



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 62 за 2021 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

**Г.К. Боровин, Ю.Ф. Голубев,
А.В. Грушевский, А.Г. Тучин**

Слово об академике Д.Е.
Охоцимском (к 100-летию со
дня рождения)

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Слово об академике Д.Е. Охоцимском (к 100-летию со дня рождения) / Г.К. Боровин [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2021. № 62. 44 с. <https://doi.org/10.20948/prepr-2021-62>
<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2021-62>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В. Келдыша
Российской академии наук**

Г.К. Боровин, Ю.Ф. Голубев, А.В. Грушевский, А.Г. Тучин

**Слово об академике Д.Е. Охоцимском
(к 100-летию со дня рождения)**

Москва — 2021

Боровин Г.К., Голубев Ю.Ф., Грушевский А.В., Тучин А.Г.

Слово об академике Д.Е. Охоцимском (к 100-летию со дня рождения)

В препринте представлены материалы о выдающемся учёном и гражданине – академике Д.Е. Охоцимском – в год его столетнего юбилея. Д.Е. Охоцимский – выдающийся ученый современности в области механики и теории управления, академик РАН, Герой Социалистического труда, основатель отечественных школ современной механики космического полета и робототехники.

Ключевые слова: космический аппарат, искусственный спутник Земли, искусственный спутник Луны, искусственный спутник Марса, планета Венера, Баллистический центр, баллистико-навигационное обеспечение, бортовая система управления, гравитационный манёвр, интеллектуальные роботы, шагающие и колесные роботы, автоматическая сборка.

Borovin G.K., Golubev Yu.F., Grushevskii A.V., Tuchin A.G.

The Tale of Academician D. E. Okhotsimsky (on the 100th anniversary)

The article presents materials about the outstanding scientist and the Russian citizen academician D.E. Okhotsimsky. Dmitry Yevgenyevich Okhotsimsky is an outstanding scientist, inspirer in modern national mechanics and control processes, academician of the Russian Academy of Sciences, Hero of Socialist Labor, who did an invaluable contribution for the national space science development, one of the founders of modern space flight mechanics.

Key words: spacecraft, space vehicle, orbiter, artificial earth satellite, artificial moon satellite, artificial Martian satellite, ballistic center, ballistics-navigation support, onboard control system, gravity assist maneuver, intellectual robots, walking and wheeled robots, automatic assembly

Оглавление

Введение.....	3
1. Семья Охоцимских.....	4
2. Этапы биографии	7
3. Научная деятельность.....	8
3.1. Задача о точечном взрыве	8
3.2. Ракетодинамика.....	11
3.3. Фундаментальные проблемы робототехники	32
Заключение	41
Список литературы	43



Рис. 1. Академик Д.Е. Охоцимский (26.02.1921-18.12.2005)

Введение

Прошло сто лет со дня рождения выдающегося российского ученого Дмитрия Евгеньевича Охоцимского. С годами некоторые казавшиеся важными события тускнеют и обретают черты ординарности, в то время как иные, неочевидные аспекты высвечиваются и неожиданно приобретают отчетливые формы. В современной астродинамике эта тенденция не является экстраординарной, а, наоборот, характерна для неё. Вековой юбилей со дня рождения выдающегося сына российского народа – подходящий повод для проведения максимально объективной оценки его самоотверженной деятельности на благо Родины как учёного, и как человека. Современная летопись прорыва человечества в космос немыслима без легендарных страниц зарождения и развития нашей, отечественной космонавтики, в которой должны быть адекватно отражены и описаны её основные столпы. Среди них особые, новаторские ключевые позиции занимают представители всемирно известного ныне Института прикладной математики РАН: его основатель и бессменный руководитель академик М.В. Келдыш и практически его правая рука в деле создания российской программы освоения космоса, руководитель крупнейшего «космического» подразделения Института – Пятого отдела – академик Д.Е. Охоцимский. В роскошном историческом здании ИПМ на Миусской площади их кабинеты были расположены один над другим. В одном сейчас находится туристическая Мекка астродинамиков со всего мира – Мемориальный Кабинет-музей М.В. Келдыша, в другом – с глобусами Луны и

Венеры – продолжает руководить именитым «космическим» Пятым отделом ученик Д.Е. профессор Ю.Ф. Голубев – один из авторов этого труда.

Один из блистательной плеяды учеников Д.Е., чл.-корр. РАН Владимир Васильевич Белецкий, писал: «слава Института долгое время носила сугубо локальный характер, так как деятельность Института была жестко засекречена и об этой деятельности, даже о самом существовании Института, знали только такие же секретные учреждения, с которыми Институт сотрудничал. С течением времени, особенно в эпоху прорыва человечества в космос, деятельность Института стала носить всё более открытый характер, и сейчас уже широко известна та основополагающая роль, какую Институт играл в создании ядерного щита Родины, разработке средств доставки ядерного оружия и, особенно, в космической эпопее» [1]. Подобно айсбергу, подлинная, глубинная основа принятия решений в отечественной и мировой космической политике долгое время была скрыта под водой, в то время, когда открытая «надводная» глыба их результатов ошеломительно трансформировала и поменяла историю человечества.

О научной деятельности Дмитрия Евгеньевича написано немало замечательных статей и ёмких книг (достаточно упомянуть только монументальный сборник, посвящённый его 90-летию [2], и не оставляющую читателя равнодушным книгу «Наш ДЕ» (2021) [3]). Однако время берёт своё, и уже нет в живых многих непосредственных участников великих свершений тех времен. Не ставя своей целью соперничать с предшествующими изданиями, авторы настоящей работы постарались в столь значимый вековой юбилей концептуально обобщить богатый разнородный материал, свидетельствующий о широчайшем спектре научных интересов юбиляра. Одновременно мы постарались высветить на общем фоне известных фактов яркой жизни Д.Е. некоторые не обозначенные явно доселе аспекты и нюансы его жизни и научного творчества, как выдающегося учёного и гражданина [4, 5].

1. Семья Охоцимских

Дмитрий Евгеньевич Охоцимский родился 26 февраля 1921 года в Москве. Его отец, Евгений Павлович, закончил юридическое отделение Московского университета. Мать Дмитрия Евгеньевича, Вера Михайловна, была по профессии преподавателем, преподавала немецкий язык, но работала она сравнительно немного, так как все свои силы отдавала семье.

Судьба старших поколений его семьи может быть примером преемственной стойкости, трудолюбия и достойно прожитой жизни.

Отец Дмитрия Евгеньевича Евгений Павлович Охоцимский был коренной москвич. Его семья, как и семья его родителей, жила в центре Москвы, в Большом Сергиевском переулке у Сретенских ворот, где впоследствии родился и сам Дмитрий Евгеньевич.

Дедушка, Павел Осипович Охоцимский, был родом из Западной Белоруссии (Пружаны). В возрасте 15 лет он оказался в Москве, сдавал

экзамены за гимназию. Поступил в университет (фармацевтика), одновременно работая в аптеке. Со временем открыл и свою гомеопатическую аптеку. Он занимался также и общественной деятельностью – состоял членом большого благотворительного общества. Его работа была отмечена наградами, среди которых наиболее значимыми были звание почетного гражданина города Москвы и личное дворянство. Его супруга, Анна Сергеевна, урожденная Харитонова, происходила из московского купечества.



Рис. 2. Дима Охоцимский

Дети старших Охоцимских, сын и дочь, окончили Московский университет. Отец Дмитрия Евгеньевича, Евгений Павлович, закончил юридический факультет, а его сестра (тётя и крестная мать Димы) – исторический. Во время первой мировой Евгений Павлович ушёл на фронт добровольцем. Служил вольноопределяющимся в артиллерии и демобилизовался в 1917 году в чине прапорщика. Работал в банках Москвы, а затем стал авторитетным бухгалтером-экспертом в Бюро государственной бухгалтерской экспертизы при Министерстве финансов СССР. Сын унаследовал от Евгения Павловича исключительную организованность и тщательное отношение к подготовке и оформлению рукописей и документов.



Рис. 3. Отец и сын Охоцимские

Мать Дмитрия Евгеньевича, Вера Михайловна, дочь русского офицера, родилась в 1893 году, в 1913 г. закончила с отличием Николаевский сиротский институт благородных девиц в Санкт-Петербурге (ныне РГПУ им. А.И. Герцена). Всю Первую мировую войну она проработала сестрой милосердия в госпитале в Ярославле. В 1918 году приехала в Москву и поселилась в доме в Большом Сергиевском переулке, где и встретила своего будущего супруга. В дальнейшем Вера Михайловна преподавала немецкий язык, но главным в ее жизни всегда были дом и семья. Её мать и бабушка Дмитрия Евгеньевича – Черокова Екатерина Анатольевна, из ярославских мещан, была учительницей, а отец, Михаил Карпович Короткевич-Гладкий, происходил из потомственных дворян Черниговской губернии. Он окончил Новгород-Северскую классическую гимназию в 1884 году, а в 1890 году – Императорскую военно-медицинскую академию в Санкт-Петербурге, служил военным врачом в Китае в 1900-1901 годах. В наследном чине надворного советника умер от чахотки в 1903 году, безвременно покинув жену с пятью малолетними детьми (младшему сыну Семёну было полтора года).



Рис. 4. Михаил Карпович Короткевич-Гладкий
(1864-1903)

2. Этапы биографии

После окончания с отличием школы в 1939 году Дмитрий Евгеньевич поступил на физфак МГУ им. М.В. Ломоносова, а через полгода перевелся на механико-математический факультет. Через два года его учёбу прервала война. Дмитрий Евгеньевич с июля 1941 года стал работать на строительстве оборонительных сооружений, участвовал в работе пожарной команды МГУ, был награждён медалью «За оборону Москвы». В 1941 году он был мобилизован в армию, служил рядовым. Впоследствии по причине близорукости его демобилизовали, и он работал токарем на одном из московских заводов. Осенью 1943 года он возобновил учёбу в МГУ и в 1946 году окончил мехмат МГУ по специальности «механика». Затем он работал в ЦАГИ, а по приглашению Мстислава Всеволодовича Келдыша с 1945 г. исполнял обязанности секретаря семинара М.В. Келдыша по механике в Математическом институте им. В.А. Стеклова Академии наук СССР (МИАН). Там же в 1946 г. поступил в аспирантуру. С 1948 г. перевелся на постоянную работу в МИАН СССР. Окончил аспирантуру в 1949 году и защитил диссертацию по теме «Внешняя баллистика ракет дальнего действия».



Рис. 5. На снимке - мать Дмитрия Евгеньевича - Вера Михайловна Короткевич-Гладкая с сёстрами Александрой и Людмилой

В 1953 году он вместе с группой сотрудников МИАН под руководством М.В. Келдыша перевёлся на работу во вновь созданное М.В. Келдышем Отделение прикладной математики МИАН СССР (ОПМ МИАН). Там Дмитрий Евгеньевич создал и возглавил отдел №5: знаменитый Пятый отдел, ставший впоследствии легендарным «космическим интеллектуальным ядром» всемирно известного Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Отдел занимался решением задач, связанных с ракетно-космической баллистикой, и был назван Отделом прикладной небесной механики и управления движением.

В 1958 году Д.Е. Охоцимский защитил докторскую диссертацию, в 1960 был избран членом-корреспондентом, а впоследствии и академиком РАН. С 1959 года он – профессор МГУ, а с 1962 года – бессменный заведующий кафедрой теоретической механики (с 2004 г. – кафедрой теоретической механики и мехатроники) мехмата МГУ.

3. Научная деятельность

После проведения США в 1945 г. бесчеловечных атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки возникла реальная опасность и для нашей страны. Необходимо было срочно создать в СССР атомное оружие и ликвидировать ядерную монополию США. В связи с этим М.В. Келдышу, бывшему уже тогда Лауреатом Сталинской премии и членом-корреспондентом АН СССР, со стороны Академии наук было поручено возглавить расчетную часть «Атомного проекта», куда, в частности, входило решение ключевых математических проблем, возникающих при создании и транспортировке ядерного оружия. В 1955 г. академик А.Д. Сахаров написал: «В разработках столь сложных систем особенно велика роль математических расчетов. В ряде случаев расчеты уравнений в частных производных кардинально исправляли наши представления о работе того или иного узла, или о роли того или иного изменения в системе. Эти расчеты проводились, в основном, в Отделении прикладной математики МИАН АН СССР под общим руководством Мстислава Всеволодовича Келдыша и Андрея Николаевича Тихонова». Сказанное в полной мере относится и к проблеме доставки атомного оружия по назначению. Работа Дмитрия Евгеньевича, который по предложению М.В. Келдыша принял участие в «Атомном проекте» в МИАН СССР, была затем продолжена им в ОПМ МИАН.

Кратко перечислим основные достижения творческой научной деятельности Д.Е. Охоцимского. Он предложил общий оригинальный метод решения вырожденных вариационных задач (1946 г.). Выполнил анализ задачи о влиянии жидкого наполнения на динамику ракет; осуществил расчет полного процесса сильного взрыва (иначе говоря – взрыва атомной бомбы); решил задачу об оптимальном выводе искусственного спутника Земли на орбиту; за несколько месяцев до запуска первого спутника Земли получил детальные оценки времени его существования. Ему принадлежит плодотворная идея конструкции пассивной гравитационной стабилизации спутников, реализованной в десятках спутников научно-исследовательского и оборонного целевого назначения. Д.Е. Охоцимским и его сотрудниками разработаны перспективные алгоритмы управления спуском аппаратов в атмосфере. Руководимый им коллектив непосредственно участвовал в подготовке и осуществлении первого полета человека в космос, первых полётов к Луне и планетам Солнечной системы.

Он вместе со своими сотрудниками разработал важнейшие основополагающие методы математического и натурального моделирования робототехнических систем, способных к адаптивному поведению.

3.1. Задача о точечном взрыве

Сейчас уже трудно осознать, в каких архаичных условиях необходимо было разрешить эту сложнейшую задачу. В то время вычислительная техника

была в зачаточном состоянии. Традиционно гидродинамики строили при существенных упрощающих предположениях аналитические решения газодинамических уравнений Эйлера для идеального газа и достигли в этом значительных успехов. В 1945 г. Л.Д. Ландау получил предельную форму профиля ударной волны на больших расстояниях от места взрыва. В 1946 г. Л.И. Седов нашел решение автомодельной задачи о сильном взрыве без учета противодействия. Это решение годилось только для первых долей секунды после взрыва. Но самые трагические события при взрыве развивались в промежутке между этими двумя асимптотиками. Вместе с тем введение в рассмотрение дополнительных факторов – противодействия, вязкости и т.п. – приводило к тому, что применение аналитических методов становилось практически безнадежным делом. Тогда М.В. Келдыш и А.Н. Тихонов предложили взять для численного решения аккуратную постановку газодинамической задачи, адекватной реальным условиям проведения эксперимента. Новаторство их подхода состояло в том, что необходимые для решения задачи численные методы (с не существующей на тот момент теорией) предполагалось реализовать на только что созданной первой в нашей стране ЭВМ. Постановка задачи была выполнена с тщательностью и скрупулёзностью, присущей отечественной математической школе. Все совершенные действия фиксировались, все полученные результаты описывались, сколь бы парадоксальными и неожиданными они ни казались.

При постановке задачи был взят находящийся в покое нетеплопроводный лишенный вязкости газ, подчиняющийся уравнению состояния Клапейрона. Излучение не учитывалось. Предполагалось, что в некоторый момент времени происходит точечный взрыв, т.е. мгновенное выделение конечной энергии в какой-нибудь точке пространства. В результате взрыва образуется ударная волна, отделяющая область газа, находящегося в возмущенном движении, от покоящегося газа. Состояние газа предполагалось сферически симметричным и полностью определённым расстоянием от центра взрыва и временем. В качестве независимых переменных были взяты время и лагранжева координата частицы газа в момент прохождения через нее ударной волны.

Основными искомыми функциями были скорость частиц, давление, плотность в зависимости от расстояния до центра взрыва. Параметрами задачи были начальные значения давления, плотности, энергии и показатель адиабаты, как отношение теплоёмкостей при постоянном давлении и постоянном объеме.

Вместе с коллегами Д.Е. Охоцимский дал исчерпывающее решение этой задачи. Она была решена на быстродействующей вычислительной машине (БЭСМ-1) методом сеток, идея которого была высказана М.В. Келдышем. Анализ полученных на БЭСМ-1 результатов позволил дать подробное описание картины развития взрыва [6, 7].

Расчеты выполнялись в безразмерных координатах. Первый этап расчетов был закончен в конце 1954 года, второй – в конце 1955 года. На первом этапе

расчет был доведен до перепада давления на ударной волне, равного 1.031, а на втором этапе – до 1.005, т. е. почти до значения атмосферного давления.

В результате расчетов были получены [6, 7]:

- зависимость характеристик ударной волны на фронте и в центре от времени,
- распределение давления, скорости частиц и плотности по радиусу для различных моментов времени;
- изменение давления, скорости частиц, плотности и скорости звука с течением времени на различных расстояниях от центра взрыва, и ряд других параметров.

Эти результаты легли затем в основу современной теории ядерного взрыва.

3.2. Ракетодинамика

Будучи ещё студентом, Дмитрий Евгеньевич увлёкся проблемами управления движением ракет, с которыми познакомился на семинаре замечательного педагога, ученого и энтузиаста ракетодинамики профессора Аркадия Александровича Космодемьянского (1909–1988). С 1943 г. А.А. Космодемьянский начал читать в МГУ курс по механике тел переменной массы, а с 1944 г. под его руководством начал работать научно-исследовательский семинар на механико-математическом факультете МГУ, сыгравший значительную роль в подготовке специалистов по ракетодинамике. Здесь Дмитрий Евгеньевич познакомился и со своим будущим руководителем дипломной работы, Сергеем Алексеевичем Христиановичем, который и познакомил его с М.В. Келдышем.

Суббота
20
 МАЯ
 1944 г.

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Суббота
20
 МАЯ
 1944 г.

ЛЕКТОРИЙ

ул. Моховая, д. 9 Ленинская аудитория

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ

1. Механика тел, вес которых изменяется во время движения
2. Работы Мещерского и Циолковского
3. Реактивная баллистика
4. Экстремальные задачи
5. Задача о реактивном самолете

ПРОФ. **А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ**

Билеты продаются ежедневно в кассе Лектория МГУ ул. Герцена, 6, с 1 ч. дня до 7 ч. веч.

Начало в 7 час. 30 мин. веч.



Рис. 6. Легендарный лекторий по реактивному движению

В своей книге «Теоретическая механика и современная техника» [8] А.А. Космодемьянский писал: «Думаю, что для некоторых известных в наши дни ученых интерес к определенным проблемам современной механики зародился в результате работы в научных кружках и семинарах механико-математического факультета МГУ. Я могу назвать, например, следующих товарищей: члены-корреспонденты АН СССР - Д.Е. Охоцимский и Т.М. Энеев, доктора физико-математических наук В.А. Егоров, В.В. Белецкий, В.А. Сарычев...».

На четвертом курсе, начав ходить на семинар И.М. Гельфанда, Д.Е. Охоцимский серьезно увлекся, помимо прочего, и вариационными задачами.

Задачи оптимального управления движением отличаются от задач классического вариационного исчисления тем, что множество допустимых фазовых кривых стеснено заданными дифференциальными уравнениями динамики, тогда как искомое управляющее воздействие входит в правую часть этих уравнений как выбираемая с достаточным произволом функция. Критериями качества управления могут быть функционалы, выражающие, например, энергетические затраты, отклонение от заданной цели, расход топлива, время движения. Зависимость функционала от управления оказывается опосредованной в силу уравнений движения объекта. Соответствующие вариационные задачи оказываются вырожденными. Кроме того, траектории часто обязаны удовлетворять заданным краевым условиям, связанным с целью управления. Для такого класса задач стандартной техники классического вариационного исчисления оказывается недостаточно.

В сороковых годах прошлого века в МИАН под руководством М.В. Келдыша начались исследования по созданию методов расчёта баллистики полета и определению наилучших режимов управления полетом жидкостных ракет.

В 1946 году, будучи ещё студентом, Дмитрий Евгеньевич предложил оригинальный метод решения задач, связанных с определением максимальной дальности и максимальной высоты полета ракет [9]. После окончания МГУ во время работы в ЦАГИ и МИАН СССР им был разработан и внедрен в практику проектных расчетов общий метод решения вырожденных вариационных задач, значительно опередивший появление широко известных в настоящее время принципа максимума Л.С. Понтрягина и метода Р.Э. Беллмана [10-11]. В 1956 г. Д.Е. Охоцимский совместно с Т.М. Энеевым блестяще представил свой метод решения вырожденных оптимальных задач, а также первое в мире решение задачи о выборе оптимального режима расхода топлива при выведении ракеты на орбиту ИСЗ [10]. Значительная часть других работ по исследованию оптимальных режимов управления ракетами была представлена в отчетах ОПМ МИАН СССР или была опубликована в томе избранных трудов М.В. Келдыша [12].

Выведение искусственного спутника Земли на орбиту

В 1953 г. Д.Е. Охоцимский совместно с С.С. Камыниным впервые решили вариационную задачу по определению оптимальных характеристик ракетного пакета. Это позволило составить точное представление о баллистических возможностях и рациональных конструктивных схемах составных ракет. Оптимальной оказалась схема с одной главной ракетой и четырьмя меньшими по размеру боковыми ракетами [15,16], которая была положена в основу замечательной Советской составной баллистической ракеты Р-7. Вот что сказал об этой ракете Главнокомандующий РВСН (2000 г.) генерал армии Владимир Николаевич Яковлев. «Сказать о том, что Р-7 – надежная ракета, значит не сказать ничего, так как трудно найти в мировой практике более долговечную и в то же время приспособленную к эволюциям сложнейшую техническую систему, которая вот уже 43 года успешно выполняет возложенные на нее непростые задачи освоения космоса и обороны страны».

Ракета Р-7, разработанная в КБ-1 С.П. Королева, по своей тяговой вооруженности оказалась способной при рациональном расходе топлива вывести ИСЗ на орбиту. Д.Е. Охоцимский и Т.М. Энеев предложили метод нахождения закона изменения по времени направления тяги реактивного двигателя для обеспечения вывода спутника на заданную орбиту (рис. 7) с минимальным расходом топлива, а также метод определения наилучшего режима расходования топлива. Постановка задачи была максимально приближена к реальности, а ее решение в настоящее время используется в проектных расчетах и служит эталоном качества для решения вариационных задач. Аналогичные вопросы впоследствии рассматривались в отделе Д.Е. Охоцимского для полёта многоступенчатых ракет, созданных на базе ракеты Р-7 [10,12], рис. 8.

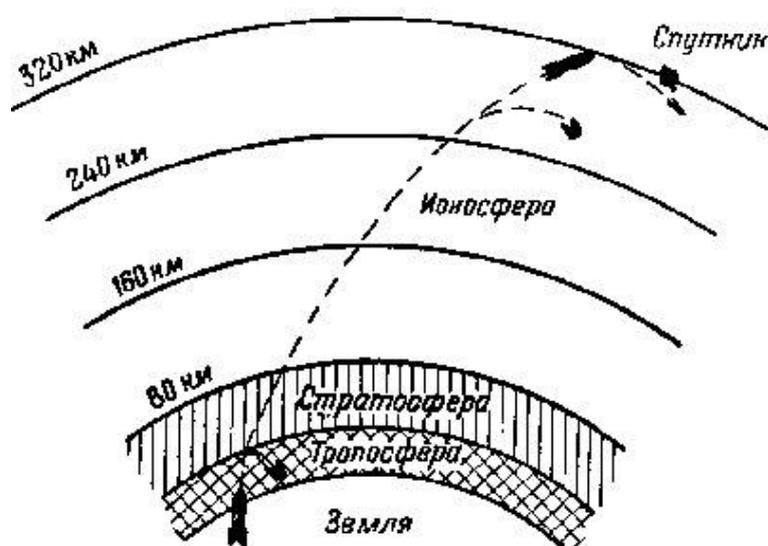


Рис. 7. Траектория выхода ракеты-носителя на орбиту ИСЗ

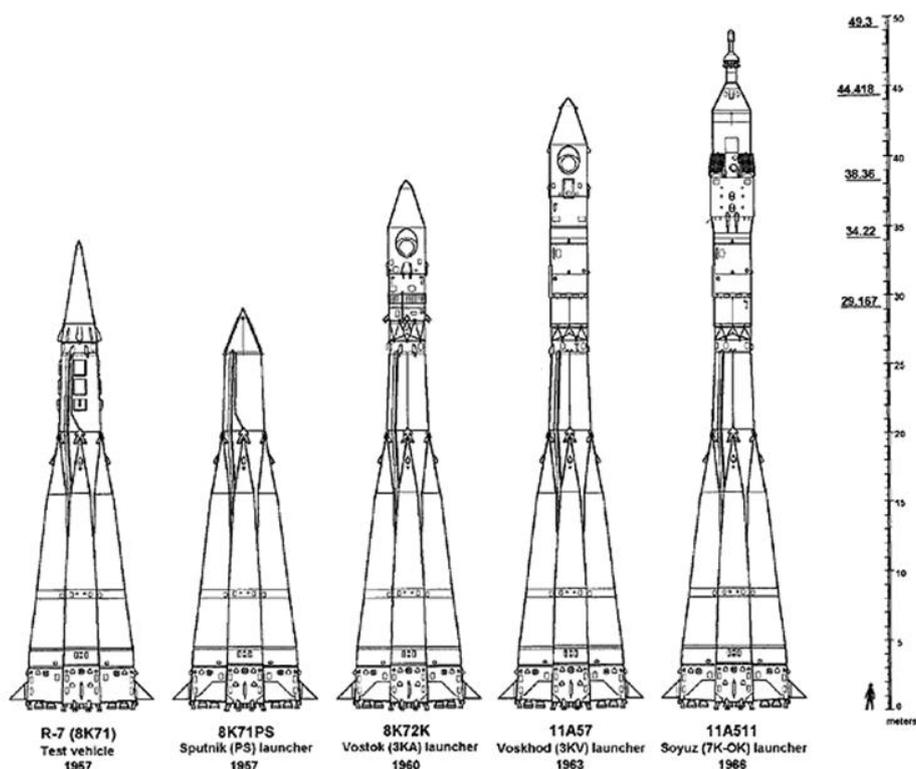


Рис. 8. Семейство отечественных ракет-носителей, созданных на базе Р-7

До и после запуска первого ИСЗ значительная часть научной деятельности Охочимского была посвящена решению вариационных задач оптимизации космических полётов. Работая на первых советских вычислительных машинах (ЭВМ «БЭСМ-1», «Стрела»), Д.Е. Охочимский и его сотрудники разрабатывали и новаторски применяли на практике новейшие численные методы и принципы программирования. После запуска первого спутника Д.Е. Охочимский опубликовал ряд фундаментальных статей, обобщающих баллистические аспекты полётов спутников [12].

Вот как сам Дмитрий Евгеньевич описывает это время. «Когда в 1953 году организовывалось Отделение прикладной математики, Мстислав Всеволодович предложил мне перейти в ОПМ вместе с коллективом в качестве руководителя отдела. Исследования по нашей тематике здесь проводились всегда; сперва они были направлены на развитие ракетной техники, а затем, когда в воздухе повеяло возможностью космических запусков, мы с самого начала подключились к этим делам... В 1954 году уже стало ясным, что приближается время космической эры, она уже стучится в дверь...»

Исследования движения спутников около центра масс.

Гравитационная стабилизация спутников

Луна, Селена, таинственная сестра нашей планеты, обращённая к нам всё время одной стороной, на протяжении всей истории человечества даёт всем нам бесценные уроки и возможности научного осмысления природы. Не обошлось без нее и при обсуждении вопросов, связанных с созданием первых ИСЗ.

30 января 1956 года правительством было подписано постановление о создании и выводе на орбиту в 1957—1958 гг. «Объекта „Д“» — спутника массы 1000—1400 кг, несущего 200—300 кг научной аппаратуры. Разработка аппаратуры была поручена Академии наук СССР, постройка спутника — ОКБ-1, осуществление пуска — Министерству обороны.

Однако научные исследования по созданию первого ИСЗ начались задолго до этого. Они начались с исторического совещания 14 февраля 1954 года, которое организовал академик М.В. Келдыш в Отделении прикладной математики, когда ракета Р-7 была еще только в стадии проектирования. В совещании приняли участие С.П. Королев, П.Л. Капица, Л.И. Седов, С.Э. Хайкин, И.А. Кибель, Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев, В.А. Егоров, В.А. Сарычев, М.К. Тихонравов, Г.Ю. Максимов, И.М. Яцунский — словом, весь передовой отряд замечательных ученых-энтузиастов освоения космоса. На совещании обсуждались возможные сроки запуска первого ИСЗ, научные проблемы, которые предполагалось решить с его помощью, необходимый для этого состав научной аппаратуры. Возник вопрос о необходимости создания системы ориентации ИСЗ. В какой-то момент в ходе совещания прозвучало замечание академика П.Л. Капицы, который напомнил о естественной стабилизации Луны, ориентированной одной своей стороной на Землю. Дмитрий Евгеньевич не был бы самим собой, если бы не взял это замечание на заметку в качестве перспективы плодотворных практически полезных исследований. Ему принадлежит идея создания пассивной гравитационной стабилизации спутников с использованием искусственного демпфирования (рис. 9). Вот как описывает это ученик Дмитрия Евгеньевича Василий Андреевич Сарычев. «В отчете 1956 года Д.Е. Охоцимский предложил эффективную схему гравитационной ориентации искусственного спутника Земли. В этой схеме к телу спутника с помощью сферического шарнира присоединено второе тело, которое называется стабилизатором. Стабилизатор выполнен в виде двух одинаковых по длине жестко скрепленных друг с другом полых стержней с равными грузами на концах. Положение стабилизатора относительно тела спутника фиксируется центрирующими пружинами. Нежесткое фиксирование взаимного положения спутника и стабилизатора с помощью упругой связи осуществлено, чтобы ввести в систему линейные демпфирующие члены, используя относительную подвижность спутника и стабилизатора. Разработанная Д.Е. Охоцимским схема системы спутник-стабилизатор является достаточно простой, но в то же время общей, так как она решает поставленную задачу ориентации спутника при любых его параметрах. Масса стабилизатора, обеспечивающего оптимальные по быстродействию и точности ориентации параметры системы, составляет $\approx 2.5\%$ от массы спутника. Используя общие идеи схемы, предложенной Д.Е. Охоцимским, в космической технике были предложены различные схемы пассивной ориентации искусственных спутников Земли» [3]. Метод Д.Е. Охоцимского стабилизации относительного движения реализован во многих спутниках, имеющих важные

научно-исследовательские и оборонные применения. Дмитрий Евгеньевич также предложил метод пассивной стабилизации неуправляемого вращательного движения спутников с использованием градиента гравитационного поля и несферичности тензора инерции. Идея данного метода, обеспечивавшего поддержание неизменной ориентации спутников без каких-либо затрат топлива на управление, была сформулирована Д.Е. Охоцимским ещё в 1954 году, а потом была реализована в работах самого Д.Е. Охоцимского и его коллег.

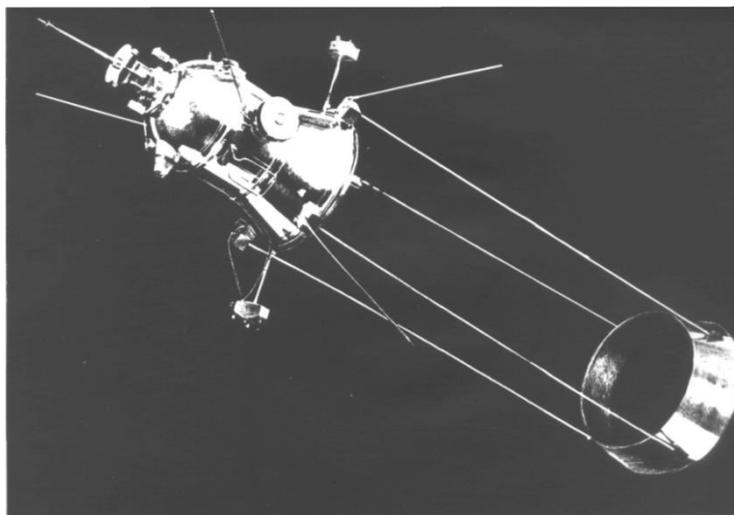


Рис. 9. Система пассивной гравитационной стабилизации спутника с использованием искусственного демпфирования

Эволюция орбиты ИСЗ в верхних слоях атмосферы

Перед запуском первого ИСЗ были опасения, что аэродинамическое торможение на его невысокой орбите может привести к тому, что спутник упадет на Землю, даже не совершив и одного оборота. Попытки получить сколько-нибудь точное значение "времени жизни" спутника непосредственным численным интегрированием с помощью ЭВМ того времени оказались практически не реализуемыми. Дело в том, что диапазон значений действующих сил был слишком велик, а точности вычислений, ограниченной тогда 33 двоичными разрядами мантиисы ЭВМ при представлении чисел с плавающей запятой, оказалось недостаточно.

Причина потери точности состояла в том, что орбита первого спутника была эллиптической. Это приводило к слабому кратковременному торможению спутника при его сближении с Землёй в районе перигея орбиты. Слабые эффекты торможения были малым параметром. При простом добавлении аэродинамических ускорений к действующим гравитационным ускорениям первые либо оказывались за разрядной сеткой машины, либо теряли почти все свои значащие разряды. Все это требовало кратного повышения точности вычислений и значительно увеличивало время численного интегрирования. Вместе с тем такой способ повышения точности расчетов вызывал неизбежный рост ошибок округления. Корректное решение непростой задачи о времени

существования спутника на орбите было впервые найдено Д.Е. Охоцимским, Т.М. Энеевым и Г.П. Таратыновой. Ими был предложен общий метод для численных расчетов не только времени жизни спутников [13], но и вообще длительных орбитальных движений с малыми возмущениями [14]. Идея решения заключалась в том, что при исследовании эволюции амплитуды колебательного движения в ряде случаев можно пренебречь точным знанием закона изменения его фазы и для построения дифференциального уравнения, описывающего эту эволюцию, воспользоваться методом усреднения, выполняя усреднение численно. Эта идея была реализована в виде так называемого двухциклового метода. Внешний цикл состоял в численном интегрировании методом невысокого порядка с большим шагом усредненных уравнений движения спутника в оскулирующих элементах. Внутренний цикл состоял в вычислении правых частей этих уравнений в подшаговых точках и в каждой такой точке сводился к интегрированию исходных уравнений на одном обороте спутника методом высокого порядка.

Проведенные по этой методике расчеты позволили построить в безразмерных параметрах номограмму времени жизни для различных орбит спутников Земли. Анализ полученного решения показал, что увеличения времени жизни спутника можно достичь путем увеличения высоты апогея его орбиты посредством дополнительного приращения скорости в конце разгона без изменения всей программы выведения. Такая возможность была учтена при запуске первого спутника Земли.

Идея предложенного метода расчета оказалась достаточно универсальной и использовалась, например, для решения задач управления движением различных роботов.

Анализ влияния топлива на динамику ракет

С трудной задачей о движении твердого тела с полостями, заполненными жидкостью, связана большая история. Различные аспекты этой задачи рассматривались Д.Г. Стоксом, Г. Лэмбом, Г.Л.Ф. Гельмгольцем, лордом Кельвином, А.Д. Гринхиллом, Ж.А. Пуанкаре, Н.Е. Жуковским, А.Ю. Ишлинским, В.В. Румянцевым, Ф.Л. Черноусько и др. Особый интерес к этой задаче возник в 50-е годы прошлого столетия в связи с разработками ракет на жидком реактивном топливе [15-17]. Задача о динамическом взаимодействии движущегося тела и идеальной жидкости, не полностью заполняющей его полости, была впервые поставлена и решалась независимо Н.Н. Моисеевым, Д.Е. Охоцимским, Г.С. Наримановым.

В отличие от других исследователей, Д.Е. Охоцимский изучал влияние движения жидкости при условии постоянства давления на ее свободной поверхности и при сообщении твердой оболочке некоторого заданного движения в окрестности исходного положения. Предполагая движение жидкости безвихревым, он представил потенциал абсолютных скоростей жидкости в виде суммы двух потенциалов, удовлетворяющих

соответствующим граничным и начальным условиям. В итоге ему впервые удалось найти в 1956 году аналитическое решение задачи о собственных (не малых) колебаниях (резонансных частотах) жидкости в цилиндрической полости ракеты и получить простые расчетные формулы для давления топлива на стенки топливного бака. Этот фундаментальный результат был учтен при разработке ракеты Р-7 и был заложен в основу современной теории ракетостроения.

Безопасное возвращение первого космонавта на Землю

Запуск первого ИСЗ произошел как дополнительный продукт от создания надежно работающей ракеты Р-7, которая была предназначена в первую очередь для военных целей доставки ядерного оружия на далекие расстояния. В это время страна с трудом выходила из послевоенной разрухи, и каждая копейка бюджета была на счету. Огромные перспективы научно-технического прогресса, связанного с прорывом человечества в космос, понимали лишь отдельные представители руководства страны. Вместе с тем огромный резонанс во всем мире от запуска первого ИСЗ и связанный с этим рост престижа СССР на мировой арене стимулировали Страну, несмотря на значительные экономические проблемы, сохранять лидерство в деле освоения космического пространства. При этом распыление средств было недопустимо. Необходима была четкая программа действий, обеспечивающих приоритет СССР в космическом соревновании с США. На первых порах, пока речь шла о возможностях ОКБ-1, координационную деятельность по космосу осуществляла созданная в 1956 г. комиссия в составе: Сергей Павлович Королев, Мстислав Всеволодович Келдыш, Михаил Клавдиевич Тихонравов. Однако скоро стало ясно, что для координации космической программы в масштабах страны этого недостаточно.

Межведомственный научно-технический совет (МНТС) по космическим исследованиям (КИ) при АН СССР был создан постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 10 декабря 1959 г. №1388-618. Председателем МНТС по КИ в статусе министра СССР стал директор ОПМ МИАН СССР и академик-секретарь Отделения математики АН СССР Мстислав Всеволодович Келдыш. В состав президиума Совета вошли академик Сергей Павлович Королев, академик Анатолий Аркадьевич Благоврахов, член-корреспондент АН СССР Константин Давыдович Бушуев. Дополнительным Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 23 июня 1960 года № 714-295 в состав Президиума Совета введены: член-корреспондент АН СССР В.Н. Челомей, А.А. Кобзарев, А.Н. Макаревский, Г.П. Свищев, А.М. Люлька, академик А.Н. Туполев, В.М. Мясичев и В.Н. Третьяков. Для обеспечения деятельности Совета в ОПМ МИАН был создан отдел № 14 во главе с М.Я. Маровым. Состав Совета свидетельствует об огромном межведомственном охвате, который был необходим для организации работ по освоению космического пространства. Деятельность Совета была направлена на оценку актуальности и

эффективности перспективных космических исследований. Именно здесь рассматривались и утверждались планы и программы научных исследований по всем разделам космической науки, заслушивались отчеты об их выполнении, решались вопросы публикаций и внешнего представления результатов отечественных космических исследований. Руководимый Д.Е. Охоцимским Отдел № 5 ОПМ МИАН СССР был главным научным инструментом МНТС по КИ при анализе перспектив освоения космоса.

После успешного запуска первого ИСЗ возник вопрос о запуске в космос первого космонавта. При этом именно возвращение космонавта на Землю представлялось тогда наиболее трудно осуществимым. Из-за больших скоростей входа в процессе движения в атмосфере могли возникать огромные перегрузки и сильный разогрев, грозившие разрушением КА и гибелью космонавта. Вопрос о безопасном спуске космонавта с орбиты ИСЗ в то время был предметом интенсивных обсуждений, но какие-либо надежные исследования этих вопросов отсутствовали. Большинство специалистов считало, что безопасный спуск обеспечит лишь крылатый аппарат. Идея спуска в атмосфере аппарата с подъемной силой была привлекательной по многим причинам (заведомо существовало подходящее решение, такие аппараты к тому времени были более исследованы и т. п.). Но по причине технической сложности реализации проекта запуска и управляемого возвращения крылатого аппарата возникала опасность потери приоритета в космическом соревновании с США. Д.Е. Охоцимский и Т.М. Энеев доказали, что решение задачи безопасного возвращения космонавта с орбиты ИСЗ возможно с помощью баллистического спуска аппарата простой геометрической формы. Было решено просчитать по предложению сотрудника ОКБ-1 К.П. Феоктистова спускаемый аппарат сферической формы. Технически такое решение было наиболее простым в реализации. Именно тогда, по-видимому, и родился знаменитый «шарик Гагарина». В то время имелись некоторые научные данные об особенностях движения на высотах около 20 км со скоростями, не превышающими трёхкратной скорости звука. Здесь же речь шла о значительно больших скоростях движения на высотах начиная от самых верхних слоёв атмосферы. Для таких условий экспериментальные данные полностью отсутствовали. С целью надежно оценить максимальные перегрузки при спуске в атмосфере Д.Е. Охоцимским и Т.М. Энеевым были выбраны наиболее неблагоприятные характеристики аэродинамического торможения.

Для расчета тепловых нагрузок была необходима достоверная модель распространения тепловой волны в спускаемом аппарате при спуске КА в атмосфере. Следовало учесть процесс нагрева спускаемого аппарата вследствие трения об атмосферу, процесс теплопередачи внутрь спускаемого аппарата с учетом теплоизоляционных свойств различных материалов и, наконец, процесс горения оболочки «шарика» и уноса части тепла элементами её плавления. Если температуры нагрева можно было с запасом просчитать, исходя из изменения энергии спускаемого аппарата в процессе торможения, то параметры

теплопередачи внутрь шарика и уноса раскаленного вещества требовали специальных уникальных расчетов. Все эти трудности были преодолены. В результате было показано, что существует семейство траекторий, для которых максимальная перегрузка при спуске в атмосфере Земли не превосходит десяти, причем перегрузки выше пяти длятся не более одной минуты. Были проведены также оценки нагрева корпуса спускаемого аппарата вследствие теплопередачи от газа к стенке в турбулентном пограничном слое обтекающего КА высокоскоростного потока воздуха. Было показано, что разработанная к тому времени теплозащита крылатых ракет вполне пригодна для безопасного спуска в атмосфере. Выводы, полученные на основе этих исследований, были настолько смелыми, что М.В. Келдыш в них сомневался, пока их не перепроверили смежники. Эти исследования имели решающее значение при выборе конструкции спускаемого аппарата и открыли дорогу для первого полета человека в космос. Выбором конкретной орбиты полёта Ю.А. Гагарина занимался большой коллектив баллистиков разных организаций, и в их числе ОПМ МИАН СССР (позже Институт прикладной математики АН СССР), как один из ведущих вычислительных центров в составе Координационно-вычислительного комплекса. Триумфальный полет Ю.А. Гагарина состоялся 12 апреля 1961 г. (рис. 10). В ОПМ МИАН СССР работы по расчёту конкретной траектории полёта Ю.А. Гагарина координировал сотрудник отдела №5 Т.М. Энеев. В программу вычислений входили: расчёт активного участка с жёсткой программой работы двигателя и отделения ступеней ракеты, расчёты пассивного участка траектории и участка торможения с учётом модели возмущений атмосферы. При этом обязательной процедурой была идентификация полученной траектории полёта с расчетами НИИ-4 и полётного задания – с ОКБ-1 Королева.



Рис. 10. Полёт Юрия Алексеевича Гагарина

Выход из околоземного пространства. Фотографирование обратной стороны Луны

М.В. Келдыш, будучи директором ОПМ МИАН СССР, привлекал мощный творческий потенциал отдела Д.Е. Охоцимского с целью предварительной проработки основных фундаментальных элементов отечественной космической программы. Обоснование этих элементов требовало огромного объема вычислений, а первая в СССР универсальная ЭВМ «Стрела-1» находилась в ОПМ МИАН СССР с 1953 г., и именно здесь были сосредоточены уникальные в то время специалисты, способные к выполнению сложных многоплановых вычислений на ЭВМ.

Многие тогда думали, что полеты в космос надолго ограничатся запуском ИСЗ, поскольку в то время это было очень дорогое мероприятие и пока мало практически полезное. Так думал и французский винодел Анри Мэр (Henri Maïre), весьма и весьма небедный владелец сети шато в Бургундском графстве, будучи не менее других потрясённым воистину прорывом в космос советского «Спутника». Он никак не мог представить себе возможность быстрого выхода человечества за пределы низких околоземных орбит хотя бы до обратной стороны Луны. Ему казалось, что подобного прорыва надо снова ждать десятилетия и века... Будучи полностью уверен в своей прозорливости и как бы ничем не рискуя, Анри в 1957 году заключает с советским консулом, посетившим его владения, пари на 1000 бутылок своего замечательного игристого вина, утверждая невозможность в ближайшие годы никем увидеть обратную сторону Луны (Back Side of the Moon, которую некоторые часто путают с Dark Side of the Moon). Своё Пари Анри Мэр проиграл уже 7 октября 1959 года, когда советский космический корабль «Луна-3» («Е2А»), совершив первый в истории человечества искусственный гравитационный манёвр, передал после облёта обратной стороны Луны её снимки на Землю (рис. 11-13). Эту уникальную траекторию нашли, а также выполнили работы по баллистическому проектированию и навигационному обеспечению фотографирования обратной стороны Луны Д.Е. Охоцимский, М.Л. Лидов, А.К. Платонов [12]. Естественно, были учтены предварительные наработки сотрудников 5 отдела В.А. Егорова и Т.М. Энеева.

В результате в адрес АН СССР из Франции честно прибыла полная паллета юрского игристого *petillant naturel* «Vin Fou» (Буйное вино), которую М.В. Келдыш, будучи Президентом АН СССР, перенаправил справедливости ради в ОКБ-1 к С.П. Королёву (такое же вино было уже ранее продегустировано Н.С. Хрущёвым на женевском саммите в 1955 году). Справедливость восторжествовала дважды: пара бутылок «Vin Fou» рефреном, в ознаменование заслуг отдела Д.Е. Охоцимского, была отправлена в ОПМ! Одну из них, конечно же уже без содержимого, можно увидеть в Мемориальном Кабинете-музее М.В. Келдыша.

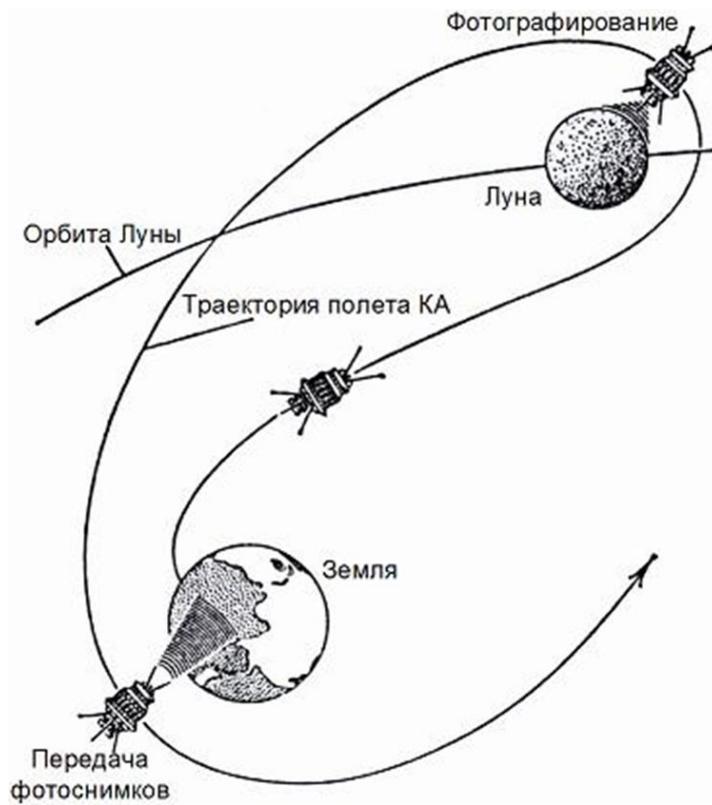


Рис. 11. «Луна-3» и первый в истории человечества гравитационный манёвр.

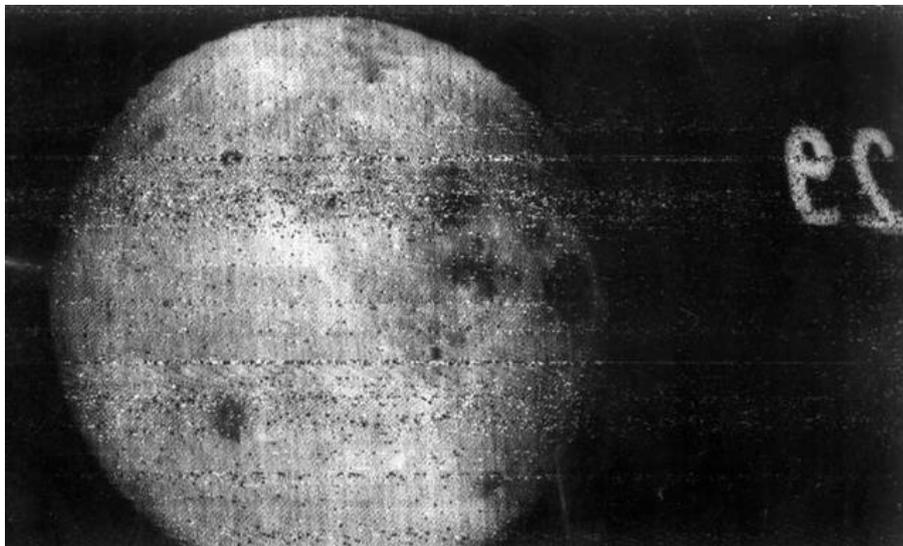


Рис. 12. «Луна-3». Фотография обратной стороны Луны.

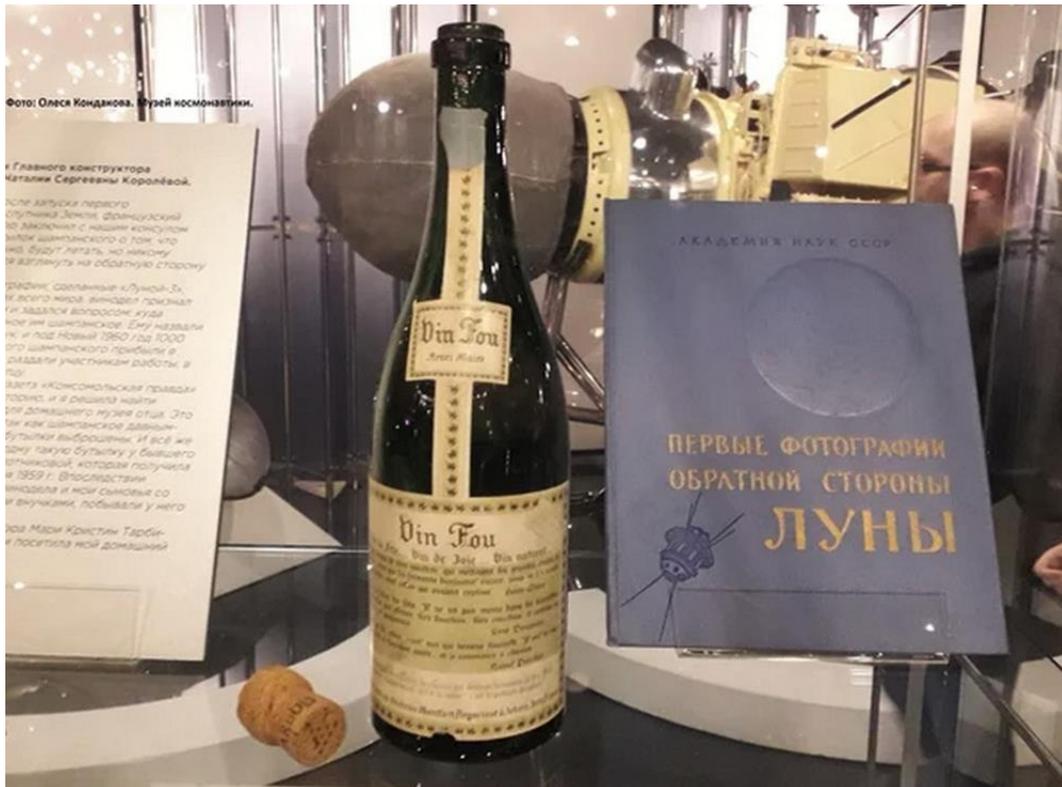


Рис. 14. Бутылка проспоренного Анри Мэром «Буйного вина» в музее ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Динамика полетов к Марсу и Венере

После полета легендарной «Луны-3» уже в 1959 году остро встал естественный вопрос: возможно ли применить трехступенчатую ракету «Восток» для полетов к Венере или Марсу с приемлемым полезным грузом с территории СССР? Им вплотную занялись Д.Е. Охочимский, Т.М. Энеев, В.Г. Ершов. Получить разумную полезную нагрузку при запуске ракеты непосредственно с территории СССР никак не получалось. После долгих мучений исследователи придумали запускать ракету сначала на промежуточную орбиту ИСЗ, а уже с нее стартовать к требуемой планете. Это была прорывная идея. Стало сразу все получаться. Авторами были сделаны следующие выводы.

1. Использование ракеты «Восток» возможно.
2. Показано, что использование старта с промежуточной орбиты позволяет доставить 500 кг полезной нагрузки, что более чем вдвое превышает полезную нагрузку при запуске с непрерывным активным участком.
3. Промежуточный старт позволяет существенно улучшить все характеристики полета к Марсу, Венере и Луне.
4. Окончательное решение: использовать четырехступенчатую ракету с перерывом в работе после разделения третьей и четвертой ступеней (разгон с незамкнутой орбиты ИСЗ).

5. Для анализа полета предложена диаграмма с изолиниями полезного груза.

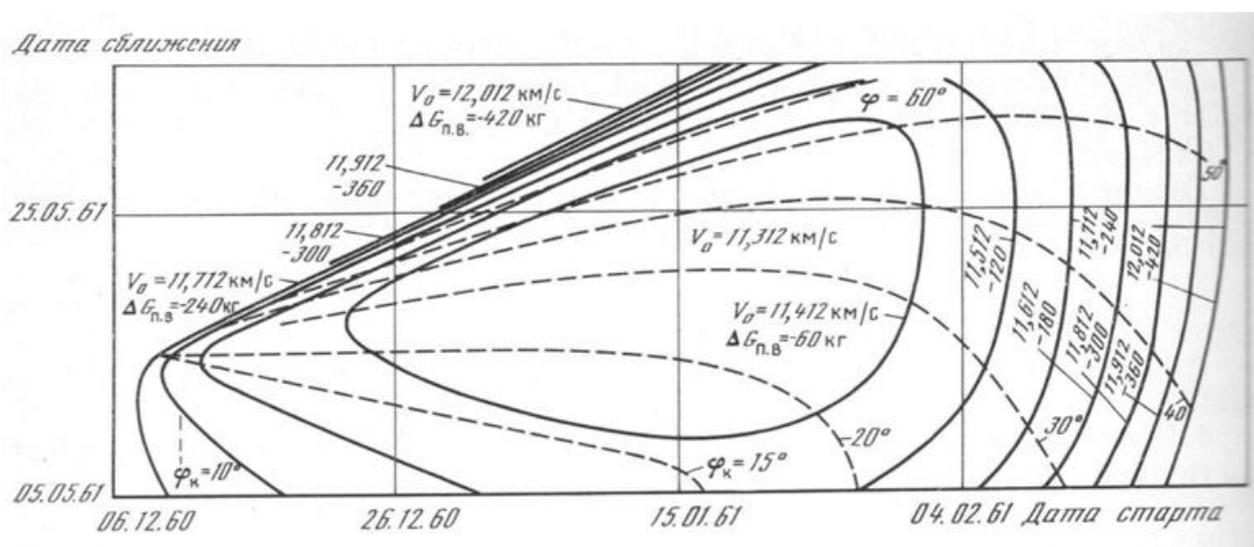


Рис. 15. «Ракушки» — окна старта с Земли (Porkchop plots), рассчитанные и построенные Д.Е. Охочимским, Т.М. Энеевым, В.Г. Ершовым для аппарата «Венера-1» (1959 г.) [12].

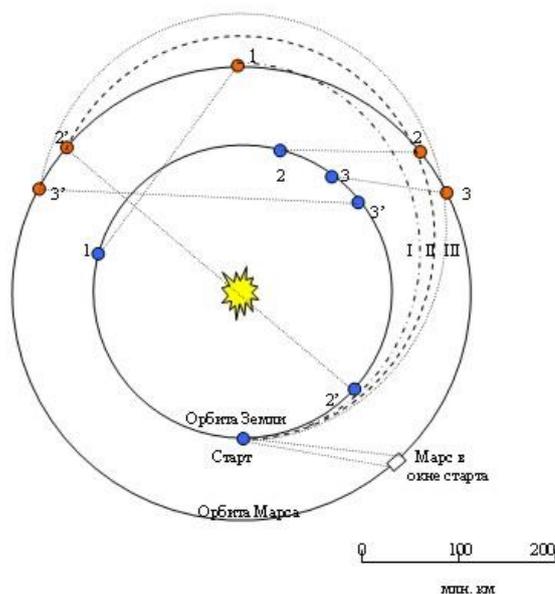
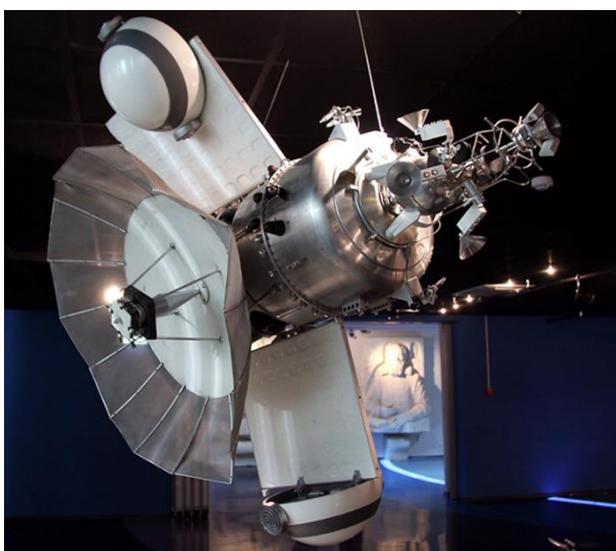


Рис.16. Межпланетная станция Марс-1, 1962 г.
Ракета-носитель Молния (Р-7)

В настоящее время все проекты полетов в дальний космос предполагают применение промежуточной орбиты ИСЗ.

Полученные результаты явились основанием для баллистического проектирования отечественных межпланетных перелётов и их баллистико-навигационного обеспечения (БНО), в котором активнейшее участие принял Пятый отдел ИПМ им. М.В. Келдыша РАН под руководством

Д.Е. Охоцимского. Позднее, в 1965 году, по предложению С.П. Королева и М.В. Келдыша в рамках Отдела был создан Баллистический центр (БЦ) ИПМ им. М.В. Келдыша. На него были возложены работы по проектированию и БНО управления полетом пилотируемых кораблей и автоматических космических аппаратов научного и народно-хозяйственного назначения. БЦ ИПМ вместе с баллистическими центрами Министерства обороны и Министерства общего машиностроения (позже – Росавиакосмоса) успешно обеспечивал полеты отечественных КА.

Программы полетов к Луне с космонавтами на борту

В мае 1961 года практически сразу после полета Ю.А. Гагарина президент США Дж. Кеннеди выступил в американском Конгрессе с изложением программы «Аполлон». Программа должна была обеспечить превосходство США над Советским Союзом в области исследования космоса и ракетостроения. Программа была принята Конгрессом. Было намечено израсходовать на неё 9 млрд долларов в течение первых пяти лет. Конечной целью программы провозглашалась высадка человека на Луну не позднее 1970 года. Работы по программе «Аполлон» приобрели общегосударственный масштаб. По мобилизации научных, промышленных и финансовых ресурсов они превысили знаменитый «Манхэттенский проект» создания атомной бомбы. Программа не была секретной, что существенно упрощало и ускоряло ведение работ. Все участники могли свободно обмениваться технической информацией, как по вертикали, так и по горизонтали. Открытость работ позволяла осуществлять эффективный общественный контроль над их ведением, включая средства массовой информации. Была принята схема полета, при которой командный модуль, в составе возвращаемого на Землю отсека, топлива и двигательной установки, необходимых для возвращения, остаётся на лунной орбите. Прилуняется и взлетает с Луны только отделяемый от основного корабля лунный модуль. Для полётов на Луну разрабатывалась мощная ракетаноситель «Сатурн-5», которая могла вывести на траекторию к Луне около 47 тонн полезной нагрузки, и этого при указанной схеме полёта оказывалось достаточно. Первая пилотируемая посадка на Луну космонавтов Нила Армстронга и Базза Олдрина была осуществлена 20 июля 1969 года в ходе полёта «Аполлона-11». Всего по программе «Аполлон» были совершены 6 успешных высадок астронавтов на Луну (последняя — в 1972 году). Эти семь полётов по программе «Аполлон» на данный момент — единственные за всю историю человечества, когда люди высаживались на другой планете.

Советская программа полетов к Луне была аналогична американской и началась, по существу, с 7 октября 1959 г., когда советская АМС «Луна-3» впервые в мире сфотографировала обратную сторону Луны и передала фотографию на территорию СССР. Однако лунная пилотируемая программа СССР была официально утверждена постановлением правительства только 3 августа 1964 г., когда и были развернуты реальные масштабные работы по

двум параллельным пилотируемым программам: облёта Луны («Протон» — «Зонд/Л1») к 1967 году и посадке человека на Луну (Н-1-Л3) к 1968 году с началом лётно-конструкторских испытаний в 1966 году.

Обе советские пилотируемые лунные программы развивались, и при их выполнении были достигнуты значительные промежуточные результаты. К сожалению, 14 января 1966 г. С.П. Королёва не стало. Советские пилотируемые программы так и не были завершены из-за изначального отставания по срокам, более чем пятикратно меньшего относительно США финансирования и некоторых организационных и технических просчётов и неудач, включая организационные трудности, конкуренцию и распыление средств между конструкторскими бюро Королёва и Челомея на начальных этапах проектов создания необходимой ракеты-носителя.

Как советская, так и американская программы, помимо очевидных трудностей, связанных с созданием достаточно мощной ракеты-носителя, содержали и совсем новые задачи астродинамики. Одна из них была связана с выводом искусственного спутника Луны (ИСЛ), необходимого для посадки на поверхность Луны и возвращения экипажа на траекторию возврата к Земле. Вторая задача состояла в том, что на заключительном этапе полета от Луны надо было обеспечить безопасную посадку экипажа при входе в атмосферу Земли с околопараболической скоростью.

Создать долгоживущий спутник Луны оказалось совсем непростым делом. Поле тяготения Луны было известно недостаточно хорошо, и первые попытки создания ИСЛ, как советских проектов, так и американских, заканчивались очень быстрым падением космических аппаратов на Луну. Вместе с тем эти неудачные проекты создавали экспериментальную базу для построения математической модели лунного гравитационного потенциала. Американские ученые пошли по пути аппроксимации поля тяготения за счет добавления в разные точки поверхности Луны точечных масс (масконов). Такой подход был локальным, громоздким и не очень надежным при вероятных изменениях параметров ИСЛ. Он хорошо работал лишь на малых высотах от поверхности Луны.

Первые успехи в создании достоверной универсальной модели лунного гравитационного потенциала были получены в отделе Д.Е. Охочимского усилиями сотрудников под руководством Э.Л. Акима [28]. Научная идея, заложенная в этой модели, существенно помогла американским ученым в осуществлении их лунной программы.

3 февраля 1966 года при непосредственном участии БЦ ИПМ впервые в мире была осуществлена автоматическая посадка на Луну АМС «Луна-9». (старт: 31 января 1966 г. Ракета-носитель: "Молния-М"). Космический аппарат был предназначен для осуществления мягкой посадки на поверхность Луны с целью получения телепанорамы лунной поверхности и проведения научных исследований (рис. 17).

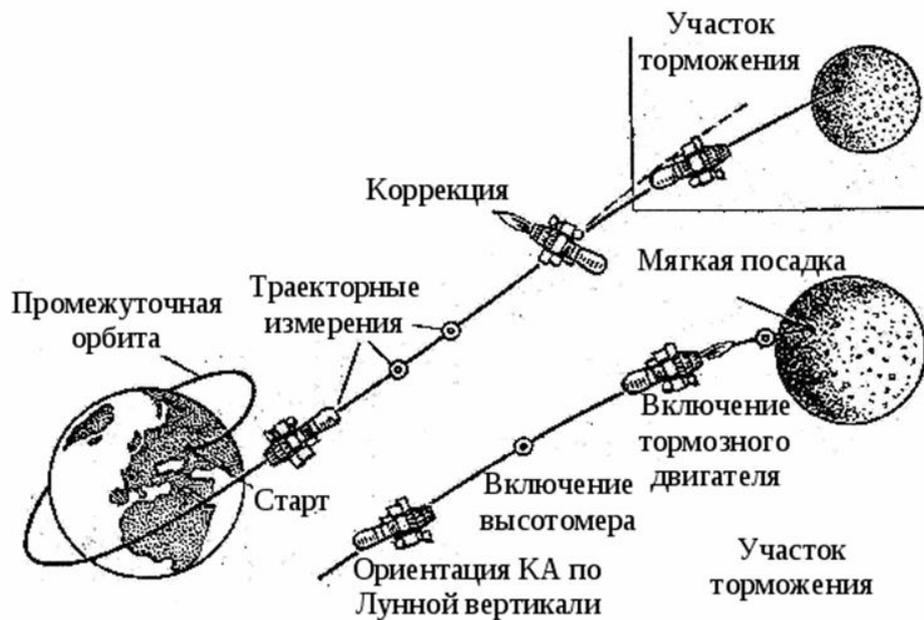


Рис. 17. Траектория полёта АМС «Луна-9» (1966).

АМС «Луна-10» впервые в мире вышла на орбиту вокруг Луны 3 апреля 1966 г. Начальные параметры орбиты: высота апоселения 1015 км, высота периселения 349 км, наклонение орбиты к плоскости экватора Луны $71,9^\circ$ при начальном периоде обращения 2 ч 58 мин 15 с. Станция совершила 460 оборотов вокруг Луны и выполнила 219 сеансов связи с Землёй.

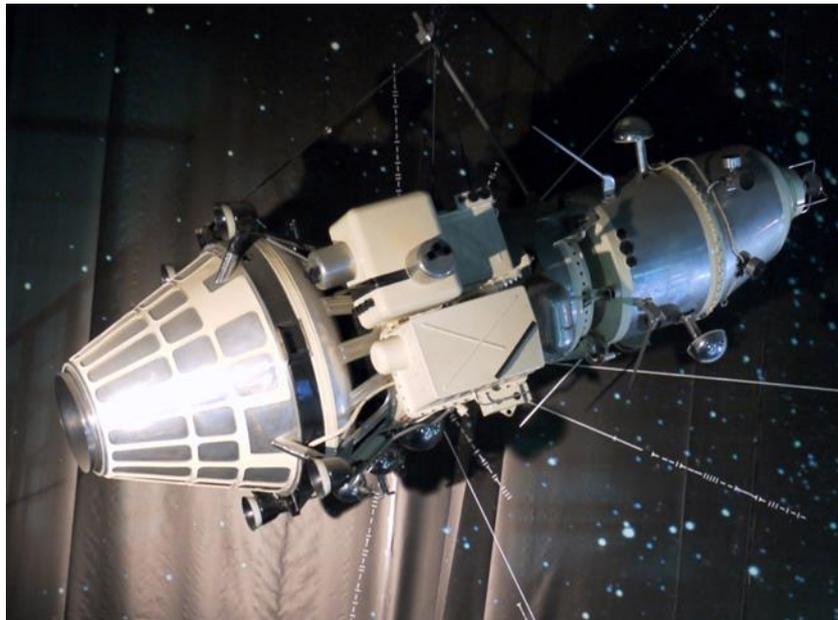


Рис. 18 . АМС «Луна-10»

Тем самым была практически подтверждена впервые созданная в отделе Д.Е. Охоцимского теория поля тяготения Луны и адекватность его модели в виде разложения по сферическим гармоникам [18]. Несферичность поля Луны, как оказалось, влияет на эволюцию орбиты АМС в 5—6 раз сильнее, чем тяготение Земли и Солнца.

Спуск в атмосфере Земли со скоростью входа в атмосферу, близкой к параболической, гораздо более опасен для космонавтов, чем спуск с орбиты ИСЗ. Большая скорость входа влечет значительное увеличение опасности возникновения больших перегрузок, а также увеличения тепловых нагрузок. В советском проекте посещения космонавтами Луны предполагался возврат их к Земле по траектории приближения со стороны Южного полюса, а приземление космонавтов должно было произойти на территории СССР. Протяженность трассы траектории спуска в атмосфере из-за этого получалась порядка 10000 км, а сама траектория состояла из двух атмосферных участков, соединенных очень пологим участком полета с околокруговой скоростью вне пределов атмосферы. Влияние погрешностей на такой траектории было чрезвычайно велико, и спуск предполагался управляемым за счет целенаправленного изменения направления аэродинамической подъемной силы. При этом возмущения плотности атмосферы могли вдвое отличаться от номинальных значений. В общем, это была очень трудная, существенно нелинейная задача терминального управления, которую тогда было непонятно, как решать. Широко распространенные в то время аналоговые методы стабилизации траектории реального движения около номинальной траектории, хоть и пользовались большим доверием разработчиков систем управления, оказывались в данном случае не вполне надежными. Дело в том, что трубка траекторий окрестности номинальной траектории, где линейные методы управления были пригодны, оказалась чрезвычайно узкой, что приводило к большим потерям в точности управления при действии возмущений.

Дмитрий Евгеньевич предложил отказаться от использования линейных аналоговых методов управления и попробовать построить алгоритм управления с использованием уже разработанной к тому времени бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ). Тогда становилось возможным применять более точные нелинейные математические модели движения в атмосфере и осуществлять выбор управления на основе численного прогноза точки приземления. Совместно с Ю.Ф. Голубевым и Ю.Г. Сихарулидзе он разработал уникальный многошаговый адаптивный алгоритм управляемого входа в атмосферу Земли и планет с двойным погружением, позволяющий изменять плоскость спуска и достичь точности приземления в несколько километров [19]. По сути это было первое воплощение широко известного сейчас в теории управления «метода прогноза-коррекции» (Prediction-Correction Method). Написанная по результатам этих исследований книга [19] в настоящее время является настольной для специалистов в области управления в атмосфере аппаратов с околокосмическими скоростями.

Баллистический центр ИПМ

Д.Е. Охоцимский и руководимый им коллектив непосредственно участвовали в подготовке и осуществлении эпохальных событий человечества: от полётов первого искусственного спутника Земли и первого полета человека в космос до полетов к Луне и планетам Солнечной системы Венере и Марсу (рис. 17-20). Для баллистика-навигационного обеспечения таких полётов Э.Л. Акимом под руководством и при непосредственном творческом участии Д.Е. Охоцимского в 1965 году был создан Баллистический центр ИПМ АН СССР (БЦ ИПМ). В тесном взаимодействии со смежными организациями БЦ ИПМ более пятидесяти лет успешно выполняет работы по подготовке и баллистическому обеспечению полетов всех межпланетных автоматических аппаратов. Перечислим лишь некоторые из них. Это – космические аппараты «Луна», «Венера», «Марс», предназначенные для исследования Луны и планет, аппараты «Вега», проводившие исследование кометы Галлея, пилотируемые корабли «Союз», «Союз-Т», «Союз-ТМ», орбитальные станции «Салют» и «Мир», грузовые корабли «Прогресс» и др. В ИПМ АН СССР для эффективного управления полетами космических аппаратов в реальном времени был создан высокоавтоматизированный интерактивный информационно-вычислительный комплекс.

При непосредственной кооперации с БЦ ИПМ были осуществлены успешные полеты АМС «Венера-4» – «Венера-16» (ракета-носитель «Молния-М», семейство Р-7 с четырьмя ступенями).

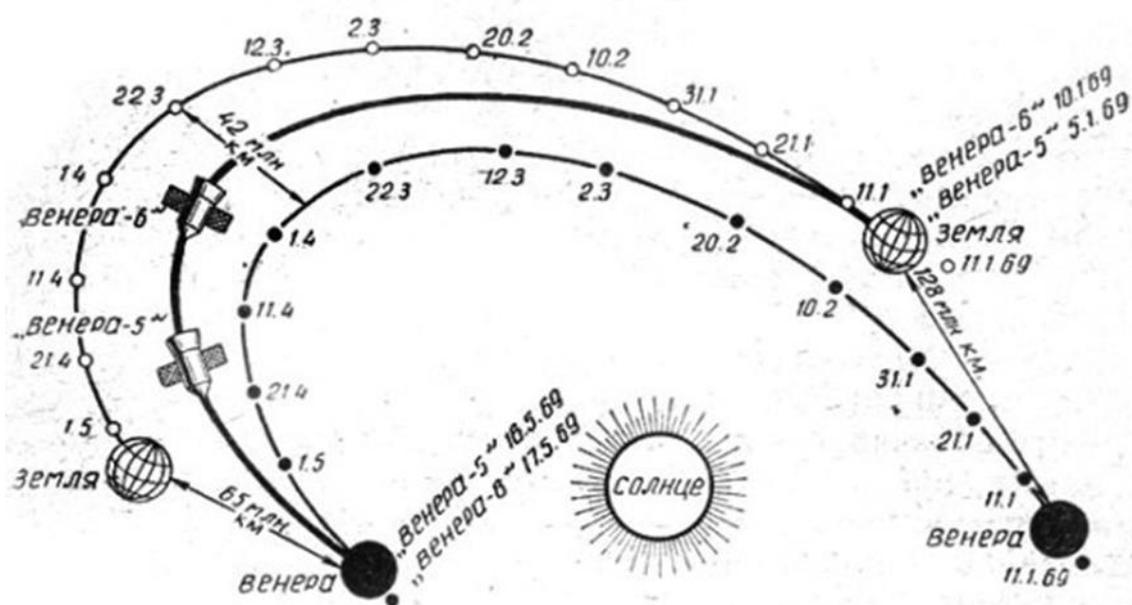


Рис.19 . Траектории полёта АМС «Венера-5,6» (1969 г.).

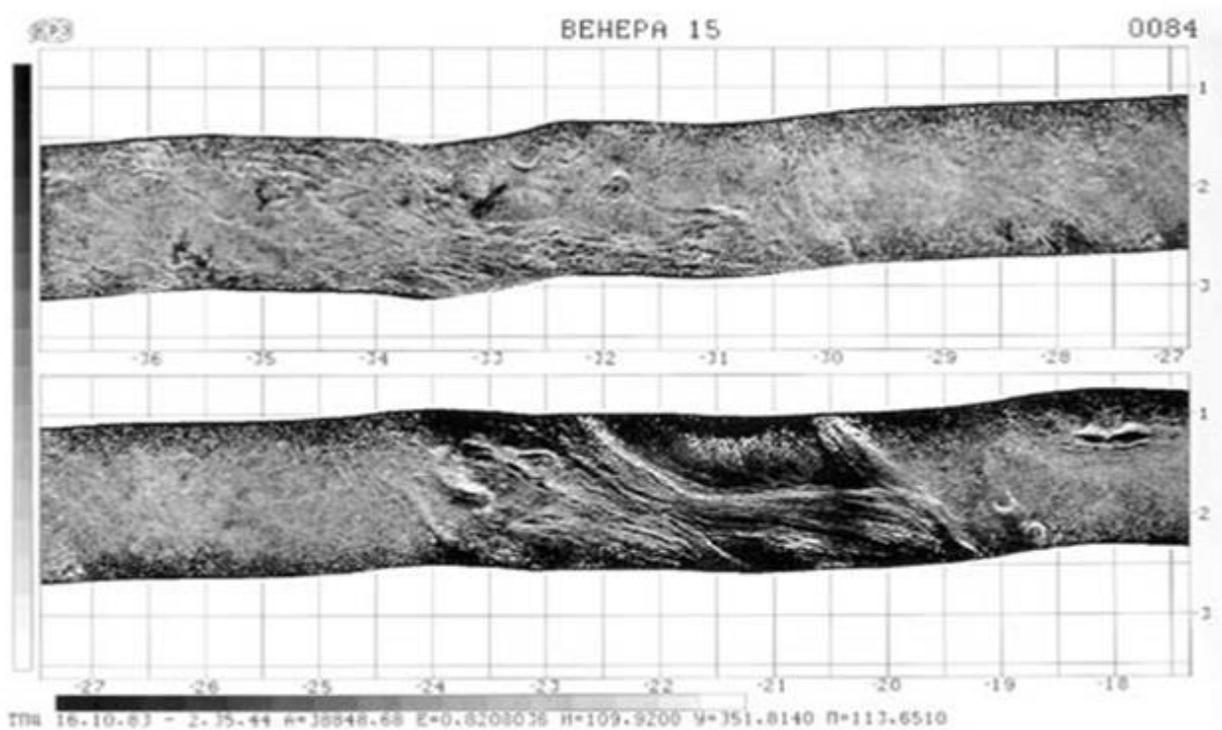


Рис. 20. Панорама поверхности Венеры, полученная межпланетной станцией «Венера-15» (1983 г.)

Результаты, полученные успешными советскими космическими экспедициями «Венера-15, 16», позволили картографировать поверхность планеты и создать подробный Атлас поверхности Венеры (1989 г.). По данным радиовысотомера КА «Магеллан» NASA (1990-1994 г.), с использованием данных КА «Пионер-Венера-1», «Венера-15» и «Венера-16» составлена гипсометрическая карта 98% поверхности Венеры, которая используется и по сей день при выборе мест для посадки современных проектируемых венерианских миссий не вслепую, но в заранее выбранных районах (международный проект «Венера-Д»).

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН принял активное участие и в создании системы «Энергия»-«Буран». Совместно с НПО «Молния» и МОКБ «Марс» отдел Д.Е. Охоцимского, наряду с другими отделами ИПМ, участвовал в разработке алгоритмов управления орбитального корабля (ОК) «Буран» в атмосфере от 100 км до посадки на аэродром. Сотрудники отдела осуществляли математическое моделирование полного движения ОК, полунатурное моделирование движения ОК с использованием реальной БЦВМ и ЭВМ ЕС-1045, визуальную проверку бортового программного обеспечения для участка спуска.



Рис. 21. Многооборотный орбитальный корабль «Буран»

И в настоящее время БЦ ИПМ продолжает свою высокоэффективную деятельность в отечественных и международных проектах в кооперации с флагманами мировой космической индустрии, эффективно покрывая естественно возникающую баллистико-навигационную проблематику уникальными инновационными решениями.

Вернёмся из истории к современности. 13 июля 2019 г. с космодрома Байконур при участии БЦ ИПМ был запущен космический аппарат Спектр-РГ, в составе которого находятся двусоставная космическая астрофизическая обсерватория (немецкий рентгеновский телескоп EROSITA и отечественный ART-X). Эта обсерватория нацелена на создание карты Вселенной в рентгеновском диапазоне электромагнитного излучения. Наблюдения, выполненные с помощью обсерватории Спектр-РГ, существенно дополняют наблюдения знаменитого оптического телескопа «Хаббл», запущенного НАСА 24 апреля 1990 года и работающего в световом диапазоне частот от ультрафиолетового до почти инфракрасного. Сегодня БЦ ИПМ, совместно со смежными организациями, наряду с другими космическими проектами, занимается и баллистическим сопровождением КА Спектр-РГ, обеспечивая высокоточную поддержку необходимых эволюций его неустойчивой орбиты.

Запуск и надежное функционирование аппарата Спектр-РГ стали огромным достижением российской космонавтики и детища Д.Е. Охочимского и Э.Л. Акима – БЦ ИПМ – в деле изучения Вселенной.

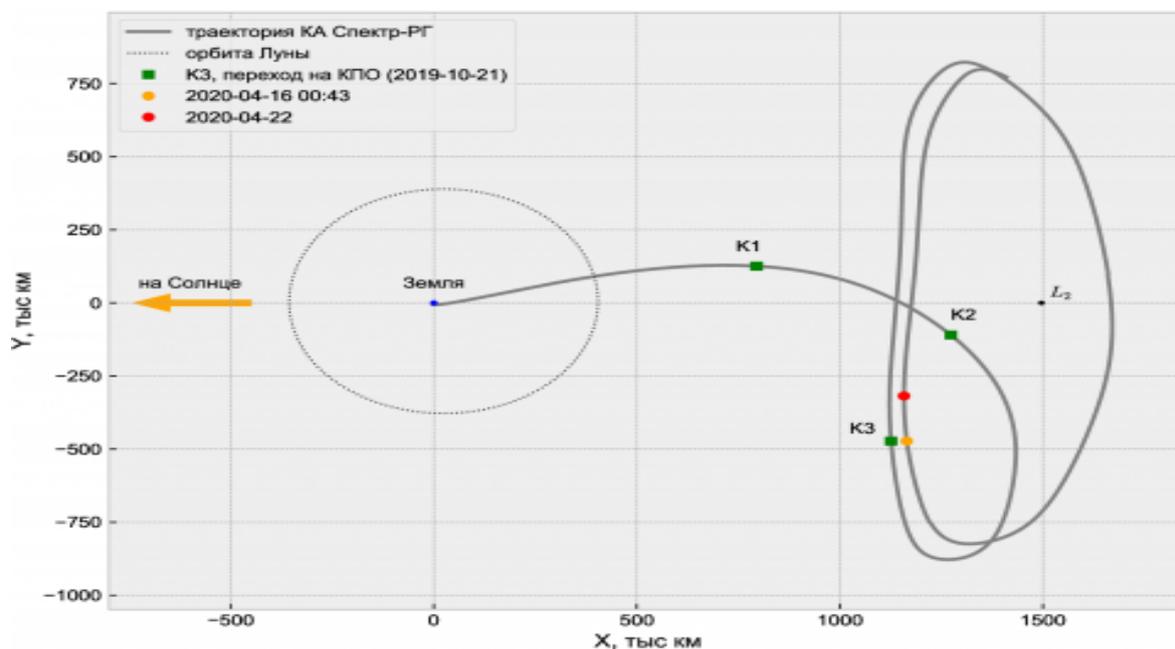


Рис. 22. Вывод КА «Спектр-РГ» на орбиту вокруг либрационной точки L_2 в системе Солнце-Земля

От руководителя научной программы в связи с успешным выходом КА «Спектр-РГ» на орбиту вокруг либрационной точки L_2 в системе Солнце-Земля поступило приветствие:

«Поздравляю Вас и коллективы Ваших предприятий с новым замечательным достижением Российской Орбитальной Обсерватории Спектр-РГ! По данным телескопа СРГ/еРозита создана лучшая в мире и редкая по красоте карта всего неба в рентгеновских лучах, зарегистрировано более миллиона рентгеновских источников. Академик Р.А. Сюняев».

3.3. Фундаментальные проблемы робототехники

Далекая перспектива освоения Луны и других планет Солнечной системы связана с созданием высокоавтоматизированных постоянно действующих баз, расположенных на поверхности планет. Длительное участие космонавтов в создании и обеспечении функционирования таких баз весьма проблематично. В связи с тем, что физические возможности человека в суровых космических условиях весьма ограничены, большую роль в деле освоения космических объектов должны будут играть интеллектуальные робототехнические системы. Они должны будут решать сложные локомоционные задачи передвижения по неподготовленной местности, осуществлять прецизионную сборку разнообразных сооружений, под присмотром космонавтов вести самостоятельные научные исследования и осуществлять поиск и разработку полезных ископаемых.

С начала 70-х годов Д.Е. Охочимский, со свойственной ему целеустремленностью и настойчивостью, занялся совершенно новой для себя

проблематикой – теорией управления робототехническими системами с элементами искусственного интеллекта. Интерес к шагающим машинам (ШМ) был вызван уникальными им присущими техническими характеристиками. Они не создают непрерывной колеи, а наличие шести ног позволяет решить принципиальную задачу устойчивости движения робота по препятствиям: робот может уверенно маневрировать статически устойчивой походкой, используя в опоре не менее трех ног. Именно эти обстоятельства определили интерес к многоногим машинам. По сравнению с традиционными транспортными средствами ШМ могут оказаться вне конкуренции при выполнении транспортных, монтажных и грузоподъемных операций на сложной местности. Они будут полезны в экстремальных условиях при перемещении по грунтам с низкой несущей способностью, при перемещении робота в условиях жестких экологических требований, при движении в средах с наличием узких проходов, лестниц и т.д.

Среди возможных «земных» областей применения ШМ можно выделить атомную, горнодобывающую, нефтедобывающую и химическую промышленности, строительство, исследование дна морей и океанов. ШМ можно будет использовать в районах стихийных бедствий для поиска выживших людей, сбора образцов, проведения ремонтных работ, разбора завалов. В военных целях ШМ могут применяться, например, при разминировании минных полей. Они могут быть полезны как в открытом космосе, так и при создании космических баз.

Примечательно, что год столетия Д.Е. Охоцимского совпал с двухсотлетием другого выдающегося русского математика и механика Пафнутия Львовича Чебышёва, который изобрел оригинальную «Стопоходящую машину Чебышёва», продемонстрированную на Парижской выставке в 1878 году. IX Международные Поляховские чтения в 2021 году, где авторы настоящей работы выступили с пленарным докладом о Дмитрие Евгеньевиче, были посвящены им обоим [4].

Исследования по созданию автономных шагающих роботов, способных самостоятельно адаптироваться к окружающей обстановке, имеют в современной России историю, насчитывающую уже более 40 лет. В СССР эксперименты по разработке интеллектуальных шагающих аппаратов (ША) машин начались на рубеже 70-х годов XX века. Это были приоритетные пионерские работы. Аналогичные исследования за рубежом велись тогда только в университете штата Огайо США под руководством профессора Мак Ги, с которым были установлены дружеские научные контакты. В качестве одного из первых шагов в создании ША Д.Е. Охоцимский обратился к задаче компьютерного моделирования их движения. При этом опыт, полученный им и коллективом Пятого отдела при участии в разработке систем управления полётом сложнейших автоматических космических систем, оказался весьма полезным при решении задач построения движений многосоставных

механических объектов с большим числом степеней подвижности (18 степеней для случая шестиногого шагающего аппарата [20]).

Компьютерное моделирование и макетирование шагающих роботов в ИПМ им М.В. Келдыша РАН

Под руководством Д.Е. Охоцимского исследование возможностей шагающих роботов в ИПМ началось с компьютерного моделирования алгоритмов кинематического синтеза движения ША по сложной местности. В алгоритмах учитывалась визуальная информация от дальномера. Изображение робота в движении выводилось на экран графического дисплея ЭВМ SDS-910. Это было первое в СССР и одно из первых в мире эффективное применение методов компьютерной графики к решению задач управления движением. На рис. 23 приведены фрагменты движения компьютерной модели шагающего аппарата, полученного по результатам математического моделирования его движения на сложной поверхности [21-22].

Результаты компьютерного моделирования легли в основу создания макетов шагающих аппаратов. Организатором и вдохновителем этих работ в СССР был академик (тогда еще член-корреспондент АН СССР) Д.Е. Охоцимский. При его активной научной и организационной поддержке практически одновременно в период 1972-1975 гг. были созданы инсектоморфные прототипы многоногих шагающих роботов в университете штата Огайо США (руководитель – профессор Мак Ги), в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (руководитель – академик Д.Е. Охоцимский), в Институте механики МГУ (руководитель профессор Е.А. Девянин). Несколько ранее шагающая машина с простейшим движителем ортогонального типа была создана в Институте машиноведения РАН (руководители академик И.И. Артоболевский, профессора А.П. Бессонов и Н.В. Умнов).

Построение движения таких машин потребовало создания многоуровневой системы алгоритмов управления их действиями [20-25]. Были определены геометрические и массовые характеристики роботов, а также приводы, способные реализовать требуемые движения ног. В 1975 г. были созданы действующие макеты шестиногих шагающих машин в кооперации ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР и Ленинградского механического института (ЛМИ), а несколько позднее – при сотрудничестве ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР и Ленинградского института ВНИИ Трансмаш. На рис. 24 показан макет шестиногой шагающей машины, созданный в кооперации ИПМ и Ленинградского механического института. Этот робот имеет шесть ног, снабжен дальномером и миникомпьютером. Он способен ограниченно ориентироваться в лабораторной среде и преодолевать препятствия, сравнимые с высотой нижней платформы.

Позднее на базе этих разработок ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР совместно с ВНИИ Трансмаш в 1975 г. был создан большой натуральный макет шестиногой машины НМША (Натурный Макет Шагающего Аппарата), которая

была способна нести человека-оператора. Масса машины 750 кг. Скорость движения 0,7 км/ч, грузоподъёмность 50 кг, дорожный просвет 1,5 м.

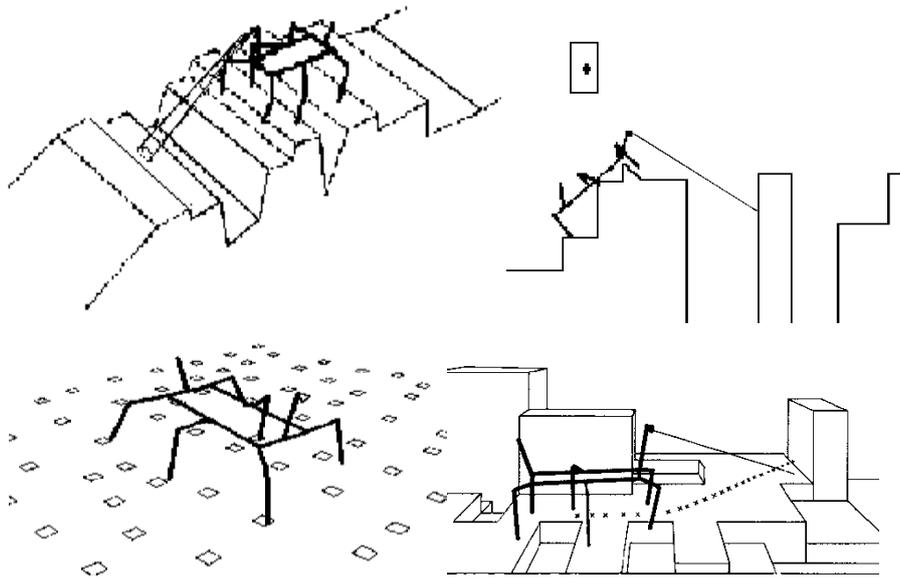


Рис.23. Компьютерное моделирование движения шагающего аппарата

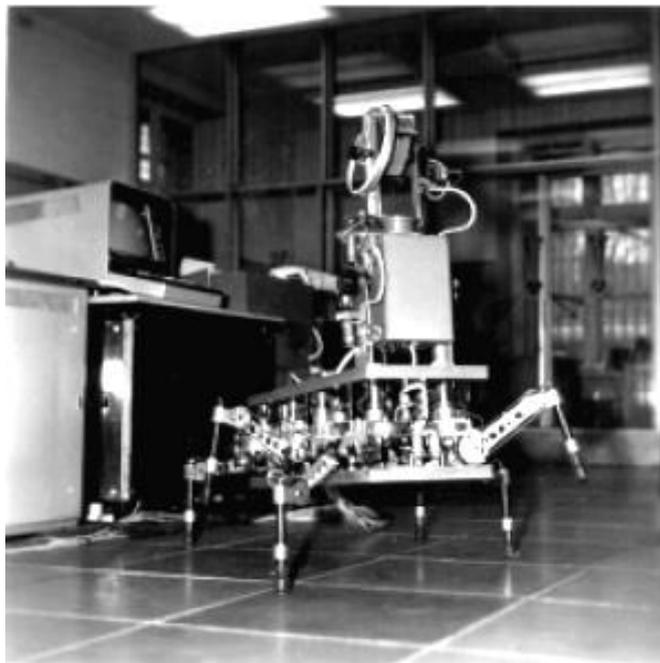


Рис. 24. Макет шагающего робота ИПМ-ЛМИ с лазерным дальномерным устройством

Совместно с ИМех МГУ был проработан вариант шагающей машины, в которой предполагалось использовать гидравлическую систему управления с насосом с LS-управлением параметрами (рис. 25). Эта машина должна была иметь следующие параметры: вес без груза 9000 кг; полезный груз 1000 кг; длина 7.5 м; ширина 3.6 м; высота 3.8 м; высота преодолеваемых препятствий

до 1.5 м; максимальная скорость 0.6 м/сек. Гидравлическая ШМ должна была иметь возможность двигаться по склону (косогору) с уклоном до 30°. К сожалению, эту машину не удалось создать по причине распада СССР.

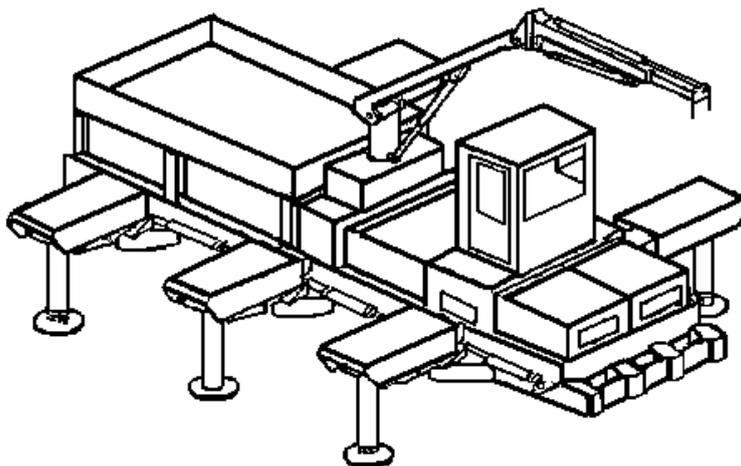


Рис. 25. Схема прототипа гидравлической шагающей машины

Автоматическая сборка изделий машиностроения

Одно из чрезвычайно актуальных направлений развития робототехнической тематики в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН состояло в создании перспективных систем управления автоматизированной сборкой мелкосерийных изделий машиностроения. При ставшем уже традиционным использовании роботов на сборке в процессе производства массовой продукции и в больших объемах, когда номенклатура выпускаемых изделий мало изменяется, целесообразно разбиение процесса сборки на последовательность относительно простых операций. Тогда возможно применение несложных по конструкции, дешевых и точных манипуляторов. Яркий пример успешной роботизации сборки в крупносерийном производстве – применение промышленных роботов-манипуляторов первого поколения в часовой промышленности, где производительность труда на сборке удалось поднять во много раз.

Дмитрия Евгеньевича заинтересовала проблема автоматизации сборки в мелкосерийном производстве. В случае невысокой серийности, когда номенклатура собираемых изделий может часто меняться, целесообразно создание развитых роботизированных сборочных комплексов с элементами искусственного интеллекта. Они могут быть снабжены в меру необходимости теми или иными средствами очувствления (датчики положения, датчики сил и моментов, системы технического зрения и др.). Включение вычислительных управляющих мини- или микро-ЭВМ в контур управления движением таких сборочных комплексов придает им новые свойства. Развитое программное обеспечение открывает возможность быстрой переналадки сборочного комплекса на другое изделие. Это обеспечивает высокую степень гибкости в

использовании оборудования при изменении параметров или типа изготавливаемой продукции, что имеет важнейшее значение при создании высокоавтоматизированных гибких производств.

В центре внимания группы сотрудников ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, руководимой Д.Е. Охоцимским, были разные направления. Сюда входили вопросы, связанные с использованием силовой обратной связи и применением пассивной податливости кисти робота для реализации сборочных процессов. Разрабатывались специальные питающие и дешёвые ориентирующие устройства, организующие среду. Применялись развитые средства очувствления (в частности, технического зрения), позволяющие роботу работать с неориентированными деталями. Создавались алгоритмы и программные комплексы, обеспечивающие эффективное выполнение сборочных операций и упрощающие программирование робототехнических систем.

Среди изделий, с которыми проводились эксперименты по их сборке, были: масляный шестереночный насос (лабораторный комплекс УЭМ-2), зубчатый редуктор (итальянский промышленный комплекс PRAGMA A-3000, отечественный комплекс Универсал-5), многолопастной вентилятор для пылесоса (робот РМ-01). В случае автоматической сборки зубчатого редуктора (1985 г.) использовались два взаимодействующих робота-манипулятора, управляемые от ЭВМ (PRAGMA A-3000 ОКР: Универсал-5). Собираемый редуктор имел шестерни как внутри, так и снаружи корпуса, две крышки и крепежные детали (рис.26) [26].

Эти исследования вызывали высокую заинтересованность промышленных предприятий. Работы по автоматической сборке были доведены до стадии производственных испытаний, но в связи с распадом СССР вопросы внедрения разработок, к большому сожалению, были приостановлены.

Взаимодействие робота с движущимися объектами

Особую сложность представляют задачи, в которых робот должен функционировать в рабочей среде, изменяющейся независимо от него. Такие задачи характерны для интеллектуальной робототехники, когда робот должен выполнять те или иные действия в естественных природных условиях. Для решения задач взаимодействия робота с подвижными объектами (их захвата, отслеживания траектории, ударного воздействия и т.п.) необходима разработка методов оценивания текущего положения объектов с помощью системы технического зрения, а также методов прогнозирования движения объектов и координированного управления роботом. Д.Е. Охоцимским с группой сотрудников ИПМ были решены задачи об управлении в автоматическом режиме роботом-манипулятором с целью захвата стержня, свободно качающегося на бифилярном подвесе, и с целью взаимодействия манипулятора со сферическими произвольно качающимися маятниками. Использование динамических моделей объектов позволило не только определять и

прогнозировать их фактическое движение, но и анализировать некоторые нетривиальные случаи изменения этого движения.

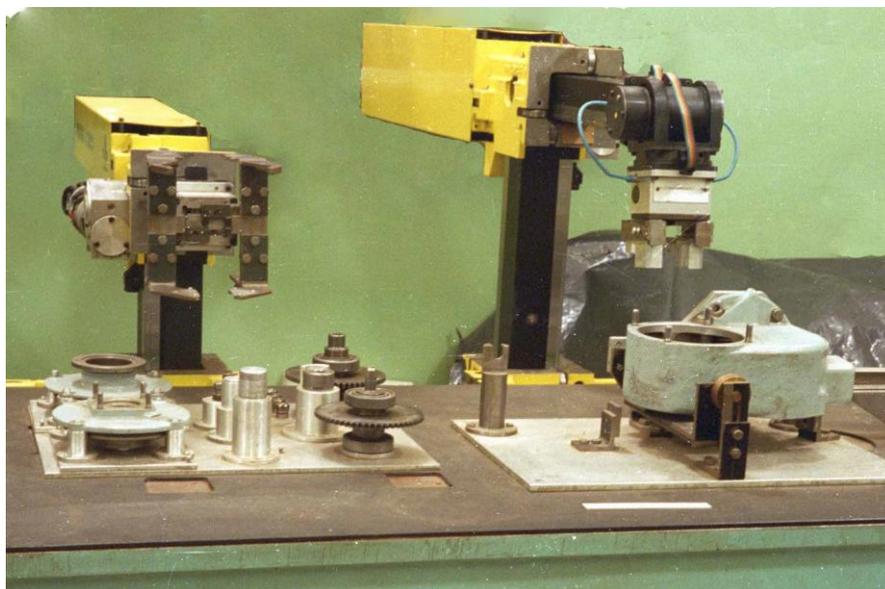


Рис. 26. Лабораторный комплекс УЭМ-2

Соответствующие работы были выполнены в рамках исследований, проводимых в согласии с Программой сотрудничества между Национальным центром научных исследований Франции CNRS и РАН. Возможность взаимодействия робота-манипулятора с движущимися объектами представляет особый интерес для автоматического выполнения монтажных работ в космосе.

На рис. 27 (слева) по данным ТВ-камеры робот осуществляет захват движущегося стержня, а на рис.27 (справа) робот ракеткой ударяет по движущемуся шарик. Наибольшей информативностью обладают координаты концевых точек изображения стержня на ПЗС-матрице ТВ-камеры. Полученные данные обрабатываются с помощью математической модели колебаний стержня, которая впоследствии позволяет определить фактическое движение. Кроме того, были разработаны алгоритмы управления роботом-манипулятором при взаимодействии его с одним или двумя теннисными мячами, подвешенными на нитях и совершающими заранее неизвестные колебания (рис. 27, справа). Контур управления роботом содержит систему технического зрения, которая выполняет функции измерительного прибора. Данные измерений, поставляемые этой системой, обрабатываются с использованием математической модели колебания мячей. Это позволяет определять их фактическое положение, прогнозировать их движение, планировать и выполнять одну из следующих заранее предписанных операций: ударить ракеткой в схвате робота по качающемуся мячу так, чтобы он сбил неподвижную мишень; ударить ракеткой по качающемуся мячу так, чтобы он попал в другой качающийся мяч; ударить ракеткой по качающемуся мячу так, чтобы он попал в другой качающийся мяч и этот второй мяч сбил

неподвижную мишень. Операции перечислены в порядке возрастания сложности и выполняются с разной, но достаточно высокой надежностью [27]. Красота решения этих задач до сих пор вызывает восхищение робототехников всего мира.

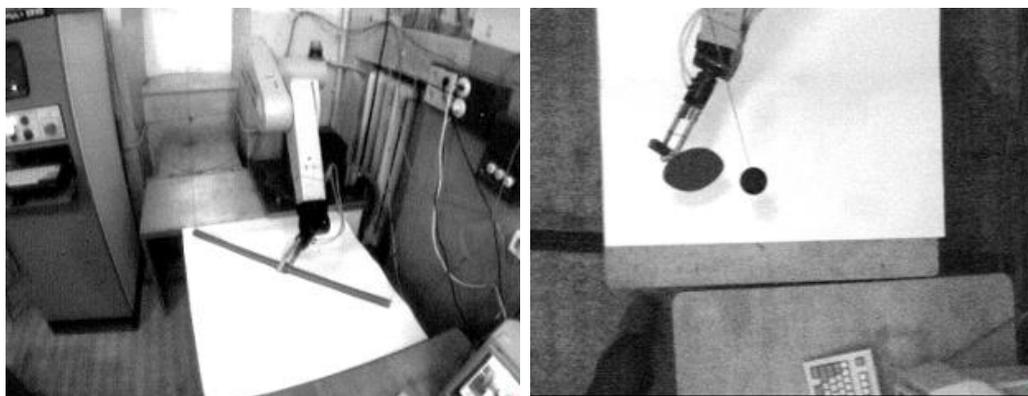


Рис. 27. Лабораторный комплекс, состоящий из промышленного робота РМ-01, ПЭВМ и ТВ-камеры

Управление роботом через Интернет

Под руководством и при непосредственном участии Д.Е. Охоцимского в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН развивались методы дистанционного управления роботами в среде Интернет. Это перспективное направление научных исследований имеет большое практическое значение. Среди его возможных приложений: дистанционное обучение, удаленное управление автоматизированными производствами, использование дистанционно-управляемых роботов для медицинских приложений, для работы в экстремальных средах и др.

Основная проблема управления в реальном времени роботом через Интернет состоит в том, что в канале связи могут возникать значительные произвольные временные задержки. Из-за этого, например, системы управления роботами, в которых в качестве обратной связи применяется передача полных видеоизображений, оказываются недостаточно быстродействующими. Помимо существенных временных задержек качество видеоизображений затрудняет оператору оценку положения робота и расстояний между объектами рабочего пространства. Все это осложняет управление через Интернет манипулятором при его взаимодействии со свободно движущимся объектом, а во многих случаях делает такое управление неэффективным.

Для преодоления указанных недостатков Д.Е. Охоцимским были предложены новые подходы к решению проблемы повышения быстродействия управления роботами через Интернет. В основе предложенных подходов лежит использование "виртуального дублера" реальной рабочей среды для получения обратной связи о сложившейся ситуации в рабочем пространстве. Тогда вместо больших по объему видеоизображений можно передавать минимальный набор

параметров, однозначно определяющих состояние робота и его окружения (набор обобщенных координат робота и координаты объекта, с которым он взаимодействует). Для определения координат объектов используется система технического зрения. В случае если пропускной способности канала все же оказывается недостаточно, то для организации работы в реальном времени используются кинематические и динамические модели с целью прогноза движения самого робота и объектов рабочей среды.

Указанный подход позволяет не только свести к минимуму задержки реакции системы на управляющие воздействия (за счет минимизации пересылаемых данных), но и обеспечить для оператора комфортную управляющую среду с возможностью смены направления обзора, увеличения деталей сцены, использования полупрозрачных изображений. Применение предложенных методов обеспечило возможность эффективного управления даже для низких скоростей передачи информации (в среднем порядка 0.1 — 0.5 Кб/сек) при использовании каналов связи общего пользования.

Также Д.Е. Охоцимским был предложен принцип "распределенной автономии", при котором удаленный оператор выполнял планирование операций на высоком уровне, а сами операции на стороне реального робота выполнялись автоматически. Актуальность разработанных подходов и методов обусловлена тем, что они могут быть использованы при решении сложных задач взаимодействия роботов с подвижными объектами или управления в сложных неструктурированных динамических средах.

С помощью специально созданных программных средств были выполнены эксперименты по управлению в реальном времени роботом через сеть Интернет: с одной стороны ИПМ, а с другой – удаленный район Москвы, Нанта и Тулузы (Франция), Сеула (Южная Корея, более 10000 км) [28].

Фестивали мобильных роботов

Существенной заслугой Дмитрия Евгеньевича в области воспитания научной молодежи стали фестивали «Мобильные роботы», которые под его общим руководством начали проводиться в нашей стране с 1998 г. на базе Института механики МГУ при активной поддержке руководства МГУ им. М.В. Ломоносова. Этим фестивалям впоследствии было присвоено имя профессора Е.А. Девянина. С подачи Д.Е. Охоцимского организаторами фестивалей были Институт механики МГУ, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Московский энергетический институт, МГТУ им. Н.Э. Баумана. Фестивали были многоформатными. Их программа включала в себя соревнования мобильных роботов по выполнению специальных интеллектуальных заданий на время, научную робототехническую конференцию молодых ученых, предполагавшую выпуск трудов конференции, соревнования по виртуальному футболу, выставку образцов современной робототехники, конкурс зрительских симпатий. Дмитрий Евгеньевич являлся неизменным председателем Оргкомитета и душой фестивалей с самого начала

их проведения. Он считал эти фестивали новым эффективным средством приобщения студентов и научной молодежи к практическому овладению методами разработки и создания современных мехатронных систем, что необходимо для людей, предполагающих работать в области высоких технологий. Его достижения на этом поприще широко известны и оценены в мире. Организованные Д.Е. Охоцимским совместно с МГУ традиционные молодежные международные соревнования мобильных роботов пользовались огромной популярностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Творческая уникальность и феноменальность научного дарования Дмитрия Евгеньевича Охоцимского ставят его в один ряд с классиками отечественной научной космонавтики и робототехники.

Вся научная и педагогическая деятельность Д.Е. Охоцимского была направлена на решение новых актуальнейших проблем науки и техники и всегда имела четко выраженную прикладную направленность. Она всегда была технически востребованной. Естественно, что развиваемые им новые методы и предлагавшиеся им инновационные пути решения сложнейших проблем, как правило, выходили далеко за рамки первоначальной постановки и имели существенное значение для дальнейшего развития механики и теории процессов управления.

Дмитрий Евгеньевич практически стал не только хранителем, но и достойным продолжателем творческих и научных традиций в институте, которые были заложены создателем ИПМ АН СССР академиком Мстиславом Всеволодовичем Келдышем (рис. 28).

Д.Е. Охоцимским был создан большой продуктивно работающий коллектив ученых, работы которых широко известны в нашей стране и за рубежом. Он уделял много внимания подготовке молодых научных кадров как в ИПМ, так и в МГУ, где он до конца своей жизни возглавлял кафедру теоретической механики и мехатроники. У Д.Е. Охоцимского было много учеников, кандидатов и докторов наук, он был хорошим педагогом и воспитателем научной молодёжи. Его научная школа хорошо известна и заслужила мировое признание.

За выдающиеся заслуги перед государством и наукой академику Д.Е. Охоцимскому было присвоено звание Героя Социалистического Труда, он был награждён двумя орденами Ленина, орденом Октябрьской революции, орденом Трудового Красного знамени, многими медалями, среди которых Дмитрий Евгеньевич особо отмечал медаль «За оборону Москвы». Ему были присуждены Ленинская премия и Государственные премии СССР, золотая медаль имени М.В. Келдыша, премия имени С.А. Чаплыгина АН СССР, Благодарность Президента РФ и другие правительственные награды. Международный астрономический союз назвал именем «Охоцимский» малую планету № 8061. Он стал иностранным членом Сербской академии наук и

искусств. В канун его столетия, 25 февраля 2021 г., на одном из исторических зданий Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН состоялось торжественное открытие посвящённой ему памятной доски (Рис. 29).



Рис.28. Академик Д.Е. Охоцимский выступает с докладом, посвящённым М.В. Келдышу



Рис. 29. Открытие памятной доски на одном из зданий Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Список литературы

1. В.В. Белецкий. Шесть дюжин. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 688 с.
2. Прикладная небесная механика и управление движением // Сб. статей, посв. 90-летию со дня рождения Д.Е. Охоцимского, сост. Т.М. Энеев, М.Ю. Овчинников, А.Р. Голиков. — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010. — 368 с. — ISBN 978-5-98354-007-1
3. Наш Д.Е. К 100-летию со дня рождения Дмитрия Евгеньевича Охоцимского // Сб. статей, сост. Ю.Ф. Голубев, М.Ю. Овчинников, В.В. Сазонов. - М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2020. — 132 с. ISBN 978-5-98354-059-0
4. Г.К. Боровин, Ю.Ф. Голубев, А.В. Грушевский, А.Г. Тучин. Академик Дмитрий Евгеньевич Охоцимский – выдающийся механик, основатель научной школы в области динамики космического полёта (К 100-летию со дня рождения) // В сб. IX Поляховские чтения: Материалы международной научной конференции по механике — СПб.: Изд. ВВМ, 2021. 471 с. с. 50-54
5. Г.К. Боровин, Ю.Ф. Голубев, А.В. Грушевский, А.Г. Тучин. Академик Дмитрий Евгеньевич Охоцимский – выдающийся механик, основоположник отечественной космической науки (к 100-летию со дня рождения) // В кн.: XLV Академические чтения по космонавтике, Москва, 2021.
6. М.В. Келдыш, И.Л. Кондрашева, Взрыв в атмосфере с учетом противодействия. Отчет Математического института АН СССР. - М.: 1952.
7. Д.Е. Охоцимский, И.Л. Кондрашева, З.П. Власова, Р.К. Казакова, Расчет точечного взрыва с учетом противодействия.// Труды Математического института им. В.А. Стеклова. Изд. АН СССР. - М.: 1957, 65 с.
8. А.А. Космодемьянский. Теоретическая механика и современная техника. 2-е издание. — М.: Просвещение, 1975. — 248 с.
9. Д.Е. Охоцимский, К теории движения ракет // ПММ, 1946, т.10, №2, с. 251-272
10. Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев, Некоторые вариационные задачи, связанные с запуском искусственного спутника Земли // УФН, 1957, т.63, вып.1а, 5-32
11. Ю.Ф. Голубев. Метод Охоцимского-Понтрягина в теории управления и аналитической механике. Часть 1: метод Охоцимского-Понтрягина в теории управления // Вестник МГУ, Сер. 1, Математика. Механика, 2008, №6, 49-55.
12. М.В. Келдыш, Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988.
13. Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев, Г.П. Таратынова, Определение времени существования искусственного спутника Земли и исследование вековых возмущений его орбиты // УФН, 1957. Т. 63. № 1а. С. 33-50.
14. Г.П. Таратынова, Определение времени существования искусственного спутника Земли/ Сб. «Искусственные спутники Земли», 1960, вып.4.
15. М.В. Келдыш, С.С. Камынин, Д.Е. Охоцимский, Баллистические возможности составных ракет // Келдыш М.В. Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988. С. 39-140.

16. М.В. Келдыш, В.А. Егоров, С.С. Камынин, Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев, Теоретические исследования динамики полета составных крылатых ракет дальнего действия // Келдыш М.В. Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988. С. 147-196.
17. Д.Е. Охоцимский, К теории движения тела с полостями, частично заполненными жидкостью // ПММ, 1956. Т. 20. № 1. С. 3-20.
18. Э.Л. Аким, Определение поля тяготения Луны по движению искусственного спутника Луны "Луна10", Докл. АН СССР, 1966, том 170, № 4, с. 799–802
19. Д.Е. Охоцимский, Ю.Ф. Голубев, Ю.Г. Сихарулидзе, Алгоритмы управления космическим аппаратом при входе в атмосферу. М.: Наука, 1975.
20. Д.Е. Охоцимский, Ю.Ф. Голубев, Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата. - М.: Наука, 1984. 310с.
21. Д.Е. Охоцимский, А.К. Платонов, Г.К. Боровин, И.И. Карпов, Е.И. Кугушев, В.Е. Павловский, В.С. Ярошевский, Управление интегральным локомоционным роботом. — Известия РАН СССР, Техническая кибернетика, 1974, № 6.
22. Д.Е. Охоцимский, А.К. Платонов, В.Е. Донцов, Г.В. Герхен-Губанов, В.А. Веселов, В.Г. Кузнецов, Лабораторный макет интегрального шагающего робота — В кн.: VII Вс. сов. по пробл. управл. — Минск, 1977.
23. Д.Е. Охоцимский, Е.А. Девянин, А.К. Платонов, Г.К. Боровин, В.М. Буданов, В.В. Лапшин, В.М. Мирный, Опыт проектирования многоцелевого гидравлического шагающего шасси. Межвуз. Сб. научн. трудов "Мех. и упр. движением шагающих машин". т. 2, 1995 г, с.103-111.
24. Г.К. Боровин, А.В. Костюк, Д. Сит, В.В. Ястребов, Математическое моделирование гидравлической системы экзоскелетона. Математическое моделирование. 2006г., т. 18, №10, с. 9-54
25. Д.Е. Охоцимский, В.А. Веселов, В.С. Гурфинкель, Е.А. Девянин, А.К. Платонов, Разработка алгоритмов и средств управления движением шагающих роботов. // В кн. Управление робототехническими системами и их оучствление. - М.: Наука, 1983, с.110-1
26. Д.Е. Охоцимский, А.К. Платонов, Ю.П. Смольянов, С.И. Гримайло, С.С. Камынин, В.А. Карташев, Е.И. Кугушев, Исследование многооперационной сборки с помощью экспериментальной робототехнической системы. В сб. Роботизация сборочных процессов. - М.: Наука, 1985.
27. И.Р. Белоусов, А.А. Богуславский, С.Н. Емельянов, Д.Е. Охоцимский, А.К. Платонов, В.В. Сазонов, С.М. Соколов, Взаимодействие роботаманипулятора с подвижными объектами. Известия РАН. Механика твердого тела, 2001, № 1, 194-204.
28. И.Р. Белоусов, Д.Е. Охоцимский, А.К. Платонов, В.В. Сазонов, Дистанционное обучение механике и робототехнике через сеть Интернет, "Компьютерные инструменты в образовании", С.-Пб, №2, 2003, с. 34.