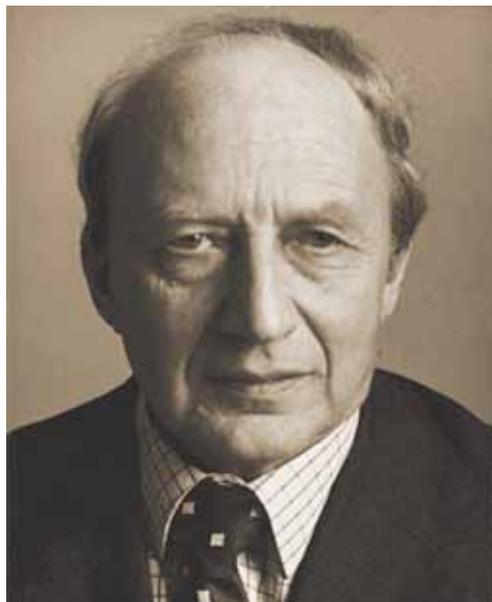


**ОТДЕЛ КОСМИЧЕСКОЙ
ДИНАМИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ (58)
SPACE DYNAMICS
AND MATHEMATICAL
INFORMATION PROCESSING
DEPARTMENT (58)**



**Руководитель — д-р техн. наук
Равиль Назиров**
Head — Dr. Ravil Nazirov



**П. Е. Эльясберг (05.06.1914–
30.03.1988)**
P. E. Elyasberg (June 5, 1914 –
March 30, 1988)

Главная задача отдела — всесторонняя информационная поддержка космических проектов. В своём нынешнем виде отдел существует с 1988 г., когда в одном подразделении ИКИ были объединены баллистико-навигационное обеспечение и автоматизированная обработка телеметрической информации.

Телеметрия — техника измерений на расстоянии; телеметрическая информация — данные, которые поступают со спутника во время работы в космосе. Сюда входят и научная информация, ради которой создаётся проект, и данные о состоянии служебных систем спутника, которые нужны не только для контроля его полёта и управления, но и для правильной оценки научной информации и прогноза его работы в будущем.

Выбор орбиты, способа выведения, ориентации аппарата определяет и время жизни аппарата, и качество научных данных, и возможность управления. Поступающую с борта информацию также требуется «привязать» к положению аппарата в пространстве и во времени.

Все эти задачи требуют не только хорошо разработанного математического аппарата, но и понимания научной стороны экспериментов, поэтому сотрудники отдела всегда работают в тесной связке с экспериментаторами. А методы работы с информацией, которые разрабатываются для космических задач, потом оказываются нужны иногда в совершенно других областях.

Первым руководителем математического отдела стал участник Великой Отечественной войны, дважды кавалер ордена Красной Звезды полковник **Павел Ефимович Эльясберг** (05.06.1914–30.03.1988), главный научный консультант НИИ-4 Министерства обороны. С момента образования отдел занимался проектированием траекторий космических аппаратов к планетам Солнечной системы, в частности, к Венере и Марсу. Особенно важной задачей была оценка точности определения параметров траекторий по радиотехническим измерениям. Эта информация — важнейшая составляющая проекта в целом, так как от неё зависит момент, когда аппарат должен выйти на орбиту вокруг планеты и совершить посадку. Разработанные для этих задач методы оказались достаточно универсальными, чтобы их можно было использовать и в других областях техники, где надо получать так называемые гарантированные оценки точности определяемых параметров систем по измеряемым величинам.

Один из наиболее успешных проектов, где применялись теоретические разработки сотрудников отдела и созданные на их основе программные комплексы, — «Венера-Галлей» или, сокращённо, ВЕГА. В его ходе два аппарата совершали облёт Венеры и отправляли на планету спускаемые аппа-

The main role of the department is the comprehensive information support of space programs. The department as it is today exists since 1988, when ballistic and navigational support and automatic processing of telemetry data were combined under one IKI division.

Telemetry is a remote measuring process, and telemetry data is the information transmitted from a satellite while it operates in space. It includes scientific data, which is the main objective of the space mission, and housekeeping information, which is required for the spacecraft flight monitoring and control as well as for the correct assessment of scientific data and prediction of its future performance.

Orbit selection, launch method, and spacecraft attitude determine the spacecraft life expectancy, quality of scientific data and control capability. The incoming data should also be “tied” to the spacecraft position in space and time.

These tasks require not only well-developed mathematical tools, but an understanding of the scientific side of the experiments, for which reason the department staff always works closely with the investigators. And data processing methods developed for space missions sometimes turn to be necessary in completely different areas.

The first head of the Mathematics Department was a participant in the Great Patriotic War, recipient of Order of the Red Star (twice), Colonel **Pavel Elyasberg**, chief scientific consultant to the NII-4 institute of the Ministry of Defence. From its origin the department has been designing spacecraft trajectories to the planets of the Solar system, in particular Venus and Mars. Of prime importance was the estimation of trajectory information accuracy based on radio measurements. This information is the most important component of the whole program, since it determines the moment when the spacecraft enters the target orbit and lands. Methods developed for these tasks were quite universal to be applied in other fields, where it is necessary to make so-called guaranteed estimation of accuracy of system parameters obtained from measured values.

One of the most successful programs that employed the theoretical works of the department staff and the software based on these works was the Venus-Halley (VEGA) mission. During the program the two spacecraft flew near Venus, delivering descent probes to the planet, and then were redirected to the transfer trajectories to Comet Halley, which in 1985-86 came close to the Sun. Using the software developed by that time and experience from the previous programs, the department staff designed a trajectory that made possible the solution of this problem. Such a solution was the first of its kind in the world.

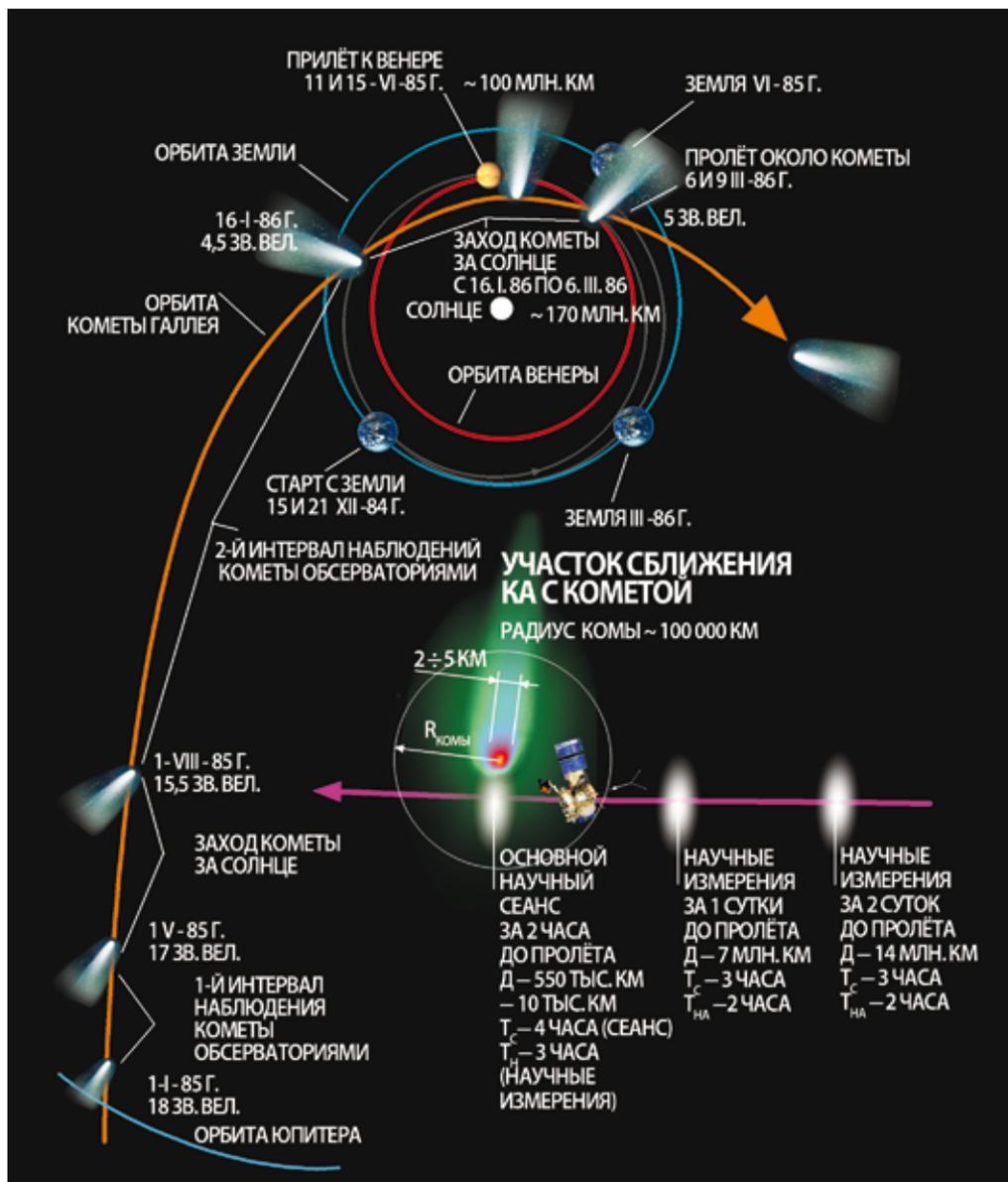
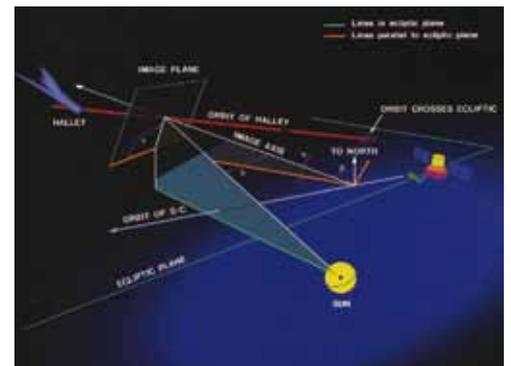


Схема миссии VEGA
VEGA mission scenario

Схема миссии ЛОЦМАН
Pathfinder mission scenario



раты, а затем выходили на траекторию перелёта к комете Галлея, которая в 1985–1986 г. сближалась с Солнцем. Опираясь на созданное к этому времени математическое обеспечение и приобретённый в предыдущих проектах опыт, сотрудники отдела спроектировали траекторию, которая обеспечила решение этой задачи. Такое решение было получено впервые в мире.

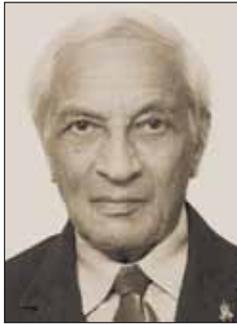
Однако реальный запуск проекта был возможен только в том случае, если точность определения параметров движения при пролёте кометы будет достаточна для физических экспериментов. Проблема состояла в том, что прогнозировать движение кометы достаточно трудно, потому что велика неопределённость реактивных сил от газа, испаряемого с поверхностью кометы.

However the real launch of the mission was possible only if the estimation of motion parameters during the comet flyby was sufficient for physical experiments. The problem laid in the fact that it is rather challenging to forecast the motion of a comet, as there is a high uncertainty in determining reactive forces caused by the gas evaporating from the comet surface.



Борис Бахшиян (1944–2011) — профессор, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИКИ РАН и выдающийся специалист в области теории оценивания, космической динамики и планирования эксперимента, ученик П. Е. Эльясберга. Внёс значительный вклад в решение различных прикладных задач оценивания параметров траектории космических аппаратов, оценивания надёжности результатов функционирования информационно-измерительных систем, задач планирования экспериментов. Автор более 50 научных трудов и учебных пособий

Prof. Dr. Boris Bakhshiyev (1944–2011) was the leading researcher of the IKI and prominent expert in the field of estimation theory, space dynamics, and experiment planning, the student of P. Elyasberg. He made important contribution to the solution of many practical problems of spacecraft trajectory parameters estimation, assessment of information, and measuring systems performance and mission planning. He was the author of more than 50 scientific papers and textbooks



Борис Рабинович (1924–2010) — профессор, д-р техн. наук, широко известен своими фундаментальными трудами в области динамики РКТ. Круг его научных интересов включал исследование вариационных режимов полёта самолётов и крылатых ракет, исследования по динамике твёрдого и упругого тела, взаимодействующих с жидкостью, разработки численных методов решения задач устойчивости управляемых систем со многими степенями свободы и краевых задач механики и электродинамики сплошных сред, исследования по динамике вращающихся космических аппаратов с деформируемыми элементами, по применению магнетогидродинамических эффектов для ориентации и стабилизации ракетно-космических объектов, решение задач магнитной гидродинамики и гидромеханики, имеющих отношение к небесной механике. Последние работы Бориса Исааковича были связаны с развитием концепции плазменного протооблака Альвена, вращающегося в магнитном поле центрального тела и обобщением её на Солнечную систему в целом и на некоторые экзопланетные системы. Перу Б. И. принадлежат 12 монографий и более 200 статей

Prof. Dr. Boris Rabinovich (1924–2010) is widely known by his profound works in space and rocket dynamics. He contributed to many fields of science, such as studies of variation modes of aircraft and cruise missiles flight, dynamics of solid and elastic bodies interacting with liquids, numerical solutions of problems concerning controlled systems stability with many degrees of freedom and boundary problems of mechanics and electrodynamics of rotating spacecraft with deforming elements, use of MHD effects for spacecraft attitude control and stabilization, MHD- and hydromechanics problems related to celestial mechanics. His last works dealt with concept of Alfvén plasma protocloud rotating in the magnetic field of the central body and its generalisation for the Solar system and certain exoplanetary systems. B. Rabinovich was the author of 12 monographs and more than 200 papers

Эту проблему удалось решить, используя разработанные в отделе методы оценки точности при наличии так называемых немоделируемых возмущений. Выполненные отделом расчёты показали, что в существующих условиях требуемые условия по точности пролёта удовлетворяются.

В ходе проекта была выполнена ещё одна новая задача — дополнительный проект «Лощман». Его целью было уточнение эфемерид кометы, когда аппараты «Вега» пролетали вблизи её ядра. Полученные данные о положении аппаратов относительно ядра оперативно передавались в Европейское космическое агентство, которое использовало их, чтобы провести максимально близко к ядру европейский аппарат «Джотто» (Giotto). Иными словами, аппараты «Вега» сыграли роль лощмана в наведении европейского космического аппарата в ближайшие окрестности ядра кометы Галлея.

Миссия ВЕГА (КА «Вега-1» и «Вега-2») стала поистине эпохальной, поскольку она показала все возможности успешного выполнения космического проекта при высокой концентрации усилий на всех его этапах: от проектирования, разработки научных приборов, служебных и телеметрических систем, системы сбора данных до управления движением (трасса полёта, манёвр у Венеры, юстировка платформ), обработки телеметрии на всех этапах и баллистико-навигационной привязки научных данных. Проект потребовал и оперативного реагирования на новые ситуации: когда из строя вышла телевизионная установка на аппарате «Вега-2», положение кометы было успешно определено по телеметрическим данным значений углов платформы АСП-Г. И, конечно, проект стал новым этапом международного сотрудничества в космических экспериментах, когда взаимная работа аппаратов разных агентств позволила получить совершенно новый результат.

Направления работы

- поддержка управления работающими спутниками, в частности, «Чибис-М» (2012–2014) и «Спектр-Р» (с 2011 г. по настоящее время);
- разработка математического обеспечения для навигационной поддержки будущих проектов;
- динамика сложных механических систем, проектирование орбит космических миссий;
- построение математических моделей планирования космических экспериментов;
- проблемы космического мусора;
- управляемое движение естественных небесных тел.

The problem was solved by using the accuracy estimation methods developed by the department staff which took into account the so-called unmodeled disturbances. The calculations showed that under existing conditions the requirements for the flyby accuracy had been met.

In course of the program one more task was completed — the *Pathfinder* project. Its objective was to obtain more accurate comet ephemerides when the *Vega* spacecraft flew close to its nucleus. The collected data on the spacecraft positions with respect to the nucleus were promptly forwarded to the European Space Agency, which in its turn used the data to navigate the European spacecraft *Giotto* as close to the nucleus as possible. In other words the *Vega* spacecraft acted as pathfinders and helped to guide the European spacecraft closer to the nucleus of Comet Halley.

The *VEGA* program (spacecraft *Vega-1* and *-2*) truly became a milestone, as it presented the capabilities for successful execution of a space program with increased focus on all stages: from design and development of scientific instruments, service, and telemetry systems, data collection system to navigation (flight trajectory, manoeuvre near Venus, platform alignment), telemetry processing on all stages and ballistic and navigational referencing of the scientific data. The mission also involved prompt responses to new situations: when a television unit failed onboard *Vega-2*, the comet position was successfully defined based on the telemetry data, specifically the ASP-G tracking nonpressurized platform angles. And of course the mission became a new phase of the international cooperation in space experiments, when mutual operation of different agencies spacecraft made it possible to achieve completely new results.

Research Areas

- support of the operational satellites control, in particular *Chibis-M* (2012–2014) and *Spekttr-R* (2011–to date);
- development of the software for navigation support of future projects;
- dynamics of complex mechanical systems, design of space mission orbits;
- development of mathematical models for space experiments planning;
- space debris problems;
- controlled motion of natural celestial bodies.

Работы, проекты, результаты

С 2002 г. на высокоэллиптической орбите работает рентгеновская обсерватория «Интеграл» (ЕКА с международным участием), миссия которой была подготовлена и исполнена при участии российских специалистов, в том числе сотрудников отдела.

Основной российский вклад в проект — выведение аппарата на орбиту с помощью ракеты-носителя «Протон» и разгонного блока типа ДМ. Роль специалистов ИКИ заключалась в выборе рабочей орбиты и сценария запуска.

В результате проведённых в отделе исследований была выбрана орбита, для которой время существования аппарата превышало 30 лет, причём соблюдались ограничения по радиационному воздействию, поставленные разработчиками. Без преувеличений можно сказать, что выбор оказался исключительно удачным и с точки зрения приёма информации, которую можно принимать на протяжении почти полных интервалов измерений на каждом витке, используя, в основном, одну европейскую станцию в Реду с минимальным привлечением американской станции в Голдстоуне (в изначальном варианте орбиты доступное для проведения измерений время на витке составляло примерно половину от варианта ИКИ). Положение апогея орбиты удерживается в районе северного полюса, высота перигея колеблется в оптимальных пределах, чтобы уменьшить пребывание аппарата внутри радиационных поясов. Это также позволяет удовлетворять требованиям по максимально допустимому времени пребывания аппарата в тени Земли.

Чтобы удовлетворить требованиям по надёжности, специалисты ИКИ также предложили модифицированную схему выведения, при которой, в частности, не надо было включать двигатель разгонной ступени (блок ДМ) для операции доразгона.

Ещё один существенный вклад в проект — предложение по оптимизации управления ориентацией аппарата. В результате предложенного метода управления удалось снизить расход рабочего тела в несколько раз. Если при изначальном алгоритме рабочего тела должно было хватить на 5 лет, то предложенный и используемый подход позволил управлять аппаратом вплоть до настоящего времени (с октября 2002 г.) и, по оценкам, рабочего тела может хватить до 2022 г.

Исследования по динамике сложных систем привели к теоретическим выводам, далеко выходящим за рамки традиционных практических приложений. Были получены принципиально новые результаты по квантованию параметров Солнечной системы, тесно связанные с поведением плазменных колец в гравитационно-магнитном поле.

Projects and Results

From 2002, *Integral* X-Ray observatory (European Space Agency in cooperation with international partners) operates on high-elliptical orbit, and its mission was prepared and executed with the participation of Russian specialists, including the department staff.

The main contribution to the mission by Russia was the launch of the spacecraft with *Proton* launcher and DM booster. The role of the IKI specialists was the selection of *Integral* operational orbit and launch scenario.

As a result of research conducted by the department the orbit was selected, which provided for the spacecraft life of more than 30 years, and that with the observance of radiation limits set by the developers. It would not be an overstatement to say that the selection has been also exceptionally well done from the point of data transmission, as it can be received during almost complete measuring intervals on every orbit, primarily using one European station in Redu with minimum involvement of the American station in Goldstone (the initially proposed orbit provided only about half of available measuring time per orbit compared to the IKI variant). Position of the orbital apogee is maintained near the North Pole, perigee altitude varies within the optimal range to reduce the spacecraft presence inside the radiation belts. This also makes possible to meet the requirements on maximum allowable time in the Earth shadow.

To satisfy the reliability requirements the IKI specialists further suggested an updated orbit insertion scenario that excluded the need to start the upper stage booster engine (DM block) for the reacceleration operation.

Another significant contribution to the project is a proposal for attitude control optimization. The proposed control method allows reducing the propellant consumption by several times. While according to the initial algorithm the propellant supply had been enough for 5 years, the proposed and actually implemented approach enabled to control the vehicle up to the present (from October 2012) and it is estimated to last until 2017.

Research on complex systems dynamics led to theoretical conclusions that far exceeded the scope of the traditional practical applications. Fundamentally new results were obtained on the Solar system parameters quantization, which are closely related to the behaviour of plasma rings in the gravity-magnetic field.



Старт ракеты-носителя «Протон» 17 октября 2002 г. с обсерваторией «Интеграл» (ЕКА) с космодрома Байконур (ESA/S. Corvaja)

Launch of *Proton* rocket carrying *Integral* space observatory (ESA) on October 17, 2002 from Baikonur Cosmodrome. (C) ESA / S. Corvaja

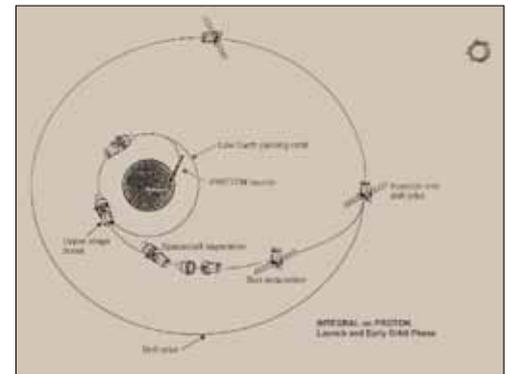
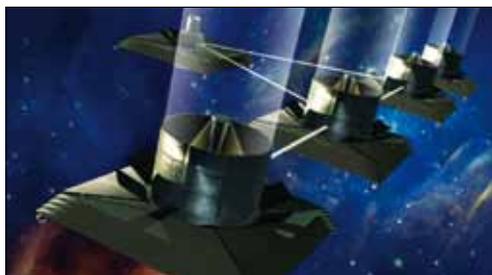
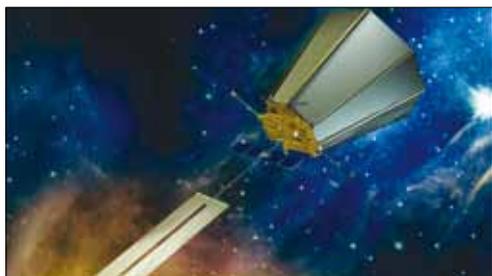


Схема выведения аппарата «Интеграл» с помощью ракеты-носителя «Протон». Картинка из статьи N. A. Eismont et al. Orbit design for launching INTEGRAL on the Proton/Block-DM launcher // A&A. 2003. V. 411. P. L37–L41. doi: 10.1051/0004-6361:2003145

INTEGRAL spacecraft orbit insertion scenario with the *Proton* launcher. Picture from the article by Eismont N. A. et al. Orbit design for launching *INTEGRAL* on the *Proton/Block-DM* launcher // *A&A*. 2003. V. 411. P. L37–L41. doi: 10.1051/0004-6361:2003145

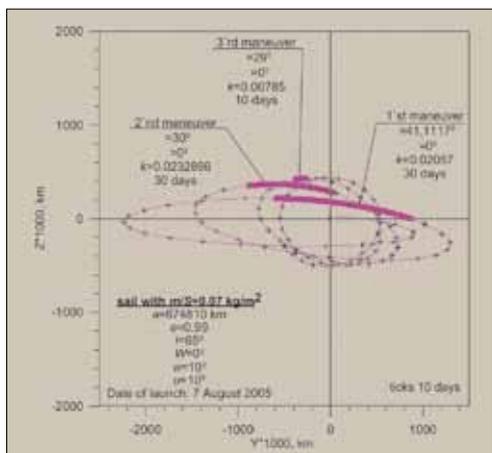
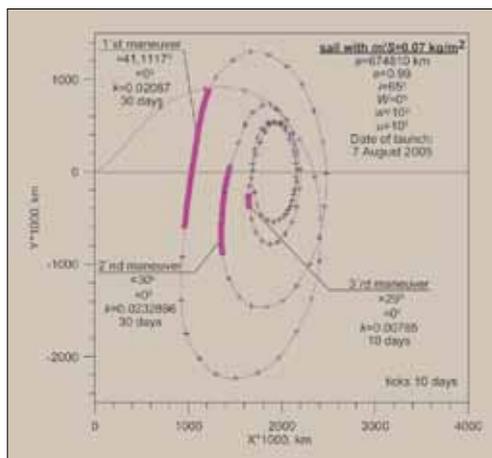


**Проект ТПФ (NASA).
Возможное применение
паруса для создания
и поддержания
группировок аппаратов
в окрестности точек
либрации**

*Project TPF (NASA). Possible
examples of spacecraft
operation using photon sail
in the L2 libration point vicinity*

**Примеры управления
космическим аппаратом
с помощью солнечного
паруса в окрестности
точки либрации L2**

*Examples of spacecraft
operation using photon sail
in the L2 libration point vicinity*



Кроме того, были изучены переходные процессы в многомерных системах, позволившие выявить ранее неизвестные особенности переноса энергии, характерные как для механических, так и для квантово-механических систем. В частности, рассматривались задачи туннелирования, т.е. необратимого переноса энергии под воздействием медленных возмущений параметров. Получены асимптотические решения, описывающие необратимый перенос энергии между механическими осцилляторами и показано, что полученные решения также пригодны для анализа переходов в квантово-механической двухуровневой системе на конечном интервале времени (задача Ландау-Зинера).

Отдельное внимание уделялось задачам динамики и управления механическими системами при случайных возмущениях. Построены явные асимптотические решения задач, связанных с анализом и оптимальным управлением так называемыми «большими отклонениями». Большие отклонения представляют собой редкие, но значительные отклонения от положения равновесия, вызванные слабыми внешними возмущениями. Они могут привести к потере устойчивости системы или, в более общем случае, к выходу из допустимой области движения. Найденные оценки вероятности выбросов и построение управления, препятствующего этим нежелательным событиям, представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Перспективный проект — солнечный парус с переменными управляемыми отражательными характеристиками из жидкокристаллических плёнок, прозрачность которых меняется изменением электрического напряжения между поверхностями. Численное моделирование показало, что такой парус можно эффективно использовать при полётах в окрестности солнечно-земной точки либрации L2. Преимущество концепции состоит в том, что можно отказаться от механических устройств для управления движением космического аппарата, в том числе, управления ориентацией.

При обработке информации на основе концепции замкнутого информационного цикла с обратной связью «наблюдение-управление», математической основой цикла служит один из наиболее современных вариантов алгоритма Калмана — так называемый информационный, в котором информация измеряется не просто в битах, которые не различают нужной и ненужной информации, а в единицах информации, полезной для задач управления. На основе этих алгоритмов развивается программный комплекс «Геодиалог», нацеленный на обработку космической информации о Земле и планетах. На протяжении последних 10 лет с его помощью обрабатывалась гиперспектральная информация о Земле и Марсе.

Moreover transition processes in multidimensional systems were investigated, revealing previously unknown characteristics of energy transfer typical for mechanical and quantum-mechanical systems. Specifically the tunnelling problems were examined (tunnelling is an irreversible energy transfer caused by slow perturbations of parameters). Asymptotic solutions describing irreversible energy transfer between mechanical oscillators had been obtained. It was shown that these solutions were also applicable for analyzing transitions in a 2-level quantum mechanical system on finite interval of time (the Landau-Zener problem).

Special attention was paid to the problems of dynamics and control of mechanical systems with random perturbations. Explicit asymptotic solutions were made for the problems related to analysis and optimal control of so-called “large deviations”. Large deviations are rare, but significant deviations from equilibrium state affected by small external perturbation. It can lead to the system instability and, more generally, exit from the acceptable motion region. The produced estimations of exit probability and design of control rules to prevent these adverse events are not only of theoretical, but also of practical interest.

A promising project is a photon sail with controlled reflecting capabilities made of liquid-crystal film which transparency can be changed by applying different electric voltage between surfaces. Numerical simulation has proved that this sail could be efficiently used in flights near the solar-terrestrial libration point L2. The advantage of the concept is the possibility to exclude the usage of mechanical devices for spacecraft motion control, including attitude control.

Information processing based on the concept of “monitoring-control” close-circuit information feedback cycle. One of the most modern variations of the Kalman algorithm acts as a mathematical framework for such a cycle (this algorithm is so-called informational, where information is not measured simply in bits, which cannot differentiate relevant and irrelevant information, but in information units, useful for control problems). Using these algorithms the software package *Geodialog* is been developed for processing of space information on the Earth and other planets. In the last 10 years it was used to process hyperspectral information about the Earth and Mars.

Получены интересные результаты по определению «тонких» параметров земной растительности, а для Марса — по динамике южной полярной шапки. Практически значимый выход этих исследований — оценка и управление риском для здоровья населения от загрязнения воздушной среды, для которой активно используются данные от предприятий-источников выбросов и космические данные. Такие работы проведены для около 100 предприятий и в целом по нескольким городам, включая Москву, и используются, например, при определении санитарно-защитных зон, планировании реконструкции предприятий и др.

Предложены методы обнаружения мультистабильности в системах высокой размерности. Под мультистабильностью понимается сосуществование двух или нескольких различных устойчивых периодических ритмов в системе с установленным набором параметров, но реализуемых из различных начальных условий. Полученные результаты оказались полезными не только для исследования бифуркаций в технических системах, но и для различных приложений. В частности, было обнаружено, что явление мультистабильности лежит в основе механизма внезапного возникновения аритмий в сердце.

На основе многолетней работы по визуализации объектов в рентгеновском диапазоне для космических обсерваторий («Рентген» на модуле КВАНТ станции «Мир», орбитальная обсерватория «Гранат») предложен принципиально новый способ обработки рентгеновских маммограмм, который резко повышает резкость и контрастность изображений онкологических опухолей и микрокальцинатов (как ранних предвестников рака) в молочной железе. Как следствие, заболевание можно диагностировать на более ранней стадии по сравнению с традиционной маммографией. На способ получено три патента РФ (патент «Способ двухэнергетической делительно-разностной маммографии» вошёл в список ФИПС «100 лучших изобретений России-2013») и Европейский патент в формате PCT (в настоящее время идёт процедура национализации данного патента в США и Японии).

Разработано математическое обеспечение для навигационной поддержки проекта «ЭкзоМарс» (Роскосмос/ЕКА). Согласно плану, первый этап миссии предполагает запуск в 2016 г. аппарата на высокоэллиптическую орбиту спутника Марса, а в 2018 г. будет запущен аппарат для доставки на поверхность Марса марсохода. Для перехода аппарата с высокоэллиптической орбиты спутника Марса на низкую планируется использовать последовательные торможения аппарата в атмосфере Марса в районе перицентра.

Remarkable results were obtained on determination of terrestrial vegetation “fine” parameters, and the southern polar cap dynamics on Mars. The significant practical outcome of this research is the assessment and management of population health risk from the air contamination, which actively employs the data from industrial sources of air pollution and space monitoring data. Such work was conducted for approximately 100 industrial enterprises and a number of cities in general (including Moscow) and is applied to define sanitary protection zones, plan enterprise reconstructions, etc.

Methods for detection of multistability in large-dimensional systems were proposed. By multistability it is understood the co-existence of two or several different stable periodic rhythms in a system with the given set of parameters, but which are derived from different initial conditions. These results were helpful not only for study of bifurcations in technical systems, but for other applications as well. Specifically it was discovered that the multistability phenomenon forms the basis for the cardiac arrhythmia uprush mechanism.

Through many years of work on X-ray spectrum objects visualization for space observatories (*Rentgen* on the *Kvant* module of the *Mir* station, the *Granat* orbital observatory) it was proposed a fundamentally new approach to process X-ray mammograms, that enabled to dramatically increase image sharpness and contrast of images of oncology tumors and microcalcifications (as early cancer precursors) in the mammary gland. Consequently the disease can be diagnosed on an earlier stage compared to the traditional mammography. Three Russian patents (the “Method of dual-energy dividing mammography” patent was included in the Federal Institute for Industrial Property list of the 100 best Russian inventions in 2013) and a European PCT patent were obtained for this method. Currently it undergoes national validation procedures in the USA and Japan.

Development of software for the *ExoMars* mission (Roscosmos/ESA) navigation support. As scheduled, the first mission stage envisions the spacecraft launch in 2016 to the highly elliptical orbit of the Mars satellite, and the launch in 2018 of another spacecraft to deliver a Mars rover to the Mars surface. To transfer from highly elliptical to low orbit a sequential deceleration in the Mars atmosphere is planned in the vicinity of the pericenter.



Автор нового способа обработки рентгеновских маммограмм д-р.техн.наук В.А. Горшков

Dr. V.A. Gorshkov, the author of the new approach to process X-ray mammograms



1



2



3

Способ двухэнергетической делительно-разностной маммографии

Традиционная (1), разностно-делительная (2) маммограммы и линейная комбинация разностной и делительной маммограмм (3)

Method of dual-energy dividing mammography.

Traditional (1), dividing-subtracting (2) mammograms and linear combination of subtracting and dividing mammograms (3)

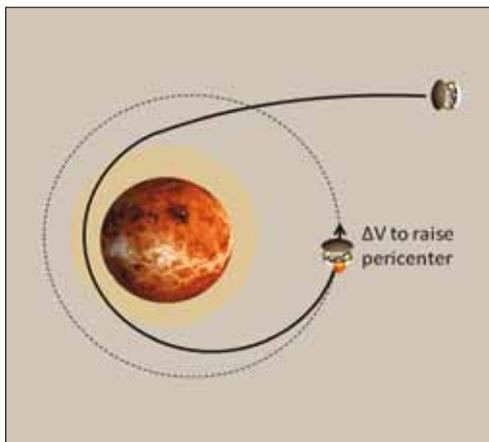
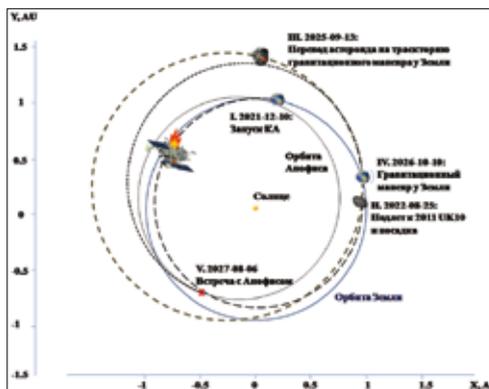
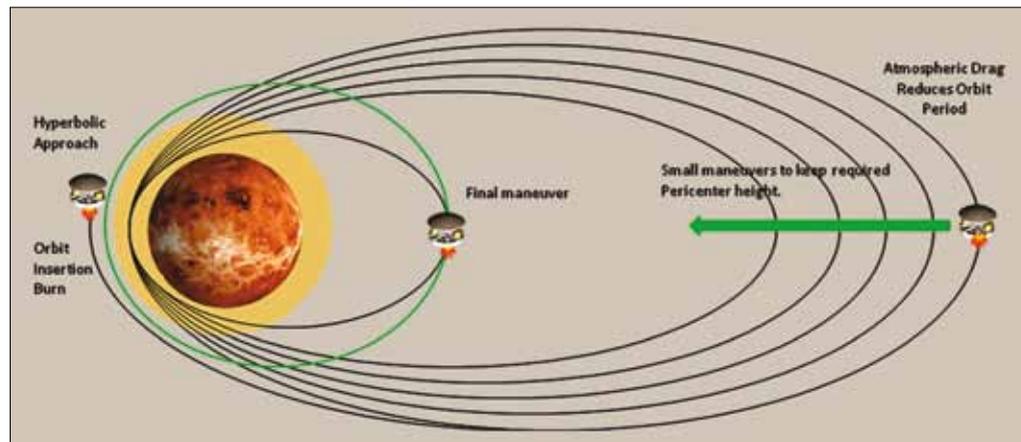


Схема последовательных торможений в атмосфере, которые планируется применить в проекте ЭКЗОМАРС

Atmospheric deceleration sequence planned for the ExoMars mission



Общая схема миссии по посадке на астероид для его перевода на траекторию встречи с астероидом Апофис

General scheme of the mission to land on an asteroid, which is to be transferred on a collision trajectory with Apophis

Этот метод был разработан и соответствующие способы управления были смоделированы в ИКИ более сорока лет назад и сегодня находят применение при подготовке и реализации межпланетного проекта.

Проблема управляемого движения естественных небесных тел — главное перспективное направление исследований и разработок отдела. По мере открытия угрожающих Земле астероидов растёт интерес к разработке способов предотвратить их столкновение с нашей планетой. Самым известным из таких небесных объектов стал астероид Апофис, вероятность встречи которого с Землёй оценивалась достаточно высоко.

Отделом был предложен оригинальный метод отклонения небесного тела от опасной траектории: направить на него не космический аппарат (масса которого составляет всего несколько тонн), а относительно небольшой астероид размером 10...15 м с помощью гравитационного манёвра у Земли. Масса этого астероида-«снаряда» может быть достаточно, чтобы отклонить «мишень» массой в несколько миллионов тонн.

Поиски среди известных астероидов таких, которые могут быть переведены на траекторию встречи с Апофисом с помощью сообщения астероиду приемлемого по величине импульса скорости (не более, например, 10 м/с), показали, что в имеющемся списке астероидов таковые имеются, причём в наиболее удачном случае необходимый импульс скорости не превышает 2,5 м/с. Это означает, что в идеальном случае — когда не требуются корректирующие импульсы — задача решаема.

This technique with corresponding control methods had been developed by IKI over forty years ago and today they are applied in preparation and execution of the interplanetary mission.

The problem of the controlled motion of natural celestial bodies is the most prospective direction among research and development activities of the department. As the number of discovered asteroids that present a threat to the Earth increases, so does the interest in finding ways to prevent their collision with our planet. The most prominent among such celestial bodies became the asteroid Apophis, the probability of its encounter with the Earth had been not so long ago estimated as quite high.

The department proposed an innovative method for deflection of a celestial body from a hazardous trajectory: to direct at it not a spacecraft (weighing only a few tonnes), but a relatively small asteroid 10...15 m in size using a near-Earth gravity-assist manoeuvre. The bulk of this “projectile” asteroid could be sufficient to deflect the “target” weighing several million tonnes.

The search among the known asteroids for the ones that can be transferred on a collision trajectory with Apophis by imposing an appropriate velocity impulse to an asteroid (e.g. not more than 10 m/s) revealed such bodies in the list and, in the most favourable case, the required impulse would not exceed 2.5 m/s. This means that in an ideal situation — when correcting impulses are not required — the problem can be solved.

Для реальной миссии требуется найти методы значительного снижения ожидаемых величин корректирующих импульсов. В качестве решения было предложено использовать автономные интерферометрические измерения, которые, по предварительным оценкам, позволяет снизить возможные ошибки определения траектории астероида-снаряда относительно астероида-мишени до приемлемых величин, а вместе с ними и необходимые импульсы коррекции.

Развитием этих работ стала концепция перевода малых астероидов на резонансные с орбитальным движением Земли орбиты с помощью гравитационных манёвров. Находясь на таких орбитах, эти астероиды будут периодически сближаться с нашей планетой. В ходе работы было установлено, что для случая резонанса 1:1 существует более десяти астероидов, которые можно захватить на резонансную орбиту ценой импульса скорости, не превышающего 20 м/с.

Это открывает беспрецедентные возможности для дальнейшего управления захваченными астероидами с помощью последующих гравитационных манёвров, вплоть до наведения этих астероидов на Марс, Венеру, Меркурий, Юпитер или иные тела Солнечной системы, включая опасные астероиды и кометы. С другой стороны, резонансные астероиды представляют собой удобный объект исследований, в том числе, в пилотируемых полётах.

For a real mission methods need to be found to significantly reduce the expected correction impulse values. As a solution it was proposed to use autonomous interferometer measurements, which according to preliminary estimates make possible to reduce probable errors in determination of the projectile asteroid trajectory relative to the target asteroid within acceptable range, and with it the required correcting impulses.

A development of these works is the concept of transferring small asteroids to orbits resonant with the Earth orbital motion using gravity-assist manoeuvres. On such orbits the asteroids would periodically approach our planet. During the work it has been established for the 1:1 resonance case there are over ten asteroids which can be captured to a resonant orbit with a velocity impulse not more than 20 m/s.

This opens unprecedented capabilities for further control of the captured asteroids with subsequent gravity-assist manoeuvres up to the targeting these asteroids at Mars, Venus, Mercury, Jupiter, and other bodies in the Solar system, including hazardous asteroids and comets. On the other hand these resonant asteroids represent convenient research targets, including manned spaceflights

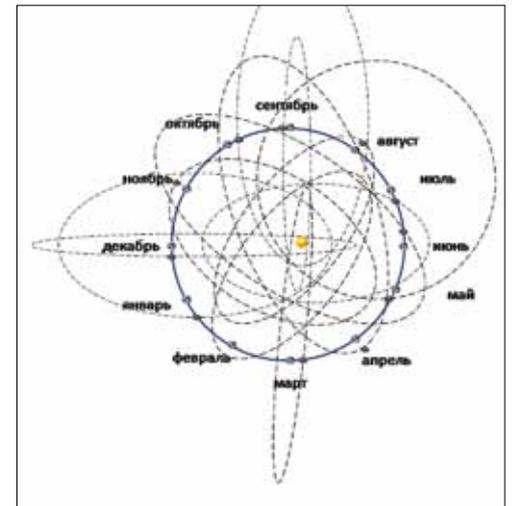


Схема движения астероидов, синхронизированных с годовым вращением Земли

Asteroids' motion, after synchronization with the Earth motion during a year