

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2022. 8(1): 40-47

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.40
<https://rjar.cherkasgu.press>



Stroboscopic Shooting of Comets

Viktor Ya. Tsvetkov ^{a,*}, Igor' P. Deshko ^b

^a Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russian Federation

^b Russian Technological University (MIREA), Moscow, Russian Federation

Abstract

The article examines the photogrammetric method for determining the characteristics of a moving body in space research. The object of research is comets. The method belongs to the field of space photogrammetry and space geoinformatics. A comet is considered as a moving body, but the technique can be used to track meteorites and other small celestial bodies. Stroboscopic shooting is proposed as a method of observation and measurement. A simple stroboscope in the form of a circle with a circular hole at the edge is proposed. Stroboscopic shooting allows not only photographing sections of the trajectory, but also linking them to time. Stroboscopic shooting allows you to change two parameters: shooting frequency and exposure time. These parameters are selected for the speed of the moving object and its distance from the shooting point. The basic diagram of stroboscopic shooting is described. Three qualitatively different sections of the trajectory of a moving object, which are obtained during stroboscopic shooting, are described. The plots characterize the approach of the subject to the shooting point. The most informative is the second section of the trajectory, which corresponds to the middle of the trajectory. A schematic diagram of photographing a moving object is described. Estimation formulas for determining the velocity of a space body are given. A practical example of shooting with an open shutter and using a stroboscope is given. The method allows one to study the dynamics of an object's movement, including its destruction or collision with another object. The method can be applied to survey ground objects, for example, aircraft or missiles of any range.

Keywords: space exploration, space mobile objects, space photogrammetry, space geoinformatics, spatial modeling, stroboscopic surveying, ballistic measurements, image timing.

1. Введение

Моделирование в космической фотограмметрии (Fang, 2011) и космической геоинформатике (Bondur, Tsvetkov, 2015) основано на переносе идей геометрии в область фотограмметрии. При исследовании подвижных объектов эффективно применять методы проективной геометрии (Gao, 2020). Они допускают обработку снимков с двумя фокусными расстояниями или снимков, имеющих два разных масштаба по разным осям координат. Классическая фотограмметрия (James, 2019) построена на предположении центрального преобразования, то есть обработки одного единственного пучка проектирующих лучей. Проективная геометрия (Calderbank et al., 2020; Skala et al., 2020) допускает обработку многократно преобразованных пучков проектирующих лучей. При исследовании

* Corresponding author

E-mail addresses: cvj2@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov), dip@mirea.ru (I.P. Deshko)

подвижных объектов приходится сталкиваться со «смазом» изображения на снимке и ситуацией разных масштабов вдоль движения космического тела и перпендикулярно его движению. Такая связка называется анаморфотной (Баранов, Королевич, 2011) и требует специальных методов обработки.

Можно ввести термин «проективная фотограмметрия» (projective photogrammetry) Этим термином можно обозначить область применения проективной геометрии в фотограмметрии при изучении подвижных объектов и анаморфотных снимков. В область проективной фотограмметрии попадает съемка и обработка снимков подвижных объектов. Снимки подвижных объектов содержат смаз изображения. Проективная геометрия и фотограмметрия (Цветков, 1979) исключает необходимость определения приближенных значений элементов ориентирования снимков и решения обратной засечки методов приближений. Проективная фотограмметрия решает обратную пространственную засечку путем использования системы линейных уравнений (Цветков, 2017). Проективная фотограмметрия позволяет решать прямую засечку не только по стереопаре снимков, а по любому их количеству причем снимки могут иметь разные элементы ориентирования.

Проективная фотограмметрия используется при изучении космических объектов, метеоритов, комет. В силу этого проективная фотограмметрия связана с космической фотограмметрией и космической геоинформатикой. Проективная фотограмметрия используется также для расчета траекторий наземных подвижных объектов и в отдельных случаях позволяет определять их динамические характеристики: скорость, частоту вращения (Цветков, 1997). Поэтому методы проективной фотограмметрии являются актуальными особенно при исследовании подвижных объектов в космическом пространстве.

2. Обсуждение и результаты

Основы стробоскопического метода съемки.

Стробоскопический метод съемки комет и малых небесных тел имеет два варианта. Первый вариант основан на расчетах по снимкам, полученным с применением только одной фотокамеры (Господинов, 2021). Второй вариант основан на использовании снимков, полученных с двух фотокамер. На Рисунке 1 приведена схема стробоскопической съемки.

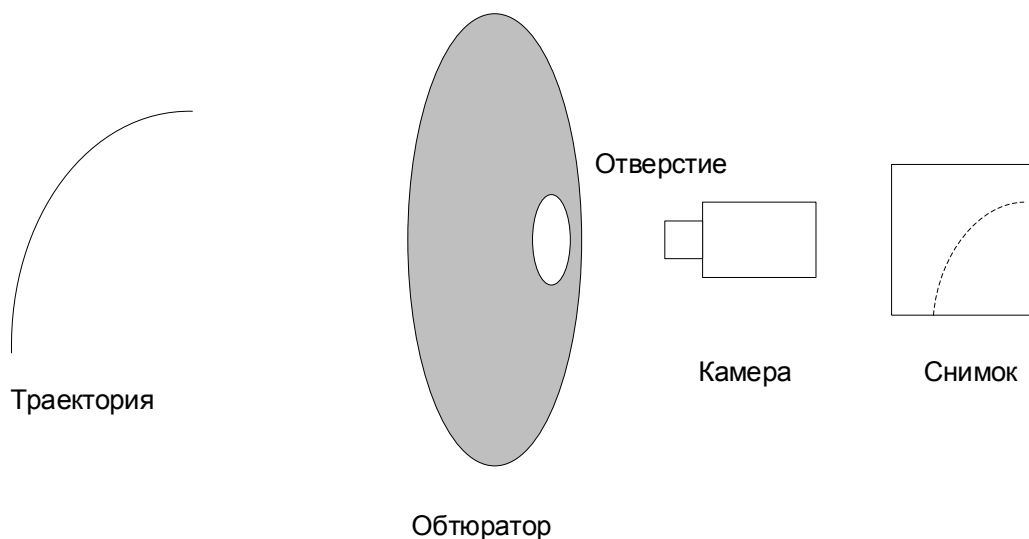


Рис. 1. Стробоскопическая съемка траектории подвижного объекта.

На Рисунке 1 показано, что в пространстве расположен объект, который перемещается по заданной траектории. Стробоскоп или обтюратор является прерывателем изображения на снимке. Если его убрать, то в режиме с открытым затвором на снимке получается сплошная линия, характеризующая плоскую проекцию траектории подвижного объекта. Простейший стробоскоп есть диск с отверстием (Рисунок 1).

При съемке диск вращается с периодом T . Кроме этой характеристики существует другая. Это время экспозиции τ , которое определяется периодом прохождения отверстия

стробоскопа перед камерой. В этот период на снимке фиксируется движение объекта по траектории. Период $T_1 = T - \tau$ характеризует разрыв на изображении.

В результате стробоскопической съемки на снимке вместо сплошной линии получают дискретное изображение движения тела. Особенность стробоскопической съемки в том, что можно задавать и управлять временем T и временем τ . В силу таких условий каждый штриха на снимке с со стробоскопом характеризуется периодом T временем экспозиции фотографирования τ . Периодом T позволяет определить частоту съемки и оценить или определить скорость движения подвижного объекта. Типовое изображение траектории подвижного объекта, полученное при использовании стробоскопической съемки, показано на [Рисунке 2](#).

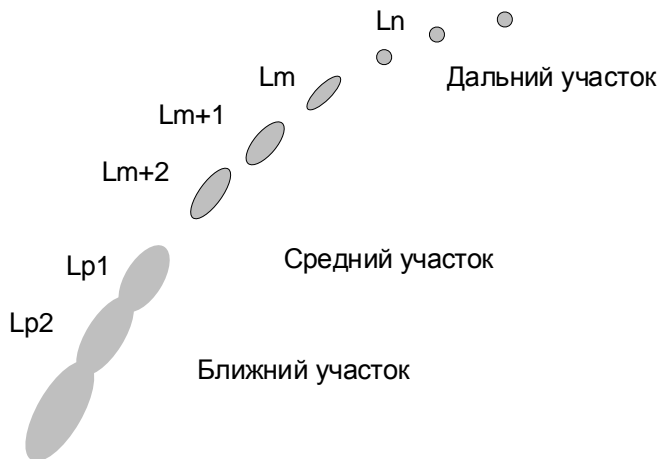


Рис. 2. Типовое изображение подвижного космического объекта.

Траектория кометы на [Рисунке 2](#), имеет три участка, имеющих качественное различие. В общем случае эта типовая траектория характеризует любые подвижные космические объекты. Поэтому рассуждения применимы к любым подвижным космическим объектам.

Первый участок (обозначен L_n) характеризуется значительным удалением от фотокамеры. Он характеризуется круговыми изображениями объектов. Второй участок характеризуется приближением космического объекта и появлением смаза изображения. В силу это изображения кругов заменяются эллипсами, между которыми имеются разрывы. На снимке этот участок изображается в виде «штрихов» и разрывов между ними. На [Рисунке 2](#) его описывают участки L_m .

Третий участок (обозначен L_p) характеризуется значительным приближением к фотокамере. В силу этого эллиптические участки начинают перекрывать. На снимке он изображается в виде сплошной фигуры с утолщением и сужением.

По такому снимку можно оценить скорость подвижного объекта. Используя принцип относительности, можно считать камеру космического аппарата неподвижной, а движение космического объекта определится как движение относительно камеры. Если оно встречное, то относительная скорость будет увеличена (штрихи будут больше). Если движение КА и небесного тела однонаправленно, то относительная скорость будет уменьшена (штрихи будут короче). На практике встречаются участки L_n и L_m .

Фотосъемку производят так, чтобы движение объекта условно было направлено по оси Y . Если это затруднительно, то выбирают направление осей искусственно. Выбирают правую систему координат. План съемки объекта с фотокамеры с обтюратором приведен на [Рисунке 3](#).

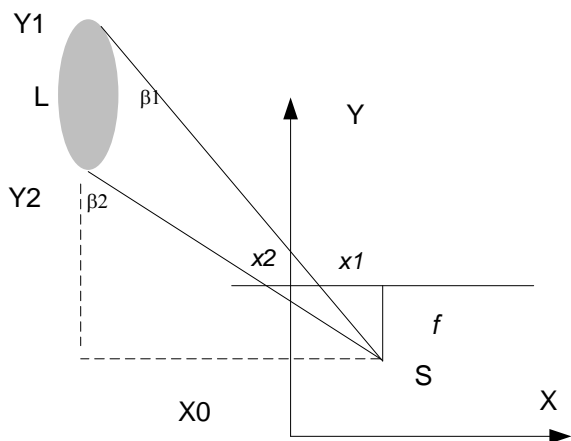


Рис. 3. Схема фотосъемки

На [Рисунке 3](#) Y_1, Y_2 – начало и конец эллиптического участка, L – длина эллиптического участка. Для каждого штриха она своя и условно обозначается как Li . Точки начала и конца эллиптического участка соответствуют времени экспозиции τ . Этот интервал позволяет оценить условную скорость объекта V_i по формуле:

$$V_i = Li / \tau \quad (1)$$

В выражении (1) V_i – скорость на Li -ом участке, Li – условная длина отрезка, проходимая подвижным объектом за время экспозиции. На снимке этот отрезок измеряется по координатам x . Точки начала и конца эллиптического участка на снимке имеют координаты x_1, x_2 . При известном фокусном расстоянии f , можно оценить углы на начало и конец эллиптического участка β_1, β_2 ([Рисунок 2](#)).

$$\text{tg}\beta_1 = x_1 / f = X_0 / Y_1, \quad (2)$$

$$\text{tg}\beta_2 = x_2 / f = X_0 / Y_2 \quad (3)$$

$$Y_1 = X_0 \text{ctg}\beta_1 \quad (4)$$

$$Y_2 = X_0 \text{ctg}\beta_2 \quad (5)$$

$$L = Y_1 - Y_2 = X_0 (\text{ctg}\beta_1 - \text{ctg}\beta_2) \quad (6)$$



Рис. 4. Изображение кометы в режиме выдержка

Формула (6) является оценочной. Более точное значение отрезка L получается при использовании вычислений по паре снимков. Тем не менее, она дает возможность получать оценочные значения скорости подвижного объекта. Например, при движении КА относительно кометы при съемке с обтюратором и примерном расстоянии до кометы можно оценивать ее относительную скорость. Если известна скорость объекта, то можно оценивать расстояние X_0 до него. На [Рисунке 4](#) приведено изображение кометы на снимке с открытым затвором.

Изображение от камеры с открытым затвором ([Рисунок 4](#)) представляет собой непрерывную линию с разной толщиной.

На [Рисунке 5](#) приведено изображение другого типа, полученное при помощи стробоскопа.

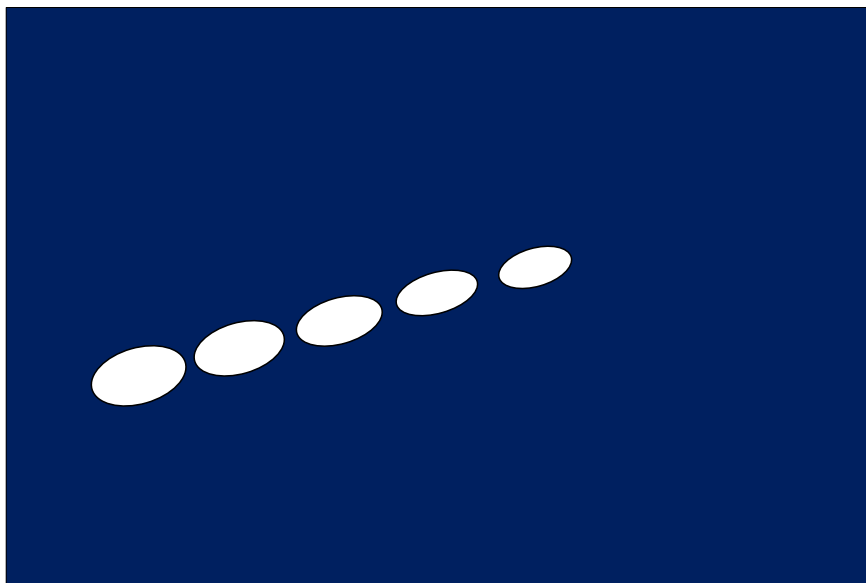


Рис. 5. Фото со стробоскопической съемки

Изображение на [Рисунке 5](#) обработано, поэтому фон искусственный. На [Рисунке 6](#) наложение [Рисунка 4](#) на [Рисунок 5](#).

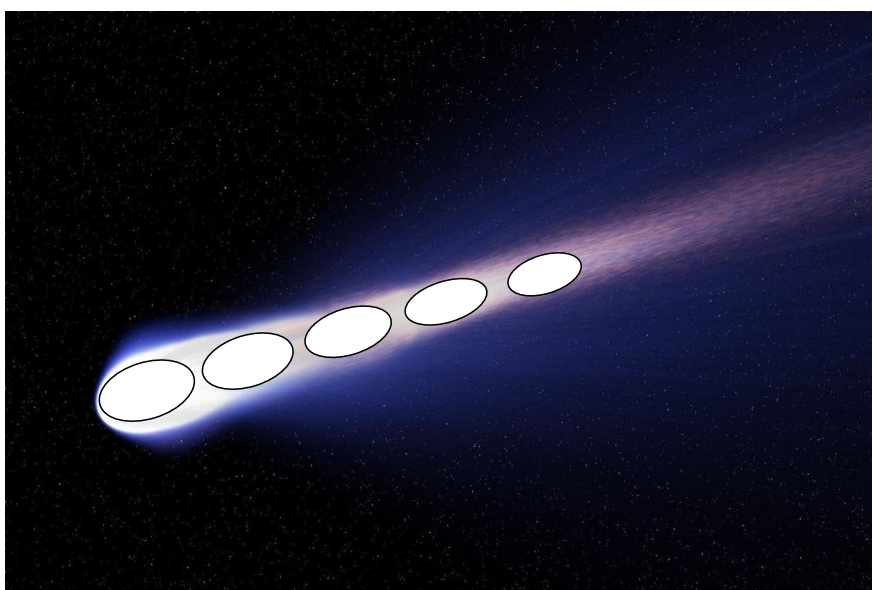


Рис. 6. Наложение стробоскопического изображения на траекторию движения

Обращает на себя внимание, что при стробоскопической съемке удаленные участки получаются более яркими. Это обусловлено тем, что при съемке с открытым затвором ближние участки забивают светом более дальние.

3. Заключение

Анализ различных случаев съемки показывает целесообразность введения термина «информационная ситуация» (Tsvetkov, 2012). Информационная ситуация при съемке исчерпывающе определяет условия съемки и позволяет сравнивать разные ситуации съемки между собой. Предложенный метод применим для исследования не только комет, но и других космических подвижных тел. В земных условиях он применим для оценки параметров траекторий ракет любой дальности. Он применим при использовании скорости тела за счет измерения эффекта Доплера. Предложенный метод применим для оценки площади сечения комет (Tsvetkov, 2017) при помощи метода Монте Карло. Привязка точек траектории космического объекта при использовании стробоскопической съемки может производиться с высокой частотой, что обусловлено отсутствием синхронизации съемки для двух камер. Применение методов математической обработки позволяет определять изменения траектории, например при столкновении объектов или при их разрушении. Последнее часто наблюдается при входе астероидов в земную атмосферу.

Литература

- Баранов, Королевич, 2011 – Баранов В.Н., Королевич В.В. Пример оценки точности модели EGM 2008 по астрономо-геодезическим данным // *Науки о Земле*. 2011. № 2. С. 39-43.
- Цветков, 1979 – Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы / В сборнике. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. Новосибирск, 1979. С. 56-63.
- Цветков, 1997 – Цветков В.Я. Определение динамических характеристик фотограмметрическим методом // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1997. №1. С. 73-76.
- Цветков, 2017 – Цветков В.Я. Алгоритмы решения прямой и обратной пространственной задачи // *Информатизация и связь*. 2017. № 2. С. 71-75.
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.
- Calderbank et al., 2020 – Calderbank D. et al. C-projective geometry // *American Mathematical Society*. 2020. Т. 267. № 1299.
- Gospodinov, 2021 – Gospodinov S.G. Determination of the Spatial Coordinates of the Planet Using One Camera // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2021. 7(1): 13-19.
- Fang, 2011 – Fang Y. et al. Application modes analysis of high resolution large plane array digital camera in space photogrammetry // *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2011. Т. 4.
- Gao, 2020 – Gao C. et al. Generalizing spatial transformers to projective geometry with applications to 2d/3d registration / *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer, Cham, 2020. Pp. 329-339.
- James, 2019 – James M.R. et al. Guidelines on the use of structure-from-motion photogrammetry in geomorphic research // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2019. Т. 44. № 10. Pp. 2081-2084.
- Skala et al., 2020 – Skala V., Karim S.A.A., Kadir E.A. Scientific computing and computer graphics with GPU: application of projective geometry and principle of duality // *Int. J. Math. Comput. Sci*. 2020. Т. 15. № 3. Pp. 769-777.
- Tsvetkov, 2012 – Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. 2012. 12-1 (36): 2166-2170.
- Tsvetkov, 2017 – Tsvetkov V.Ya. Application of Monte Carlo Method for Calculation of the Comets' Area by the Photographic Pictures // *Modeling of Artificial Intelligence*. 2017. 4(2): 96-101.

References

- Baranov, Korolevich, 2011 – Baranov, V.N., Korolevich, V.V. (2011). Primer ocenki tochnosti modeli EGM 2008 po astronomo-geodezicheskim dannym [An example of evaluating the accuracy

of the EGM 2008 model based on astronomical and geodetic data]. *Nauki o Zemle*. 2: 39-43. [in Russian]

[Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

[Calderbank et al., 2020](#) – Calderbank, D. et al. (2020). C-projective geometry. *American Mathematical Society*. 267: 1299.

[Fang, 2011](#) – Fang, Y. et al. (2011). Application modes analysis of high resolution large plane array digital camera in space photogrammetry. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 4.

[Gao, 2020](#) – Gao, C. et al. (2020). Generalizing spatial transformers to projective geometry with applications to 2d/3d registration. *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer, Cham. Pp. 329-339.

[Gospodinov, 2021](#) – Gospodinov, S.G. (2021). Determination of the Spatial Coordinates of the Planet Using One Camera. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 7(1): 13-19.

[James, 2019](#) – James, M.R. et al. (2019). Guidelines on the use of structure-from-motion photogrammetry in geomorphic research // *Earth Surface Processes and Landforms*. 44(10): 2081-2084.

[Skala et al., 2020](#) – Skala, V., Karim, S.A.A., Kadir, E.A. (2020). Scientific computing and computer graphics with GPU: application of projective geometry and principle of duality. *Int. J. Math. Comput. Sci*. 15(3): 769-777.

[Tsvetkov, 1979](#) – Tsvetkov, V.Ya. (1979). Metodika obrabotki snimkov nepravil'noj formy [Technique for processing images of irregular shape]. *V sbornike. Razvitie i ispol'zovanie aerokosmicheskikh metodov izucheniya prirodnyh yavlenij i resursov*. Novosibirsk. Pp. 56-63. [in Russian]

[Tsvetkov, 1997](#) – Tsvetkov, V.Ya. (1997). Opredelenie dinamicheskikh karakteristik fotogrammetricheskim metodom [Determination of dynamic characteristics by the photogrammetric method]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka*. 1: 73-76. [in Russian]

[Tsvetkov, 2012](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2012). Information Situation and Information Position as a Management Tool. *European researcher*. 12-1 (36):2166-2170.

[Tsvetkov, 2017](#) – Tsvetkov V.Ya. (2017). Algoritmy resheniya pryamoj i obratnoj prostranstvennoj zadachi [Algorithms for solving direct and inverse spatial problems]. *Informatizaciya i svyaz'*. 2: 71-75. [in Russian]

[Tsvetkov, 2017](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2017). Application of Monte Carlo Method for Calculation of the Comets' Area by the Photographic Pictures. *Modeling of Artificial Intelligence*. 4(2): 96-101.

Стробоскопическая съёмка комет

Виктор Яковлевич Цветков ^{a, *}, Игорь Петрович Дешко ^b

^a Научно-исследовательский и проектно конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), Российская Федерация

^b Российский технологический университет (МИРЭА), Российская Федерация

Аннотация. Статья исследует фотограмметрический метод определения характеристик движущегося тела в космических исследованиях. Объектом исследования являются кометы. Метод относится к области космической фотограмметрии и космической геоинформатики. В качестве движущегося тела рассмотрена комета, но методика может быть использована для отслеживания метеоритов и других малых небесных тел. В качестве метода наблюдения и измерения предлагается стробоскопическая съёмка. Предложен простой стробоскоп в виде круга с круговым отверстием на краю. Стробоскопическая съёмка позволяет не только фотографировать участки траектории, но и привязывать их ко времени. Стробоскопическая съёмка позволяет менять два параметра: частоту съёмки и время

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: cvj2@mail.ru (В.Я. Цветков), dip@mirea.ru (И.П. Дешко)

экспозиции. Эти параметры выбирают под скорость подвижного объекта и его расстояние от точки съемки. Описана принципиальная схема стробоскопической съемки. Описаны три качественно разных участка траектории подвижного объекта, которые получают при стробоскопической съемке. Участки характеризуют приближение объекта съемки к точке съемки. Наиболее информативным является второй участок траектории, который соответствует середине траектории. Описана принципиальная схема фотосъемки подвижного объекта. Приведены оценочные формулы для определения скорости космического тела. Приведен практически пример съемки с открытым затвором и с использованием стробоскопа. Метод позволяет исследовать динамику движения объекта, включая его разрушение или столкновение с другим объектом. Метод может применен для съемки наземных объектов, например, самолетов или ракет любой дальности.

Ключевые слова: космические исследования, космические подвижные объекты, космическая фотограмметрия, космическая геоинформатика, пространственное моделирование, стробоскопическая съемка, баллистические измерения, временная привязка изображения.