

ескереді. Бұл жағдайлар тану және болжау туралы шешім қабылдау процесін рәсімдеуге мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** тәміржол көлігі, төтение жағдайлар, апарттың салдарын жою, зияткерлік жүйелер, математикалық модельдер.

**АКХМЕТОВ B.S. – d.t.s., professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

**ABUOVA A.Kh. – PhD (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

## **QUESTIONS OF USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO SOLVE THE PROBLEMS OF RECOGNIZING THE SITUATION ASSOCIATED WITH EMERGENCIES ON RAILWAY TRANSPORT**

### ***Abstract***

*The article considers the development of the basic structures of an artificial neural network, which provides, along with solving the applied problem of allocating resources aimed at eliminating emergencies, also forecasting for the tasks of assessing the consequences of decisions taken on the choice of specific strategies for eliminating the consequences of accidents and emergencies in railway transport in conditions of structural and parametric uncertainty.*

*A new formalized representation of the model has been developed for the tasks of recognizing the situation and making primary decisions. The model differs from the known ones in that it takes into account the information dependencies of the situation parameters that are available to decision makers. This makes it possible to formalize the decision-making process for recognizing and predicting the situation.*

**Keywords:** railway transport, emergency situations, emergency response, intelligent systems, mathematical models.

УДК 621.391. 837:621.397.13

**ПАВЛОВА Т.А. – ст. преподаватель (г. Алматы, Алматинский университет энергетики и связи)**

**САФИН Р.Т. – ст. преподаватель (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)**

**ГАРМАШОВА Ю.М. – к.т.н., доцент (г. Алматы, Алматинский университет энергетики и связи)**

**АКАНОВА Ж.Ж. – к.т.н., ст. преподаватель (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)**

## **ЦИФРОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

### ***Аннотация***

*В данной статье рассмотрены принципы функционирования оптической системы беспилотных летательных аппаратов и сделан вывод о преимуществах применения цифровых камер при аэрофотосъемке.*

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, разрешающая способность, оптические системы, цифровые камеры.

### **Введение.**

Стимулом к развитию беспилотной авиации во всем мире послужила потребность в легких, относительно дешевых летательных аппаратах, обладающих высокими характеристиками манёвренности и способных выполнять широкий круг задач. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) успешно применяются в ходе военных операций по всему миру, и при этом они так же успешно выполняют задачи гражданского назначения. На сегодняшний день большинство существующих беспилотных летательных аппаратов пилотируются вручную, с помощью пультов дистанционного управления, работающих на радиоканалах. При ручном управлении БПЛА возникают трудности, связанные с подготовкой пилотов, недостаточной рабочей дальностью, ограничениями, связанными с погодными условиями. Управление БПЛА – задача для хорошо подготовленного профессионала.

### **Практическая ценность беспилотных летательных аппаратов.**

Сам по себе БПЛА – лишь часть сложного многофункционального комплекса. В отличие от пилотируемой авиации для БПЛА требуются дополнительные элементы системы обеспечения. К ним относятся сам беспилотный аппарат, рабочее место оператора, программное обеспечение, линии передачи данных и элементы, необходимые для выполнения целей полета. Спектр применения беспилотных летательных аппаратов в гражданском секторе не ограничен, но при нынешнем состоянии правовой базы по использованию воздушного пространства выполнение полетов затруднено. В интересах народного хозяйства БПЛА могут применяться в следующих областях:

- для ведения поисковых работ;
- выполнения геологической разведки;
- аэросъемки местностей;
- выполнение авиационных химических работ;
- мониторинга территорий и объектов;
- ведения видеонаблюдения.

Беспилотные летательные аппараты обладают рядом преимуществ.

Во-первых, для выполнения одних и тех же задач, легкие беспилотные аппараты обходятся на много дешевле пилотируемых самолетов, которые нужно оснащать системами жизнеобеспечения, защиты, кондиционирования и т.д. Нужно готовить пилотов, а это стоит больших денег. В итоге получается, что отсутствие экипажа на борту существенно снижает затраты на выполнение того или иного задания, а также повышается полезная нагрузка летательного аппарата (ЛА).

Во-вторых, легкие (по сравнению с пилотируемыми самолетами) беспилотные летательные аппараты потребляют меньше топлива.

В-третьих, в отличие от пилотируемых самолетов, машинам без пилота не нужны аэродромы с бетонным покрытием. Большинство аэродромов нуждаются в реконструкции, а темпы ремонта сегодня не успевают следить за пригодностью взлётно-посадочных полос.

В-четвертых, важным преимуществом при использовании систем автоматического и полуавтоматического управления можно считать исключение человеческого фактора при выполнении поставленной задачи.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) приобрели широкую популярность благодаря возможности получать видовую радиотехническую информацию с местности, на которой трудно разместить оператора (наблюдателя). Развитие вычислительной техники и цифровых технологий обработки сигналов позволило существенно повысить, качество, скорость и объемы обработки изображений, обеспечить их передачу на большие

расстояния. Тем не менее, цифровые технологии имеют свои недостатки, которые оказывают влияние на эффективность их использования в средствах разведки и наблюдения [1, 2, 3].

Оптические системы в беспилотной технике применяются для:

- обзора местности и наблюдения за обстановкой на ней;
- получения детального изображения участков местности и объектов, находящихся на них;
- вскрытия объектов, находящихся на местности и визуально невидимых.

Технические системы реализуются в виде системы оптических устройств, размещаемых либо непосредственно в корпусе ЛА и жестко связанных с его конструкцией, либо с помощью гиростабилизированных платформ, обеспечивающих поворот оптических осей устройств в любую сторону с заданной скоростью.

Использование гиростабилизированных платформ с оптическими устройствами обеспечивает решение задач сопровождения выбранной цели при эволюциях ЛА в полете или изменении пространственного положения цели. Совместная установка телевизионной и инфракрасной камер позволяет существенно повысить информативность получаемого изображения, а дополнение в виде лазерного дальномера – целеуказателя дает возможность точного определения относительных координат цели.

Под разрешающей способностью цифровой оптической системы следует понимать способность оптической системы формировать на устройстве вывода (экран и т.п.) изображения предметов, находящихся на заданном удалении от объектива оптической системы с заданным уровнем детализации. Основным фактором, определяющим разрешение оптико-электронной системы, является ПЗС-матрица (прибор с зарядовой связью), на которую после объектива проецируется получаемое изображение.

Источником видовой информации является земная поверхность или воздушное пространство. Углы поля зрения объектива определяют объем информации, снимаемый с земной поверхности и воздушного пространства, и оказывают сильное влияние на разрешающую способность устройства. Следует также учитывать, что видовая информация, выводимая на экран, отличается от физического содержания просматриваемого участка местности, как по цветопередаче [4], так и по соответствию изображения на экране реальным линейным размерам и очертаниям объектов на земной поверхности. На рисунке 1 показаны области просмотра, формируемые объективом оптической системы. Размеры области просмотра зависят от высоты полета ЛА, углов поля зрения объектива и угла наклона оптической оси объектива.

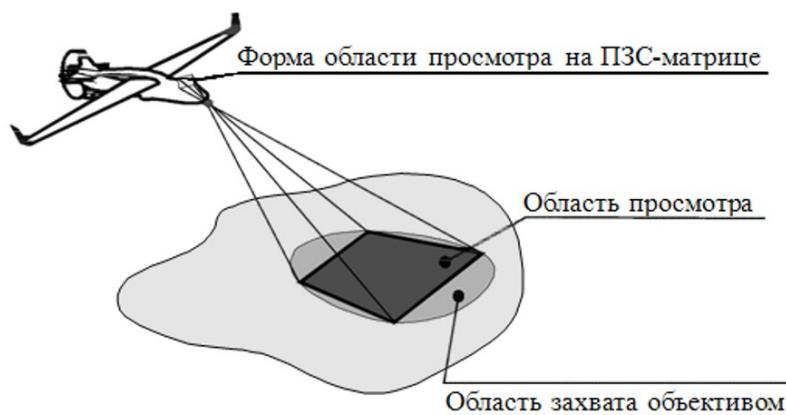


Рисунок 1 – Рабочие области оптической систем

На рисунке 1 показан вариант реализации оптико-электронного устройства. Видно, что форма физически просматриваемой области деформируется в фигуру 46

близкую к трапеции. При расчетах, в первом приближении, можно использовать допущение что, ввиду малости отношения:

$$\delta = \frac{l}{R_3} > 0,0003, \quad (1)$$

где  $l$  – длина равная наибольшему линейному размеру области просмотра,  $R_3$  – средний радиус земли, искажениями из-за кривизны земной поверхности можно пренебречь и представлять ее плоскостью, совпадающей с некоторой срединной поверхностью.

Однако реальный профиль земной поверхности далек от плоскости и это сильно сказывается на эффективности использования оптико-электронных устройств. Учитывая, что бортовые оптико-электронные устройства применяются не для созерцания окружающей местности, а для выполнения конкретных функций, то целесообразно рассматривать степень пригодности оптической системы по возможности обнаружения типового объекта в типовых условиях применения БЛА. Например, на рисунке 2 показана область, в которой можно обнаружить сидящего человека, если он там есть, например, при проведении поисковой операции в условиях чрезвычайной ситуации. Примечательно, что граница этой области является совокупностью координат, в которых сидящий человек виден качестве точки (пикселя).

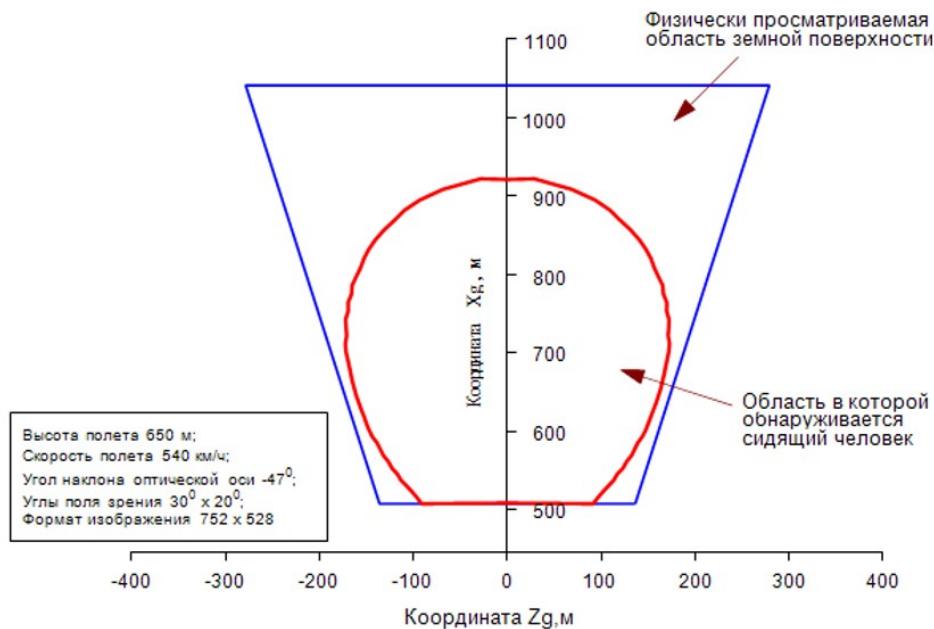


Рисунок 2 – Просматриваемая область земной поверхности

Одним из основных параметров, позволяющих определить необходимую высоту полета в зависимости от возможностей установленной оптической системы, является коэффициент заполнения (рисунок 3):

$$F_{ЗАП} = \frac{F_{OЦ}}{F}, \quad (2)$$

где  $F_{OЦ}$  – площадь области, в которой видна цель (объект),

$F$  – площадь области просмотра.

Величина, обратная коэффициенту заполнения показывает, во сколько раз необходимо увеличить площадь области просмотра, чтобы искомый объект (цель) можно было увидеть на экране оптической системы. Размерность ПЗС-матрицы оказывает значительное влияние на разрешение оптического устройства (системы), поскольку размерность ПЗС-матрицы определяет уровень дискретизации изображения, поступающего с объектива. Чем выше размерность матрицы, тем выше уровень дискретизации и тем выше получается детализация изображения на экране системы. Следовательно, чтобы получить разрешение цифровой оптической системы близкое к оптическому разрешению объектива надо или иметь ПЗС-матрицу очень большой размерности или уменьшать углы поля зрения.

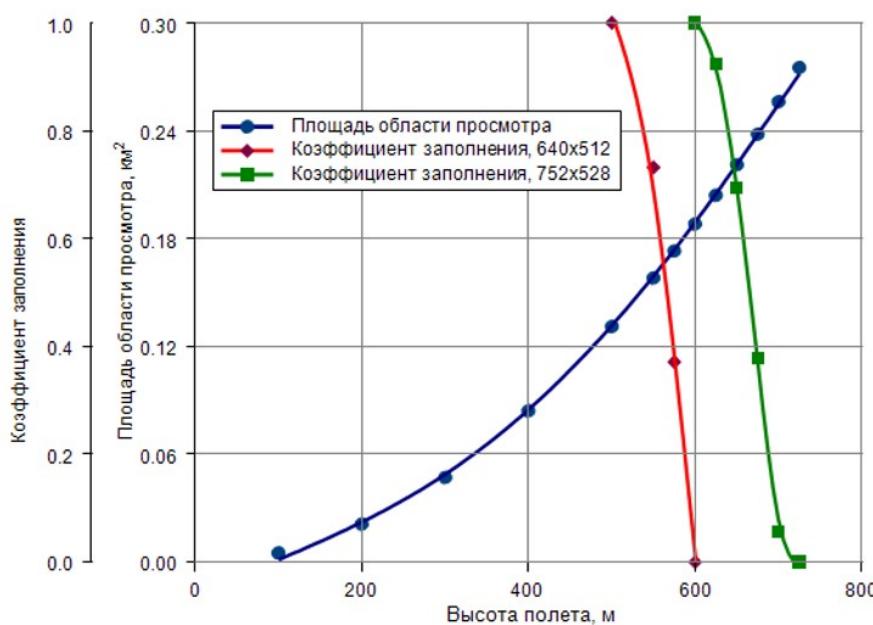


Рисунок 3 – Площадь области просмотра и коэффициент заполнения

Разрешение цифровой оптической системы (объектив, ПЗС-матрица, устройство вывода изображения (экран)), в общем случае определяется как зависимость средней по экранному полю величины локальной разрешающей способности от группы параметров:

$$R = f(L, \beta, \gamma, \phi, M), \quad (3)$$

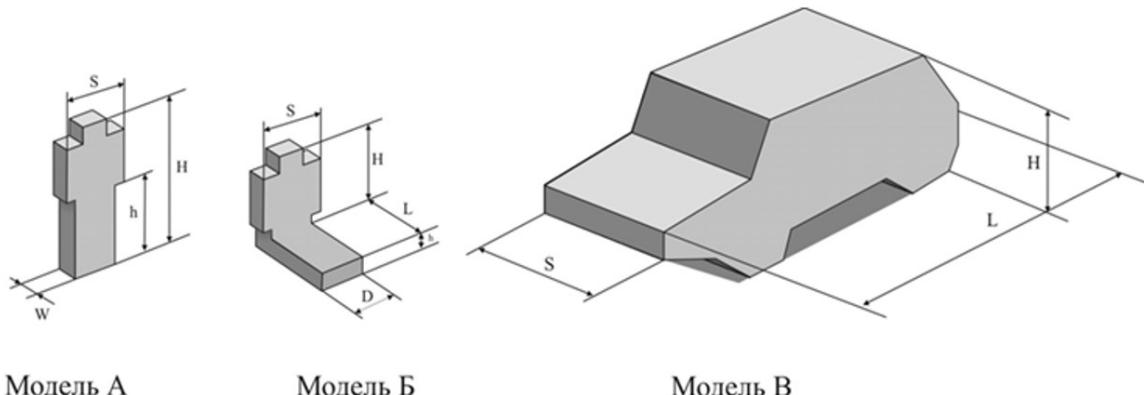
где  $L$  – наклонная дальность до точки на земной поверхности,

$\beta, \gamma, \phi$  – соответственно угловое смещение рассматриваемой точки от оптической оси вправо-влево, вверх-вниз и угол наклона оптической оси в нормальной системе координат;

$M$  – размерность ПЗС-матрицы.

Очевидно, что размерности ПЗС-матрицы и матрицы экрана должны быть близки, а точнее – размерность матрицы экрана должна быть не ниже, чем у ПЗС-матрицы.

Для оценки разрешающей способности цифровой оптической системы можно использовать формализацию характерных объектов, для поиска которых обычно используются БЛА при решении различных задач. На рисунке 4 приведен пример формализации объектов.



Модель А – человек в полный рост,  
Модель Б – сидящий на земле человек,  
Модель В – автомобиль повышенной проходимости типа УАЗ-469

Рисунок 4 – Пример формализации объектов

Для формализованного объекта «Человек» (Модель А, рисунок 4) на рисунке 5 приведена графическая иллюстрация соотношения линейных размеров проекций человека на картинную плоскость и локальной (т.е. в конкретном месте экрана, на который выводится изображение) разрешающей способности оптической системы.

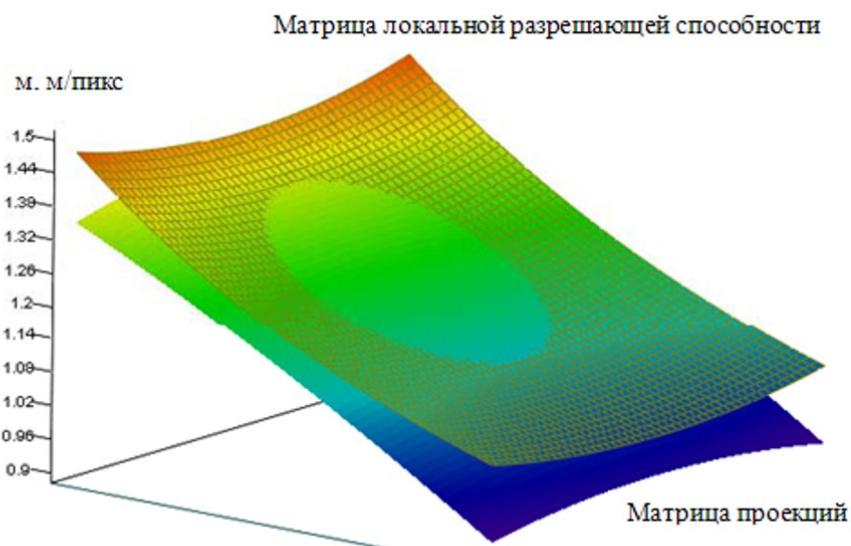


Рисунок 5 – Соотношение линейных размеров проекций человека на картинную плоскость и локальной разрешающей способности оптической системы

Линейные размеры проекций сведены в матрицу проекций и представлены в виде соответствующей поверхности, описывающей зависимость минимального размера проекции от номера элемента ПЗС-матрицы и имеет размерность в метрах. Вторая поверхность является графическим отображением матрицы локальной разрешающей способности оптической системы и описывает зависимость площади физического пространства, приходящейся на один пиксель ПЗС-матрицы от номера элемента этой матрицы. Пересечение двух поверхностей: поверхности проекций объекта и поверхности

местных разрешений, дает область, в которой можно увидеть искомый объект. Однако, это еще не говорит о том, что искомый объект можно будет идентифицировать. Для рассматриваемых условий (высота полета 1900 м, ПЗС-матрица 737x535, угол наклона оптической оси -52°) надо иметь оптическую систему с лучшим разрешением.

Поле зрения оптической системы является важной характеристикой, поскольку с его помощью обеспечивается не только получение необходимого изображения земной поверхности, но и решение задачи пространственной ориентации оператора, управляющего функциями беспилотного летательного аппарата.

Аэрофотосъемка беспилотными летательными аппаратами получает все большее распространение, что обуславливает применение в комплексе с БПЛА современных цифровых фотокамер, как специально спроектированных, так и стандартных. Снимки, сделанные на цифровую камеру, сразу же после съемки могут быть обработаны. Применение аэрофотоаппаратов (АФА) с БПЛА, относящихся к классу Микро и Мини по международной классификации, невозможно, так как они имеют достаточно большой вес и размер, а также обладают рядом недостатков [5, 6].

Для планирования аэрофотосъемки необходимо произвести расчет основных параметров [6]. При расчете параметров аэрофотосъемки беспилотным летательным аппаратом, оснащенным цифровой камерой, потребуются следующие исходные данные, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета параметров аэрофотосъемки

Показатель		Ед. изм.	Обозначение	Значение
Размеры участка	длина	м	$D_x$	8000
	ширина	м	$D_y$	750
Размер пикселя на местности		пкс/м	GSD	0,1
Размеры сторон снимка	высота	пкс	$l_x$	4320
	ширина	пкс	$l_y$	3240
Продольное перекрытие снимков в маршруте	%		$P_x$	85
Поперечное перекрытие	%		$P_y$	20
Скорость БЛА при аэрофотосъемке	м/с		$V$	8,33
Время записи информации в цифровой фотокамере	с		$T_{RF}$	8

При проведении аэрофотосъемки цифровыми фотокамерами, чтобы получить снимки с требуемым размером пикселя на местности, необходимо выполнять съемку на определенной высоте [7, 8]. Разрешающую способность цифровых снимков принято характеризовать числом точек на дюйм –  $dpi$  и размером пикселя на местности – GSD. Рассчитывается высота полета по следующей формуле:

$$H_{\text{пол}} = GSD \cdot l_x \quad (4)$$

где  $H_{\text{пол}}$  – высота полета, м;

$GSD$  – размер одного пикселя на местности, разрешение пикселя, м/пкс;

$l_x$  – размер снимка камеры, пкс.

$$H_{\text{пол}} = 0,1 \text{ м/пкс} \cdot 4320 \text{ м} = 432 \text{ м.}$$

Так как цифровые снимки имеют форму прямоугольника, рекомендуется во время съемки располагать камеру длинной стороной вдоль направления съемки, так как это позволит увеличить базис фотографирования, а, значит, и улучшить фотограмметрическую засечку (рисунок 6).

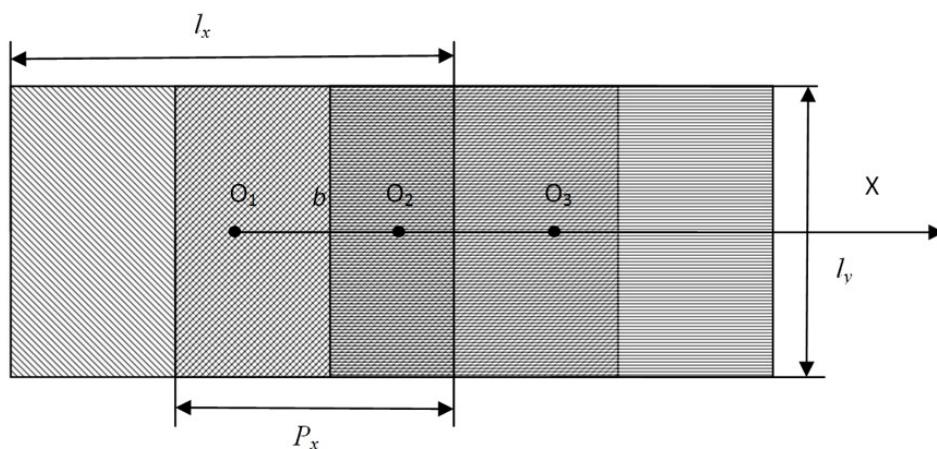


Рисунок 6 – Взаимное расположение снимков в маршруте

На рисунке 6 хорошо видно, что если соотношение сторон снимка составляет 2:3, то, расположение снимка длинной стороной вдоль направления съемки позволяет увеличить базис фотографирования ( $b$ ) в 1,5 раза. Соответственно в 1,5 раза увеличивается время  $T_{RF}$  для записи информации с цифровой камеры на накопитель. Поэтому минимальное расстояние между кадрами  $B_{min}$  для цифровой камеры в первую очередь зависит от ее технических характеристик и скорости беспилотного летательного аппарата  $V$ .

$$B_{min} = V \cdot T_{RF} \quad (5)$$

$$B_{min} = 8,33 \text{ м/с} \cdot 8 \text{ с} = 66,64 \text{ м.}$$

Перекрытия между соседними снимками одного маршрута называются продольными ( $P_x$ ). Как слишком малые, так и слишком большие перекрытия для производства непригодны. Для стереоскопического просматривания заснятой местности достаточно иметь продольное перекрытие в 50%. Но краевые части аэроснимков имеют ряд дефектов, поэтому просмотреть стереоскопически всю площадь аэроснимка не удается. Большие перекрытия также недопустимы, так как это резко снижает объемность изображения. При почти 100% перекрытии получаются два одинаковых аэроснимка, у которых нет стереоскопического эффекта. Перекрытия между соседними снимками в равнинных условиях съемки должны находиться в пределах 56-69%, в горных – до 80-90%. Таким образом, расстояние между снимками ( $B$ ) с учетом продольного перекрытия определяется по следующей формуле:

$$B = \frac{l_x \cdot (100 - P_x)}{100} \cdot GSD \quad (6)$$

$$B = \frac{4320 \text{ пкс} \cdot (100 - 85)}{100} \cdot 0,1 \text{ м/пкс} = 64,8 \text{ м.}$$

Но при проведении аэрофотосъемки с применением БПЛА, для того чтобы обеспечить необходимое продольное перекрытие между соседними снимками одного маршрута (рисунок 7), должно соблюдаться следующее ограничение:

$$B_{\min} \geq B$$

Ширина маршрута на местности ( $L_M$ ) зависит от высоты кадра ( $l_y$ ) применяемой в комплексе с БЛА цифровой камеры.

$$L_M = l_y \cdot GSD$$

(7)

$$L_M = l_y \cdot GSD = 3240 \text{ пкс} \cdot 0,1 \text{ м/пкс} = 324 \text{ м.}$$

Перекрытия между маршрутами называются поперечными ( $P_y$ ). Величина их обычно задается в пределах 20-40%. Определить расстояние между смежными маршрутами можно по формуле:

$$L_y = \frac{l_y \cdot (100 - P_y)}{100} \cdot GSD$$

(8)

$$L_y = \frac{l_y \cdot (100 - P_y)}{100} \cdot GSD = \frac{3240 \text{ пкс} \cdot (100 - 20)}{100} \cdot 0,1 \text{ м/пкс} = 259 \text{ м.}$$

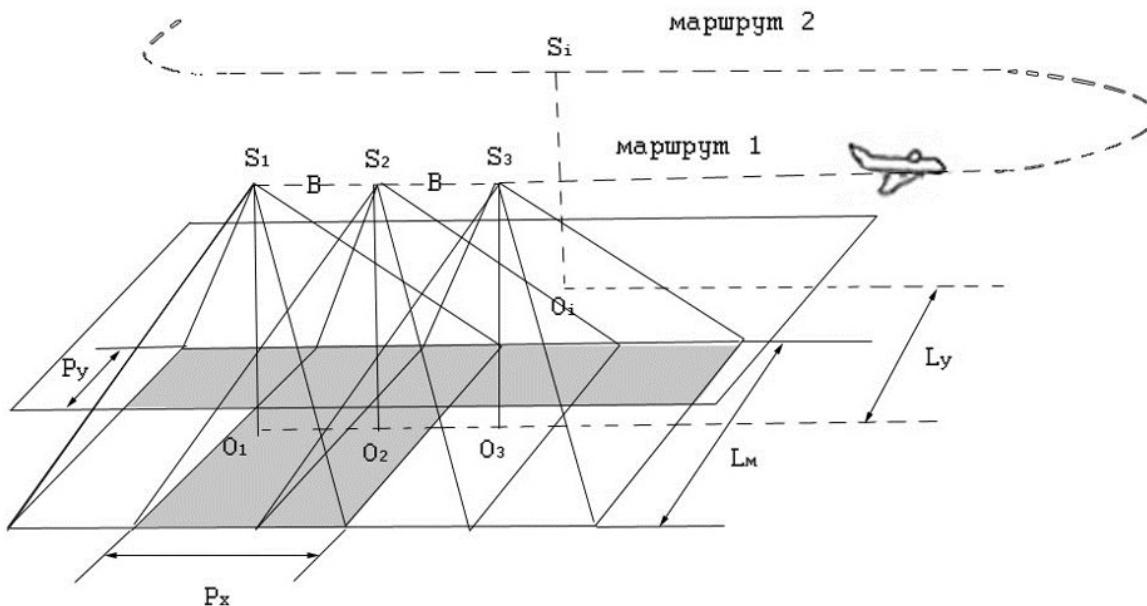


Рисунок 7 – Схема аэрофотосъемки участка

### Выводы.

Применение в составе бортового оборудования цифровых камер позволяет в условиях хорошей метеовидимости и освещенности обеспечить высокое разрешение и детальный мониторинг подстилающей поверхности в режиме реального времени.

Современные технологии передачи, записи и хранения цифровых данных практически не подвергают сигнал искажениям. Одно из неоспоримых преимуществ цифровых технологий – возможность применения к оцифрованному сигналу мощного математического аппарата сжатия видео и аудио информации.

Цифровые камеры находят все более широкое практическое применение, и их «разброс» по цене, характеристикам, требованиям к наличию дополнительного оборудования и другое значительно шире, чем для аналоговых камер. Это дает возможность выбора наиболее подходящего оборудования, для применения его в конкретных условиях.

### Литература

1. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с.
2. Прэtt Э. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1 – 312 с.
3. Оппенгеймер А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / Под ред. С.Я. Шаца. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
4. Безрядин С.Н. Основной недостаток сенсоров современных цифровых камер. сайт компании «Зенит», интернет страница [www.zenit.istra.ru/articles/colour](http://www.zenit.istra.ru/articles/colour).
5. Никифоров А.А., Кадегров В.С. Беспилотные летательные аппараты российского производства, применяемые в лесной отрасли. / Материалы третьей Международной научно-практической интернет-конференции «Леса России в XXI веке». – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – № 3. – С. 144-149.
6. Никифоров А.А., Мунимаев В.А. Анализ зарубежных беспилотных летательных аппаратов // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – № 8. – С. 97-99.
7. Любимов А.В., Вавилов С.В. Лесная аэрофотосъемка и авиация. Оценка качества аэрофотосъемки: Методические указания к лабораторным занятиям. – Л.: ЛТА, 1985. – 44 с.
8. Никифоров А.А. Цифровые фотоаппараты, применяемые для аэрофотосъемки беспилотными летательными аппаратами в лесном хозяйстве. / Материалы первой международной научно-практической интернет-конференции «Леса России в XXI веке». – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – № 4. – С. 65-70.

### References

1. Gruzman I.S., Kirichuk V.S., Kosykh V.P., Peretyagin G.I., Spector A.A. Digital image processing in information systems: A textbook. – Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2000. – 168 p.
2. Pratt E. Digital image processing: Trans. from English. – M.: Mir, 1982. – Book 1. – 312 p.
3. Oppenheimer A.V., Shafer R.V. Digital signal processing: Translated from English / Edited by S.Ya. Schatz. – M.: Svyaz, 1979. – 416 p.
4. Bezryadin S.N. The main disadvantage of sensors of modern digital cameras. Zenit company website, internet page [www.zenit.istra.ru/articles/colour](http://www.zenit.istra.ru/articles/colour).
5. Nikiforov A.A., Kadegrov V.S. Unmanned aerial vehicles of Russian production used in the forestry industry. / Materials of the Third International scientific and practical Internet conference "Forests of Russia in the XXI century". – St. Petersburg: SPbGLTA, 2010. – No. 3. – pp. 144-149.

6. Nikiforov A.A., Munimaev V.A. Analysis of foreign unmanned aerial vehicles // Proceedings of the Forest Engineering Faculty of PetrSU. – Petrozavodsk: Publishing House of PetrSU, 2010. – No. 8. – pp. 97-99.
7. Lyubimov A.V., Vavilov S.V. Forest aerial photography and aviation. Assessment of the quality of aerial photography: Guidelines for laboratory classes. – L.: LTA, 1985. – 44 p.
8. Nikiforov A.A. Digital cameras used for aerial photography by unmanned aerial vehicles in forestry. / Materials of the first international scientific and practical Internet conference "Forests of Russia in the XXI century". – St. Petersburg: SPbGLTA, 2010. – No. 4. – pp. 65-70.

**ПАВЛОВА Т.А. – аға оқытушы (Алматы қ., Алматы энергетика және байланыс университеті)**

**САФИН Р.Т. – аға оқытушы (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

**ГАРМАШОВА Ю.М. – т.ғ.к., доцент (Алматы қ., Алматы энергетика және байланыс университеті)**

**АКАНОВА Ж.Ж. – т.ғ.к., аға оқытушы (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)**

## **ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫНЫҢ САНДЫҚ ОПТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРИ**

### **Ақдатта**

*Бұл мақалада ұшқышсыз ұшу аппараттарының оптикалық жүйесінің жұмыс істейу принциптері қарастырылған және аэрофототүсірілімде сандық камераларды қолданудың артықшылықтары туралы қорытынды жасалды.*

**Түйінді сөздер:** ұшқышсыз ұшу аппараттары, ажыратымдылық, оптикалық жүйелер, сандық камералар.

**PAVLOVA T.A. – senior lecturer (Almaty, Almaty university of power engineering and telecommunications)**

**SAFIN R.T. – senior lecturer (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

**GARMASHOVA Yu.M. – c.t.s., assoc. professor (Almaty, Almaty university of power engineering and telecommunications)**

**AKANOVA Zh.Zh. – c.t.s., senior lecturer (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

## **DIGITAL OPTICAL SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES**

### **Abstract**

*This article discusses the principles of functioning of the optical system of unmanned aerial vehicles and concludes about the advantages of using digital cameras in aerial photography.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, resolution, optical systems, digital cameras.