

Ю.Г. Даник, д.т.н., проф.

М.М. Проценко, к.т.н., проф.н.с.

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова  
Національного авіаційного університету

## ВИБІР КОЛІРНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ У БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*У статті здійснено огляд, систематизацію та аналіз кольірних моделей цифрових зображень, наведено рекомендації щодо вибору моделі для обробки цифрових фотозображень в безпілотних авіаційних системах (БАС). Розглянуті основні завдання, що вирішуються при цифровій обробці в БАС, зроблено висновки та розглянуто перспективи розвитку напрямку.*

**Постановка проблеми.** Методи обробки зображень мають надзвичайно важливе значення в сучасній науці, вони безперервно розвиваються та вдосконалюються. При цьому під обробкою зображень у БАС розуміють [1–4] не лише поліпшення зорового сприйняття, але й класифікацію об'єктів, що виконується при аналізі зображень.

Сфери застосування методів цифрової обробки зображень у наш час значно розширюються, витісняючи аналогові методи. Вони застосовуються при автоматизації виявлення об'єктів, розпізнаванні образів тощо. Передача цифрових зображень в БАС передбачає усе більші потоки інформації. Формування зображень, поліпшення якості та автоматизація їх обробки є предметом сучасних досліджень та розробок [1, 2, 4]. Автоматичний аналіз у системах дистанційного моніторингу (спостереження) широко застосовується при аналізі місцевості, у розвідці, у системах протипожежної безпеки.

При цифровій обробці зображень в БАС вирішується широке коло завдань:

- реєстрація зображення та його перетворення в цифрову форму;
- стиснення зображення та кодування;
- передача зображення каналом зв'язку;
- декодування та корекція (за необхідності) зображення (фільтрація);
- дешифрування зображення (виділення ознак об'єктів моніторингу).

Актуальною науковою проблемою в таких комплексах є збільшення об'єму інформації, яку необхідно передавати на землю та обробляти в реальному масштабі часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний час багато публікацій присвячено проблемним питанням передачі та обробки цифрових фотозображень в БАС. Основні з яких досліджуються в таких публікаціях: у науковій статті [1] розглядаються методи і алгоритми цифрової обробки в оптико-електронних приладах; у науковій статті [2] наведені стандарти передачі відео та фото інформації; у змістовній роботі [3] розглядаються вимоги до каналів зв'язку з безпілотним літальним апаратом та визначені найбільш перспективні шляхи їх реалізації.

**Формулювання завдання дослідження.** Результати обробки фотозображень суттєво залежать від вибору раціональної моделі сигналу. При цьому необхідно враховувати [3] умови завдання, що вирішується, якість та форму запису (безперервну або дискретну). Прийнята модель повинна враховувати особливості фотозображення, бути пристосованою до наявних засобів, методів та алгоритмів обробки. Часто ці вимоги суперечливі, і тому при виборі моделі зазвичай керуються деякими загальними розуміннями. За своєю природою фізичні процеси мають статистичний характер, обумовлений безліччю факторів які враховуються, так і тих, що не враховуються, зокрема дією перешкод. Крім того, результати вимірів супроводжуються похибками. Тому чим краще враховуються ці фактори, тим вище ступінь адекватності моделі реальному сигналу.

Незалежно від того, що є в основі створення моделі, вона повинна відповідати трьом вимогам: колір повинен визначатися незалежно від спроможностей певних конкретних пристроїв, модель повинна точно і однозначно визначати гамму (діапазон) заданих кольорів, а також враховувати особливості сприйняття, поглинання або відбивання заданих кольорів.

**Метою статті** є проведення аналізу колірних моделей зображень, здійснення вибору моделі для обробки цифрових фотозображень в БАС.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Для розуміння утворення цифрових зображень в БАС варто розглянути такі поняття: роздільність зображення; глибина кольору; колірна модель.

Піксел (pixel скорочення від picture element) – це найменший логічний елемент двовимірного цифрового зображення. Зображення складається з пікселів, які розташовані по рядках і стовпцях. Один піксел може зберігати інформацію лише про один колір. Роздільність зображення вимірюється у кількості пікселів на дюйм ppi (pixel per inch) і задається при створенні зображення. Фізичний розмір зображення визначає розмір зображення по горизонталі та вертикалі. Може вимірюватися як в пікселях так і в одиницях довжини (міліметри, сантиметри, дюйми). Фізичний розмір зображення задається при створенні зображення, а інформація про розміри зберігається разом із файлом. Якщо зображення готують для перегляду на моніторі, то його розміри варто зазначати в пікселях, щоб знати, яку ширину екрана воно займатиме. Якщо зображення буде згодом надруковане, то розмір краще задавати в одиницях довжини (міліметри, сантиметри, дюйми).

Глибиною кольору називають кількість біт, що відведено для кодування кольору одного пікселя: 1 біт (2 кольори) бінарний колір, найчастіше чорний та білий; 1 байт (8-біт) (28 = 256 кольорів) індексована палітра кольорів, відтінки сірого; 2 байти (16-біт) (216 = 65 536 кольорів) режим High Color; 3 байти (24-біт) (224 = 16,5 мільйонів кольорів) режим True Color. Опис кольору пікселя є кодом кольору відповідно до певної колірної моделі. Наприклад, в моделі *RGB* кожен піксел описується трьома числами, відповідними до яскравості базових кольорів. В моделі *CMYK* піксел описується чотирма числами. В моделях *Lab* і *HSB* піксел описується трьома числами, що відповідають значенням параметрів цих моделей.

Колірними моделями (колірними просторами) називають систему кодування кольорів, яка використовується для зберігання, відображення на екрані та друку зображення. Фізична природа кольору, що використовується на різних етапах роботи із зображенням різна. Для опису кольорів створено моделі: *YIQ*, *YCbCr*, *CMYK*, *Lab*, *XYZ* та інші.

Проте розроблено й універсальну, апаратно-незалежну модель, яка об'єднує всі інші, а саме колірну модель *RGB*. Назва моделі складається з перших літер базових кольорів, які формують зображення: червоного (*Red*), зеленого (*Green*), синього (*Blue*). Будь-який колір у моделі *RGB* утворюється шляхом змішування цих трьох базових кольорів у різних пропорціях. Для опису кольору в моделі *RGB* застосовують 3 байти (24 біти = 3x8 біт), по одному байту на кожен колірну складову. Яскравість (інтенсивність) кожного базового кольору може приймати 256 (28) дискретних значень від 0 до 255. Змішування кольорів у різних пропорціях, варіюючи яскравість кожної складової надає 256 x 256 x 256 = 16 777 216 кольорів.

Модель *RGB* є адитивною, тобто такою, що описує випромінювані кольори. Білий колір відповідає максимуму випромінювання – рівень кожної складової максимальний; у цифровому вигляді записується так: 255, 255, 255. Модель *RGB* дає змогу закодувати понад 16 млн. (2563) кольорів. Колірний простір *RGB* моделі представлений у вигляді одиничного куба (рис. 1).

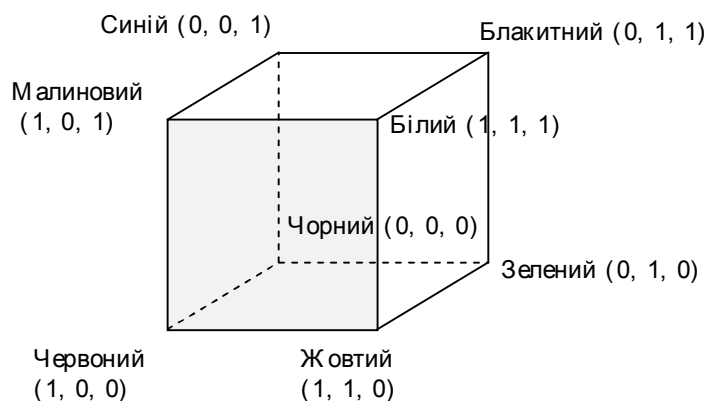


Рис. 1. Колірний простір *RGB* моделі

Будь-який колір можна представити як вектор зі складовими *R*, *G* і *B*. Перетин вектора з одиничною площиною дає відносний вклад червоної, зеленої та синьої компоненти. Вони називаються значеннями кольоровості.

$$\bar{R} = \frac{R}{R+G+B}, \quad \bar{G} = \frac{G}{R+G+B}, \quad \bar{B} = \frac{B}{R+G+B}.$$

Отже вираз  $\bar{R} + \bar{G} + \bar{B} = 1$  відображає функціональний зв'язок трьох кольорів.

**Колірна модель YIQ.** Колірна модель YIQ використовується [5] у стандарті телебачення NTSC. Основна перевага її у тому, що інформація про яскравість, еквівалента шкалі сірого кольору в чорно-білому телебаченні, що дозволяє використовувати один сигнал як для передачі кольорових так і чорно-білих зображень. Компоненти YIQ отримуються із моделі RGB за рахунок такого перетворення:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.522 & 0.311 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Зворотнє перетворення із колірної моделі YIQ в колірну модель RGB виконується за допомогою виразу:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.956 & 0.621 \\ 1.000 & -0.272 & -0.647 \\ 1.000 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Перетворення в стандарт NTSC використовується не тільки за прямим призначенням [5], а і для виділення інформації про яскравість від інформації про кольори.

**Колірна модель YCbCr.** Колірна модель YCbCr широко використовується у цифровому відео. В цьому форматі компонента світлота представлена єдиною компонентою Y, а колір зберігається у вигляді двох колірних компонент Cb і Cr. Величина Cb – це різниця між блакитною компонентою B і світлотою Y. Компоненти YCbCr отримуються із моделі RGB за рахунок такого перетворення:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112.000 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (3)$$

**Колірна модель CMY, CMYK.** Модель CMYK описує [5] змішування фарб, які використовують для друкованих зображень. Це субтрактивна модель (така, що віднімає), оскільки кольори в ній утворюються відніманням від чорного кольору базових кольорів: блакитного (Cyan), пурпурового (Magenta) і жовтого (Yellow). Вони утворюють так звану поліграфічну тріаду і називаються тріадними. У колірній моделі CMY рівень складових кольору задається значеннями із діапазону від 0 до 100 % (величина 100 % у цій моделі відповідає 255 одиницям моделі RGB). Колірна модель CMY, по суті, є оберненою до моделі RGB. Відношення між RGB и CMY моделями можна представити таким чином:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Суміш трьох базових кольорів повинна давати глибокий чорний колір, але такого практично не буває, оскільки утворюється не чорний, а брудно-коричневий колір. Для усунення цього недоліку до трьох кольорів додали четвертий, чорний (Black), і колірна модель дістала назву CMYK – Cyan, Magenta, Yellow, Black. У назві моделі використовується не перша літера слова Black, а остання, щоб не плутати з кольором Blue моделі RGB. Отже, чорний колір у моделі CMYK має тільки одну складову – чорну (0, 0, 0, 100). Основна сфера застосування колірної моделі CMYK – повноколірний друк, і саме з нею працює більшість друкарських пристроїв.

**Колірна модель HSB.** Спосіб подання кольору в моделі HSB ґрунтується на базових характеристиках кольору та тону (Hue). Колір світла, відбитого від непрозорого об'єкта або такого, що пройшло крізь прозорий об'єкт. Значення колірного тону залежить від позиції кольору в колірному колесі та може змінюватися від 0 до 360°. Кут 0° відповідає червоному кольору, який змінюється за годинниковою стрілкою до жовтого, потім – зеленого, блакитного, синього, пурпурового і знову червоного. Насиченість (Saturation). Інтенсивність кольору, що визначається як відсоток кольору певного тону відносно вмісту сірого і може змінюватися від 0 до 100 %. Нульова насиченість відповідає абсолютно сірому кольору. Яскравість (Brightness). Характеристика (також називається світлістю), що визначає, наскільки світлим чи темним може бути певний колір; цей параметр може змінюватися в діапазоні від 0 до 100 %. Цю модель ще називають HSV, замінюючи останнє слово «Brightness» на «Value».

**Колірна модель Lab.** Колірна модель Lab розроблялася Міжнародною комісією з освітлення (CIE) (фр. Commission Internationale de l'Eclairage) з урахуванням недоліків описаних вище моделей. Зокрема, вона створювалася як апаратно-незалежна. Це означає, що кольори в моделі Lab визначаються незалежно від того, який пристрій виведення (монітор, принтер тощо) використовується, оскільки модель базується на сприйнятті кольору людським оком. Колір у цій моделі визначається трьома параметрами:

освітленістю, діапазоном зміни від пурпурового до зеленого та діапазоном зміни від синього до жовтого. Освітленість змінюється від 0 до 100 %. Діапазон кольору змінюється від -128 до 127. Колірна модель *Lab* має найбільший, порівняно з рештою моделей, колірний діапазон.

Перехід з *RGB* в колірну модель *Lab* проводиться в два етапи через канонічний простір *LMS*, оскільки *Lab* – його модифікація:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 0.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (5)$$

На другому кроці здійснюється перехід із *LMS* в *Lab*:

$$\begin{bmatrix} l \\ a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5774 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4082 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7071 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lg L \\ \lg M \\ \lg S \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Зворотнє перетворення із колірної моделі *Lab* в колірну модель *RGB* виконується за допомогою також двох кроків:

$$\begin{bmatrix} L' \\ M' \\ S' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.5774 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4082 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7071 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} l \\ a \\ b \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де  $L = 10^{L'}$ ,  $M = 10^{M'}$ ,  $S = 10^{S'}$ .

На другому кроці здійснюється перехід із *LMS* в *RGB*:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.4679 & -3.5873 & 0.1193 \\ -1.2186 & 2.3809 & -0.1624 \\ 0.0497 & -0.2439 & 1.2045 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}. \quad (8)$$

**Напівтонова та чорно-біла модель.** У напівтоновому малюнку присутній єдиний канал, який може містити до 256 градаций сірого кольору. Кожний піксел характеризується одним параметром – яскравістю, значення якого змінюються від 0 (чорний колір) до 255 (білий колір). Іноді яскравість вимірюється у відсотках: 0 – білий, 100 % – чорний. Коли кольорові зображення перетворюються на напівтонові, інформація про колірний тон і насиченість відкидається та залишається лише значення яскравості.

Чорно-білі (монохромні) малюнки – найпростіші графічні зображення. У такому разі кожний піксел (чорний або білий) задається за допомогою 1 біта, і тому розмір файлу зображення набагато менший, ніж кольорового чи навіть напівтонового зображення з тими самими фізичними розмірами. Адже піксел напівтонового зображення задається з використанням 8 біт, а для опису піксела кольорового потрібно 24 біти.

**Колірна модель XYZ.** Лінійна 3-компонентна колірна модель *XYZ*, заснована на результатах вимірювання характеристик людського ока. Побудована на основі зорових можливостей "стандартного спостерігача", можливості якого були ретельно вивчені та зафіксовані в ході тривалих досліджень людського зору, проведених Міжнародною комісією з освітлення CIE. Компоненти *RGB* отримуються із моделі *XYZ* за рахунок такого перетворення:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.04159 & -0.56501 & -0.34473 \\ -0.96924 & 1.87597 & 0.04156 \\ 0.01344 & -0.11836 & 1.01517 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Обернена матриця  $M^{-1}$  описує перехід від простору *RGB* до простору *XYZ*.

**sRGB модель.** Створена спільно компаніями Hewlett-Packard і Microsoft в 1996 році для уніфікації використання моделі *RGB* у моніторах, принтерах та інтернет-сайтах. *sRGB* використовує основні кольори аналогічно студійним моніторам і *HD*-телебаченню, а також гамму, аналогічну моніторам з електронно-променевою трубкою.

Перетворення із колірної моделі *XYZ* в колірну модель *sRGB* виконується за допомогою виразу:

$$\begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Зворотнє перетворення із колірної моделі *sRGB* в колірну модель *XYZ* виконується за допомогою виразу:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Колірна модель *sRGB* дозволила точно відображувати кольори на звичайних моніторах, що стало основним чинником, який вплинув на прийняття *sRGB* як основного стандарту. Перевагами *sRGB* моделі є те, що зображення виглядають однаково на всіх моніторах (без колібраторів).

**Висновки.** Як основну колірну модель для цифрової обробки зображень в БАС пропонується використовувати *sRGB* модель, перевагами якої є те, що зображення виглядають однаково на різних пристроях введення та виведення (монітори, планшети, принтери). Розглянуті особливості та запропоновані рекомендації стосовно процесу обробки цифрових фотозображень апаратурою БАС, розглянуто перспективи розвитку напрямку. В подальшому доцільно провести аналіз методів цифрової обробки зображень.

#### Список використаної літератури:

1. Колобородов В.Г. Застосування методів і алгоритмів цифрової обробки зображень в оптико-електронних приладах / В.Г. Колобородов, К.В. Харитоненко // Вісник НТУУ “КПІ”. – К. : НТУУ “КПІ”, 2010. – № 40. – С. 23–31.
2. Слюсар В.И. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО / В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 3. – С. 80–86.
3. Слюсар В.И. Радиолінії зв'язи с БПЛА: примеры реализации / В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 5. – С. 56–60.
4. Кузнецов В. Беспилотная Одиссея в небе будущего / В.Кузнецов // Наука и техника. – Харьков, 2011. – № 5 (60). – С. 21–26.
5. Д'яконов В. Matlab. Обработка сигналов и изображений : спец. справочник / В.Д'яконов, И.Абраменкова. – Спб. : Питер, 2010. – 608 с. : ил.
6. Підвищення ефективності функціонування системи обробки інформації та управління безпілотних літальних апаратів на основі застосування модулярної системи числення / В.І. Барсов, Є.О. Сотник, В.О. Жадана ін. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків, 2011. – № 3 (29). – С. 90–95.
7. Цепляева Т.П. Метод выбора характеристик фотооборудования для БПЛА в зависимости от высоты полета / Т.П. Цепляева, А.Н. Лохов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков, 2011. – № 49. – С. 48–52.
8. Ростопчин В.В. Применение цифровых оптических систем для беспилотных летательных аппаратов / В.В. Ростопчин, Л.М. Дмитриев [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.uav.ru](http://www.uav.ru).
9. Сайт [uavforum.com](http://uavforum.com) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uavforum.com/>.
10. STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm](http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm).
11. Проценко М.М. Аналіз структури та варіантів побудови безпілотних авіаційних комплексів / М.М. Проценко // Вісник ЖДТУ. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – № 61(2). – С. 113–117.
12. Проценко М.М. Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарату / М.М. Проценко // Вісник ЖДТУ. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – № 62(3). – С. 67–72.

ДАНИК Юрій Григорович – доктор технічних наук, професор, начальник Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- кібернетична безпека;
- обробка фотозображень з безпілотного літального апарату.

ПРОЦЕНКО Михайло Михайлович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- обробка фотозображень з безпілотного літального апарату;
- цифрова обробка сигналів з використанням вейвлет-перетворень.

Стаття надійшла до редакції 25.03.13



**Даник Ю.Г., Проценко М.М.** Вибір колірної моделі для цифрової обробки зображень у безпілотних авіаційних системах

**Даник Ю.Г., Проценко М.М.** Выбор цветовой модели для цифровой обработки изображений в беспилотных авиационных системах

**Danyk Y., Protchenko M.** Choice of color model for the digital processing of images in unmanned aircraft system

УДК 621.396

**Выбор цветовой модели для цифровой обработки изображений в беспилотных авиационных системах / Ю.Г. Даник, М.М. Проценко**

В статье осуществлен обзор, систематизация и анализ цветowych моделей цифровых изображений, приведены рекомендации относительно выбора модели для обработки цифровых фотоизображений в беспилотных авиационных системах. Рассмотренные основные задачи, которые решаются при цифровой обработке в беспилотных авиационных системах, сделаны выводы и рассмотрены перспективы развития направления.

УДК 621.396

**Choice of color model for the digital processing of images in unmanned aircraft system / Y.Danyk, M.Protchenko**

A review, systematization and analysis of color models of digital representations, is carried out in the article, recommendations over are brought in relation to the choice of model for treatment of digital images in unmanned aircraft system. The considered basic tasks which decide at digital treatment in unmanned aircraft system are done conclusions and the prospects of development of direction are considered.