моніторингу й часу на доведення відеоінформації. Обґрунтовано необхідність удосконалення технологій формування й обробки видових зображень.

Ключові слова: аерокосмічний моніторинг, компресія зображень.

Analysis of ways of an application of means of space monitoring, taking into account the change of features of an occurrence and liquidation of emergency situations, is carried out. Tendencies of the development of sources of an information in the course of remote monitoring are analyzed. The interrelation of a cycle of management in the course of monitoring and time for video information finishing is established. The necessity of the perfection of technologies of formation and processing of the specific images is proved.

Keywords: space monitoring, compression of images.

Качественное развитие средств сбора, обработки и передачи видеoinформации с использованием беспроводных технологий послужило мощным толчком в развитии аэрокосмического мониторинга. В первую очередь, это касается использования аэрокосмического мониторинга для получения информации о кризисных объектах, о процессе ликвидации чрезвычайных ситуаций. В то же время меняются не только условия реализации мониторинга, но и средства его организации. Это приводит к появлению проблемных особенностей организации аэровидеомониторинга. Поэтому актуальной *научно-прикладной задачей* является выявление противоречивых сторон функционирования аэрокосмической системы видеомониторинга. Соответственно *цель исследований* заключается в разработке методологического анализа базовых этапов сбора видеoinформации средствами аэрокосмического мониторинга.

Анализ условий видеотелеинформационного обеспечения систем аэрокосмического мониторинга чрезвычайных ситуаций

В соответствии с задачами, определенными концепциями и законами Украины относительно обеспечения комплексной безопасности, развития космической отрасли, телекоммуникаций, связи и информатизации, необходимо обеспечить [1–3]:

1) мониторинг стратегических объектов. Актуальность данного направления обусловлена наличием таких объектов как: атомные и гидроэлектростанции; нефтехимические производства, металлургические предприятия и нефтегазовая транспортная система;

2) обеспечение мониторинга и безопасности мероприятий международного значения, в том числе, международных симпозиумов и конференций, Евро-2012;

3) мониторинг ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) естественного и техногенного характера на территории Украины. В зависимости от происхождения, ЧС подразделяют на техногенные и естественные. Актуальность такого направления подчеркивается периодически возникающими за последнее время ЧС, а именно: наводнения на западной Украине; пожары в лесных массивах; взрывы на арсеналах боеприпасов; чрезвычайные ситуации в зоне Чернобыльской АЭС.

Для реализации такого мониторинга необходимо учитывать особенности ЧС. Анализ современных ЧС, происходивших за последнее десятилетие, показывает, что их характер приобрел такие особенности как [4]: быстротечность и резкая смена текущей обстановки; удаленность средств кризисного управления от объектов контроля; расширение географических масштабов ЧС; повышение влияния ЧС в качественном и количественном плане на человеческие, экономические и материальные ресурсы государства.

В этих условиях необходимо организовывать усовершенствование существующих и внедрение новых форм и способов управления кризисными ситуациями. Решение задачи управления на любом этапе заключается в получении информации, ее обработке и выведении принятых решений на другие уровни. В общем случае цикл управления включает в себя следующие основные процессы, а именно: формирование информации о различных объектах; передача информации; сбор и обработка данных; анализ полученной информации, принятие решений и выдача указаний.

В соответствии с основными этапами переработки информации и выработки решений время цикла управления $T_{\text{ц}}^{\text{у}}$ зависит от времени $T_{\text{сб}}$ сбора информации; время $T_{\text{ан/пр}}$ анализа и принятия решения; время $T_{\text{пв}}$ передачи и выполнения решений, т.е. $T_{\text{ц}}^{\text{у}} \sim T_{\text{сб}} + T_{\text{ан/пр}} + T_{\text{пв}}$. Время, затрачиваемое на сбор информации, находится по формуле. Здесь $T_{\text{цз}}$ – время передачи информации о целях и задачах управления; T_{yo} – время сбора и доведения информации о целях и обстановке; $T_{\text{соу}_i}$ – время получения информации о состоянии i -го объекта управления; p – количество объектов управления. Оценка времени на передачу принятых решений $T_{\text{пв}}$ определяется как $T_{\text{пв}} = \sum_{i=1}^p (T_{\text{опи}_i} + T_{\text{вып}_i})$, где $T_{\text{опи}_i}$ – время на оформление и передачу приказов i -му объекту управления; $T_{\text{вып}_i}$ – время выполнения приказа i -м объектом управления. Время T_{yo} доведения информации о целях и обстановке вычисляется на основе соотношения $T_{\text{yo}} = T_{\text{виз}} + T_{\Sigma}$. Здесь $T_{\text{виз}}$ – время визуализации видеоданных; T_{Σ} – время сбора и передачи видеоданных и других видов информации об объектах контроля и текущей обстановки, равное

$$T_{\Sigma} = T_{\text{скн}} + T_{\text{нк}} + T_{\text{ацп}} + T_{\text{к}}^{(к)} + T_{\text{д}}^{(к)} + T_{\text{к}}^{(и)} + T_{\text{д}}^{(и)} + T_{\text{п}},$$

где

$T_{\text{скн}}, T_{\text{нк}}, T_{\text{ацп}}$ – время, отводимое, соответственно, на сканирование, накопление и аналогово-цифровое преобразование видеоинформации;

$T_{\text{к}}^{(к)}, T_{\text{д}}^{(к)}$ – временные затраты, требуемые соответственно на кодирование и декодирование канала;

$T_{\text{к}}^{(и)}, T_{\text{д}}^{(и)}$ – временные затраты, требуемые соответственно на кодирование и декодирование источника информации;

$T_{\text{п}}$ – время передачи данных по каналам связи.

Современный опыт ликвидации ЧС демонстрирует увеличение интенсивности использования БПЛА в целях аэромониторинга для обеспечения оперативными данными в условиях подготовки и ликвидации ЧС [4]. Он показывает, что динамично изменяющаяся обстановка затрудняет выбор объектов наблюдения перед вылетом. Поэтому на каждом уровне управления необходимо обеспечить своевременную доставку информации, имеющую заданный уровень d_0 дешифрирования изображений типового объекта мониторинга (разрешающую способность). Оперативность доведения данных зависит от характера операций и психофизических особенностей восприятия и анализа информации лицом, принимающим решение (ЛПР).

Вероятность $p_{\text{вро}}$ выявления и распознавания объекта наблюдения зависит от характерной детальности d_0 на местности, которую обеспечивает фотоаппаратура на борту БПЛА

$$p_{\text{вро}} = \exp\left[-\frac{\lambda n \alpha}{\lambda g} \frac{l+k}{l-k} \left(\frac{d}{d_0}\right)^2\right],$$

где

d_0 – требуемая разрешающая способность (характерная детальность на местности с учетом уровня дешифрирования изображений типового объекта мониторинга), определяемая на основе эмпирического подхода с использованием методики “миры” или по заданным табличным значениям (табл. 1);

d – реальная разрешающая способность для бортовой фотоаппаратуры, с учетом высоты съема H , фокусного расстояния f и распознавательной способности R иконической системы, т.е. $d = H / 2 R f$.

Таблица 1

Требования к разрешающей способности d_0 снимков

Объекты	Разрешающая способность, м				
	объект	распознавание типа (общее)	распознавание модели (точное)	детальное описание	анализ содержания
Наземное транспортное средство	1,5	0,6	0,3	0,05	0,025
Железнодорожный состав	1,5 – 3	0,6	0,3	0,03	0,025
Небольшой корабль	7,6 – 15	4,5	0,6	0,3	0,013
Лагерь	6	2	1,2	0,3	0,075
Инфраструктура аэродрома	6	4,5	3	0,3	0,15
Дороги	6 – 9	6	1,8	0,6	0,15
Мост	6	4,5	1,5	1	0,3
Железнодорожные узлы	15 – 30	15	6	1,5	0,6
Порты и пункты снабжения	30	15	6	3	0,3
Населенные пункты	60	30	3	3	0,3

Основным фактором, определяющим разрешение оптико-электронной системы, является размерность матричного прибора с зарядовой связью (ПЗС), на который после объектива проецируется получаемое изображение. Зависимость величины разрешающей способности d от высоты съема H и размеров кадра $Z_{\text{стр}} \times Z_{\text{стб}}$ (размеров ПЗС-матрицы) при заданном фокусном расстоянии представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость величины d от H и $Z_{\text{стр}} \times Z_{\text{стб}}$

Размер ПЗС-матрицы $Z_{\text{стр}} \times Z_{\text{стб}}$	H, м									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1024 x 768	0,02	0,07	0,16	0,3	0,44	0,64	0,87	1,13	1,43	1,77
1280 x 1024	0,01	0,04	0,1	0,17	0,27	0,38	0,52	0,68	0,9	1,06
2288 x 1712	0,004	0,015	0,03	0,06	0,09	0,13	0,17	0,23	0,3	0,35
3072 x 2048	0,002	0,009	0,02	0,035	0,06	0,08	0,11	0,14	0,18	0,22
3504 x 2336	0,002	0,007	0,015	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17

Для оценки цифровых объемов W изображений, формируемых фотоаппаратурой на борту, используется формула $\bar{w} = \sum_{i=1}^{v_{\text{пл}}} (Z_{\text{стр}} \times Z_{\text{стб}} \times \log_2 U_i^{(\text{кв})})$. Здесь $v_{\text{пл}}$ – количество цветных плоскостей, участвующих в формировании цветного изображения; $Z_{\text{стр}}$, $Z_{\text{стб}}$ – соответственно количество строк и столбцов в кадре изображения.

Анализ показывает, что для обеспечения видеоинформацией с большей детализацией и на большей высоте съема требуется увеличивать размеры ПЗС-матриц. При этом объемы изображений могут достигать порядка *сотен Мбит*.

В то же время обеспечение информацией в процессе управления с использованием аэрокосмических средств свойственны недостатки (рис. 1), обусловленные следующими характерными особенностями БПЛА:

1) ограниченные массогабаритные характеристики БПЛА. Более 70% от всей стартовой массы БПЛА отводится на двигатель;

2) ограниченные мощность источников питания. При этом требуется учитывать, что двигатель требует около 90% всей мощности, а на обеспечении систем авионики и связи отводится 10%. Следовательно, существует временное ограничение t_m на доставку данных с учетом энергетических возможностей БПЛА;

3) осуществление видео-фотосъемки на определенной высоте и скорости полета БПЛА. Это приводит к наложению дополнительного ограничения на время $t_{\text{МК}}$ между формированием соседних кадров, которое находится в прямо пропорциональной зависимости от высоты и скорости БПЛА, на которых осуществляется съем информации, т.е. $t_{\text{МК}} \sim H$ и $t_{\text{МК}} \sim U_{\text{БПЛА}}$;

4) требования относительно погодного режима.

Для бортовой аппаратуры БПЛА свойственны такие недостатки как:

- малые размеры антенн;
- ограниченная мощность аппаратуры передачи данных.

СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

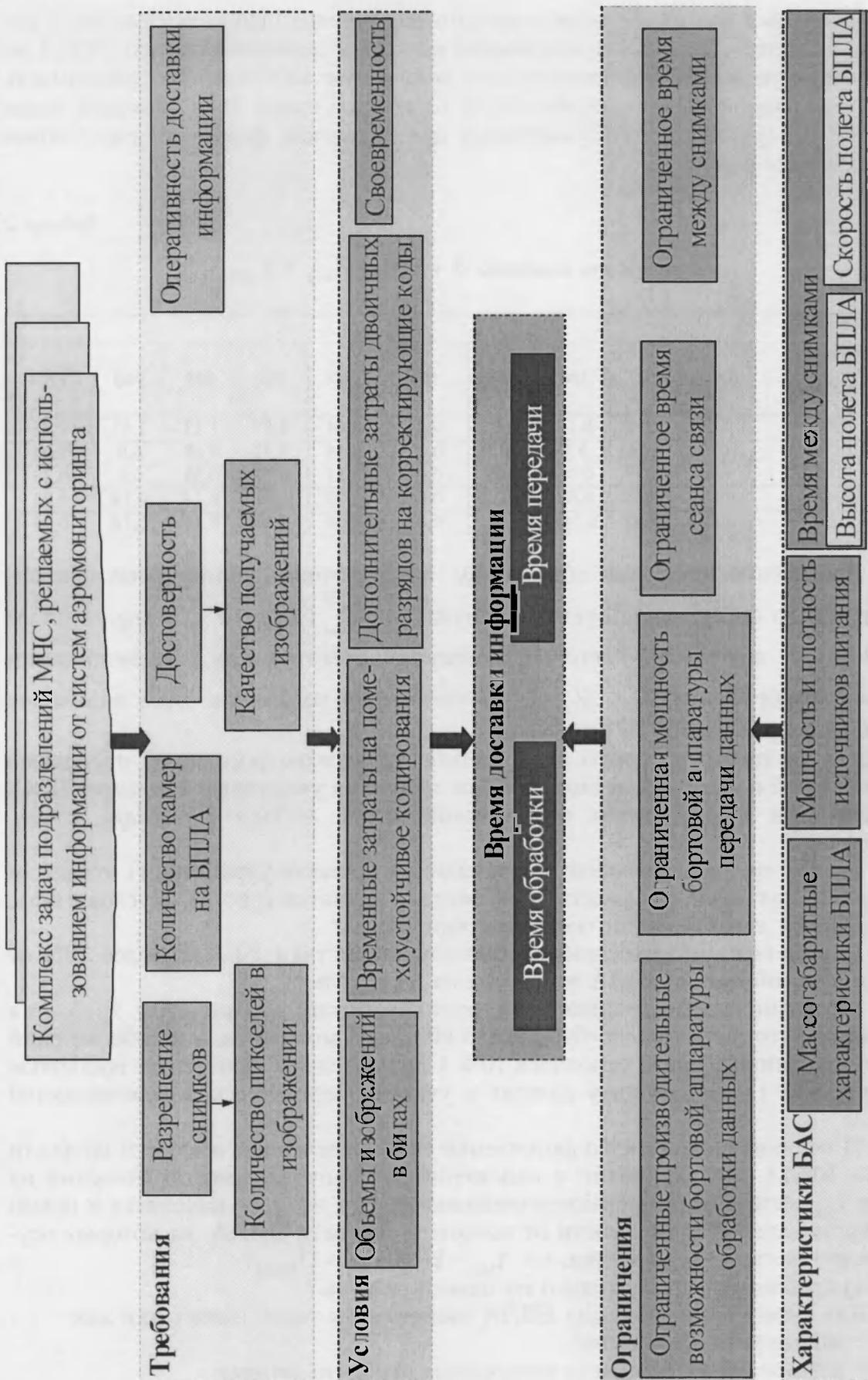


Рис. 1. Схема формирования ограничений на время обработки и передачи изображений в системе АКМ с использованием БПЛА

– ограниченные характеристики производительности бортовой аппаратуры обработки данных.

Возникают проблемы с организацией передачи данных, а именно:

1) нехватка энергетических возможностей для поддержания требуемого быстродействия для передачи изображений, равного не менее 2 – 4 Мбит/с. В то время, как реальные скорости передачи данных с борта БПЛА принимают следующие значения: 10 Кбит/с, 256 Кбит/с, 656 Кбит/с, 2 Мбит/с. Для известных значений скорости U_k передачи данных, время $T(W)_d$ доставки данных, объемом равным W бит с борта БПЛА определяется в основном временем $T(W)_{пер}$ подготовки и передачи данных по каналу связи, и оценивается по формуле

$$T(W)_d = T(W)_{пер} = W / U_k, \quad (1)$$

где U_k – скорость передачи данных по каналу связи с борта БПЛА.

Анализ оценки времени передачи изображений с требуемыми размерами, формируемыми на борту БПЛА, показывает, что время передачи одного кадра изображения с борта БПЛА, в зависимости от размера ПЗС-матрицы, разрядности элементов и скорости передачи данных по каналу связи, достигает нескольких десятков секунд. В режиме передачи изображений размером 1134x486 элементов с частотой 25 кадров в секунду время передачи видеоданных будет находиться в пределах нескольких десятков минут.

Отсюда следует, что существующие возможности бортовой аппаратуры передачи данных не обеспечивают:

а) *своевременную* доставку оцифрованных изображений с заданной разрешающей способностью, т.е. $T(W)_d > T(W)_{тр}$, где $T(W)_{тр}$ – необходимое время для доведения видеоданных требуемого объема, равного W бит (определяется особенностями процесса управления);

б) *возможность* доставки данных за допустимое время t_m , задаваемое с учетом энергетических ограничений бортовой аппаратуры, т.е. $T(W)_d > t_m$;

в) *возможность* доставки данных за время $t_{мк}$, с учетом формирования соседних кадров, т.е. $T(W)_d > t_{мк}$;

2) использование всенаправленного сигнала из-за слабости невозможно. Но для городских условий, условий плохой видимости, горной местности существуют ограничения по прямой видимости. Это приводит к ограниченному времени $t_{сс}$ сеанса связи между БПЛА и получателем информации.

Поэтому возникает противоречие между требуемыми характеристиками процессов доставки данных, а именно временем обработки, передачи, качеством восстанавливаемых изображений, и реальными характеристиками для существующих комплексов беспилотных авиационных систем.

Рассмотрим направления для снижения времени доведения информации. В соответствии с выражением (1) на время доведения данных с борта БПЛА влияют скорость передачи данных по каналу связи и объемы передаваемых видеоданных.

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.

Для обоснования данного направления необходимо отметить, что изображения характеризуются наличием различных видов избыточности (структурной, вероятностно-статистической, психовизуальной), количество которой может достигать 95% [5]. Поэтому реализация данного направления достигается за счет компактного представления видеоданных на борту БПЛА.

Использование технологий сжатия видеоданных (ТСВ) обеспечит: уменьшение цифрового объема видеoinформации; получение количественных классификаторов отдельных признаков изображений; повышение качества восстановленной видеoinформации, увеличение полезного времени для логического анализа обстановки, на принятие решения; сокращении числа ошибок из-за эмоциональной реакции оператора. Роль подсистем сжатия видеоданных в процессе доставки данных средствами АКМ с технической стороны проявляется в: снижении временных затрат на считывание данных; увеличении свободного места на внешнем запоминающем устройстве (ВЗУ); сокращении времени передачи данных по КС; снижении требований к техническим параметрам КС; повышении качества отображаемой информации; сокращении времени восприятия информация; сокращения энергетических затрат на передачу сжатых данных с борта БПЛА.

Таким образом, из вышесказанного следует, что использование технологии сжатия видеoinформации в системах кризисного управления обеспечит повышение оперативности доставки информации с использованием средств АКМ.

Выводы

1. Разработан методологический анализ системы аэрокосмического мониторинга кризисных объектов. Проведенный анализ форм и способов применения средств с учетом изменения особенностей предотвращения и ликвидации ЧС выявил необходимость совершенствования систем управления. Ключевыми требованиями к системам управления кризисными объектами являются: оперативность, достоверность, наглядность и полнота получаемой информации.

2. Анализ возможных подходов относительно организации информационного обеспечения в системах кризисного управления выявил важную роль средств АКМ с использованием БПЛА. Обеспечение доставки данных наблюдения в процессе полета БПЛА достигается за счет перехода к цифровым технологиям формирования изображений. Однако процессы обработки и передачи видеоданных с борта БПЛА для организации получения данных в системе управления кризисными объектами характеризуются наличием **противоречия** между требуемыми характеристиками процессов доставки данных, а именно временем обработки, передачи, качеством восстанавливаемых изображений, и реальными характеристиками для существующих комплексов беспилотных авиационных систем.

3. Анализ минимального времени на передачу видеoinформации на основе существующих и перспективных систем АКМ с использованием БПЛА показал, что оно достигает **нескольких десятков минут**. Обосновано, что повышение

оперативности доведения видеоинформации с заданным ее качеством средствами АКМ возможно за счет модернизации технологий компрессии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Асташкин А.А.* Космические системы, аппараты и приборы для решения задач природопользования и экологического контроля / А.А. Асташкин. – М. : ВИНТИ, 1991. – 142 с.
2. *Лабутина И.А.* Дешифрование аэрокосмических снимков : Учебное пособие / И.А. Лабутина. – М. : Аспект-Пресс, 2004. – 184 с.
3. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений : Конспект лекций / В.Б. Кашкин. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 121 с.
4. *Барашик В.В.* Методология обработки изображений в системах аэрокосмического мониторинга / В.В. Барашик, Ю.Н. Колтун // Сучасна спеціальна техніка. – 2011. – № 1(24). – 2011. – С. 12–17.
5. *Яковенко А.В.* Методологічні основи комплексного представлення зображень з контрольованою погрішністю / А.В. Яковенко // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – Вип. 2(14). – С. 128–131.

Отримано 11.11.2011