



Russian Journal of Astrophysical Research. Series A

Issued since 2015

E-ISSN: 2413-7499
2025. 11(1). Issued once a year

EDITORIAL BOARD

Dr. Prokopiev Evgeny – Kurchatov Institute, Institute of Theoretical and Experimental Physics, Russian Federation (Editor in Chief)

Dr. Bisnovatyi-Kogan Gennady – Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Dr. Blinnikov Sergei – Kurchatov Institute, Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russian Federation

Dr. Md Azree Othuman Mydin – University Sains Malaysia, Penang, Malaysia

Dr. Moskalenko Igor – Stanford University, Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford, USA

Dr. Nakariakov Valery – University of Warwick, Coventry, United Kingdom

Dr. Sokoloff Dmitry – Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Dr. Suntola Tuomo – Physics Foundations Society, Espoo, Finland

Dr. Tsvetkov Viktor – Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation

Dr. Utkin Lev – Saint-Petersburg Forestry University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Journal is indexed by: **CrossRef, MIAR, OAJI, Russian Science Citation Index**

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 13906, Polarstone Ct., Release date 22.12.2025
Houston, TX, USA 77044 Format 21 x 29,7/4.

Website: <https://rjar.cherkasgu.press> Headset Georgia.
E-mail: office@cherkasgu.press

Founder and Editor: Cherkas Global Order № RJAP-11.
University

Russian Journal of Astrophysical Research. Series A

2025

1

C O N T E N T S

Articles

Application of Galileo's Principle of Relativity in the Study of Space Objects with Non-Inertial Motion S.V. Bronnikov, V.Ya. Tsvetkov	3
Analysis of Methods for Passive Vibration Isolation of Precision Equipment on Spacecraft R.A. Chesnokov, K.R. Bezzubtsev	9
Soundproofing of Spacecraft R.A. Chesnokov, B.A. Zelenov	14
Descriptive Modeling in Space Exploration I.A. Dubchak	19
Cosmic Ontology S.A. Kudzh, N.S. Kurdyukov	27
Projective Methods of Processing Space Images V.Ya. Tsvetkov	34

Letters to the Editorial Board

On the Possibility of Obtaining an Orbital Rocket of the Ultra-Light Class by Installing an Upper Stage K.A. Rastobarova, N.W. Mitiukov	42
--	----

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA

Russian Journal of Astrophysical Research. Series A

Issued since 2013.

E-ISSN: 2413-7499

2025. 11(1): 3-8

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.3

<https://rjar.cherkasgu.press>



Articles

Application of Galileo's Principle of Relativity in the Study of Space Objects with Non-Inertial Motion

Sergey V. Bronnikov ^a, Viktor Ya. Tsvetkov ^b, *

^a 9th Branch of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, Korolev, Moscow region, Russian Federation

^b Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation

Abstract

Space data processing utilizes geometric methods. This is due to the fact that angular measurements are often used in space research, as stereoscopic photography is impossible to achieve under terrestrial conditions. Geometric construction methods for space conditions are not commonly used on Earth. In space research, the problem of data acquisition is relatively simple. The challenge lies in using space information to process and analyze spatial situations and accumulate experience. A distinctive feature of space research is that imagery is only taken from moving objects (spacecraft), and moving objects are also largely studied. This poses the problem of imagery from moving objects and the problem of geometric constructions taking motion into account. This formulation of the problems necessitates an analysis of the applicability of the principles of relativity to space imaging. This article is devoted to the study of this problem. The principles of relativity, from Galileo, Newton, and Einstein to the present day, consider only inertial systems. The main question is whether the system is inertial or non-inertial. This issue is not addressed in this paper. Instead, the problem of using sensors in non-inertial systems as in inertial systems is investigated. Spacecraft observation systems include a set of different sensors, including a laser rangefinder, a laser scanner, digital cameras, radars, and others. Until recently, laser rangefinders were not used for geometric constructions and determining the coordinates of surface points. They were used only to determine the range or distance to scan points. This article proposes a method for using a laser rangefinder for geometric constructions and obtaining three-dimensional coordinates. This method is applicable to studying the surfaces of planets, other celestial bodies, or other spacecraft encountered during the movement of a research spacecraft. Three spatial simplified situations are presented. Two of these situations demonstrate the possibility of applying the principle of relativity when photographing moving objects or when photographing from moving objects. A simplified method for calculating coordinates using a rangefinder is presented. Two options are considered. The first calculation option uses only the rangefinder and allows for determining two coordinates on the surface of the body in an arbitrary coordinate system tied to the spacecraft trajectory. The coordinates are determined only in the cutting plane. The second calculation option uses a rangefinder and a digital camera. This

* Corresponding author

E-mail addresses: cjv7@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov), sbronnik@mail.ru (S.V. Bronnikov)

calculation option allows for the determination of three coordinates in a conventional coordinate system associated with the spacecraft's trajectory.

Keywords: space exploration, spacecraft, spatial situation, information perception channel, planetary surface imaging, laser rangefinders.

1. Introduction

Special geometric constructions are often used when studying the surfaces of planets (Barmin et al., 2014; Shaytura, 2020) and comets. Many spacecraft use single-camera imaging (Gospodinov, 2021) to study the surface of a celestial body or the environment in which that celestial body is located. One of the special features of space object research is the study of the surfaces of planets or small celestial bodies (Oznamets, Tsvetkov, 2019). For this reason, spacecraft carry multiple cameras (Savinykh, Tsvetkov, 2001) to obtain more information. Spacecraft observation systems include a variety of sensors, including a laser rangefinder, a long-focus camera with high coordinate accuracy, and a wide-focus camera for surface observation. Angular measurements are often used in space research (Savinykh, 2021) because stereoscopic photography is impossible to achieve under terrestrial conditions. There is a trend in space exploration to use digital cameras (Tagai, Batham, 2024). They can be used for real-time analysis or for sending information to Earth. A digital camera takes a photograph and transmits it via a communication channel to the mission control center. In space exploration, photography is conducted only from moving objects (Bronnikov, 2023). Moreover, most space objects are also moving. This situation poses the problem of photographing from moving objects, the problem of geometric constructions taking into account motion, and the problem of processing such constructions. This formulation of problems leads to the need to analyze the application of the principles of relativity to space photography. One of the first principles of relativity belongs to Galileo. It states that all laws of mechanics are the same (invariant) in all inertial reference frames. Inertial reference frames are those that are either at rest or moving uniformly and rectilinearly relative to each other. In space, there is no rectilinear motion (Savinykh, 2017, Kudzh, 2022). It has curvature, and the shortest distance is not a straight line, but a geodesic line. Of interest is the application of survey methods in the absence of inertial motion conditions. In this case, the goal is not to determine whether the system is at rest or moving at a constant velocity. The goal is not to determine inertiality, but to process measurements from such a system as an inertial reference frame.

2. Results and discussion

Geometric Constructions in the Study of Certain Situations

Consider the three spatial situations depicted in Figures 1, 2, and 3. We introduce the concepts of spacecraft (SC) and "flyby body" (BO). A flyby body can be a planet or another celestial body, including another cylindrical spacecraft.

Points of the spacecraft's trajectory are denoted by T. Points on the surface of the flyby body are denoted by P. Point Q denotes the projection point. In situations 1 and 3, this is the projection onto the surface of the flyby body from the spacecraft's trajectory. In situation 2, this is the projection onto the spacecraft's trajectory from the surface of the flyby body.

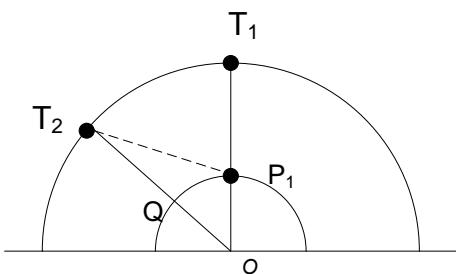


Fig. 1. The motion of the spacecraft relative to a non-rotating object

Situation 1 corresponds to the case where the spacecraft moves relative to a non-rotating object along a circular or elliptical trajectory. During observation time t_1 , the spacecraft moves

along a trajectory from point T1 to point T2. Initially, point T1 in the spacecraft's orbit corresponds to point P1 on the surface of the flyby body. It can be assumed that the spacecraft rotates relative to a certain center O (Fig. 1) with an angular velocity ω_1 . The radius of rotation is determined by the formula.

$$R_1=OT_1= OT_2$$

The distance traveled D along the trajectory is determined by the formula

$$D=R_1 t_1 \omega_1$$

In addition, the spacecraft's inertial system determines the relative coordinates at observation points T1 (X1, Y1, Z1) and T2 (X2, Y2, Z2). This is the conventional (relative) coordinate system of the spacecraft's trajectory, tied to these orbital points. Point P1 on the flyby body's surface is the nadir point relative to the spacecraft at point T1. Point Q on the flyby body's surface is the zenith point relative to the spacecraft at point T2. Point T1 on the trajectory (SC) is the zenith point relative to the flyby body's surface. The coordinates of point P1 are unknown. However, using rangefinding devices, the distances L1 and L2 can be determined (Figure 1).

$$L_1=T_1P_1$$

$$L_2=T_2P_1$$

Situation 2 (Figure 2) corresponds to the case where the spacecraft is hovering in space at point T1, while the flyby body rotates. Initially, point P1 on the surface of the flyby body is the nadir point relative to the spacecraft at point T1.

To illustrate the relativity of this situation, we choose the same observation time t1. During this time, the point on the surface of the flyby body moves in space from point P1 to point P2. This point does not move on the surface of the body, but it moves in space. The spatial coordinates of point P2 (u2, v2, l2) change relative to the spatial coordinates of point P1 (u1, v1, l1).

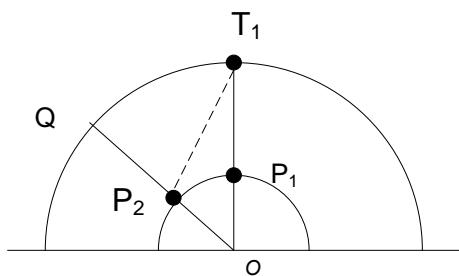


Fig. 2. Rotation of an object relative to a hovering spacecraft

The position of point T1 remains constant during observation time t1. Using rangefinding devices, distances L1 and L3 can be determined (Figure 2).

$$L_1=T_1P_1$$

$$L_3=T_1P_2$$

To emphasize the relativity of the processes, we assume that the flyby body rotates with the same angular velocity ω_1 . The distance traveled by a point on the surface of the flyby body, D2, is determined by the formula

$$D_2=R_2 t_1 \omega_1$$

The radius R2 on the surface of the flyby body is determined by the formula

$$R_2=OP_1= OP_2$$

Point P1 on the flyby body's surface is the nadir point relative to the spacecraft at point T1. Point Q on the spacecraft's trajectory is the zenith point relative to point P2 on the flyby body's surface. Point Q in situation 2 (Figure 2) corresponds to point T2 in situation 1 (Figure 1). Point Q in situation 1 (Figure 1) corresponds to point P2 in situation 2 (Figure 2). This comparison proves the relativity of position in space for special cases of non-inertial motion.

In practice, the spacecraft is most often moving and the flyby body is rotating. This situation is shown in Figure 3. They rotate at different angular velocities ω_1 и ω_2 .

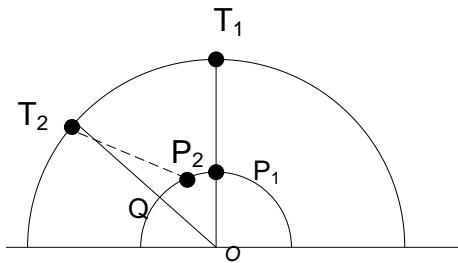


Fig. 3. Rotation of an object and motion of a spacecraft

We'll assume the observation time is t_1 . The distance traveled along the spacecraft's trajectory, D_1 , is determined by the formula

$$D_1 = R_1 t_1 \omega_1$$

The path traveled by a body D_2 on the surface of a body during its flight in space is determined by the formula

$$D_2 = R_2 t_1 \omega_2$$

Coordinate calculations.

We will show the coordinate calculations for situation 1 in Fig. 1. Consider the triangle T_1, T_2, P_1 (Fig. 1). For simplicity, we will introduce the following notations:

$$T_1 T_2 = a; T_1 P_1 = b; T_2 P_1 = c.$$

The basic idea is that the area of a triangle can be calculated from the lengths of its sides, as well as its height and base. According to Heron's formula, if the lengths of the sides are known, the area of the triangle S is calculated using the formula

$$S = \sqrt{p(p - a)(p - b)(p - c)} \quad (1)$$

In expression (1), a, b, c are the lengths of the sides of the triangle, and p is the semiperimeter, which is calculated as: $p = (a + b + c)/2$

Let's introduce the auxiliary construction shown in [Figure 4](#).

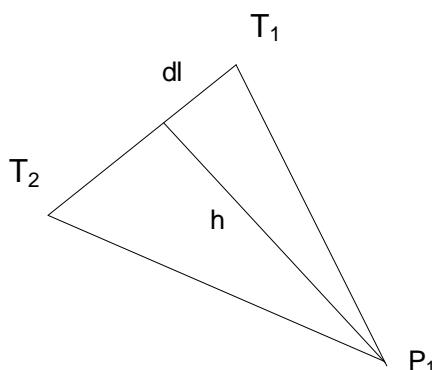


Fig. 4. Estimating the area of triangle $T_1 T_2 P_1$

From point P_1 , draw a height to side $T_1 T_2$ and denote it as h . The area of triangle $T_1 T_2 P_1$ can also be determined using the formula

$$S = (a h)/2 \quad (2)$$

Let's define a relative coordinate system with the origin at point T_1 . In a relative coordinate system, the direction $T_1 T_2$ can be chosen as the X-axis. The normal to it defines the Y-axis. This normal direction coincides with the direction of the triangle's altitude h . The value of h determines the YY coordinate of point P_1 in a relative coordinate system with the origin at point T_1 . The segment dl on the line $T_1 T_2$ determines the X-coordinate of point P_1 .

Let's equate the left-hand sides of equations (1) and (2) and eliminate the square root.

$$\frac{1}{2} a h = [p(p-a)(p-b)(p-c)]^2 \quad (3)$$

We calculate h

$$h = 2 [p (p-a) (p-b) (p-c)]^2 / a \quad (4)$$

Expression (4) defines the YY coordinate of point P1 in the relative coordinate system, in the cutting plane tied to the spacecraft trajectory. The value of dl on the line T1T2 defines the X coordinate of point P1 in the relative coordinate system.

$$dl = \sqrt{b^2 - h^2} \quad (5)$$

Thus, two coordinates of point P1 are determined in the plane measuring the distance to point P1. The third coordinate can be calculated using a photograph or digital image. It should be noted that the YY coordinate of point P1 is measured in the cutting plane. Essentially, it is a slant range, not a coordinate.

[Figure 5](#) illustrates the use of an image to calculate three "correct" coordinates. The figure shows the slant range YY and the Y coordinate in a three-dimensional coordinate system. The segment dl corresponds to the X coordinate.

$$YY = \sqrt{Y^2 + Z^2} \quad (6)$$

The coordinates of the image of the point are determined from the photograph

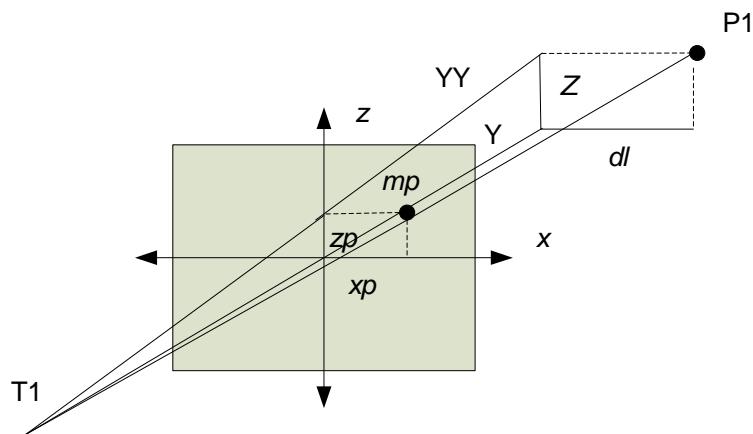


Fig. 5. Determining coordinates using an image.

The coordinates of point P1 are in the relative coordinate system (X, Y, Z). The unknown coordinates are (Y, Z). The xp coordinate in the image is used to determine the scale M between the image and reality.

$$M = dl / xp \quad (7)$$

The Z coordinate is determined from the zp coordinate in the image

$$Z = M zp = zp dl / xp \quad (8)$$

The Y coordinate is determined from expression (6)

$$Y = \sqrt{YY^2 - Z^2} \quad (9)$$

Calculations for more complex situations will follow in future articles.

3. Conclusion

Some types of non-inertial motion obey the principles of relativity. For space exploration, the inertia of a system is not as important as the ability to transfer moving imagery conditions to stationary ones. This study demonstrates the relativity of position in space for specific cases of non-inertial motion. The principle of relativity can be applied to non-inertial systems when the parameters of moving bodies are recorded from them. The principle of relativity can be used to transfer a coordinate system to different points on a moving object.

References

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface. *Solar System Research*. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

- Bronnikov, 2023** – *Bronnikov, S.V.* (2023). Information management of moving objects. *Slavyanskii forum*. 3(41): 202-212.
- 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.
- Kudzh, 2022** – *Kudzh, S.A.* (2022). Development of space monitoring. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 8(1): 12-22
- Oznamets, Tsvetkov, 2019** – *Oznamets, V.V., Tsvetkov, V.Ya.* (2019). Space Geodesy of Small Celestial Bodies. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 5(1): 30-40.
- Savynych, 2017** – *Savynych, V.P.* (2017). Evolution of Space Monitoring. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 3(1): 33-40.
- Savynych, 2021** – *Savynych, V.P.* (2021). Determination of the Linear Parameters of the Planet by Measuring the Angular Diameter. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 7(1): 28-34.
- Savinykh, Tsvetkov, 2001** – *Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. M.: Kartotsentr-Geodezizdat. 224 p. [in Russian]
- Shaytura, 2020** – *Shaytura, S.V.* (2020). Determining the coordinates of points on the surface of a space body. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 6(1): 35-45.
- Tagai, Batham, 2024** – *Tagai, I., Batham, D.* (2024). Digital Camera: A Review and Comparative Analysis. *Smart Engineering Technology and Management*. 437.

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA

Russian Journal of Astrophysical Research. Series A

Issued since 2013.

E-ISSN: 2413-7499

2025. 11(1): 9-13

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.9

<https://rjar.cherkasgu.press>



Analysis of Methods for Passive Vibration Isolation of Precision Equipment on Spacecraft

Roman A. Chesnokov ^{a,*}, Kirill R. Bezzubtsev ^a

^a Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russian Federation

Abstract

The relevance of research in the field of spacecraft vibration isolation is driven by the need to develop modern and advanced space technologies. This paper examines the main methods of vibration protection for precision equipment and analyzes passive vibration isolation methods. The analysis revealed that creating a vibration isolation system requires consideration of numerous factors determined by mission requirements, and existing vibration protection methods are adequate for the task. However, given the promising development of composite and multi-component materials, their use in these technologies should be emphasized. This will significantly improve the performance of many devices (such as weight and wear resistance), which will further accelerate the development of the space industry.

Keywords: vibration isolation, spacecraft, passive vibration isolation, precession equipment.

1. Введение

Вибрация, или механические колебания, представляет собой повсеместно распространенное явление, играющее ключевую роль в самых различных областях – от фундаментальной физики и машиностроения до биологии и медицины. Под вибрацией понимают движение точки, тела или системы тел, при котором происходят периодические или квазипериодические отклонения от некоторого среднего положения во времени.

2. Обсуждение

Современные космические аппараты, особенно научные и технологические платформы, требуют обеспечения высокого уровня стабильности и точности функционирования. Такие миссии, как космические телескопы (например, "Джеймс Уэбб"), гравитационно-волновые обсерватории (LISA Pathfinder), критичны к уровню механических колебаний, поскольку требуют достаточно точной юстировки (Герасимчук и др., 2018). Кроме того, вибрации оказывают большое значение на точность гироскопических приборов (Кузнецов, 2025) и другого прецизионного бортового оборудования (Жуков и др., 2021).

Источники вибраций многообразны и действуют как на этапе выведения (высокоамплитудные, широкополосные нагрузки от работы двигателей и аэродинамических возмущений), так и на орбите (низкоамплитудные, но постоянные возмущения от работы двигателей-маховиков, насосов, систем терморегулирования и развертываемых механизмов).

* Corresponding author

E-mail addresses: ra.chesnokov@yandex.ru (R.A. Chesnokov)

Воздействие этих вибраций приводит к деградации характеристик оптических систем, снижению точности научных измерений, накоплению усталостных повреждений конструкции и, в конечном счете, к сокращению срока активного существования космических аппаратов. В отдельных случаях вибрации даже влияют на баллистические параметры космического аппарата (Ростовский и др., 2021). В связи с этим, разработка эффективных систем виброизоляции является актуальной научно-технической задачей, решение которой напрямую влияет на успех космических миссий (Тестоедов и др., 2010).

В настоящее время проблема виброзащиты решается либо путем расчетов (Макаров, 2001), либо в ходе наземной отработки агрегатов и узлов (Ефанов, Кузнецов, 2017).

3. Результаты

Виброизоляция в космических аппаратах направлена на ослабление передачи вибрационной энергии от источника (например, платформы или ракеты-носителя) к защищаемому объекту (полезной нагрузке). Различают следующие виды виброизоляции.

Пассивная виброизоляция. Данный метод основан на использовании упругодемпфирующих элементов без внешнего источника энергии. К пассивным системам относятся: пружинные и эластомерные демпферы, метод инерционной изоляции (использование промежуточной инерционной массы), структуры с высоким внутренним демпфированием (применение композитных материалов с интегрированными демпфирующими прослойками для рассеивания вибрационной энергии в самой конструкции).

Активная виброизоляция. Активные системы используют внешний источник энергии для генерации управляющего силового воздействия, компенсирующего вибрацию. Активная виброизоляция способна эффективно подавлять низкочастотные вибрации (менее 100 Гц), что является их ключевым преимуществом перед пассивными системами. Однако они сложнее, дороже, потребляют энергию и требуют высокой надежности системы управления.

Гибридная виброизоляция. Гибридные системы комбинируют пассивные и активные элементы, стремясь объединить их достоинства.

На данный момент пассивная виброизоляция остается доминирующим и наиболее популярным видом защиты прецессионного оборудования от вибраций в первую очередь благодаря своей надежности и отказоустойчивости. Наряду с надежностью, решающую роль играют простота конструкции и технологическая отработанность (Жуков и др., 2021). Общая работа устройств виброизоляции представлена на [Рисунке 1](#).



Рис. 1. Общее устройство работы виброизоляции

Первостепенно, при создании полноценной пассивной виброизоляционной системы необходимо учитывать принципы конструкционного демпфирования, то есть способность самих космических аппаратов гасить вибрации. Для этого применяется метод нормирования зазоров и люфтов. Этот метод примется, например, в узлах соединения раскрываемых элементов, таких как панели солнечных батарей, после их приведения в рабочее положение. Результаты экспериментов, представлены в виде зависимостей логарифмического декремента затухания от амплитуды, наглядно продемонстрировали эффективность метода. Было установлено, что при введении зазоров в замках порядка $0,25 \cdot 10^{-3}$ м и люфта в подкосе $0,5 \cdot 10^{-3}$ м коэффициент демпфирования δ возрастал более чем в 10 раз — с 0,05 до 0,55. Анализ показал, что демпфирование колебаний с использованием люфтов и зазоров является наиболее эффективным в области значительных амплитуд, превышающих $5,0 \cdot 10^{-3}$ м. На [Рисунке 2](#) представлены зависимости коэффициентов демпфирования при разных постановках зазоров (Телепнев и др., 2019).

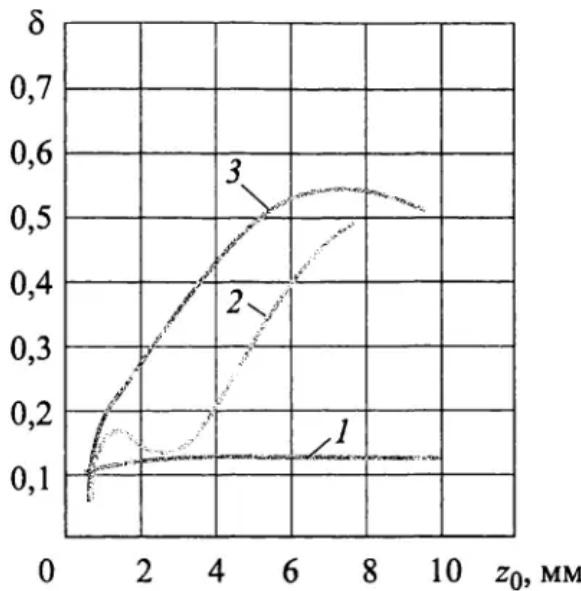


Рис. 2. Зависимость коэффициентов демпфирования от постановки зазоров:
1 – без установки зазоров, 2 – установка зазоров в замках, 3 – установка зазоров на стержнях

После создания виброизоляционной основы, необходимо делать упор на защиту конкретного оборудования, определёнными классами пассивной виброизоляции.

Наиболее распространенным классом являются виброизоляторы на основе упругих элементов. К ним относятся металлические пружины и эластомерные демпферы.

Пружинные виброизоляторы характеризуются линейной жесткостной характеристикой и высокой стабильностью параметров в условиях вакуума и температурных перепадов. Однако они обладают недостаточным внутренним демпфированием, что требует применения дополнительных демпфирующих элементов.

Эластомерные демпферы, основанные на явлении внутреннего трения в полимерных материалах, обеспечивают комплексное решение задач виброизоляции и демпфирования. К их недостаткам следует отнести релаксационные процессы в материале и ограниченный температурный диапазон эксплуатации.

Так же особый класс составляют виброизоляторы сухого трения, к которым относятся проволочные сеточные демпферы и металлорезиновые элементы. Их рабочий механизм основан на диссипации энергии за счет фрикционного взаимодействия структурных элементов. Проволочные сеточные демпферы демонстрируют высокую стабильность характеристик в экстремальных условиях и эффективное демпфирование в широком частотном диапазоне.

Металлорезиновые элементы, представляющие собой объемные структуры из спрессованной металлической проволоки, сочетают упругие свойства с нелинейным демпфированием, что обуславливает их устойчивость к терморадиационному воздействию.

Для особо ответственных применений, требующих обеспечения микрогравитационных условий, применяются пневматические и гидропневматические системы. Их работа основана на использовании сжимаемости газообразных рабочих сред в сочетании с жидкостным демпфированием. Данные системы позволяют достигать высокой степени виброизоляции на инфразвуковых частотах, однако их конструктивная сложность и потенциальная вероятность утечек ограничивают область применения.

4. Заключение

Анализ средств показывает, что для создания виброизоляционной системы необходимо учитывать множество факторов, определяемых требованиями миссий. На наш взгляд, существующие способы виброзащиты справляются с поставленными им задачами. Однако, учитывая перспективы развития композитных, многосоставных материалов следует делать упор в их применении в данных технологиях. Это позволит значительно

улучшить характеристики многих устройств (такие как масса, износостойкость), что в дальнейшем приведёт к ускорению развития космической сферы.

Литература

[Герасимчук и др., 2018](#) – Герасимчук В.В. и др. Обеспечение точности юстировки современных космических телескопов на стенде прецизионной сборки и испытаний // *Космонавтика и ракетостроение*. 2018. № 5 (104). С. 130-138.

[Ефанов, Кузнецов, 2017](#) – Ефанов В.В., Кузнецов Д.А. Методический аппарат обеспечения виброзащиты космических конструкций / Актуальные вопросы проектирования автоматических космических аппаратов для фундаментальных и прикладных научных исследований. М.: НПО Лавочкина, 2017. С. 279-284.

[Жуков и др., 2021](#) – Жуков Ю.А. и др. Виброзащита прецизионного оборудования космических аппаратов от внутренних источников возмущений // *Космические аппараты и технологии*. 2021. Т. 5. № 4 (38). С. 217-226.

[Кузнецов, 2025](#) – Кузнецов Д.А. К вопросу лабораторных исследований по созданию системы виброизоляции бортовых гироскопических устройств / Актуальные вопросы проектирования автоматических космических аппаратов для фундаментальных и прикладных научных исследований. М.: НПО им. С.А. Лавочкина, 2015. С. 200-203.

[Макаров, 2001](#) – Макаров С.С. Моделирование поведения летательного аппарата на пусковом столе // *Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова*. 2001. № 1. С. 45-47.

[Ростовский и др., 2021](#) – Ростовский В.В. и др. Способ оценки и уменьшения влияния колебаний нежестких конструкций на ориентацию космического аппарата / Решетневские чтения: Материалы XXV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2-х частях. Красноярск, 2021. С. 50-51.

[Телепнев и др., 2019](#) – Телепнев П.П. и др. Основы проектирования виброзащиты космических аппаратов: учебное пособие / Под ред. В.В. Ефанова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 102 с.

[Тестоедов и др., 2010](#) – Тестоедов Н.А. и др. Комплексный подход к механическим испытаниям агрегатов исполнительной автоматики космических аппаратов // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва*. 2010. № 1 (21). С. 97-102.

References

[Efanov, Kuznetsov, 2017](#) – Efanov, V.V., Kuznetsov, D.A. (2017) Metodicheskii apparat obespecheniya vibrozashchity kosmicheskikh konstruktsii [Methodological apparatus for ensuring vibration protection of space structures]. *Aktual'nye voprosy proektirovaniya avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov dlya fundamental'nykh i prikladnykh nauchnykh issledovanii*. M.: NPO Lavochkina. Pp. 279-284. [in Russian]

[Gerasimchuk i dr., 2018](#) – Gerasimchuk, V.V. i dr. (2018). Obespechenie tochnosti yustirovki sovremennykh kosmicheskikh teleskopov na stende pretsisionnoi sborki i ispytanii [Ensuring the accuracy of alignment of modern space telescopes on a precision assembly and test rig]. *Kosmonavтика i raketostroenie*. 5(104): 130-138. [in Russian]

[Kuznetsov, 2025](#) – Kuznetsov D.A. (2015). K voprosu laboratornykh issledovanii po sozdaniyu sistemy vibroizolyatsii bortovykh giroskopicheskikh ustroistv [On the issue of laboratory research on the development of a vibration isolation system for onboard gyroscopic devices]. *Aktual'nye voprosy proektirovaniya avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov dlya fundamental'nykh i prikladnykh nauchnykh issledovanii*. M.: NPO im. S.A. Lavochkina. Pp. 200-203. [in Russian]

[Makarov, 2001](#) – Makarov, S.S. (2001). Modelirovaniye povedeniya letatel'nogo apparata na puskovom stole [Modeling of aircraft behavior on the launch pad]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. 1: 45-47. [in Russian]

[Rostovsky i dr., 2021](#) – Rostovsky, V.V. i dr. (2021) Sposob otsenki i umen'sheniya vliyaniya kolebanii nezhestkikh konstruktsii na orientatsiyu kosmicheskogo apparata [A method for assessing and reducing the impact of non-rigid structure oscillations on spacecraft orientation]. *Reshetnevskie chteniya: Materialy XXV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*,

posvyashchennoi pamyati general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M.F. Reshetneva. V 2-kh chastyakh. Krasnoyarsk. Pp. 50-51. [in Russian]

Telepnev i dr., 2019 – *Telepnev, P.P. i dr. (2019). Osnovy proektirovaniya vibrozashchity kosmicheskikh apparatov [Fundamentals of Spacecraft Vibration Protection Design]. Pod red. V.V. Efanova. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana. 102 p. [in Russian]*

Testoyedov i dr., 2010 – *Testoyedov, N.A. i dr. (2010) Kompleksnyi podkhod k mekhanicheskim ispytaniyam agregatov ispolnitel'noi avtomatiki kosmicheskikh apparatov [An integrated approach to mechanical testing of spacecraft automatic control units]. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva. 1(21): 97-102. [in Russian]*

Zhukov i dr., 2021 – *Zhukov, Yu.A. i dr. (2021) Vibrozashchita pretsizionnogo oborudovaniya kosmicheskikh apparatov ot vnutrennikh istochnikov vozmushchenii [Vibration Protection of Precision Spacecraft Equipment from Internal Sources of Disturbances]. Kosmicheskie apparaty i tekhnologii. 5(4): 217-226. [in Russian]*

Анализ способов пассивной виброизоляции прецизионного оборудования космических аппаратов

Роман Анатольевич Чесноков ^{a,*}, Кирилл Романович Беззубцев ^a

^a Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация

Аннотация. Актуальность исследований в области виброизоляции космических аппаратов обусловлена необходимостью развития современных и перспективных космических технологий. В ходе выполнения работы рассмотрены основные способы виброзащиты прецессионного оборудования, и произведен анализ методов пассивной виброизоляции. Анализ показал, что для создания виброизоляционной системы необходимо учитывать множество факторов, определяемых требованиями миссий, а существующие способы виброзащиты вполне справляются с поставленными задачами. Однако, учитывая перспективы развития композитных, многосоставных материалов следует делать упор в их применении в данных технологиях. Это позволит значительно улучшить характеристики многих устройств (такие как масса, износостойкость), что в дальнейшем приведёт к ускорению развития космической сферы.

Ключевые слова: виброизоляция, космический аппараты, пассивная виброизоляция, прецессионное оборудование.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: ra.chesnokov@yandex.ru (Р.А. Чесноков)

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA
Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
Issued since 2013.
E-ISSN: 2413-7499
2025. 11(1): 14-18

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.14
<https://rjar.cherkasgu.press>



Soundproofing of Spacecraft

Roman A. Chesnokov ^{a,*}, Bogdan A. Zelenov ^a

^a Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russian Federation

Abstract

This article provides a comprehensive study of acoustic protection methods used in the design of manned spacecraft. It traces the historical development of noise mitigation strategies: from local solutions used in the early stages of space exploration to the emergence of a comprehensive engineering methodology. The central focus of the study is a comparative analysis of passive and active noise reduction technologies, identifying their key parameters, limitations, and optimal applications, taking into account the specific requirements of space technology. The study concludes that a hybrid approach, integrating the advantages of passive damping and active suppression of low-frequency acoustic vibrations, offers promise for ensuring comfortable conditions for crews and maintaining the functionality of onboard systems.

Keywords: vibroacoustics, spacecraft, noise insulation, sound-absorbing materials, active noise reduction.

1. Введение

Вибраакустическое воздействие на элементы конструкции летательных аппаратов является одной из причин появления большого количества аварийных и внепланетных ситуаций. Главной его особенностью является комплексное воздействие, когда автономная отработка отдельных агрегатов и систем не дает гарантии от выхода их из строя во время полета. Этой проблеме и посвящена данная работа.

2. Обсуждение

Возникновение проблемы акустического воздействия на элементы конструкции космических аппаратов и членов экипажа относится к начальному периоду развития космонавтики. В ходе реализации первых пилотируемых экспедиций (таких как «Восток» и «Меркурий») вопросы шумоподавления еще не были сформированы в качестве самостоятельной инженерной дисциплины. Ключевыми источниками генерации акустических воздействий выступали силовые установки космических аппаратов, а также аэродинамические силы, возникающие при преодолении плотных слоев атмосферы (Болховитинов и др., 2006). В этих условиях защита астронавтов обеспечивалась преимущественно за счет применения специальных скафандров и кресел, оснащенных вибропоглощающими элементами. Системный подход к решению этой проблемы начал зарождаться вместе с программой «Аполлон», в рамках которой было выявлено что повышенный уровень шума является существенным фактором риска как для целостности

* Corresponding author
E-mail addresses: ra.chesnokov@yandex.ru (R.A. Chesnokov)

бортового оборудования, так и физического состояния экипажа (Парахин, 2021). Именно после выполнения данной миссии в практику проектирования космических аппаратов стали внедряться пассивные методы снижения шума, такие как монтаж перфорированных акустических панелей в жилых отсеках и нанесение демпфирующих материалов на структурные элементы корпуса.

3. Результаты

Современные методы шумоизоляции космических кораблей можно разделить на две категории: активные и пассивные. Пассивная шумоизоляция является наиболее отработанной и широко применяемой, она включает в себя следующие подходы:

1) Применение звукопоглощающих материалов. Принцип действия данных материалов, к которым относятся волокнистые и пористые структуры, заключается в трансформации энергии акустических колебаний в тепловую. Эти материалы используются в качестве внутренней облицовки жилых отсеков и зон размещения бортовой аппаратуры. Наиболее типичными представителями класса звукопоглощающих материалов являются материалы на основе минеральных волокон и вспененных полимеров, например, меламиновой пены.

2) Виброзоляция конструкций и агрегатов. Основная задача этого метода заключается в устранении путей прямой передачи механических колебаний. Реализация этого метода обеспечивается за счет установки оборудования космического корабля на амортизаторы, а также применение демпфирующих элементов в соединениях элементов конструкций. Данный метод позволяет эффективно снизить уровень низкочастотных вибраций, передаваемых от двигательной установки и корпуса на чувствительные приборы и модули жизнеобеспечения (Жуков и др., 2021).

3) Массовые барьеры. Метод подразумевает использование тяжелых и плотных материалов (такие как свинцовые листы и слоистые сэндвич-панели) для создания препятствия на пути распространения звуковых волн. Несмотря на высокую эффективность, применение этого метода ограничено массогабаритными ограничениями, предъявляемыми к летательным аппаратам.

Сравнение этих подходов представлено в [Таблице 1](#).

Таблица 1. Сравнительный анализ видов пассивной шумоизоляции

Критерий сравнения	Звукопоглощающие материалы	Виброзоляция	Массовые барьеры
Принцип действия	Рассеивание звуковой энергии в тепловую за счет структуры материала	Разрыв механического пути передачи вибраций с помощью упругих элементов.	Отражение звуковой энергии за счет высокой поверхностной плотности материалов.
Эффективность (диапазон частот)	Наиболее эффективны на средних и высоких частотах (более 500 Гц)	Наиболее эффективны на низких частотах (менее 500 Гц) и против вибраций.	Эффективны на всех частотах, но требуемая масса растет с понижением частоты.
Основные применяемые материалы	Вспененные полимеры, минеральная вата, стекловолокно.	Резиновые амортизаторы, стальные пружины, виброзоляторы.	Свинцовые листы, тяжелые полимерные композиты, слоистые панели.

Критерий сравнения	Звукопоглощающие материалы	Виброзоляция	Массовые барьеры
Влияние на массу конструкции	От низкого до умеренного. Плотность применяемых материалов невысока.	Умеренное. Масса добавляется из-за виброзоляторов и креплений.	Очень высокое. Является основным ограничивающим фактором для применения.
Надежность и сложность исполнения	Высокая надежность. Нет движущихся частей и не требуют питания.	Высокая надежность при правильном расчете. Есть риск старения эластомеров.	Очень высокая надежность из-за крайне простой конструкции.
Области применения на корабле	Облицовка внутренних помещений, кожухи приборов.	Установка пиворных рам, двигателей, насосов, кресел космонавтов.	Ограниченно применяются для локальной защиты важного оборудования от звукового давления.

Активные системы шумоподавления является перспективным направлением. Их принцип действия основан на генерации антисвука – звуковой волны, идентичной по амплитуде, но находящейся в противофазе по отношению к фазе волны подавляемого шума, что приводит к их взаимному гашению ([Васильев, 2006](#)). В основе этого метода лежит принцип волновой суперпозиции. Система в режиме реального времени с помощью датчика опорного шума анализирует спектр первичного нежелательного шума. Электронный блок управления анализирует полученные спектральные данные и создает цифровую копию этой волны, и инвертирует ее по фазе, после чего вторичный сигнал воспроизводится через акустический излучатель (например, динамик). При встрече в заданной области пространства первичная и вторичная звуковые волны интерферируют, что вызывает их взаимную нейтрализацию. Преимущества и недостатки активных систем представлены в [Таблице 2](#).

Таблица 2. Преимущества и недостатки активного шумоподавления

Преимущества (Потенциал)	Недостатки и ограничения (Риски)
Высокая эффективность на низких частотах (менее 500 Гц), где пассивные методы малоэффективны и громоздки.	Ограниченнная зона действия. Подавление эффективно в небольшом пространстве.
Значительное снижение массогабаритных показателей по сравнению с пассивными барьерами для борьбы с шумами низких частот.	Сложность и стоимость. Требуется высокоточная электроника, сложные алгоритмы и отладка.
Адаптивность. Система может подстраиваться под изменение характеристик шума во времени.	Потребление энергии. Требует электропитания, что создает дополнительную нагрузку на бортовую сеть.
Возможность целевого подавления.	Потенциальная нестабильность. Неправильная настройка алгоритма может привести к усилению шума, а не его подавлению.

Несмотря на то, что активные системы шумоподавления в настоящее время не являются штатным оборудованием на пилотируемых космических аппаратах, научно-

исследовательские работы в данной области ведутся достаточно интенсивно. Среди разрабатываемых направлений можно выделить несколько наиболее перспективных:

1) Локализованные системы для кабин и кресел. Интеграция излучателей и микрофонов в подголовник кресла или шлем скафандра для создания персональной акустической зоны.

2) Подавление низкочастотного гула от систем жизнеобеспечения (вентиляторы, насосы), который является постоянным источником раздражения ([Васильев, 2006](#)).

4. Заключение

На основе проведенного анализа исторического опыта и современных технических решений можно полагать, что для обеспечения комплексной шумоизоляции космических кораблей ближайшего будущего оптимальным решением является гибридная стратегия, сочетающая в себе использование методов пассивного шумоподавления и точечное применение активных систем шумоподавления. Пассивная изоляция должна оставаться основой как наиболее надежный способ защиты от широкополосного шума и вибраций. При этом активные системы целесообразно интегрировать для подавления низкочастотных компонентов шума в зоне непосредственной близости от рабочего места экипажа. Такой подход позволит достичь высокого акустического комфорта и безопасности без критичного увеличения массы космического корабля.

Литература

[Болховитинов и др., 2006](#) – Болховитинов И.С. и др. Вибраакустика космических аппаратов, транспортных машин и механизмов: учеб. пособие. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2006. 148 с.

[Васильев, 2006](#) – Васильев А.В. Снижение низкочастотного звука и вибрации энергетических установок. Дисс. ... д-ра техн. наук. СПб., 2006. 659 с.

[Жуков и др., 2021](#) – Жуков Ю.А. и др. Виброзащита прецизионного оборудования космических аппаратов от внутренних источников возмущений // Космические аппараты и технологии. 2021. Т. 5. № 4 (38). С. 217-226.

[Парахин, 2021](#) – Парахин А.М. Защита от шума и вибрации. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. 65 с.

References

[Bolkhovitinov i dr., 2006](#) – Bolkhovitinov, I.S. i dr. (2006). Vibroakustika kosmicheskikh apparatov, transportnykh mashin i mekhanizmov [Vibroacoustics of spacecraft, transport machines and mechanisms]: ucheb. posobie. SPb.: Balt. gos. tekhn. un-t. 148 p. [in Russian]

[Parakhin, 2021](#) – Parakhin, A.M. (2021). Zashchita ot shuma i vibratsii [Noise and vibration protection]. Novosibirsk: Izd-vo NGTU. 65 p. [in Russian]

[Vasil'ev, 2006](#) – Vasil'ev, A.V. (2006). Snizhenie nizkochastotnogo zvuka i vibratsii energeticheskikh ustanovok [Reduction of low-frequency sound and vibration of power plants]. Diss. ... d-ra tekhn. nauk. SPb. 659 p. [in Russian]

[Zhukov i dr., 2021](#) – Zhukov, Yu.A. i dr. (2021). Vibrozashchita pretsizionnogo oborudovaniya kosmicheskikh apparatov ot vnutrennikh istochnikov vozrashchenii [Vibration protection of precision spacecraft equipment from internal sources of disturbances]. Kosmicheskie apparaty i tekhnologii. 5. 4(38): 217-226. [in Russian]

Шумоизоляция космических кораблей

Роман Анатольевич Чесноков ^a *, Богдан Алексеевич Зеленов ^a

^a Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: ra.chesnokov@yandex.ru (Р.А. Чесноков)

Аннотация. В представленной статье осуществляется комплексное изучение методов акустической защиты, используемой при проектировании пилотируемых космических аппаратов. Прослежена историческая динамика развития стратегий противодействия шумовому воздействию: от локальных решений, применявшимся на ранних этапах освоения космоса, до появления целостной инженерной методологии. Центральное место в работе занимает сравнительная характеристика пассивных и активных технологий снижения шума, в рамках которых определены их ключевые параметры, ограничения и сферы оптимального применения с учетом специфических требований к космической технике. Результатом проведенного исследования является аргументированный вывод о перспективности гибридного подхода, интегрирующего достоинства пассивного демпфирования и активного подавления низкочастотных акустических колебаний с целью обеспечения нормальных условий для экипажа и сохранения функциональности бортовых систем.

Ключевые слова: вибраакустика, космический корабль, шумоизоляция, звукопоглощающие материалы, активное шумоподавление.

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA
Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
Issued since 2013.
E-ISSN: 2413-7499
2025. 11(1): 19-26

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.19
<https://rjar.cherkasgu.press>



Descriptive Modeling in Space Exploration

Irina A. Dubchak ^{a,*}

^a Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article explores the field of space research. A new type of information modeling, description modeling, is proposed. Its application is substantiated and the content of this modeling is revealed. A new concept, description model, is introduced. A description model is formed using the principles of description logic. The content of description logic is briefly revealed. The need to apply a description model in space research is substantiated. The features of obtaining information in space research are described. Description modeling differs from other types of modeling by the condition of consistency in creating models. Description modeling differs from other types of modeling by the mandatory presence of information units in the form of a consistent system. A description model compresses large volumes of space information while meeting the conditions of consistency and consistency. The mechanism of formation of description models is considered. The need to apply cognitive modeling in the formation of description models is shown. The stages of sequential description modeling are described. Description modeling differs from other types of modeling in that the first stage involves creating a conceptual model, while many other types of modeling do not. Creating a conceptual model facilitates knowledge accumulation. Description information modeling in space exploration is information modeling that contains morphological and semantic components. Description modeling in space exploration can be considered a cognitive stage, as it not only allows for the creation of a spatial model but also creates the conditions for acquiring new knowledge.

Keywords: space exploration, modeling, spatial model, description modeling, description model, consistency, information units.

1. Введение

Космические исследования, как и многие науки, используют разные типы моделей и технологий моделирования (Nardi et al., 2019). Дескрипционное моделирование в космических исследованиях в качестве базового подхода использует дескрипционную логику. Дескрипционная логика (Кучуганов, 2018) в первую очередь исключает противоречивость и обеспечивает комплементарность объектов. Во вторую очередь она является формальным инструментом описания. В третьих она является основой построения базовых онтологий.

Дескрипционное моделирование есть технология, создающая модели космической реальности в однозначной непротиворечивой форме, вплоть до их элементов. При переносе этого моделирования в информационное поле получают дескрипционное информационное моделирование.

* Corresponding author
E-mail addresses: iri-dubchak@yandex.ru (I.A. Dubchak)

Дескрипционная логика в качестве основных использует группу общих понятий и привязанных к ним частных понятий. Общим понятие служит концептуальная модель, которую также называют концептом. Частные понятия двойственные. В одном случае они обозначают отношение. В другом элементарные сущности. Общее понятие может обозначать категорию. Частное понятие обозначает компонент или элемент или бинарное отношение. Дескрипционное моделирование использует понятия «реальность» (E), «объект реальности» (OE), «модель объекта» (OM) и «единица модели» (UM) или компонент. Под объектом реальности в космических исследованиях понимают физический объект, процесс, пространственную ситуацию. Если объекты реальности рассматривают в информационном поле, они становятся информационными объектами или объектами информационного поля. Информационное поле создает условия для описания окружения объектов и для описания взаимодействий между ними. Единица модели может соответствовать бинарному отношению (BR) или информационной единице (UI) как элементу модели. Информационное поле создает систему единства описаний подобно единой координатной системе.

2. Результаты и обсуждение

Дескрипционное моделирование включает логическую и технологическую компоненты. Логическая компонента дескрипционного моделирования использует наборы утверждений общего вида (TBox) и наборы утверждений частного вида (ABox). Общеутвердительные высказывания применяют для выражения отношений между концептуальными утверждениями и абстрактными понятиями. Их применяют для построения концепций и общих правил. Частно утвердительные высказывания применяют для построения логических конструкций и операций с логическими единицами, включая информационные единицы. Технологическая компонента дескрипционного моделирования использует морфизм вида

$$E \rightarrow OE \rightarrow OM \rightarrow UM \quad (1)$$

В информационном поле единица модели может быть представлена через информационную единицу. Информационные единицы могут обладать делимостью ([Tsvetkov, 2014](#)).

$$UM \rightarrow iu; iu \in LSIU \quad (2)$$

Нижний уровень дескрипционной модели есть локальная система неделимых информационных единиц (LSIU). LSIU есть совокупность, связанных по тематике информационных единиц. Если единицы модели (UM) образуют не противоречивую модель как систему (OM), то такая модель является дескрипционной моделью.

Единица модели (UM) может являться множеством, а информационная единица есть элемент множества. Модель объекта (OM) может быть неделимой и составной. Типичными конструкторами для построения составных моделей объекта являются отношения

$$OM1 = UM1 \cap UM2 \cap UM3 \quad (3)$$

$$OM2 = UM3 \cup UM4 \cup UM5 \quad (4)$$

$$OM3 = UM1 \cup UM6 \cap UM7 \quad (5)$$

$$OM4 = (UM1 \cap UM6 \cap UM7) \cup (UM8 \cap UM9 \cap UM10) \quad (6)$$

В аспекте моделирования модели OM1, OM2 называют «чистыми», а модели OM3, OM4 – смешанными.

Общая семантика дескрипционных моделей (Sem) задается путём назначения системы интерпретации как подмножеств интерпретирующих единиц, выбираемых из некоторого фиксированного множества («домена»),

$$Sem = BR1(ui1, ls1) \cup BR2(ui1, ls2) \cup BR3(ui3, ls3) \quad (7)$$

В выражении (7) ls – частные семантики информационных единиц. Общая семантика дескрипционных моделей согласно выражению (7) определяется как множеств пар бинарных отношений на домене. Пространственная информация, получаемая в космических исследованиях, привела к необходимости пространственных дескрипционных моделей как непротиворечивых моделей.

Информация в космических исследованиях

Космические исследования генерируют огромные объёмы данных, которые анализируются исследователями. Результаты анализа космической информации

используют для научных проверки гипотез и развития технологий. Информация в космических исследованиях включает многие предметные области: от геодезической астрономии ([Gospodinov, 2018](#)) до геодезии, геоинформатики и картографии до технологий спутниковая связь, телекоммуникации, освоение космоса. Данные поступают с телескопов, зондов, МКС, и обрабатываются для получения знаний о Вселенной и улучшения земных технологий, таких как GPS.

Современные космические исследования охватывают широкий спектр направлений: от фундаментальной астрофизики и изучения дальнего космоса до прикладных разработок, связанных с длительным пребыванием человека на орбите и технологиями освоения космического пространства.

Информация, полученная в ходе этих исследований, передается на Землю с использованием средств связи, обеспечивая глобальный обмен данными. Основной метод получения информации в космических исследованиях есть дистанционное зондирование (ДЗ). Группа технологий ДЗ включает получения данных любыми сенсорными методами. Сенсорно аналитические методы применяют в геодезии ([Ознамец, Цветков, 2019](#)), в пространственном мониторинге, включая космический ([Kudzh, 2022](#)). Сенсорно аналитические методы применяют в космической геоинформатике ([Bondur, Tsvetkov, 2015](#)).

В частном случае дистанционное зондирование включает получение информации с борта космического аппарата ([Savynych, 2018](#)). Технологии дистанционного зондирования передают информацию о космических объектах и процессах в космическом пространстве. Многие технологии ДЗ передают ботовую информацию ([Savynych, 2018](#)), в оптическом диапазоне. Этого создает большое количество визуальных моделей, которые могут быть дескрипционными моделями в случае применения дескрипционного моделирования.

Технологии построения дескрипционных моделей.

Новый вид моделирования, называемый дескрипционным, направлен на решение задач комплементарности компонентов модели и отношений между компонентами. Его можно рассматривать как развитие ономасиологического моделирования ([Bolbakov et al., 2022](#)). Ономасиология осуществляет процесс моделирования «от общего объекта к элементам его моделей». Эта последовательность от общего к частному. Она отвечает на вопрос: Какие базовые модели входят в эту сущность? Дескрипционное моделирование в теоретическом плане решает задачу параметрического и информационного соответствия реальности алфавиту моделей, которые имеются в распоряжении исследователя. Дескрипционное моделирование можно рассматривать как морфизм с использованием когнитивного моделирования абстрактной или общей модели в частные единичные компоненты.

Первым этапом дескрипционного моделирования в космических исследованиях является когнитивный анализ, который включает анализ качества и правдоподобия исходной информации. Для космических фотоснимков, включая радиолокационные, применяют дешифрирование снимков. Это этап когнитивного моделирования. Процедуру дешифрирования можно рассматривать как визуальное дескрипционное моделирование.

Дескрипционная модель должна отвечать системным требованиям ([Bondur, Tsvetkov, 2015](#)) полноты, согласованности и непротиворечивости. Если существует m компонентов модели, то условие полноты имеет вид

$$OM = UM_1 \cup UM_2 \cup UM_m \quad (8)$$

Выражение (8) означает, что все компоненты в совокупности образуют модель. Условие согласованности имеет вид

$$UM_1 \cap UM_2 \cap UM_m = \emptyset \quad (9)$$

Выражение (9) означает, что все компоненты не имеют общих параметров. Условие непротиворечивости имеет вид

$$\forall i, k \in OM; UM_i \neq \neg UM_k \text{ при } k \neq i \quad (10)$$

Выражение (10) означает, что ни одна из компонент модели не противоречит другой компоненте. В совокупности выражения (8-10) являются результатом системного проектирования и создают целостную непротиворечивую систему. Вывод: дескрипционная модель обладает системными свойствами и может считаться системой относительно своих компонентов.

При выполнении любых исследований проводят предварительный когнитивный анализ. В когнитивных преобразованиях существуют фундаментальные основы (Tsvetkov, 2013): обозрение исходного общего объекта реальности, восприятие построенной модели объекта реальности, возможность сопоставления и объяснения модели объекта реальности. Первый принцип относится к реальности или к концептуальным моделям. Два другие относятся к формальным или фактическим моделям. Эти принципы необходимы при обработке космической информации

Информативность визуальной модели оценивают либо по битам с использованием теории информации, либо по количеству уникальных компонент (Номоконов, 2017). Следует подчеркнуть, что именно компонент, а не информационных единиц. Информационные единицы как буквы алфавита не информативны. Информативны только слова. Аналогом слова или предложения является компонента модели. Чем больше уникальных компонент в модели, тем выше ее информативность.

Объяснение дескрипционных моделей (не надо путать их с дескриптивными моделями) зависит от трех факторов (Чехарин, 2014): дейктичность, референциальность, и ситуационность.

Референциальность означает свойство (Donnelan, 1996) есть возможность формировать модельные конструкции. Ситуативность связана с ситуацией, окружающей объект интерпретации. Она означает влияние ситуации на интерпретацию модели или ее состояния. В силу этого интерпретируемость дескрипционных моделей связана с набором когнитивных признаков. В формальной области интерпретация осуществляется с использованием редукции и теоретико-множественных отношений. Результат построения дескрипционных моделей должен быть обозримым, воспринимаемым и интерпретируемым.

Прямое и последовательное дескрипционное моделирование.

Различают прямое и последовательное дескрипционное моделирование. Прямое моделирование позволяет сформировать простую модель за один этап. Формальное описание такого моделирования есть прямая или обратная импликация. Последовательное дескрипционное моделирование формирует дескрипционную модель за несколько этапов.

На Рисунке 1 приведена блок-схема дескрипционного моделирования, которое можно назвать каскадным или последовательным. В таком моделировании выделяют четыре каскада и отношения между ними (Рисунок 1). Между каскадами существуют отношения: Ra (ОЕ-ИК); Rb (ИК-ОМ); Rc (ОМ-УМ); Rd (УМ-ИУ).



Рис. 1. Последовательное дескрипционное моделирование

На первом этапе дескрипционного моделирования [Рисунка 1](#) осуществляется преобразование объекта реальности в концептуальную (обобщенную) модель, или в информационную конструкцию (ИК).

Это делается для последующего анализа и сравнения моделей объектов на уровне концепций. Преобразование использует отношения реальность концептуальная модель (информационная конструкция в информационном поле).

$$OE \rightarrow \text{ИК} (Ph1, S\phi1, C\theta1, \rho1, Ft1) \quad (11)$$

В (11) $Ph1$ – категориальные параметров, $S\phi1$ – категориальная структура, $C\theta1$ – связи верхнего уровня; $\rho1$ – отношения верхнего уровня; $Ft1$ конструктивные параметры первого уровня. Первый каскад дескрипционного моделирования вводит категориальные параметры и частично конструктивные. Этот каскад создает концепты.

Второй каскад преобразует концепты (ИК) в объектные модели ОМ

$$\text{ИК} \rightarrow \text{ОМ} (UM, S\phi2, C\theta2, \rho2, Ft2) \quad (12)$$

В (12) UM обозначают единицы или компоненты модели; Параметр $S\phi2$ описывает структуру второго уровня, $C\theta2$ – связи второго уровня, $\rho1$ – отношения верхнего уровня. $Ft2$ конструктивные параметры второго уровня ($Ft2 > Ft1$). После второго каскадирования абстрактные параметры исчезают и остаются только фактические параметры.

Третий каскад редуцирует модель на компоненты.

$$\text{ОМ} \rightarrow \text{UM}(S\phi3, C\theta3, \rho3, Ft3) \quad (13)$$

Отношение (13) содержит параметры: $S\phi2$ описывает структуру второго уровня, $C\theta2$ – связи второго уровня, $\rho1$ – отношения верхнего уровня. $Ft2$ конструктивные параметры второго уровня.

Четвертый каскад представляет компоненты модели в виде информационных единиц (IU), подобно тому как ялова представляются буквами. При этом информационные единицы могут повторяться в разных компонентах, как повторяются буквы алфавита в словах и предложениях. Информационные единицы являются алфавитом. На этом этапе дескрипционного моделирования используют отношения Rd .

$$\text{UM} \rightarrow \text{iu} (N, D) \quad (14)$$

В выражении (14) N – объем алфавита, $iu \in D$ – дескриптор или терминосистема.

Пространственные модели, описывающие космическую реальность, имеют визуальную форму. Это приводит к понятию морфологии и семантики ([Tsvetkov, 2025](#)). Морфология и семантика моделей дают дополнительную возможность моделирования и анализа. Морфологические пространственные образы могут служить основой при формировании информационных единиц. Примером являются условные картографические знаки.

Пространственные дескрипционные модели информативно более определены, чем параметрические модели, основным преимуществом этих моделей является возможность на их основе формировать онтологии как модели знаний. Это особенно важно при формировании концептуальных моделей.

Дескрипционное информационное моделирование в космических исследованиях есть информационное моделирование, содержащее морфологическую и семантическую компоненты.

Дескрипционное моделирование в космических исследованиях позволяет создавать геоинформационную модель как носитель пространственного знания. Пространственные отношения применяют в дескрипционном моделировании на трех этапах из четырех ([Рисунок 1](#)). Дескрипционная модель в космических исследованиях трактуется как пространственная модель, которая может быть использована для получения знаний.

3. Заключение

Дескрипционное моделирование в космических исследованиях сочетает богатые описательные в возможности с хорошей структурированностью модели. Оно обеспечивает комплементарность выразительности и разрешимости. Дескрипционное моделирование в теоретическом плане быть рассмотрено как разрешимые фрагменты логики предикатов. В синтаксическом плане оно близко к модальным логикам. Дескрипционное моделирование имеет преимущество в том, что может выражаться в виде рассуждений и в виде технологических конструкций.

Дескрипционное моделирование отличается от других видов моделирования условием непротиворечивости при создании моделей. Дескрипционное моделирование отличается от других видов моделирования обязательным наличием информационных единиц в виде согласованной системы.

Наличие системы пространственных информационных единиц означает наличие базовой словарной онтологии в виде тезауруса или картографического классификатора. Пространственная онтология, которую создает концептуальное смешивание является сложным для восприятия объектом, примером является картографическая композиция. Чтобы ее прочитать, необходимы библиотеки картографических условных знаков и правила оформления космических карт.

Данный вид моделирования при проведении космических исследований выполняет функции познания. Проведенное исследование дает основание ввести новое понятие «Пространственное информационное дескрипционное моделирование».

Литература

- [Кучуганов, 2018](#) – Кучуганов А.В. (2018). Дескрипционная логика поиска объектов на изображениях // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 3(11): 55-62.
- [Номоконов, 2017](#) – Номоконов И.Б. (2017). Негэнтропия и информативность // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2017. №1 (18). С. 55-63.
- [Чехарин, 2014](#) – Чехарин Е.Е. Интерпретируемость информационных единиц // *Славянский форум*. 2014. 2(6). С. 151-155.
- [Bolbakov et al., 2022](#) – Bolbakov R.G., Sinitsyn A.V., Tsvetkov V.Ya. Onomasiological modeling in the information field. *Journal of Physics: Conference Series. III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022)*. Krasnoyarsk, 2022. P. 2201.
- [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.
- [Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. System Analysis in Space Research // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2015. №1(1). Pp. 4-12.
- [Donnelan, 1996](#) – Donnelan K. Reference and Definite Descriptions / *The Philosophy of Language* (3 edition), A. P. Martinich (ed.), Oxford University Press, 1996.
- [Gospodinov, 2018](#) – Gospodinov S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.
- [Kudzh, 2022](#) – Kudzh S.A. Development of space monitoring // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2022. 8(1): 12-22.
- [Nardi et al., 2019](#) – Nardi L., Koeplinger D., Olukotun K. Practical design space exploration / *2019 IEEE 27th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)* (pp. 347-358). 2019, October. IEEE.
- [Oznamets, Tsvetkov, 2019](#) – Oznamets V., Tsvetkov V.Ya. Space Geodesy of Small Celestial Bodies // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2019. 5(1): 34-40.
- [Savinych, 2018](#) – Savinych V.P. Evolution of the Salyut Space Research Program // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 19-33.
- [Tsvetkov, 2013](#) – Tsvetkov V.Ya. Spatial Information Models // *European researcher*. 2013. №10-1(60). Pp. 2386-2392.
- [Tsvetkov, 2014](#) – Tsvetkov V.Ya. Information Units as the Elements of Complex Models. *Nanotechnology Research and Practice*. 2014. № 1(1). Pp. 57-64.
- [Tsvetkov, 2025](#) – Tsvetkov V.Ya. Morphological and semantic uncertainty / *In the collection: Innovative Technologies. Collection of scientific articles based on the materials of the 7th International Scientific and Technical Conference*. Burgas, 2025. Pp. 239-248.

References

- [Bolbakov et al., 2022](#) – Bolbakov, R.G., Sinitsyn, A.V., Tsvetkov, V.Ya. (2022). Onomasiological modeling in the information field. *Journal of Physics: Conference Series. III International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III-2022)*. Krasnoyarsk. P. 2201.

- 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.
- Bondur, Tsvetkov, 2015** – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). System Analysis in Space Research. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 1(1): 4-12.
- Chekharin, 2014** – Chekharin, E.E. (2014). Interpretiruemost' informatsionnykh edinits [Interpretability of information units]. *Slavyanskii forum*. 2(6): 151-155. [in Russian]
- Donnelan, 1996** – Donnelan, K. (1996). Reference and Definite Descriptions. The Philosophy of Language (3 edition), A. P. Martinich (ed.), Oxford University Press.
- Gospodinov, 2018** – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.
- Kuchuganov, 2018** – Kuchuganov, A.V. (2018). Deskripcionnaya logika poiska ob'ektov na izobrazheniyakh [Description logic of object search in images]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii*. 3(11): 55-62. [in Russian]
- Kudzh, 2022** – Kudzh, S.A. (2022). Development of space monitoring. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 8(1): 12-22.
- Nardi et al., 2019** – Nardi, L., Koeplinger, D., Olukotun, K. (2019, October). Practical design space exploration. *2019 IEEE 27th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)* (pp. 347-358). IEEE.
- Nomokonov, 2017** – Nomokonov, I.B. (2017). Negentropiya i informativnost' [Negentropy and information content]. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*. 1(18): 55-63. [in Russian]
- Oznamets, Tsvetkov, 2019** – Oznamets, V., Tsvetkov, V.Ya. (2019). Space Geodesy of Small Celestial Bodies. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 5(1): 34-40.
- Savinych, 2018** – Savinych, V.P. (2018). Evolution of the Salyut Space Research Program. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 19-33.
- Tsvetkov, 2013** – Tsvetkov, V.Ya. (2013). Spatial Information Models. *European researcher*. 10-1(60): 2386-2392.
- Tsvetkov, 2014** – Tsvetkov, V.Ya. (2014). Information Units as the Elements of Complex Models. *Nanotechnology Research and Practice*. 1(1): 57-64.
- Tsvetkov, 2025** – Tsvetkov, V.Ya. (2025). Morphological and semantic uncertainty. In the collection: *Innovative Technologies. Collection of scientific articles based on the materials of the 7th International Scientific and Technical Conference*. Burgas. Pp. 239-248.

Дескрипционное моделирование в космических исследованиях

Ирина Александровна Дубчак ^{a,*}

^a Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация

Аннотация. Статья исследует область космических исследований. Предложен новый вид информационного моделирования дескрипционное моделирование. Обосновано его применение и раскрывается содержание этого моделирования. Введено новое понятие дескрипционная модель. Дескрипционная модель формируется с использованием принципов дескрипционной логики. Кратко раскрывается содержание дескрипционной логики. Обоснована необходимость применения дескрипционной модели в космических исследованиях. Описаны особенности получения информации в космических исследованиях. Дескрипционное моделирование отличается от других видов моделирования условием непротиворечивости при создании моделей. Дескрипционное моделирование отличается от других видов моделирования обязательным наличием информационных единиц в виде согласованной системы. Дескрипционная модель сжимает большие объемы космической информации при выполнении условий согласованности и непротиворечивости. Рассмотрен механизм формирования дескрипционных моделей. Показан необходимость применения когнитивного моделирования при формировании

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: iri-dubchak@yandex.ru (И.А. Дубчак)

дескрипционных моделей. Описаны этапы последовательного дескрипционного моделирования. Дескрипционное моделирование отличается от других видов моделирования тем, что на первом этапе создается концептуальная модель, в то время как во многих видах моделирования такого этапа нет. Создание концептуальной модели помогает накапливать знания. Дескрипционное информационное моделирование в космических исследованиях есть информационное моделирование, содержащее морфологическую и семантическую компоненты. Дескрипционное моделирование в космических исследованиях можно рассматривать как этап познания, поскольку оно не только позволяют получать пространственную модель, но создает условия для получения новых знаний.

Ключевые слова: космические исследования, моделирование, пространственная модель, дескрипционное моделирование, дескрипционная модель, непротиворечивость, информационные единицы.

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA
Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
Issued since 2013.
E-ISSN: 2413-7499
2025. 11(1): 27-33

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.27
<https://rjar.cherkasgu.press>



Cosmic Ontology

Stanislav A. Kudzh ^{a,*}, Nikita S. Kurdyukov ^a

^a Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russian Federation

Abstract

This article explores a new type of ontology, "space ontology." It introduces the concept of "space ontology" and substantiates the notion of "information spatial ontology" as a type of epistemic ontology. The aim of the work is to develop scientific and methodological foundations for constructing a space ontology as a specialized type of spatial ontology arising from the processing of space information. The concept of ontological modeling is introduced as a group of technologies for transforming information into knowledge. The evolution of the concept of ontology from a generalized concept to applied concepts and the solution of practical problems is briefly described. A taxonomy of spatial knowledge is presented. A taxonomy of spatial ontologies, including space ontology, is presented. The works of Guarino and Alexander serve as the basis for this taxonomy. The article demonstrates that a space ontology can be obtained based on information morphism, ontological information retrieval, and semantic correspondence. It is generalized that all procedures for obtaining ontology can be called ontological transformation. The importance of the "Eidetic Reduction" and "Categorical Intuition" methods as essential components in the formation of cosmic ontologies is substantiated. The significance and content of vocabulary ontology as a basis for constructing complex ontologies is revealed. The difference between constructing a formal upper-level cosmic ontology and a formal subject-level cosmic ontology is demonstrated. Ontology construction based on logical inference is described. The obtained results expand the methodological foundations of ontological modeling and the scope of application of spatial ontology in research related to the analysis of cosmic information.

Keywords: ontology, spatial ontology, cosmic ontology, informational spatial ontology, spatial information, ontological transformation, epistemic ontology.

1. Introduction

The term "ontology" was originally a purely philosophical term. It was interpreted as a description of the science of existence. This interpretation reflected the level of scientific development and the state of knowledge at the time. Subsequent centuries were characterized by the differentiation of the sciences and the formalization of knowledge. Attempts emerged to formally describe knowledge and apply it. Specific interpretations of ontologies emerged. The study of ontology as a specialized field is attributed to the works of the philosophers Goclenius (*Lexicon Philosophicum*) (Goclenius, 1980) and Lorchardus (*Theatrum Philosophicum*) (Rohregger, de Souza, 2021). The term "ontology" received significant use thanks to the work of Christian Wolff in Latin writings, particularly in his 1730 work "Philosophia Prima sive Ontologia." The next stage in the development of the concept was the work of Edmund Husserl and his student Roman

* Corresponding author

E-mail addresses: rektor@mirea.ru (S.A. Kudzh), nskurdyukov@gmail.com (N.S. Kurdyukov)

Ingarden (Ingarden, 1960). In Ingarden's theory, ontology explores and describes possible objects and relationships. Ontology was interpreted as the science of formal knowledge, formed by concepts and conceptual models. E. Husserl introduced the concept of "formal ontology" (Husserl, 1912). This ontology was closer to practical activity, but its main focus was the generalization of scientific research. Husserl hypothesized that the object of ontology's study is categories. This, too, was a refinement of the original concept of ontology, but a generalization in relation to the modern interpretation of ontology. Husserl defined the fundamental method of ontology as eidetic reduction, combined with the method of categorical intuition. Eidetic reduction explores the immutable forms of cognition that underlie any empirical research. Categorical intuition is a form of direct, non-sensory perception of general relationships between objects (e.g., spatial relationships, belonging, part, and whole). One of the applications of categorical intuition is the technology of conceptual blending.

Categorical intuition is based on the qualitative analysis of categories and allows for the direct identification of the essence of an object or general categories without resorting to a detailed logical analysis of the situation. The importance of categorical intuition for the formation of spatial ontology is noteworthy.

The subsequent development of ontology research led to the concept of ontology models and ontology models in various subject areas. The field of space exploration provides grounds for speaking of cosmic ontology. The concept of "ontology" is currently widely used in various fields of activity (Guarino et al., 2009; Nesterov, Tsvetkov, 2024). According to the IDEF5 ontology research standard (Standard, 2025), an ontology includes: a vocabulary ontology; validation of ontology application situations; rules; and sanctioned inferences.

– A vocabulary ontology is a catalog of terms as a terminological system used in the subject domain of a given ontology.

– Rules (syntax) govern how terms can be combined into valid statements in this subject domain.

– Sanctioned inferences represent valid statements in the subject domain.

The emergence of an integrated model of the information field (Tsvetkov et al., 2023) has influenced ontology construction methods. Information ontologies have emerged as a type of information model. The widespread use of spatial information has led to the emergence of spatial ontologies and spatial information ontologies.

An information ontology is an information model of a subject ontology, including the structure of categories, their properties, and the relationships between them. This model describes information models of entities, their properties, and the relationships between them.

Scientific research has led to the concept of ontology as a model of new knowledge. Ontology as a knowledge model can be derived from heuristic reasoning. Such ontologies are supported by ontological information retrieval, cognitive modeling, and ontological information modeling.

Ontological information modeling is a method for formalizing domain knowledge with the goal of creating an information model of the ontology. Ontological information modeling can be considered a type of information morphism (Ozherel'eva, 2017). Information morphism, as a complex transformation, can result in the formation of an ontology.

It is necessary to clarify the distinction between information and ontological modeling. Information modeling always results in either new information or an updated existing information model. However, it does not result in the acquisition of new knowledge. Ontological modeling always results in the acquisition of new knowledge or new knowledge models.

A conventional ontology is obtained through reasoning, cognitive, or logical constructions. An information ontology can be obtained through computation, reasoning, composition, and conceptual blending (Savinykh, 2017). Ontology can be formed through the extraction of tacit knowledge (Sigov, Tsvetkov, 2015).

Spatial data processing often leads to the emergence of new knowledge, for example, the identification of hidden spatial structures, isolines, zones of influence, and spatial clusters – all of which cannot be obtained directly from the primary data. The emergence of such spatial knowledge corresponds to the properties of ontological inference. Despite the existence of works devoted to ontologies, the creation and application of geodata, the construction of spatial information ontologies as a class of epistemic ontologies is underrepresented.

2. Results and discussion

Space Spatial Knowledge

Space knowledge can be spatial or non-spatial. In this paper, we examine space spatial knowledge.

Publications have addressed the issues of spatial knowledge and geoscience. Research has been conducted on the relationship between the concepts of knowledge, geoscience, and space knowledge (Savinykh, 2016). This provides grounds for introducing and exploring the concept of space ontology.

In space information analysis scenarios, a problem arises related to the insufficient coherence and generalization of existing spatial models derived from space information. This complicates the generalization of such models and the derivation of new knowledge from them. Space ontology is a model of space knowledge. It is built on the basis of logical inference, intuition, discourse, and reasoning. Space information ontology is an information model of space knowledge. This ontology is built on the basis of ontological modeling, formal logical inference, computation, and formal reasoning. With the growth of information technology and the emergence of big data, the creation of a space ontology is becoming important for optimizing the analysis of space information.

Figure 1 shows a diagram of the system of spatial sciences and spatial knowledge. The diagram is given in relation to space knowledge. Spatial knowledge is accumulated from geo-knowledge (Tsvetkov, 2016) and space knowledge. Geo-knowledge is formed from the Earth sciences. Space knowledge is formed from two sources.

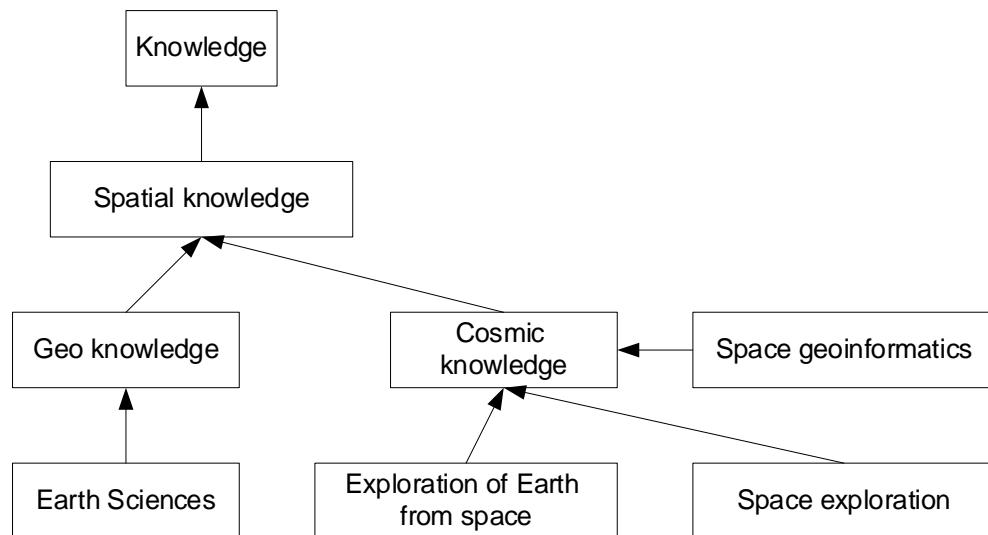


Fig. 1. Spatial Sciences and Knowledge System

The first source is related to Earth exploration from space. Its unique feature is that it is supported by geosciences and other terrestrial sciences: transportation, monitoring, geodetic networks, geodynamics, geology, satellite navigation, satellite altimetry, satellite geodesy, and visual instrumental Earth observations (Savinykh, 2020).

The second source of space knowledge is related to the study of outer space and celestial bodies. This complex of sciences includes space geodesy (Oznamets, Tsvetkov, 2019), astronomy, planetary altimetry (Tsvetkov, 2020), geodetic astronomy (Gospodinov, 2018), astrophysics, visual instrumental observations of space objects, and others. A new science linking these two fields is space geoinformatics (Bondur, Tsvetkov, 2015).

A taxonomy of spatial ontologies, including space ontology, is shown in Figure 2. The upper part of the diagram describes general ontologies. The lower part describes spatial ontologies, which include space ontology.

Currently, there are more than 20 interpretations of the term "ontology" (Ontology..., 2025). In relation to space ontology, the general part of ontologies includes four components: formal ontology; vocabulary ontology; epimestic ontology; dynamic ontology.

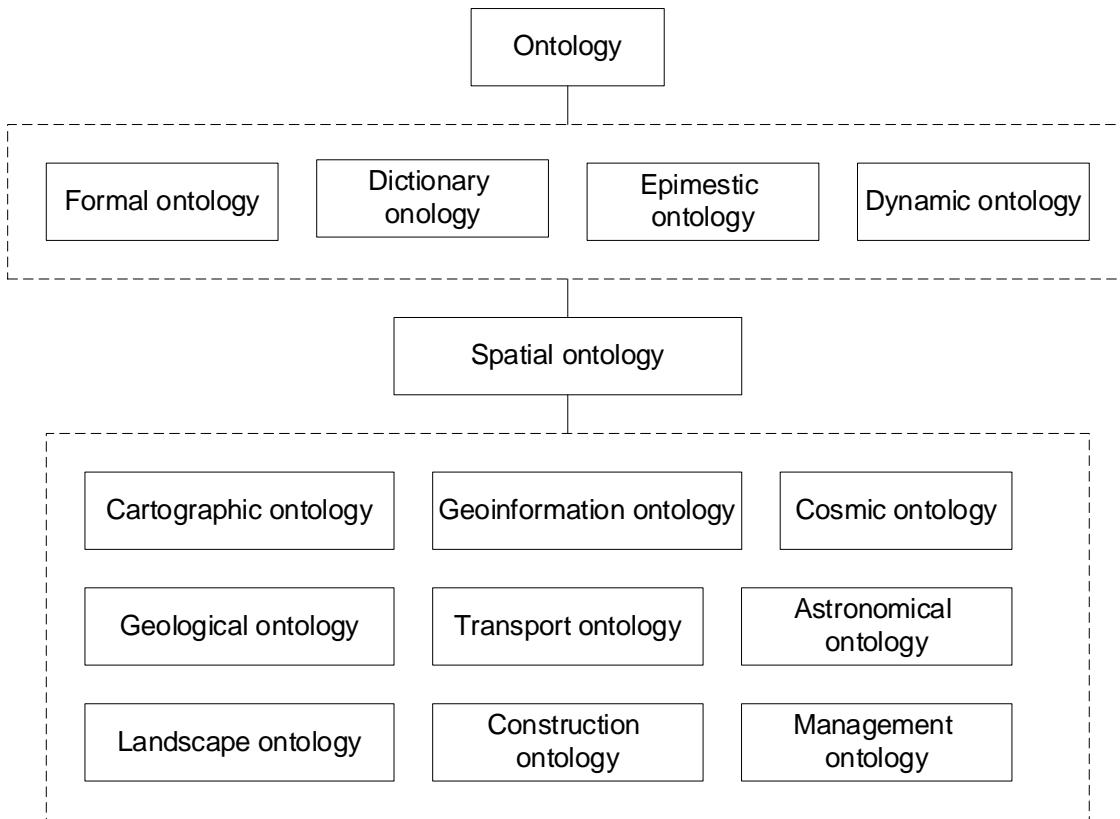


Fig. 2. Taxonomy of spatial ontologies

Formal ontology is an attempt to use formal methods to describe ontology in a generalized manner, in terms of descriptive descriptions of categories and concepts. Formal ontology has two forms of representation. The first form abstracts from a specific domain and considers knowledge in a generalized manner. It uses an approach based on the premise that in any subject area, there are phenomena that are perceived as conceptual objects, generalized associations, and generalized situations. This approach is based on the analysis and construction of general concepts. It is used in the construction of ontologies that utilize web semantics.

The second form of formal ontology is domain-specific and uses a formalism that takes into account the specifics of the subject area but is linked to general concepts and shared knowledge. This form takes the approach that conceptual objects and concepts have specific forms of realization in each subject area.

The other three ontologies (Figure 1) use physical parameters and differ slightly across subject areas. They correspond to Alexander's taxonomy (Alexander et al., 1986).

Vocabulary ontologies are associated with basic descriptions and the concept of information units. They are formed using linguistic mechanisms. Vocabulary ontologies are represented by descriptors and classifiers. For example, a classifier of conventional cartographic symbols. In the context of a vocabulary ontology, a relation is a component of an ontological model linking concepts and entities. A term is a specific descriptor related to an entity or process. A vocabulary ontology is a knowledge representation model based on description logics that enables the description of domain concepts. It represents a compromise between expressiveness and computational complexity, enabling the creation of consistent and understandable vocabularies. In its simplest interpretation, such an ontology is a dictionary.

Constructing a vocabulary ontology involves creating a catalog of descriptors (e.g., a dictionary of ephemerides) for a given domain. Creating a vocabulary ontology involves four tasks: 1) cataloging terms; 2) recording the conditions for using terms; 3) creating a syntax defining the rules for using terms to create assertions about the domain; 4) creating a coherent terminological system for the given domain. A vocabulary ontology includes elementary entities (vocabulary units), a grammar, and a model of behavior in the domain.

Epistemic ontology is associated with the term "episteme" (from the Greek episteme, meaning knowledge, and logos, meaning teaching). It serves a descriptive function for knowledge of a static situation or an unchanging phenomenon. Furthermore, it describes the knowledge that emerges through various discourses, for example, defining what is considered truth and which methods of cognition are acceptable and which are not. Additionally, it defines the relationship between ontology and epistemology, which studies knowledge as such (its nature, structure, boundaries, reliability, truth, and origin).

An epistemic ontology forms conceptual constructs based on a vocabulary ontology. It can be defined as a formal representation of knowledge about a subject area, including a description of classes of objects, their properties, and the relationships between them. The main criteria for the formation of these ontologies are: the purpose of the ontology, the level of formal representation, and the degree of detail. Within this type of ontology, information ontologies ([Wimalasuriya, Dou, 2010](#)) are distinguished as information models of ontologies. A direction in the development of information ontology is the Semantic Web ontology. It is a formal, descriptive knowledge structure that defines concepts and the relationships between them in a specific subject area. It is a key technology of the Semantic Web, which is a superstructure on top of the existing World Wide Web and is aimed at recognizing the semantic content of data. The purpose of creating ontologies in the Semantic Web is to enable machine data processing, information integration, and support automated decision making.

Dynamic ontology also includes vocabulary ontology, but it focuses on elementary processes. It is defined as a formal representation of knowledge about processes in a subject area. Dynamic ontology describes the dynamics of the states of objects in a subject area, as well as the dynamics of situations in which the object of study finds itself. Dynamic ontology can be considered an event ontology. It is one way to describe knowledge about dynamic processes and transitions between system states.

Spatial ontology is a group of ontologies from different subject areas that utilize spatial information. Research on these ontologies has been conducted since 1991 ([Schatzki, 1991](#)). Space ontology ([Bittner, Smith, 2003](#)) falls within the field of spatial ontologies. Many spatial ontologies are an extension and a type of epistemic ontology. They represent a formal and explicit description of a domain of spatial knowledge as a structure of concepts, properties, and relationships between them. They are created for specific purposes in information systems, such as creating a semantic web or artificial intelligence. Other spatial ontologies are an extension and a type of dynamic ontology. Some spatial ontologies include a combination of dynamic and epistemic ontologies.

Spatial ontology may take other forms than the Semantic Web, such as stream ontologies ([Kurdyukov, 2024](#)) and transport ontologies ([Kudzh, Kurdyukov, 2024, Rozenberg, Tsvetkov, 2024](#)). For example, an electronic map as an ontological model is used in transport management.

An information spatial ontology can be considered a specialized information ontology formed using spatial information. This determines its connection with geoinformatics and various types of spatial information modeling. Information spatial ontology is a derivative concept of information ontology, so it is appropriate to provide a brief taxonomy of the interpretation of information ontologies.

The conducted analysis of the interpretation of ontologies provides the basis for formulating the concept of cosmic ontology. Cosmic ontology is a subtype of spatial ontology, constructed using cosmic information and spatial relationships. Cosmic ontology can take the form of spatial models. One model of cosmic ontologies is the electronic star map, which is a knowledge model. In it, each symbol has specific semantics and meaning.

Cosmic ontology is being created as a tool for a deeper understanding and modeling of spatial data in space information systems ([Savinykh, 2019](#)).

Formal Representation of Space Ontology

Currently, mathematical processing of data and knowledge is widely used to construct ontologies ([Kuznetsov et al., 2011](#)). Mathematical models are universal, allowing them to be applied in various fields, while also enabling interdisciplinary knowledge transfer. For example, information entropy in the mathematical theory of communications and entropy in statistical physics have identical formal descriptions but have different meanings. Coulomb's law and the law of universal gravitation have the same structure but describe different domains and contain different parameters. Therefore, formally identical mathematical expressions can have different

semantic meanings and are applicable in ontological modeling. Ontological modeling exploits the presence of commonalities or correspondences between entities defined in terms of formal logic. According to N. Guarino's classification of ontologies by purpose (Guarino, 2009), there are top-level ontologies, domain ontologies, task ontologies, and application ontologies. While this classification may be controversial, it can be taken into account.

According to Guarino, top-level ontologies include the most general concepts that are independent of specific domains and tasks (are common to them). Such concepts include "entity," "phenomenon," "object," "event," and so on. Domain ontologies describe concepts and relationships characteristic of specific domains (e.g., railway transport). Task ontologies include concepts and relationships that link between concepts in the subject area. Rs can be viewed as R types; T – a set of vocabulary terms; EIs – a set of domain interpretation elements; IMs – information models of the subject area (space research area). Ru – rules applicable to modeling spatial scenarios. G – geometry properties (can allow storing measurement values or values for three-dimensional data in coordinates); SC – a coordinate system (together with tolerance and resolution values, constitutes the spatial reference of a class);

FTLSO is used to create a new class of spatial objects. SOSL is used to obtain specific knowledge in the subject area.

3. Conclusion

Interest in the problem of space ontologies is dictated by the development of space research. For intelligent technologies, knowledge, not information, is the basis of action. The primary purpose of space ontologies is the formation of spatial space knowledge.

There are information models of space objects that merely provide information. There are information models of space that contain knowledge. Such models are called space ontologies.

Space ontologies derive knowledge from a large, heterogeneous set of spatial data. Sometimes this set is redundant, incomplete, and sometimes contradictory.

Therefore, when constructing space ontologies, information compression and the elimination of inconsistencies are necessary.

It is shown that a space spatial ontology is formed as a structured knowledge model arising from space exploration and a combination of transformations. This model is based on logical, cognitive, algorithmic, and mathematical procedures.

It is substantiated that, provided certain criteria are met, an electronic map can serve as a form of ontology representation; however, not every cartographic model is an ontology. The principles of constructing an information spatial ontology based on information correspondence and information morphism are presented, connections with existing ontology classes are described, and the conditions under which spatial information models become knowledge carriers are highlighted. The presented scientific and methodological foundations for constructing a space ontology as a specialized type of ontology make it possible to expand the scope of application of spatial ontologies in the study of space objects.

References

- Alexander et al., 1986 – Alexander, J.H., Freiling, M.J., Shulman, S.J., Staley, J.L., Rehfuss, S., Messick, S.L. (1986). Knowledge Level Engineering Ontological Analysis. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 5. Pp. 963-968
- Bittner, Smith, 2003 – Bittner, T., Smith, B. (2003). Formal ontologies for space and time. *IFOMIS, Department of Philosophy. Leipzig, Buffalo, University of Leipzig, University at Buffalo and NCGIA*. 17: 94.
- 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.
- Goclenius, 1980 – Goclenius, R. (1980). Lexicon philosophicum: quo tanquam clave philosophiae fores aperivntvr. Becker.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.
- Guarino et al., 2009 – Guarino, N., Oberle, D., Staab, S. (2009). What is an ontology? Handbook on ontologies. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. Pp. 1-17.

- Guarino, 2009** – *Guarino, N., Oberle, D., Staab S.* (2009). Handbook on ontologies. Springer Berlin Heidelberg. Pp. 1-17.
- Husserl, 1912** – *Husserl, E.* (1912). Introduction to the logical investigations: A draft of a preface to the logical investigations (1913). Springer Science & Business Media.
- Ingarden, 1960** – *Ingarden, R.* (1960). O dziele literackim. Badania z pogranicza ontologii, teorii jazyka i filozofii literatury. Warszawa.
- Kudzh, Kurdyukov, 2024** – *Kudzh, S.A., Kurdyukov, N.S.* (2024). Transportnye ontologii [Transport ontologies]. *Mir transporta*. 22(3): 6-11. [in Russian]
- Kurdyukov, 2024** – *Kurdyukov, N.S.* (2024). Potokovye ontologii [Stream ontologies]. *Slavyanskii forum*. 3(45): 84-94. [in Russian]
- Kuznetsov et al., 2011** – *Kuznetsov, O.P., Sukhoverov, V.S., Shiplina, L.B.* (2011). Ontologies in modern information systems. *Sensors and systems*. 8: 67-77.
- Nesterov, Tsvetkov, 2024** – *Nesterov, E.A., Tsvetkov, V.Ya.* (2024). Ontologii v transportnom prave [Ontologies in transport law]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'*. 4(52): 172-180. [in Russian]
- Ontology..., 2025** – Ontology: Its Role in Modern Philosophy. [Electronic resource]. URL: <https://www.ontology.co/#gsc.tab=0> (date of access: 08.07.2025).
- Ozherel'eva, 2017** – *Ozherel'eva, T.A.* (2017). Informatzionnoe sootvetstvie i informatzionnyi morfizm v informatzionnom pole [Information correspondence and information morphism in the information field]. *ITNOU: Informatzionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 4: 86-92. [in Russian]
- Oznamets, Tsvetkov, 2019** – *Oznamets, V.V., Tsvetkov, V.Ya.* (2019). Space Geodesy of Small Celestial Bodies. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 5(1): 34-40.
- Rohregger, de Souza, 2021** – *Rohregger, R., de Souza, M.T.* (2021). A similaridade entre o argumento ontológico e as manifestações religiosas em diferentes culturas. *Caderno Intersaberes*. 10(28): 109-124.
- Rozenberg, Tsvetkov, 2024** – *Rozenberg, I.N., Tsvetkov, V.Ya.* (2024). Primenenie ontologii v upravlenii transportom [Application of ontologies in transport management]. *Avtomatika, svyaz', informatika*. 12: 12-14. [in Russian]
- Savinych, 2016** – *Savinych, V.P.* (2016). On the Relation of the Concepts of Space Knowledge, Knowledge, Knowledge of the Spatial. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 1(2): 23-32.
- Savinych, 2019** – *Savinych, V.P.* (2019). Planetary Research Information Systems. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 5(1): 41-55.
- Savinych, 2020** – *Savinych V.P.* (2020). Visual and Instrumental Observations from the Spacecraft. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 6(1): 23-34.
- Savinykh, 2017** – *Savinykh, V.P.* (2017). Kontseptual'noe smeshivanie v geoznanii [Conceptual blending in geoscience]. *Slavyanskii forum*. 2(16): 19-24. [in Russian]
- Schatzki, 1991** – *Schatzki, T.R.* (1991). Spatial ontology and explanation. *Annals of the Association of American Geographers*. 81(4): 650-670.
- Sigov, Tsvetkov, 2015** – *Sigov A.S., Tsvetkov, V.Ya.* (2015). Tacit Knowledge: Oppositional Logical Analysis and Typologization. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 85(5): 429-433.
- Standart..., 2025** – Standart ontologicheskogo issledovaniya IDEF5 [IDEF5 ontological research standard]. [Electronic resource]. URL: <https://www.cfin.ru/vernников/idef/idef5.shtml> (date of access: 20.06.2025). [in Russian]
- Tsvetkov et al, 2023** – *Tsvetkov V. et al.* (2023). The Information Field as an Integral Model. *Computer Science On-line Conference*. Cham: Springer International Publishing. Pp. 174-183.
- Tsvetkov, 2016** – *Tsvetkov, V.Ya.* (2016). Geoknowledge. *European Journal of Technology and Design*. 3(13): 122-132.
- Tsvetkov, 2020** – *Tsvetkov, V.Ya.* (2020). Planetary Altimetry. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 6(1): 46-52.
- Wimalasuriya, Dou, 2010** – *Wimalasuriya, D.C., Dou, D.* (2010). Ontology-based information extraction: An introduction and a survey of current approaches. *Journal of Information Science*. 36(3): 306-323.

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA
Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
Issued since 2013.
E-ISSN: 2413-7499
2025. 11(1): 34-41

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.34
<https://rjar.cherkasgu.press>



Projective Methods of Processing Space Images

Viktor Ya. Tsvetkov^{a,*}

^a Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation

Abstract

This article explores new methods for processing satellite images. The methods are based on the application of projective geometry and offer an alternative to photogrammetry. Aerial photography is an analogue of satellite imagery. It utilizes photogrammetric methods. Photogrammetry imposes a number of restrictions on images. It methodically processes images obtained using the laws of central projection. This is expressed in the requirement for equal focal lengths along both coordinate axes. Projective methods allow for the processing of images with impaired focal lengths. This makes it possible to process anamorphic images with different focal lengths for both coordinate axes. Photogrammetry solves resection using the method of successive approximations. This requires an a priori specification of nine orientation elements of the image. The initial equations are nonlinear equations with respect to the orientation elements, which do not have a strict solution. They are solved by the approximation method. The a priori specified values are refined using the coordinates of control points on the image and the terrain. The approximations yield precise parameter values. A limitation of the method is the requirement for preliminary determination of the photogrammetric survey parameters. Aerial photography typically utilizes cameras with identical characteristics. Space imaging of planets utilizes cameras of different types and parameters. Projective methods remove limitations on the conditions for photogrammetric image processing. They allow for the combined processing of images with different parameters. Photogrammetric methods only process stereo pairs and only images with identical parameters. Projective methods allow for the simultaneous processing of any number of images and allow for both identical and different image parameters. When imaging planetary surfaces from space, photogrammetric conditions are not always feasible. Therefore, projective methods provide a tool for image processing under these conditions.

Keywords: space exploration, space photography, planetary surface imaging, direct and inverse problems, images with disrupted ligaments, anamorphic images.

1. Введение

Космическая съемка применяется при мониторинге поверхности земли (Savynych, 2017, Kudzh, 2022) и изучении поверхности планет (Бармин et al., 2013). Аналогом космической съемки является аэрофотосъемка (Завгородняя, 2017). Классическая аэрофотосъемка ориентирована на использовании одной камеры для получения серии снимков. Снимки, полученные одной камерой, имеют одинаковые элементы внутреннего ориентирования и это заложено в методику фотограмметрической обработки. При этом высота съемки не превышает 20 км. Космические носители имеют одновременном от трех камер наблюдения

* Corresponding author
E-mail addresses: cjv7@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov)

(Савиных, Цветков, 2001). Длиннофокусная камера с узкой зоной наблюдения, но с высокой точностью определения координат. Широко фокусная обзорная камера. Иногда ставят спектрональные камеры в четырех спектральных диапазонах, для лучшего опознавания ареальных объектов. Высота съемки составляет сотни и тысячи километров.

2. Обсуждение и результаты

При обработке космических снимков и построении пространственных моделей широко применяют методы геометрии и методы воздушной фотограмметрии и даже когнитивную логику (Savnykh, Tsvetkov, 2021). Методы геометрии допускают применение методов проективной геометрии, которые задают специальный проективный подход. В ходе пространственного моделирования на основе космических снимков необходимо решать прямую задачу «снимок – поверхность» и обратную задачу «поверхность – снимок». Первоначально решают обратную задачу, которая заключается в нахождении параметров космической съемки. Для определения реальных координат на поверхности планеты решают прямую задачу.

В физике, математике, фотограмметрии и геодезии применяют прямые и обратные задачи. В фотограмметрии обратная задача или обратная засечка предшествует прямой задаче. Для определения координат по снимкам необходимо определить параметры снимков и параметры съемки. Для этой цели используют математические зависимости, связывающие координаты местности с координатами снимка. В приведенных ниже формулах (1), (2) показаны базовые уравнения фотограмметрии, описывающие такие пространственные связи. Их используют как для определения параметров фотосъемки, так и в последующем для вычисления координат местности. Эти уравнения описывают законы центрального проектирования для получения изображений на снимке по координатам местности. При разрешении этих двух уравнений относительно параметров съемки получают два нелинейных уравнения относительно 9 неизвестных параметров. Каждая опорная точка дает пару уравнений. Следовательно, для определения 9 параметров необходимо не менее 5 опорных точек. Трехмерные координаты этих точек на местности должны быть известны, а двухмерные координаты изображений этих же точек на снимке должны быть измерены. На практике из-за нелинейности уравнений 5 точек не хватает и используют большее количество точек. Также применяют искусственный прием специального расположения опорных точек на местности, что упрощает процедуру обработки, но усложняет полевые работы. Это искусственные условия, налагаемые на определение параметров съемки.

Кроме измерений координат точек в фотограмметрических задачах задают параметры установки фотокамеры. Это также является дополнительным условием выполнения фотосъемки и условием решения обратной засечки. При аэрофотосъемке для этой цели применяют специальную аппаратуру и специальные фотокамеры. Космические фотокамеры и аэрофотокамеры предварительно калибруют и задают паспортное значение фокусного расстояния, которое в процессах обработки считается заданным. Все это накладывает ограничения на выполнение съемки и решение обратной задачи фотограмметрии.

При съемке на фотопленку применяют вакуумные или иные выравнивающие устройства. При использовании цифровых камер необходимость в таких устройствах отпадает. Но может появится аноморфотность за счет сканирования линейкой ПЗС. Уменьшение этого эффекта достигают увеличением высоты съемки.

В настоящее время применяют цифровые камеры высокого разрешения для получения цифровых снимков. Эти же камеры используют при космических исследованиях. Цифровая камера исключает процедуру доставки фото носителя на землю для его обработки и печати снимков. Она сразу формирует фотоснимок и передает его по каналу связи в центр управления полетом.

Решение задачи с использованием фотограмметрических построений.

Фотосъемка реализует процедуру информационного морфизма, при которой теряется одна координата. Можно констатировать, что в фотограмметрических построениях модель изображения менее информативная, чем модель снимка. Это требует в дальнейшем восстановления информативности в модели местности.

Обратная задача представляет собой преобразование вида

$$XO, YO, ZO, xo, yo, dP \rightarrow P \text{ (a)}$$

В выражении (a) XO, YO, ZO – координаты опорных точек на местности; xo, yo – координаты опорных точек на снимке dP – приближенные значения параметров съемки перед началом съемки; P – точные значения параметров съемки после завершения обработки.

Прямая задача представляет собой комплексное преобразование вида

$$[m1(x, y), P1] \wedge [m2(x, y), P2] \rightarrow M(X, Y, Z) \text{ (b)}$$

В выражении (b) X, Y, Z – координаты вычисляемых точек на местности; x, y – координаты изображений этих точек на снимках; $m1$ – точка изображения на первом снимке, соответствующая определяемой точке на местности; $m2$ – точка изображения на втором снимке, соответствующая той же определяемой точке на местности; $P1$ – параметры съемки первого снимка; P – параметры съемки второго снимка; \wedge – символ конъюнкции, обозначающий обязательность обработки двух снимков совместно. С позиций информатики это означает восстановление информативности о пространственной трехмерной ситуации.

Для сравнения рассмотрим фотограмметрический подход решения задачи. В этом подходе параметры съемки формируются в технических характеристиках камеры. Камера имеет одно фокусное расстояние по разным осям и соответственно равный масштаб съемки по обеим осям.

На [Рисунке 1](#) дана геометрическая основа фотограмметрического метода. На [Рисунке 1](#) показана главная точка снимка O с координатами x_0, y_0 , которые не следует путать с координатами опорных точек xo, yo .

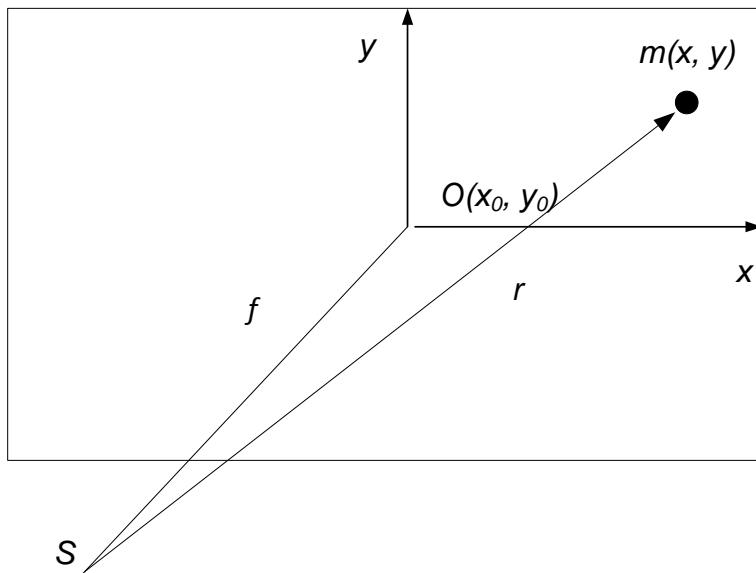


Рис.1. Параметры одиночного снимка

На основе этого подхода применяют геометрические построения, реализующие пространственную центральную засечку. Эти построения описаны формулами (1), (2).

$$x = x_0 - f \frac{a_{11}(X - X_s) + a_{21}(Y - Y_s) + a_{31}(Z - Z_s)}{a_{12}(X - X_s) + a_{22}(Y - Y_s) + a_{32}(Z - Z_s)} \quad (1)$$

$$y = y_0 - f \frac{a_{12}(X - X_s) + a_{22}(Y - Y_s) + a_{32}(Z - Z_s)}{a_{12}(X - X_s) + a_{23}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)} \quad (2)$$

Параметр f – расстояние от точки фотографирования по нормали до плоскости снимка. Величина r обозначает радиус вектора из точки фотографирования до изображения точки на снимке. Выражения (1, 2) описывают информационный морфизм ([Дышленко, 2018](#))

преобразования трех координат точек местности и в две координаты снимка

Выражения (1, 2) применяют для разных целей. При заданных параметрах съемки и координатах местности они служат для получения макетных снимков, то есть макетов координат точек снимка.. При известных координатах точек местности и их изображениях на снимке они позволяют получать параметры съемки (элементы ориентирования снимка). Выражения (1, 2) могут применяться для получения координат точек местности, если измерены координатам точек не менее двух снимков, известны параметрах съемки двух снимков или существуют некие дополнительные геометрические условия.

Формулы (1, 2) предполагают одинаковую масштабность по осям координат. В силу этого f в формулах (1, 2) одинаково для осей координат снимка x, y . При движении и относительно близком расстоянии такое условие нарушается и наблюдается размытие или «смаз» изображения по оси вдоль которой происходит движение носителя фотокамеры. Для уменьшения этого эффекта аэрофотосъемку ведут с большой высоты

На практике возможны случаи динамической фотосъемки, которая создает смаз изображения и разность масштабов по направлению движения и по нормали к нему. Разность масштабов приводит к появлению двух значений f_x и f_y вместо общего одного f .

Формулы (1), (2) основаны на центральном проектировании, что выражается одинаковым масштабом для обеих осей координат.

Применение проективных построений.

Использование методов проективной геометрии создает линейную связь (Цветков, 1979) при определении параметров съемки. Она исключает нелинейность, присущую фотограмметрическим построениям. Обозначения координат те же, что и в фотограмметрических построениях, в формулах, приведенных выше.

В предлагаемом ниже варианте формул используется воздушная система координат, в которой координата Z соответствует вертикали, координата X соответствует горизонтальным линиям, координата Y соответствует условно вертикальным линиям.

При переходе к воздушной или космической съемке координата Z определяет расстояние по вертикали до объекта от точки съемки. Основные базовые уравнения связи имеют вид:

$$x = \frac{A_1 X + A_2 Y + A_3 Z + A_4}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1} \quad (3)$$

$$y = \frac{A_5 X + A_6 Y + A_7 Z + A_8}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1} \quad (4)$$

Выражения (3), (4) являются альтернативой выражениям (1, 2). В выражениях (3), (4) x, y – координаты точек m , изображенных на снимке, X, Y, Z – координаты этих же точек M на местности. В этом случае также используют опорные точки

Формулы (3), (4) отражают проективную зависимость, допускающую разность масштабов. Они содержат постоянные коэффициенты, которые не имеют прямого физического или геометрического смысла. Это означает переход

$$PPh(9) \rightarrow APA(11)$$

Данное выражение есть переход, а не морфизм. Оно обозначает переход из пространства физических параметров съемки PPh в абстрактное пространство проективных факторов APA . Количество проективных факторов равно 11, то есть на два больше, чем фотограмметрических параметров фотосъемки. Это, естественно, влечет применение на одну опорную точку больше, чем при фотограмметрических построениях. Но нелинейность фотограмметрических построения приводит к необходимости использования не минимального числа опорных точек (5), а их избыточное количество (>5) для подавления погрешностей и лучшей ходимости нелинейного решения.

Следует отметить, что более 100 лет существования фотограмметрии никто сходимость данного решения не исследовал. То есть не определены точные математические условия,

при которых уравнения (1), (2) дают устойчивое решение относительно PPh .

В отличие от этого выражения (3), (4) раскрываются линейно относительно APA (11). Линейность не только исключает необходимость последовательных приближений, но и позволяет напрямую применять методы наименьших квадратов. Большее число параметров APA (11). обусловлено наличием двух возможных масштабов по осям и двух фокусных расстояний. Для центральной связки эти величины не различаются. Для разрушенной связки они характеризуют меру аноморфотности.

Проективный подход исключает требование предварительного определения элементов ориентирования снимка. Расчеты координат производят по коэффициентам A_i , в которые параметры съемки входят неявно. Если возникнет необходимость, то элементы ориентирования могут быть вычислены по коэффициентам A_i .

Формулы (3), (4) позволяют формировать линейную систему уравнений для параметров APA (11). Минимальное количество пар уравнений для нахождения APA (11). равно 6. С учетом измерений точек на местности и на снимке с погрешностями их выбирают от 8 до 10. Любая точка дает пару линейных уравнений.

$$A1 X + A2 Y + A3 Z + A4 - A9 xX - A10 xY - A11 xZ = x \quad (5)$$

$$A5 X + A6 Y + A7 Z + A8 - A9 yX - A10 yY - A11 yZ = y \quad (6)$$

Выражения (5), (6) составлены для воздушной или для космической съемки. В них координатами снимка являются x, y .

Исходные уравнения (5) (6) дают возможность построить матрицу решения с показом ее структуры.

Матрица						Неизвестные		Свобод ч	
X_1	Y_1	Z_1	1	X_1	Y_1	Z_1	1	$-xX_1$	$-xY_1$
X_2	Y_2	Z_2	1	X_2	Y_2	Z_2	1	$-yX_1$	$-yY_1$
X_3	Y_3	Z_3	1	X_3	Y_3	Z_3	1	$-xX_2$	$-xY_1$
X_4	Y_1	Z_1	1	X_4	Y_1	Z_1	1	$-yX_2$	$-yY_2$
X_5	Y_1	Z_1	1	X_5	Y_1	Z_1	1	$-xX_3$	$-xY_3$
X_6	Y_1	Z_1	1	X_6	Y_1	Z_1	1	$-yX_3$	$-yY_3$
								$-xX_1$	$-xY_1$
								$-yX_1$	$-yY_1$
								$-xX_1$	$-xY_1$
								$-yX_1$	$-yY_1$

В матричной форме имеем

$$M A = C \quad (7)$$

В выражении (7) M есть прямоугольная матрица 12×11 . Она имеет избыточную строку., Вектор C – вектор свободных членов. Столбец A столбец неизвестных параметров. Итоговая формула нахождения проективных факторов такова

$$A = [M^T M]^{-1} [M^T C] \quad (8)$$

Выражение (8) линейно вычисляет APA (11). При необходимости параметры PPh (9) вычисляют по формулам (9-13)

Координаты главной точки снимка определяют по формулам (9) (10).

$$x_o = (A_1 A_9 + A_2 A_{10} + A_3 A_{11}) \gamma \quad (9)$$

$$y_o = (A_5 A_9 + A_6 A_{10} + A_7 A_{11}) \gamma \quad (10)$$

Где

$$\gamma = (A_9 A_9 + A_{10} A_{10} + A_{11} A_{11})^{-1} \quad (11)$$

Значения фокусных расстояний по осям определяют по формулам

$$f_x = (A_1 A_1 + A_2 A_2 + A_3 A_3) \gamma - x o^2 \quad (12)$$

$$f_y = (A_5 A_5 + A_6 A_6 + A_7 A_7) \gamma - y o^2 \quad (13)$$

Выражение (12) определяет фокусное расстояние по оси ОХ. Выражение (13) определяет фокусное расстояние по оси ОY. Это является принципиальным отличием от фотограмметрических вычислений. Оно означает, что проективная засечка допускает возможность разных масштабов по разным осям координат. На практике это имеет место при съемке с подвижных носителей камеры. В обычной фотограмметрии используют только одно фокусное расстояние как среднее арифметическое между f_x и f_y .

Одно фокусное расстояние в (1) и (2) как среднее арифметическое между f_x и f_y дает заведомо ошибочные расчеты по обеим координатам при анаморфотных снимках. Углы наклона плоскости фотоснимка определены в работе ([Цветков, 1979](#)).

Важнейший параметр внешнего ориентирования точка центра проектирования. Ее координаты X_s , Y_s , Z_s определяют по формуле (14).

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ A_5 & A_6 & A_7 \\ A_9 & A_{10} & A_{11} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_4 \\ -A_8 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

В выражении (14) коэффициенты A_i – известные величины, полученные на основе решения обратной проективной засечки по выражениям (5), (6). Параметры X_s , Y_s , Z_s – параметры точки фотографирования, требующие определения. Выражение (14) является линейным и не требует итеративной процедуры. Выражение (14) не требует предварительного определения приближенных значений X_s , Y_s , Z_s .

Снимки при решении проективной засечки могут иметь одинаковые или разные фокусные расстояния. Это обусловлено тем, что они в формулах эти параметры в явном виде не присутствуют. Проективная засечка расширяет возможности космической съемки и исключает ограничения, которые накладывает фотограмметрия.

Решение прямой проективной задачи возможно по уравнениям (5) (6), если считать коэффициенты A_i заданными. В этом случае выражения (5) (6) можно разрешить относительно координат точек местности X , Y , Z

$$X(A_1 - A_9 x) + Y(A_2 - A_{10} x) + Z(A_3 - A_{11} x) = x - A_4 \quad (15)$$

$$X(A_5 - A_9 y) + Y(A_6 - A_{10} y) + Z(A_7 - A_{11} y) = y - A_8 \quad (16)$$

$$X(A'_1 - A'_9 x') + Y(A'_2 - A'_{10} x') + Z(A'_3 - A'_{11} x') = x' - A'_4 \quad (17)$$

$$X(A'_5 - A'_9 y') + Y(A'_6 - A'_{10} y') + Z(A'_7 - A'_{11} y') = y' - A'_8 \quad (18)$$

Четыре линейных уравнения (15-18) позволяют определять три неизвестные координаты точек местности (планеты) X , Y , Z по параметрам съемки первого A_i и второго A'_i снимка и по измерениями координат этих точек на первом x и втором x' снимках.

Особенностью выражений (15-18) является их линейность и возможность дополнения координатами третьего, четвертого и прочих снимков. При этом снимки могут иметь разные фокусные расстояния ([Цветков, Ходорович, 1986](#)), что неприемлемо для фотограмметрической засечки.

3. Заключение

Методы проективной геометрии являются хорошей альтернативой фотограмметрическим методам. Они особенно полезны в условиях, когда ограничения на фотограмметрическую съемку выполнить нельзя. Их применение затруднено плохим знанием фотограмметристами математики. Это подтверждается опытом преподавания в

МИИГАиК. Большинство из них, даже доктора наук, с трудом допускает мысль о наличии двух фокусных расстояний. По точности метод превосходит фотограмметрические определения. На проведенных экспериментах удалось определить координаты тела, движущегося со скоростью 600-60 м/сек, на расстоянии 3км от точки съемки с погрешностью 3см и 14 см по двум осям.

Литература

[Бармин и др., 2013](#) – Бармин И.В., Савиных В.П., Цветков, В.Я. Дистанционный метод определения координат точек на поверхности планеты // Вестник НПО им. СА Лавочкина. 2013. (3): 26-29.

[Дышленко, 2018](#) – Дышленко С.Г. Информационный морфизм пространственных преобразований // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 6 (10). С. 21-26.

[Завгородняя, 2017](#) – Завгородняя Д.В. Преимущества аэрофотосъемки над наземными видами съемки // European research. 2017. Рр. 291-293.

[Савиных, Цветков, 2001](#) – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. М.: Картоцентр-Геодезиздат. 2001. 224 с.

[Цветков, 1979](#) – Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. Новосибирск, 1979. С. 56-63.

[Цветков, Ходорович, 1986](#) – Цветков В.Я., Ходорович Е.А. Составление обмерных чертежей архитектурных памятников с использованием архивных фотоснимков. М.: МК РСФСР, Росреставрация. 1986. 52 с.

[Kudzh, 2022](#) – Kudzh S.A. Development of space monitoring // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2022. 8(1): 12-22.

[Savynych, 2017](#) – Savynych, V.P. Evolution of Space Monitoring // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2017. 3(1): 33-40.

[Savynych, 2018](#) – Savynych V.P. Evolution of the Salyut Space Research Program // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2018. 4(1): 19-33

[Savnykh, Tsvetkov, 2021](#) – Savnykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Cognitive Logic's Principles / Artificial Intelligence in Intelligent Systems: Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021. 2: 288-296. Springer International Publishing, 2021.

References

[Barmin i dr., 2013](#) – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Distantionnyi metod opredeleniya koordinat tochek na poverkhnosti planet [Remote sensing method for determining the coordinates of points on the planet's surface]. Vestnik NPO im. SA Lavochkina. (3): 26-29. [in Russian]

[Dyshlenko, 2018](#) – Dyshlenko, S.G. (2018). Informatsionnyi morfizm prostranstvennykh preobrazovanii [Information morphism of spatial transformations]. ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii. 6(10): 21-26. [in Russian]

[Kudzh, 2022](#) – Kudzh, S.A. (2022). Development of space monitoring. Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 8(1): 12-22.

[Savynych, 2017](#) – Savynych, V.P. (2017). Evolution of Space Monitoring. Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 3(1): 33-40.

[Savynych, 2018](#) – Savynych, V.P. (2018). Evolution of the Salyut Space Research Program. Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 4(1): 19-33

[Savnykh, Tsvetkov, 2001](#) – Savnykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. M.: Kartotsentr-Geodezizdat. 224 p. [in Russian]

[Savnykh, Tsvetkov, 2021](#) – Savnykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2021). Cognitive Logic's Principles. Artificial Intelligence in Intelligent Systems: Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021. 2: 288-296. Springer International Publishing.

[Tsvetkov, 1979](#) – Tsvetkov, V.Ya. (1979). Metodika obrabotki snimkov nepravil'noi formy. Razvitiye i ispol'zovanie aerokosmicheskikh metodov izucheniya prirodykh yavlenii i resursov [Methodology for processing irregularly shaped images. development and use of aerospace

methods for studying natural phenomena and resources]. Novosibirsk. Pp. 56-63. [in Russian]

Tsvetkov, Khodorovich, 1986 – *Tsvetkov, V.Ya., Khodorovich, E.A. (1986). Sostavlenie obmernykh chertezhei arkhitekturnykh pamyatnikov s ispol'zovaniem arkhivnykh fotosnimkov* [Preparation of dimensional drawings of architectural monuments using archival photographs]. M.: MK RSFSR, Rosrestavratsiya. 52 p. [in Russian]

Zavgorodnyaya, 2017 – *Zavgorodnyaya, D.V. (2017). Preimushchestva aerofotos"emki nad nazemnymi vidami s"emki* [Advantages of aerial photography over ground-based surveys]. *European research*. Pp. 291-293. [in Russian]

Проективные методы обработки космических снимков

Виктор Яковлевич Цветков^a *

^a Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация

Аннотация. Статья исследует новые методы обработки космических снимков. Методы основаны на применении проективной геометрии и являются альтернативой методам фотограмметрии. Аналогом космической съемки является аэрофотосъемка. Она использует фотограмметрические методы. Фотограмметрия требует ряд ограничений на снимки. Методически она обрабатывает снимки, полученные по законам центрального проектирования. Это выражается в требовании равного фокусного расстояния по двум осям координат. Проективные методы позволяют обрабатывать снимки с нарушенными связками. Это создает возможность обработки анаморфотных снимков с разными фокусными расстояниями для двух осей координат. Фотограмметрия решает обратную засечку методом последовательных приближений. Для этого она требует априорного задания девяти элементов ориентирования снимка. Исходными являются нелинейные уравнения относительно элементов ориентирования, которые не имеют строго решения, а решаются методом приближений. Априорно заданные значения уточняются с использованием координат опорных точек на снимке и местности. Приближения получают точные значения параметров. Ограничением метода является условие предварительного определения параметров фотограмметрической съемки. Для аэрофотосъемки применяют камеры одинаковых характеристик. Для космической съемки планет применяют камеры разных типов и разных параметров. Проективные методы снимают ограничения на условия фотограмметрической обработки снимков. Они позволяют обрабатывать совместно снимки с разными параметрами. Фотограмметрические методы позволяют обрабатывать только стереопары и только снимков с одинаковыми параметрами. Проективные методы позволяют обрабатывать любое количество снимков одновременно и допускают как одинаковые, так и разные параметры снимком. При космической съемке поверхностей планет условия фотограмметрической съемки не всегда выполнимы. Поэтому проективные методы дают инструмент обработки снимков в этих условиях

Ключевые слова: космические исследования, космические фотоснимки, съемка поверхностей планет, прямая и обратная задача, снимки с нарушенными связками, анаморфотные снимки

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: cvj7@mail.ru (В.Я. Цветков)

Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA
Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
Issued since 2013.
E-ISSN: 2413-7499
2025. 11(1): 42-44

DOI: 10.13187/rjar.2025.1.42
<https://rjar.cherkasgu.press>



Letters to the Editorial Board

On the Possibility of Obtaining an Orbital Rocket of the Ultra-Light Class by Installing an Upper Stage

Karina A. Rastobarova ^a, Nicholas W. Mitiukov ^{b,*}

^a Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russian Federation

^b Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

Abstract

The paper analyzes the possibility of replacing the payload of a geophysical rocket with a second stage to obtain an ultra-light orbital rocket. The single-stage rocket MN-300 was chosen as a basis, for determining the necessary parameters of which a general design of a similar rocket was carried out. The result was a single-stage geophysical rocket with a payload mass of 200 kg and a lift altitude of 300 km. After detailed development, it was possible to obtain a rocket with a launch mass of 995.6 kg and a lift altitude of 353.8 km, which is slightly better than the analogue. But even in such a rocket, the installation of the second stage instead of the payload did not provide the ability to launch a micro-satellite into orbit.

Keywords: micro-satellite, geophysical rocket, analogue, launch into orbit.

1. Introduction

Geophysical rockets are unmanned systems flying along a ballistic trajectory in the upper atmosphere for research purposes. They are used to measure parameters that are inaccessible to ground stations, balloons or satellites. They can take measurements at high altitudes, such as temperature, gas concentration, wind speed and direction, etc. Geophysical rockets are currently one of the most reliable methods for direct (contact) research of the atmosphere, studying climate and geophysical processes. They also contribute to the development of new technologies and methods for monitoring climate change. These data are necessary for accurate weather forecasts, warnings about natural disasters, as well as for scientific research in the field of climate and ecology. A geophysical rocket with a payload mass of 200 kg and a lift altitude of 300 km (analogous to the MN-300 rocket) was chosen as the object of study. Particular attention was paid to the possibility of using the payload as an additional stage for launching a microsatellite into orbit.

2. Materials and methods

Based on the methods of general design of geophysical rockets, the appearance of the rocket was determined in accordance with the technical specifications. As materials for the study, typical

* Corresponding author

E-mail addresses: nico02@mail.ru (N.W. Mitiukov), karinarastobarova@gmail.com (K.A. Rastobarova)

elements and materials were selected, the use of which is recommended for the design of rockets of this class.

3. Discussion

A large number of works that have appeared in recent years are devoted to the problems of designing an ultra-light geophysical rocket. These are mainly small notes that give only the most general idea of the rocket (Saltykov et al., 2024), (Khaltaeva, 2023). But there are also more detailed descriptions (Komissarenko et al., 2017). Sometimes the description of the rocket itself is given in the context of the geophysical problems it solves (Kuminov et al., 2021; Song et al., 2024). In general, the works discuss both single-stage and multi-stage (usually two-stage) rockets, usually with a vertical launch.

Geophysical rockets were considered as the closest analogues, the characteristics of which are summarized in [Table 1](#). As can be seen, the proposed rocket is an analogue of the MN-300, in which the payload mass is increased by 50 kg, so that it can accommodate a heavier orbital stage.

Table 1. Analogues of the proposed rocket

Rocket	Launch weight, kg	Payload, kg	Lifting altitude, km
MR-12	1600	250	180
MR-20	1620	100	230
MN-300	1560	150	300

4. Results

Among the analogs there are both single- and two-stage rockets. After preliminary calculations it was established that the required parameters can be achieved in a single-stage version. The selected design and layout scheme of the designed rocket is shown in [Figure 1](#).

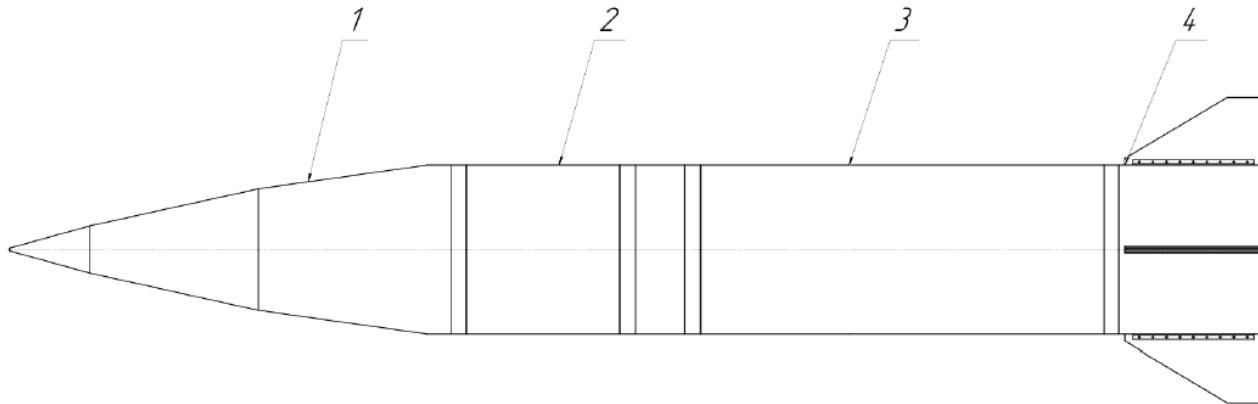


Fig. 1. Structural layout diagram of the designed missile:

- 1 – head-part;
- 2 – parachute compartment;
- 3 – propulsion system;
- 4 – tail compartment with empennage

To facilitate the design, all the main calculations were output to the Mathcad package. After that, the midsection diameter was concluded to be from 0.45 to 0.50 m with a step of 0.01 m. The starting mass varied within the range from 1000 to 1500 kg with a step of 100 kg. The pressure in the combustion chamber was calculated from 7 to 10 MPa with a step of 1 MPa. For selected type of fuel with a single pulse of 210 s. and the parameters of the channel-slot charge are obtained as follows: the midsection diameter is 0.5 m, the starting mass is 1000 kg., the pressure in the combustion chamber is 8 MPa. They are the ones that provide support the maximum for the lift height. For the Standard atmosphere (GOST 4401-81), it was 353.8 km, which is 53.8 km more than preassigned the technical specifications.

More careful design made it possible to adjust the value of the launch mass, which was equal to 995.6 kg, the fuel mass was 668 kg, the engine operating time was 23 s, and the total length of the rocket was 4.85 m.

However, various versions of the second stage within the allotted 200 kg launch mass did not give satisfactory results in terms of the possibility of launching a micro-class satellite into orbit. In all the considered versions, the first cosmic velocity was unattainable.

5. Conclusion

Since all the necessary parameters for assessing the possibility of replacing the payload of the MN-300 rocket with the second stage for launching a micro-satellite into orbit are not known, a similar rocket was designed. As a result, it turned out to have a launch mass of 995.6 kg and a lift altitude of 353.8 km, which is slightly better than the analogue. But even such a rocket, installing the second stage instead of the payload does not provide the possibility of launching a micro-satellite into orbit.

References

- [Khaltaeva et al., 2023](#) – Khaltaeva, Yu.S., Karasev, B.S., Podgornaya, V.I. (2023) Sverkhlegkaya meteorologicheskaya raketa vertikal'nogo starta [Ultra-light vertical launch meteorological rocket]. *Gagarinskie chteniya*: 447-448. [in Russian]
- [Komissarenko et al., 2017](#) – Komissarenko, A.I., Kuznetsov, V.M., Simakov, S.Yu., Murashev, A.A. (2017). Meteorologicheskaya raketa «Mera» [Meteorological rocket «Mera»]. *Izvestiya RARAN*. 2(97): 86-92. [in Russian]
- [Kuminov et al., 2021](#) – Kuminov, A.A., Yushkov, V.A., Gvozdev, Y.N., Shtyrkov, O.V., Lykov, A.D., Balugin, N.V. (2021). Meteorological rocket sounding for atmospheric research and geophysical monitoring. *Russian Meteorology and Hydrology*. 46(9): 571-578.
- [Saltykov et al., 2024](#) – Saltykov, V.A., Yumanov, A.K., Khaltaeva, Yu.S. (2024) Dvukhstupenchataya sverkhlegkaya meteorologicheskaya raketa-nositel' [Two-stage ultra-light meteorological launch vehicle]. *Gagarinskie chteniya*: 407-409. [in Russian]
- [Song et al., 2024](#) – Song, Yu., He, Ya., Leng, H. (2024). Analysis of atmospheric elements in near space based on meteorological-rocket soundings over the east china sea. *Remote Sensing*. 16(2): 402.