



Платонов А.К., Казакова Р.К.

Создание проектного и оперативного баллистического обеспечения полётов космических аппаратов. Оперативные работы на первых ЭВМ

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Платонов А.К., Казакова Р.К. Создание проектного и оперативного баллистического обеспечения полётов космических аппаратов. Оперативные работы на первых ЭВМ // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2014. № 38. 28 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-38>

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

**А.К. Платонов, Р.К. Казакова**

**Создание проектного и оперативного  
баллистического обеспечения полётов  
космических аппаратов**

**Оперативные работы на первых ЭВМ**

**Москва — 2014**

**Платонов А.К., Казакова Р.К.**

**Создание проектного и оперативного баллистического обеспечения полётов космических аппаратов. Оперативные работы на первых ЭВМ**

Препринт описывает процесс выполнения в оперативном режиме работ баллистического обеспечения космических проектов в 50–70-е годы XX века в ИПМ им. М.В. Келдыша. Обсуждаются обстоятельства решения ключевых проблем баллистики при первых полётах в космос. Описываются методы организации и выполнения оперативных процессов для определения орбит наблюдаемого полёта космических аппаратов и выполнения коррекции их движения

*Ключевые слова:* баллистика, оперативные расчёты, определение орбит, коррекция орбит.

**Alexandr Konstantinovich Platonov, Raisa Konstatinovna Kazakova**

**Creating tools for design and operational works for ballistic ensuring of space missions. Operation control work at the first computers**

Preprint describes how ballistic operative control of space projects support in 1950's – 1970's was being made in the Keldysh Institute. We discuss the circumstances of solving the key ballistics problems of the first flights to the moon and planets. The story concerns of management & execution methods for operational working during determining trajectory of the observed motion and its correction.

*Key words:* ballistics, operative calculations, orbit determination, orbit correction.

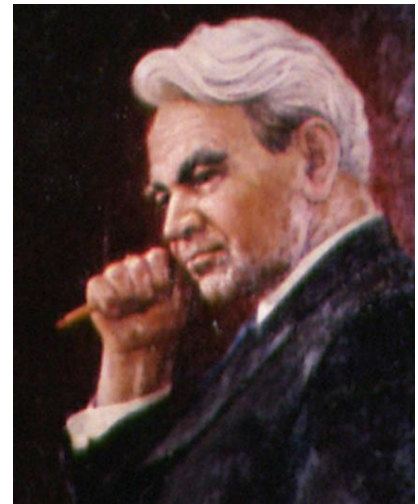
**Оглавление**

Введение .....	3
Первый опыт обработки траекторных наблюдений .....	4
Начало оперативного обеспечения полётов к Луне.....	8
Содержание и устройство оперативных вычислений .....	10
Предварительная обработка получаемых измерений.....	11
Оценка точности определения прогноза движения КА .....	13
Задачи управления движением КА.....	14
Организационная деятельность БЦ до и во время полёта .....	17
Некоторые бытовые подробности .....	21
Вместо заключения .....	27
Литература .....	28

## Введение

Этот препринт основан на материалах устного доклада на Гагаринских чтениях в апреле 2013 г. Доклад был посвящён 60-летию Института прикладной математики им. М.В. Келдыша (ИПМ), и нужно заметить, что он вызвал большой интерес присутствующих. Основная масса вопросов была связана с подробностями истории «института Келдыша» и его взаимодействия с организациями космической отрасли. Было заметно, что роль и значение работ ИПМ в те ранние годы слабо известны новому поколению энтузиастов космической техники. Ещё, к сожалению, меньше известны содержание и обстоятельства выполнения многих работ ИПМ, оказавших заметное влияние на развитие отечественной ракетной и космической техники. Ниже делается попытка описать подробности работ ИПМ по управлению полётом космических аппаратов.

С содержанием ранних послевоенных исследований в области ракетодинамики и прикладной небесной механики, выполненных под руководством и при непосредственном участии М.В. Келдыша, лучше всего знакомиться в [1]. Составителями этого тома избранных трудов М.В. Келдыша была проделана большая работа по сбору и рассекречиванию сохранившихся к тому времени отчётов, выпущенных в Математическом институте им. В.А. Стеклова АН СССР (МИАН) и в Отделении прикладной математики Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР (ОПМ). Несмотря на «сухость» стиля изложения содержания методов и полученных результатов исследований, в этой публикации хорошо передаётся атмосфера времени выполнения этих работ, и очень заметна тщательность, полнота и аккуратность стиля работы М.В. Келдыша и его ближайших сотрудников.



М.В. Келдыш

Содержание и характер более поздних работ, выполненных в ИПМ, содержится в [2]. Этот коллективный труд посвящён памяти Д.Е. Охоцимского – ближайшего соратника М.В. Келдыша в МИАН и в ИПМ. Здесь можно найти подробное описание работ в областях, связанных с механикой и построением управляемого движения ракет, космических аппаратов (КА) и роботов.

История начала развития баллистических работ в ИПМ им. М.В. Келдыша подробно описана в предыдущей работе авторов [3]. Она посвящена процессам создания методов и алгоритмов решения задач динамики крылатой ракеты «Буря», первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) и первых КА при их полётах к Луне, Венере и Марсу. Решение этих задач происходило одновременно с освоением цифровых вычислительных машин первого поколения – БЭСМ, «Стрела» и второго поколения – М-20 и БЭСМ-4, что потребовало специальных усилий. Описанные в [3] работы подготовили инструментарий, нужный для выполнения описываемых ниже оперативных работ управления движением КА.

## Первый опыт обработки траекторных наблюдений

Вслед за проектными работами, описанными в [3], уже через 4 года после создания ОПМ в стране начались попытки реального осуществления полётов за пределы атмосферы Земли. В октябре 1957 г. такой первой и сразу удачной попыткой стал запуск знаменитого ПС – простейшего ИСЗ, в короткие сроки разработанного и изготовленного в ОКБ-1 С.П. Королёва [4]. Этот запуск косвенно сыграл важную роль в обсуждаемой ниже теме оперативных работ в ИПМ<sup>\*</sup>)

Дело в том, что для подтверждения успешности запуска заранее были организованы наземные службы наблюдения неба оптическими и радиосредствами с привлечением обсерваторий Астросовета, любителей-астрономов - членов ВАГО (Всесоюзное астрономо-геодезическое общество) и малого числа других организаций. О сложности этого процесса за два года до пуска предупреждал Келдыш. Вот цитата из его выступления на Президиуме АН в начале 1956 г. [5]:

Я должен сказать, что организация наблюдений — один из самых сложных моментов исследовательской работы со спутником. Причем мы, к сожалению, не можем создать так много станций, чтобы наблюдать все витки, проходящиеся на Советский Союз, т. е. наблюдать будем только часть витков. Приходится в самых глухих местах ставить станции для наблюдений. Некоторые станции, связанные с другими работами, расположенные севернее, можно будет использовать для наблюдений за спутником.

Работа по обобщению всех имеющихся наблюдений и выдачи «целеуказаний» местам наблюдения (предсказаний моментов видимости спутника и углов места его кульминаций) была поручена команде Г.С. Нариманова в военном НИИ-4. Туда по обычной телеграфной связи и направлялись все результаты наблюдений спутника. Для решения задачи целеуказаний нужно было по предшествующим наблюдениям построить прогноз траектории спутника на поверхности Земли и предсказать места и моменты видимости спутника, используя *правило местного времени*<sup>\*\*)</sup>. Остроумная и эффективная методика ручной реализации этого алгоритма с помощью плексигласовых планшетов,двигаемых на карте Земли, к моменту запуска спутника была разработана П.Е. Эльясбергом, столетие со дня рождения которого российские баллистики отмечают в этом году.

Но более серьёзным обстоятельством была острая необходимость более подробного знания параметров пространственного движения спутника, нужных для интерпретации получаемых измерений от установленных на спутнике научных приборов. Эта задача так была обозначена М.В. Келдышем в 1955 г.:

5) исследования по обработке результатов измерений наблюдаемого объекта «Д» с целью предсказания его координат, а также с целью определения параметров атмосферы и уточнения сведений о потенциале земного тяготения.

Иными словами, кроме знания траектории полёта ИСЗ, было нужно, используя небесно-механические методы, узнать все параметры полученной его орбиты.

<sup>\*</sup>) Термин «оперативная работа» используется здесь для обозначения процессов выполнения расчётов для определения характеристик траекторий КА и формирования параметров управления их движением непосредственно в жёстких условиях реального времени протекания полёта.

<sup>\*\*)</sup> Правило местного времени: «Невысокий спутник может быть виден лишь перед восходом или вскоре после захода Солнца в месте наблюдения», - когда Солнце уже за горизонтом, а спутник ещё освещён Солнцем и виден на тёмном небе.

И вот после запуска первого ИСЗ, прямо в машине на 30-километровом обратном пути от «двойки» до «десятки» (имеются ввиду площадки полигона) М.В. Келдыш, обсуждая с Д.Е. Охоцимским и Т.М. Энеевым проблемы подготовки к пуску объекта Д – «академического» научного ИСЗ (им стал «Третий ИСЗ», запущенный в мае 1958 г.), поставил задачу попытаться определить параметры орбиты ИСЗ на установленной в ОПМ «Стреле».

В результате этого в ОПМ была немедленно сформирована бригада в составе: Т.М. Энеев, А.К. Платонов, Р.К. Казакова. А в НИИ-4 был отправлен твёрдый по характеру В.А. Егоров с заданием добиться установления телеграфной связи НИИ-4 с ОПМ для передачи получаемых данных наблюдений спутника. Ниже приводится первая полученная в ОПМ телеграмма, взятая из журнала наблюдений (интересно обратить внимание на её дату!).

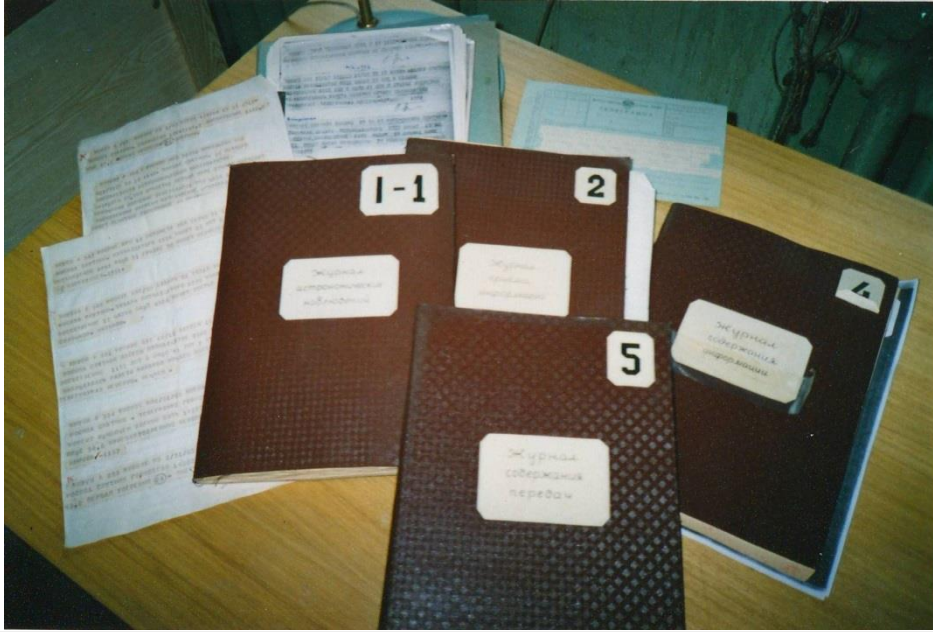
С большими усилиями проблема построения алгоритмов определения орбиты ИСЗ с помощью ЭВМ была решена в конце ноября 1957 г. Надо сказать, что в этой работе использовались оптические наблюдения не самих спутников (которые в силу их размеров были плохо видны), а их больших и ярко блестящих ракетносителей – сначала первого, а потом и очень быстро подготовленного ОКБ-1 и запущенного второго спутника.

Обстоятельства преодоления большого числа

неожиданно возникавших непредвиденных организационных, вычислительных и наблюдательных проблем были подробно описаны в [6] и позже – в [7], [8]. Здесь лишь нужно отметить, что в то время многие навыки ручных вычислений создателям машинных программ были неизвестны. После преодоления описанных в [8] алгоритмических и вычислительных трудностей новизны этой задачи в ОПМ был получен первый трудный опыт выполнения программирования алгоритмов для решения нелинейной задачи обработки траекторных наблюдений и выполнения расчётов в оперативном режиме получения телеграфных, слабосвязанных по времени и по месту, подчас случайных и часто ошибочных, данных.

ации	№ п/карты	Дата привла инф-ии	Число и название пункта наблюдений
		11/15-57	<p>== ЗАПИСКА СЛУЖЕБНАЯ == МОСКВА МИУБЫ КАЗАКОВОЙ=</p> <p>ПРИШЕЛ КЛЕМЕНТЕНКО И СООБЩИЛ, ЧТО ПЕРЕГОВОРЫ ПОКА НЕ ВОЗМОЖНЫ ОНИ БУДУТ ВОЗМОЖНЫ ТОЛЬКО ЗАВТРА КОГДА ПЕРЕСТАВЯТ ТЕЛЕГРАФНЫЕ АППАРАТЫ РЯДОМ СЕГОДНЯ ПО ТЕЛЕГРАФУ ПЕРЕДАВАТЬ НИЧЕГО НЕ БУДЕМ= ЕГОРОВ 18 ЧАС=</p>
		12/1-57.	<p>Образец цифровых наблюдений см. в журнале 5</p>

Рис. 1. Пример стиля речи В.А. Егорова и его настойчивости, успешно обеспечившей передачу телеграмм с наблюдениями спутника в ОПМ.



15/X-57

I = МОСКВЫ-СПУТНИК НР 124 03 15 10 1435=  
МОСКВА КАЗАКОВОЙ

ПУЛКОВО 10 10 05 15 562 12° 180' 680° 6 (58) УВЕРЕННО } *Ковиди... ракета, Часовая ...*

ПУЛКОВО 10 10 05 15 490 11 400 615 4 (48) УВЕРЕННО } *ис...*

~~УВЕРЕННО~~ РАКЕТА ИДЕТ ВПЕРЕДИ МЕНЯ ЯРКОСТЬ ОТ ПЕРВОЙ  
ДО ПЯТОЙ ВЕЛИЧИНЫ С ПЕРИОДОМ 20 СЕКУНД

УЖГОРОД 10 10 06 56 260 13 133 523 3 (51) БЕЗ ПРИМЕЧАНИЯ

ПЕТРОВДВОРЕЦ 10 10 05 15 120 17 416 788 2 (60) СКЛОНЕНИЕ НЕУВЕРЕННО } *...*

ПЕТРОВДВОРЕЦ 10 10 05 15 157 17 283 760 2 (62) СКЛОНЕНИЕ НЕУВЕРЕННО } *...*

ПЕТРОЗАВОДСК 10 10 05 15 473 05 470 573 2 (60) УВЕРЕННО =

EГОРОВ+ СУКОНЦИКОВА 15 15 =  
НР 124 93 ПРН СЕРОВ 1515 =

ПЕЛИНСТИТУТЕ - 1614

№ ОБЪ 0134 66 13 0010 ТОЛЬКО СПУТНИК

ЗАВА АДРЕСА МОСКВА СПУТНИК КОПИЯ ГУСМП БУРХАНОВУ

12 ОКТЯБРЯ 2304 МСК СЛЕДУЯ КУРСОМ 128 СРЕДИЗЕМНОМ МОРЬ

СЕВЕРНЕЕ ОСТРОВА МАЙОРКА ТОЧЕК ШИРОТА 395506 ДОЛГОТА 0227

ВОСТОЧНАЯ ВИДЕЛИ ПРОСТЫМ ГЛАЗОМ ЛЕТАЮДУ КУРСОМ 110

ЧЕРНАЯДУД ТОЧКУ ПОЛАГАЕМ СПУТНИК ПРОСИМ ПОДТВЕРДИТЬ

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОХОЖДЕНИЕ ЕГО ЭТОМ РАЙОНЕ ЭТО ВРЕИЯ ТЫК

НЫ ДААБШЕ СЛЕДУЕМ ЧЕРЕЗ ГИБРАЛТАР ВДОЛЬ ЗАПААИЧХ БЕРЕГОВ

АФРИКИ ПРОСИМ СООБЩИТЬ КОГДА СПУТНИК БУДЕТ НАХОДИТЬСЯ

НАИБОЛЕЕ БЛИЗКОМ РАССТОЯНИИ ЭТОГО РАЙОНА=ТОЛСТИКОВ=

134

ПЕРЕДИАН МОСКВЕ НВС1 НОВОСИБИРСКА 015752 21 13 0425 =

12 АДРЕСА ПЕРЕДИАН МОСКВА СПУТНИК КОПИЯ И-51 ИУТРК ПЕВИНУ =

Рис. 2. Журналы наблюдений и примеры весьма разных телеграмм.

*Интересно вспомнить, что первая вычисленная машиной траектория летящего ИСЗ имела перигей в южном полушарии примерно на 100 км ниже поверхности Земли. Этот неправдоподобный результат был связан с заметными ошибками привязки многих моментов наблюдений (с энтузиазмом выполняемых в том числе и школьниками) к секундомерам их учителей физики и, что более важно, – с малой измерительной базой оптических наблюдений, выполняемых лишь в северном полушарии на территории СССР.\*)* Это обстоятельство потребовало добавить алгоритм пороговой оценки достоверности очередного измерения по результатам обработки предыдущих измерений.

На этой работе впервые были поняты проблемы реализации средств и каналов для автоматической передачи данных, значение системы единого времени для привязки наблюдений и крайней необходимости организации наблюдений в южном полушарии Земли. В результате этой работы к моменту запуска объекта Д с богатым числом научных приборов на борту ОПМ получил необходимую готовность к проведению оперативных работ.

Удачным обстоятельством этого времени был приход в коллектив отдела Охотимского двух новых талантливых специалистов – М.Л. Лидова (из Астросовета) и Э.Л. Акима (из соседнего отдела).

М.Л. Лидов сразу же сумел оперативно обработать данные НИИ-4 об изменениях периода обращения 1-го ИСЗ вокруг Земли [9]. Он показал, что в упомянутой выше М.В. Келдышем и ставшей после пуска очень модной задаче определения параметров атмосферы Земли по результатам наблюдений за изменением периода спутника определить можно не плотность атмосферы, а лишь комплекс величин

$$\xi = \rho \sqrt{H}$$

– плотности атмосферы  $\rho$  на высоте спутника и высоты однородной атмосферы  $H$  (знаменателя показателя экспоненты  $u$  барометрической формулы, равно  $\approx 8$  км). Достаточно очевидно, что для разделения этих параметров необходимо знать профиль температур по высоте атмосферы. Практически это был первый научный результат, полученный от запуска 1-го ИСЗ.

А Э.Л. Аким, как оказалось, уже имел опыт оперативных работ по обеспечению пробных пусков баллистической ракеты Р-7 на Камчатку. В силу секретности мы о работах соседнего отдела М.Р. Шуры-Буры ничего не знали и были удивлены быстротой, с которой Аким вошёл в курс дела. После перехода в наш отдел он сыграл большую роль в процессе создания М.В. Келдышем «Ратана» - мощного в те годы радиотелескопа в Зеленчуке. В результате Э.Л. Аким сначала практически, а позже и административно возглавил в ОПМ (ИПМ) все оперативные работы по баллистическому обеспечению полётов советских КА к Луне и планетам Марс и Венера.

---

\*) К чести П.Е. Эльясберга и разработанной им методики ручного определения орбиты спутника (по наблюдениям трассы и измерениям периода его обращения) следует отметить, что орбита ИСЗ в НИИ-4 определялась правильно при использовании тех же оптических измерений. Это лишний раз доказывает, что знания и умения специалиста лучше любого компьютерного алгоритма.



## Начало оперативного обеспечения полётов к Луне

В результате работы В.Е. Егорова на СЦМ (показавшей, что можно продемонстрировать точность системы управления ракеты Р-7 попаданием в Луну простым прицеливанием – без последующей коррекции траектории полёта) начались активные работы по оперативному обеспечению пусков КА к Луне. Первой целью этих пусков было просто долететь до Луны, и это уже потребовало слежения за полётом КА и определения факта его попадания в Луну.

*Интересно вспомнить обстоятельства оперативной работы первого лунного пуска. Вся команда во главе с Т.М. Энеевым в зале «Стрелы» с нетерпением ждала сообщений из НИИ-4 о радионаблюдениях полёта ракеты на активном участке. Когда эти данные пришли, то мы стали аккуратно наносить их на заранее рассчитанный график ожидаемых радиоизмерений полёта ракеты и с всеобщим восторгом видели, как точно ложатся измерения на нашу кривую – как точно летит ракета! Но тут пришло сообщение, что пуск неудачный, ракета не улетела и работа закончена. Выяснилось, что получаемые нами «радиоданные» были нашими же целеуказаниями для радиосистем, возвращаемыми нам с пунктов наблюдения вместо реальных измерений...*

Вскоре потребовалось наше с М.Л. Лидовым и В.А. Егоровым участие в команде Е.Я. Богуславского на первом советском пункте дальней космической связи в Крыму. Большая прямоугольная антенна этого пункта была установлена на территории астрономической обсерватории в Симеизе на горе «Кошка»<sup>\*)</sup>. Наша задача была по заранее подготовленным графикам при подлёте к Луне почувствовать влияние её притяжения на данные радиоизмерений и оценить примерные параметры точности попадания в Луну. Несмотря на известные неудачи ряда пусков Р-7 к Луне, связанные с развитием больших колебаний топлива в её баках<sup>\*\*)</sup>, наши ежемесячные поездки в Симеиз обеспечили нам хороший контакт с радистами и дали более тонкое понимание как их проблем, так и наших проблем наблюдаемости движения КА в поле гравитационных сил Луны. Эти обстоятельства очень нам с М.Л. Лидовым позже помогли при реализации проектных и оперативных работ с Е.Я. Богуславским и его сотрудниками для обеспечения фотографирования обратной стороны Луны. Новый 1959 г. с его успешным, наконец, 2 января запуском Р-7 к Луне мы встретили в стенах обсерватории в Симеизе. А далее, как говорится, «пошло-поехало».

---

<sup>\*)</sup> Удивительной романтикой новеллы К. Паустовского «Созвездие Гончих псов» была наполнена атмосфера этого первого пункта дальней космической связи. Уже сама узкая дайка горы Кошка с её древними захоронениями, следами немецкого локатора на её вершине (М.Л. Лидов любил упоминать «350 м над уровнем моря!») и башнями обсерватории была крайне удивительным местом. Не менее впечатляющей была и любовно сделанная аппаратура первых радиосредств наблюдения за полётом КА к Луне в сочетании с атмосферой энтузиазма сотрудников Богуславского и Малахова – её создателей и наладчиков. Этому содействовало потрясающее сочетание духа астрономии, радиотехники и службы тыла советской армии, организовавшей палаточную кухню рядом с палаточным рестораном с его фужерами и полным набором столовых приборов, где мы в ожидании пуска на Луну 3 месяца с перерывами питались одновременно с главными конструкторами и генералами.

<sup>\*\*\*)</sup> Понадобился демпфер колебаний топлива перед ТНА. «Жидкость и упругость по сей день заставляют объединяться еще на этапе начального проектирования создателей ракеты и системы управления» - Б.Е. Черток.

Расширение космических полётов привело к скорому созданию в ОПМ Баллистического центра на базе части сотрудников 5-го (Д.Е. Охоцимский) и 12-го (А.Н. Мямлин) отделов института. Приказом директора руководителем БЦ ОПМ был назначен Э.Л. Аким. В ОПМ были проведены (и они проводятся и поныне [10]) работы по оперативному баллистическому обеспечению практически всех полётов КА, запущенных в нашей стране к Луне, планетам и кометам солнечной системы [11].

Если посмотреть на таблицы дат пусков и полётов к Луне и к Венере (см. [10], стр. 11 и 14), то даже из краткого перечисления только официально известных запусков хорошо видно, какое большое количество КА прошли через руки и головы сотрудников Баллистического центра ИПМ им. М.В.Келдыша и вычислительные машины института. Эти данные не учитывают числа аварийных запусков КА. Одна мягкая посадка на Луну 31 января 1966 года потребовала 9 отработочных пусков ракет. К Марсу неудачно и не очень удачно летали ещё 8 раз. Таблицы содержат диапазон дат с 1957 г. по 1985 г. За эти 28 лет произошли запуски 3-х спутников, 26 лунных, 8 марсианских, 18 венерианских экспедиций и 2 экспедиций к комете Галлея (в целом – 57 работ БЦ ИПМ).

Во всех этих случаях в институте действовал режим круглосуточных оперативных работ, проводимых на упомянутых ЭВМ: «Стрела-1», «БЭСМ-4», «М-20» и «БЭСМ-6». Теперь эти работы БЦ ИПМ проводит на мощных персональных компьютерах и сетевых серверах.

Тяжесть этих работ ранних лет осложнялось тем, что каждый новый КА и каждая новая ЭВМ не были совместимы с предыдущими. Практически, сотрудникам баллистического центра ИПМ пришлось переделывать свою работу за вычетом парных пучков не менее 50 раз – столько раз, сколько было новых КА и новых ЭВМ. Менялись номера изделий 8К72, 8К78 и др., менялись КА – Е-2, Е-3, Е-6, Л-1, Л-3, М-1, В-1, В-1А, 2МВ... В системе управления использовались разные датчики ориентации КА (земной, солнечный, звёздный, гироскопические), менялась процедура ввода «уставок» (так называются передаваемые по радио на борт КА данные для управления работой бортовых систем КА) и были еще десятки других более мелких изменений. В этой ситуации требовались предельная сосредоточенность и чёткая организация работы. Это было делом рук и голов баллистиков ИПМ, коллектив которых не был велик. Ниже мы упоминаем их имена. Эти люди все те годы подолгу и часто не знали, что такое нормальный сон.

*Запомнился такой случай: однажды поздно вечером М.В. Келдыш вместе с заведующим «баллистического отдела» ИПМ Д.Е. Охоцимским пришёл в машинный зал ЭВМ «Стрела», посмотрел на нас и вдруг спросил: «Дмитрий Евгеньевич, не загнали ли Вы своих сотрудников?» А сотрудники эти знали, что ещё целая ночь дефицитного машинного времени впереди принадлежит им, и пока ещё об усталости и не думали.*

И если вспомнить, что в ЭВМ того времени весь программный продукт и все данные вводились с помощью перфокарт и перфолент с пробитыми на них

отверстиями для ввода только либо нуля, либо единицы, то можно себе представить, сколько миллионов дырочек должны были быть (и – были!) пробиты правильно. Вспоминая о последних неудачах космической техники, нельзя не отметить, что в успехах советских ракетно-космических пусков главную роль играла высокая ответственность и тщательность работы людей на всех уровнях – от академика до лаборанта...



Рис. 3. Пример числа программных модулей лишь в одном из многих программных комплексов для баллистического обеспечения оперативных работ

## Содержание и устройство оперативных вычислений

В чем же заключались и как проводились описываемые оперативные расчёты для прогнозирования и управления движением КА?

Оперативная работа означала, что все баллистические группы находятся на своих местах, программы все отождествлены с соответствующими организациями, ЭВМ проверены тестами и все ждут траекторных измерений. Наблюдение за полётом КА выполнялось сначала Наблюдательными измерительными пунктами (НИП) на территории Советского Союза. Известно, что НИПы расположены так, чтобы имелась возможность охватить всю территорию Советского Союза во время сеансов связи с КА: № 1 – Тюра-Там, 3 – Сары-Шаган, 4 – Южно-Енисейск, 6 – Петропавлоск-Камчатский, 10 – Симферополь, 13 – Улан-Уде, 14 – Москва, 15 – Уссурийск, 16 – Евпатория... Позже для наблюдений за

полётом в южной полусфере неба были построены специальные корабельные пункты дальней космической связи – большие корабли «Королёв» и «Комаров».

Получаемые на НИП измерения параметров движения КА передавались с высокой скоростью в Баллистические центры по телефонным каналам в полуавтоматические устройства ввода данных (ПУВД), где они автоматически пробивались на перфокарты, которые затем вводились в ЭВМ. Первый ПУВД появился в ОПМ уже в ноябре 1957 года. Здесь очень большая работа была проведена коллективом инженеров ОПМ во главе с А.Н. Мямлиным.

Можно проследить работу ПУВД по еще сохранившимся тетрадам учёта приема информации. Из них хорошо видно, что информация с этих пунктов приходила в любом неожиданном порядке их номеров. Во всей этой, казалось бы, сумятице вперемежку приходящих данных надо было быстро разобраться, что делала ЭВМ по заранее составленному алгоритму. Надо сказать, что были длительные периоды, когда почти в одно и то же время шли полёты и к Луне, и к Марсу. Следовательно, вперемежку участвовали еще и номера объектов. Надо отметить, что серии КА имели свою спецификацию. Так, венерианские объекты имели номер 66№, марсианские – 70№.

### ***Предварительная обработка получаемых измерений***

Информация с ПУВД выдавалась на перфокарты. Сотрудники 5-го отдела «хватали» очередную порцию перфокарт с ПУВД и мчались с ней к ЭВМ в соседний корпус, где эту информацию нетерпеливо ждали обработчики-баллистики. Там на самом первом этапе оперативных работ необходимо было определить правильность получаемых радиоданных, для чего в ИПМ была создана уникальная программа (Э.Л.Аким, Г.С.Попов – её следы можно увидеть в [12]) для моделирования устройства радиосистем пунктов наблюдения за полётом КА. Уникальность этой очень важной программы подтверждалась фактами обнаружения с её помощью даже таких ошибок, как ошибка положения тумблера на пульте управления в конкретном НИП. Верификация получаемых данных в дальнейшем резко сокращала потери оперативного времени.

Далее выполнялась процедура определения параметров траектории с осреднением случайных шумов радионаблюдений и, что более важно, – с исключением влияния систематических ошибок различного рода. Эти работы (Э.Л.Аким, В.Т.Гераскин, Г.С.Заславский, А.Г.Тучин) базировались на широком использовании небесно-механической модели гравитационных возмущений траектории полёта конкретного КА. Задачи этого этапа относятся к классу нелинейных многопараметрических задач обработки косвенных измерений [6], [13]. Этим задачам свойственны «овражные» эффекты, препятствующие сходности процессов решения. Впервые это обстоятельство было выяснено и понято его содержание при упомянутом выше первом опыте использования ЭВМ для определения ИСЗ по оптическим наблюдениям. В этой работе Т.М. Энеевым был построен метод «параболического спуска» (см. [6], [7], [10 –

стр. 135, 136] и [13]), обеспечивающий быструю сходимость и широко используемый теперь в других баллистических центрах.

В расчётах орбит большое значение имеет правильное использование астрономических данных, в частности – учёт прецессии и нутации экватора Земли и точной связи их со средним солнечным временем. Это необходимо для определения в любой момент текущего или прошлого (даже очень прошлого) времени - правильного положения географических координат пунктов на Земле относительно наблюдаемого в небесном пространстве КА [14].

*Здесь нельзя не вспомнить уже забытую историю «нутационной ошибки» всех трёх баллистических центров. На протяжении целого ряда пусков к Луне объекта Е-6 определяемые по радионаблюдениям параметры его траекторий у всех трёх БЦ хорошо совпадали, и это давало их коллективам уверенность в своих результатах. Но при очередном полёте астрономы Бахчисарайской обсерватории АН СССР сумели (это был их подвиг) не только получить фотографию объекта на расстоянии около 100 тыс. км от Земли, но и привязать его изображение к координатам небесной сферы (рис. 4).*

*И тут выяснилось, что наши рассчитанные параметры заметно отличаются от параметров фотографии летящего объекта. Разбирательство быстро показало тривиальную ошибку моделей измерений у всех трёх БЦ, – использование усреднённого положения оси Земли вместо её истинного нутационного положения. Очевидно, что радиоизмерения, привязывающие координаты летящего объекта к географическим координатам НИИ, не могут почувствовать разницу положения объекта относительно звёзд при переходе от среднего экватора к истинному. А наблюдения объекта на фоне звёзд – могут.*

Этот случай показал большую важность для правильного определения траекторий полёта КА использования измерений разного состава с их неодинаковой геометрией привязки положения КА к Земле и к небесной сфере.

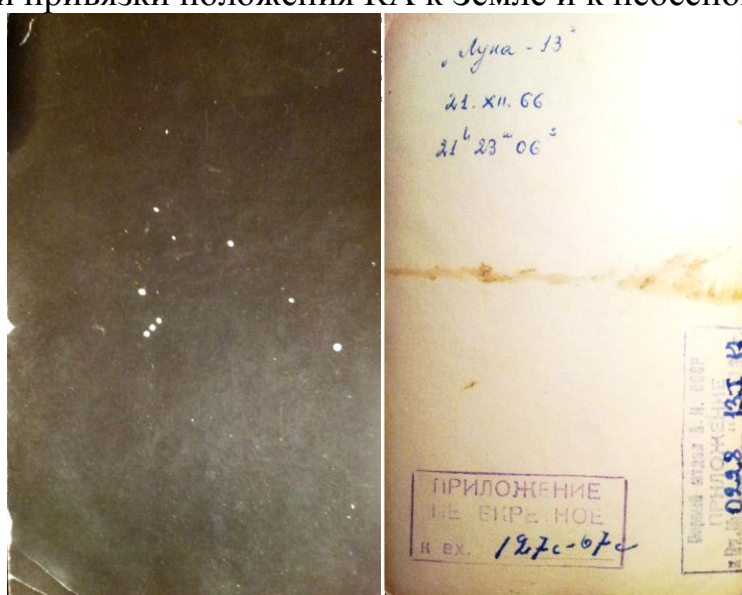


Рис. 4. Трёхразовое фото, которое позволило найти на небе летящий объект Е-6. Противоречие между оптическими и радионаблюдениями КА обнаружило неточность используемой модели пространственного положения Земли.

В связи с этим нужно сказать, что в создании вычислительных данных для используемой небесно-механической модели большую роль в те годы сыграл заведующий отделом астрономических ежегодников в Институте теоретической астрономии АН СССР (ИТА) В.К. Абалакин (см. [15]). Дело в том, что все баллистические расчёты проводятся в неподвижной эклиптической или геоэкуаториальной системе координат, с остановленной прецессией экватора Земли в какую-то эпоху<sup>\*)</sup>. А в астрономических публикациях все параметры движения планет, Земли, Луны и центра масс Земля-Луна приводятся относительно текущего положения экватора («истинной точки весеннего равноденствия» – направления оси X, общей для упомянутых систем координат). В связи с этим обстоятельством отдел В.К. Абалакина регулярно готовил для баллистиков все необходимые данные в согласованной «замороженной» системе координат. После того, как стали доступны аналогичные данные НАСА (и пока они доступны), деятельность ИТА стала менее востребованной.

### ***Оценка точности определения прогноза движения КА***

Следующим этапом оперативной работы является прогнозирование будущих параметров движения КА. Эта задача требует вперёд по времени численного интегрирования модели движения, построенной в результате обработки траекторных измерений с определением получаемых значений прицельных параметров. Для этого в Баллистическом центре ИПМ в разные годы были разработаны (В.А. Егоров, А.К. Платонов, В.А. Степаньянц, З.П. Власова) мощные средства быстрого и наиболее точного численного интегрирования полученной траектории движения КА для моделей активных (ракетных) и пассивных (гравитационных) действующих сил [1]. Дело в том, что на ЭВМ того времени – М-20 и БЭСМ-4 – численное интегрирование одной траектории полёта к Луне занимало около получаса, а полёта к Марсу – около полутора часов. Поэтому такие средства тогда были крайне необходимы.

На этом втором этапе оперативной работы возникает самый важный результат – текущее представление о параметрах орбиты КА. Однако надёжность этого результата неизвестна без знания его точности. Задача определения точности обработки косвенных измерений относится к классу задач, не имеющих формальных процедур решения [16], [17], [18], [19]. Слишком много неизвестных ошибок измерений и модели движения (т.н. «мешающих параметров»), которые искажают полученный результат. Вероятностные оценки здесь неуместны, поскольку цена полёта (а тем более – жизнь космонавта) требуют знания траектории полёта на уровне вероятности «почти наверное» ( $3\sigma$  и выше).

Решение задачи оценки точности знания параметров траектории опирается только на опыт и профессионализм команды баллистиков. Можно образно сказать, что решение ищется и в действительности находится не иначе как «на уровне колдовства». Вместе с тем, за все годы работы Баллистического центра ИПМ не было достоверного случая неверной оценки точности знания орбиты

<sup>\*)</sup> В астрономии, в отличие от поэзии и геологии, эпоха означает единственный выбранный момент времени

полёта<sup>\*)</sup>. Интересно отметить, что в настоящее время усилиями сотрудников Баллистического центра ИПМ это «неформализуемое колдовство» всё-таки уже заложено в программное обеспечение, подсказывающее ответ. Но решение всё же остаётся за человеком. «Бог из машины» здесь недопустим.

### **Задачи управления движением КА**

Если параметры траектории не удовлетворяют требуемым условиям движения КА, возникает следующая задача оперативных расчётов – задача исправления траектории его полёта [20]. Её решение потребовало разработки быстрых методов удобного описания и быстрого решения краевых задач прицеливания в пространстве параметров, определяемых условиями полёта КА (А.К.Платонов, В.Г.Киселёв, В.К.Шелухина, Р.К.Казакова и Н.В.Григорьева) [211]. Большое значение в этой работе сыграла хорошо известная в среде баллистиков работа В.И. Чарного [22].

Для ускоренного оперативного решения этих задач были созданы (А.К.Платонов) модели и методы определения способов и параметров коррекции ошибок его орбиты – с использованием как основного ракетного двигателя КА, так и слабых двигателей управления его ориентированием [23], [24], [25]. В последнем случае уже нельзя было использовать импульсную модель корректирующего изменения скорости полёта. Это связано с большим временем действия низкого ускорения до достижения нужной скорости и заметно изменяющимися за это время координатами КА [26], [– стр. 181-190]. Метод аналитического расчёта параметров коррекции с уточнением их уставок точным интегрированием был реализован в оперативном комплексе управления движением КА (Р.К.Казакова, В.К.Шелухина, К.Л.Волкова, Н.С.Малинина).

Существует также большой объём оперативных баллистических расчётов, связанный с задачами управления направлением осей бортовых приборов и ориентацией в пространстве корпуса КА. Здесь существуют задачи наведения оптических труб на Солнце, звезду (Канопус<sup>\*\*</sup>), Луну, Землю, выполнения разворотов КА для коррекций, наведения на Землю остронаправленной радиоантенны и фотографирования Земли и Луны. Это потребовало разработки комплекса программ с использованием большого числа программных моделей устройства элементов ракетной, оптической и вычислительной техники на борту КА (А.К.Платонов, В.Б.Бритков, В.А.Рясин, В.П.Гончар, Л.Т.Громова).

Сложность таких работ в режиме реального времени связана с многоэтапностью операций борта КА и не полностью заранее определённой последовательностью связанных с этим вычислительных операций, необходимых для принятия решений на уровне руководителей полётом КА.

---

<sup>\*)</sup> Признанным мастером этой операции был Э.Л. Аким, который, просмотрев большое число пробных расчётов, задумчиво, но уверенно называл требуемое число «плюс-минуса» величины предполагаемой погрешности знания орбиты..

<sup>\*\*</sup>) Канопус – вторая по яркости звезда на небе, своим расположением у южного полюса обеспечивает малые повороты звёздного датчика при длительном полёте КА вблизи небесного экватора вокруг Солнца.

*В качестве примера приведём один из многих случаев возникновения неожиданных задач управления КА. При полёте к Луне космического зонда (объекта Л-1) неожиданно возникла необходимостью любым способом выдвинуть из тени КА под лучи Солнца остывающий баллон воздушной системы ориентации с температурой рабочего тела, по телеметрическим данным уже близкой к точке росы. Решение было найдено с помощью оперативного определения такой фиктивной точки на небесной сфере, фотографирование которой обеспечивало требуемый поворот КА. Это было сделано В.Б. Бритковым.*

Самым большим достижением при создании в те годы программного комплекса для решения задач управления системами КА была его удачная блочно-модульная конструкция состава нужных модулей на перфокартах (см. рис. 3) с их заглавными картами, управляющими взаимной связью и синхронизацией программ. Разработанная технология использования управляющих карт из системы ИС-2 М.Р. Шуры-Буры обеспечивала максимальную гибкость набора нужного состава программ с их требуемым содержанием или способом расчётов. Каждая управляющая карта содержала место программного модуля в памяти ЭВМ и адреса передачи управления на следующие модули программного комплекса после правильного или неправильного окончания работы этого вводимого модуля. Управляющая карта первого модуля содержала информацию о начальных данных текущего расчёта и передавала управление на начало работы следующего подложенного в наборе модуля. Такая организация позволяла в любых ситуациях легко и быстро обеспечить реализацию нужного дерева расчётов в ответ на возникающие в процессе полёта непредвиденные изменения параметров движения или ориентации приборов КА<sup>\*)</sup>.

Решение задач управления ориентацией КА и его систем заметно осложнено необходимостью учёта информации о погрешностях их изготовления. С целью упрощения моделей осей зрения и конических вращений осей приборов КА уже в процессе подготовки полётов к Луне объектов Е-6 был развит упомянутый в [1] эффективный комплекс операторов расширения векторной алгебры (РВА) [27] и [28]. Операторы РВА решают задачи определения требуемых углов поворотов вокруг заданных осей для совмещения направлений векторов, положение которых задано в связанной и в абсолютной системах координат.

После определения требуемых характеристик управления траекторией и ориентацией КА было необходимо по командной радиолнии (КРЛ) передать на борт КА «уставки» его бортовых систем, обеспечивающие выполнение требуемого манёвра управления. Важность этой операции требовала построения модели КРЛ с учётом дискретности её импульсных устройств, приводящей к погрешностям реализации требуемого движения. С этой целью был создан (Р.К.Казакова, В.Б.Бритков, В.К.Шелухина, К.Л.Волкова, Н.С.Малинина) метод шифровки и, главное, – обратной поверочной дешифровки уставок управления

---

<sup>\*)</sup> Интересно отметить, что на первой Всесоюзной конференции программистов в Новосибирске этот комплекс программ для оперативного управления движением КА неожиданно оказался самой большой по величине программой из заявленных программ того времени.



бортовыми системами КА с численным интегрированием получаемых дискретных значений характеристик последующего полёта. При этом отдельной функцией комплекса программных модулей оперативной работы было картографическое обеспечение результатов полёта – определение значений координат векторов в земных, лунных и планетных широтах и долготах.

Для коррекции рассчитывались дополнительно к основным уставкам еще и резервные – на случай, если произойдет какой-нибудь сбой либо в аппаратуре объекта, либо если уставки не смогут быть переданы на борт. В резервном варианте коррекции двигатель включался на два часа позже (из этого видно характерное время работы с бортом КА у наземных служб того времени).

Последним шагом у каждого из описанных этапов оперативной работы было автоматическое формирование телеграмм с содержанием получаемых промежуточных и конечных результатов расчёта для обмена информацией между БЦ и ЦУП. Для каждого космического объекта существовало специфицированное множество таких телеграмм. Каждая телеграмма имела заранее оговоренный вид («форму») с уникальным номером. Некоторые телеграммы содержали не только полученные физические значения параметров, но и их кодировку в двоичном виде уставок для бортовых или наземных систем управления.

Пример одной из таких форм телеграмм приводится на рис. 5.

В оперативных расчётах по управлению КА принимали участие в последние годы два Баллистических центра – ЦНИИ-МАШ – БЦ №1 и ИПМ АН СССР – БЦ №2. Прежде чем посылать уставки на борт КА, два БЦ отождествляли свои расчёты и договаривались, чьи уставки будут посланы на борт.

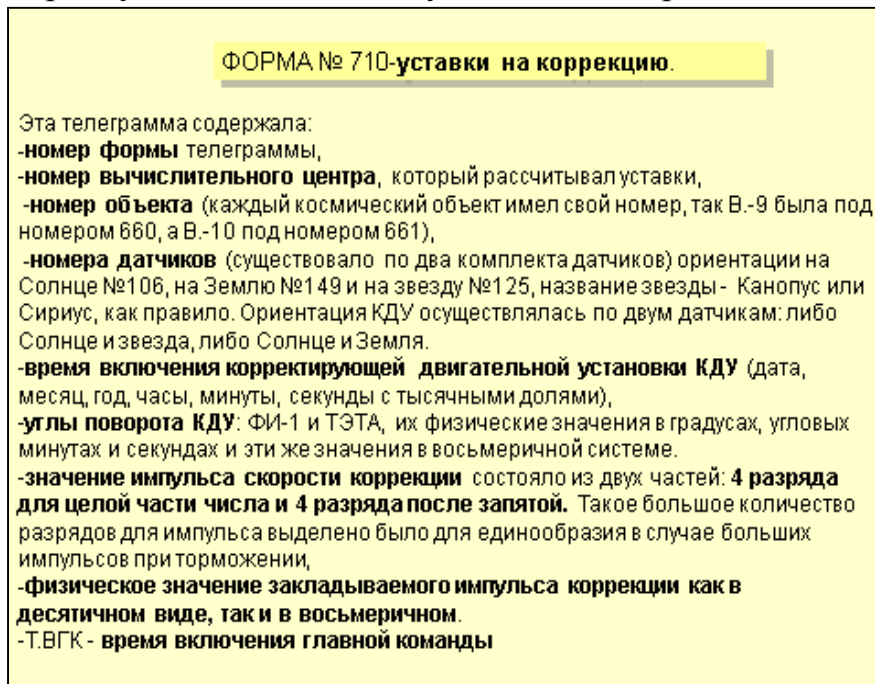


Рис. 5. Содержание формализованной телеграммы.

Получаемые числа автоматически выводились на телетайп. И если расхождения были в допустимых пределах, то «головник» (НИИ-4 или ЦНИИМАШ) предпочитал засылать свои уставки, – так им было удобнее по техническим соображениям. Но в оперативном альбоме наши получаемые по телеграфу уставки приводились рядом с уставками, отправленными на борт. В историческом плане интересно отметить ситуацию соревновательности в точности и скорости определения элементов траектории, образно говоря, переполнявшего каналы связи между баллистическими центрами.

## Организационная деятельность БЦ до и во время полёта

Описанные выше работы во время полёта требовали большого объёма предварительной их организации. Задолго до пуска выполнялся ряд операций.

- Определялись **периоды планируемого полёта и ожидаемые даты старта.**
- Большую работу представляло составление комплекта ведущих документов: **Эскизный проект, Исходные данные (ИД) алгоритмов баллистического обеспечения с последующими протоколами их изменения, Полётное задание (ПЗ), Временной график сеансов связи с КА.**
- **Определялся состав «команды»** для проведения всех работ для данного объекта: список сотрудников с их «позывными» на оперативной связи, создание условий для сотрудников при круглосуточных работах. Здесь хочется отметить **безупречную работу женской части коллектива** отдела Охоцимского. Никогда не требовались отгулы или дополнительная оплата за работу в праздничные дни. Женщины, обременённые семьями, работали наравне с мужчинами сутками и неделями.
- Выбор и развитие **парка вычислительных машин и сетевое взаимодействие** с параллельными баллистическими центрами.
- Предполётная подготовка: **согласование с НПО им. Лавочкина, НИИ-4 и ЦНИИМАШ** программы полёта.
- **Отождествление с ОКБ-1 расчётов номинальной траектории: расчёт активного участка (АУ)** с вводом закона изменения угла тангажа и графиков (см. выше) секундного расхода и тяги ЖРД ступеней ракеты с их импульсами последствия после команды выключения тяги.
- **Согласование систем координат** при передаче векторов из одного комплекса программ в другой.
- **Определение оптимальных вариантов коррекции и требуемого запаса характеристической скорости.**
- **Согласование обстоятельств расчёта уставок бортовых систем и программирование необходимых программ<sup>\*)</sup>.**
- **Расчёт движения на припланетном участке траектории: увод спускаемого аппарата (СА), торможение, спуск, фотографирование поверхности.**
- **Составление и программирование форм телеграмм.**
- **Программирование и предполётное согласование между БЦ результатов работы их программных комплексов.**

В процессе полёта получаемые результаты и телеграммы с уставками **фиксировались в специальных альбомах** и при этом отмечались те, которые из них были посланы на борт.

---

<sup>\*)</sup> Уставки передавались во вложенных дополнительных кодах трёх разных регистров: КРЛ, приёмника борта и прибора. Для передачи числа импульсы добавлялись в младший разряд регистра до переполнения старшего разряда. Значит на регистр КРЛ надо было дополнительным кодом его регистра передать дополнительный код в регистре бортового приёмника, который содержал дополнительный код регистра прибора (например, интегратора). При работе прибора импульсы по одному приходили на его регистр до переполнения.

Подготовка к полёту требовала больших усилий и занимала много времени до фактического старта ракеты. Перед полётом шли регулярные тренировки для проверки готовности программ и отождествления получаемых результатов.

*Вспоминается случай большого напряжения, когда уже близко к моменту начала полёта к Марсу мы на протяжении долгого времени не могли найти ошибку в колоде перфокарт с алгольной теорией движения Фобоса и Деймоса, присланной нам из Института теоретической астрономии. Героем найденной ошибки стал В.Б. Бритков, который, непрерывно транслируя эту колоду, методом деления пополам выделил, наконец, ту единственную перфокарту с ошибкой. На перфокарте – несколько операторов Алгола. И вот – на протяжении недели не менее 5 пар глаз безуспешно пытались найти причину непонятных сообщений транслятора об ошибке. Причиной оказалась тривиальной: вместо квадратных скобок в некоем месте перфокарты были набиты фигурные! Ситуация со скобками Алгола знакома многим, а нам после этой истории – особенно...*

До КА В-9 и В-10 аппараты для полёта к Венере и Марсу были примерно одинаковой конструкции, и поэтому они назывались «объекты 2МВ». Эти космические аппараты выводились на траекторию полёта к Венере с помощью ракеты Р-7 с 3 и 4 ступенями. Начиная с В-9 и В-10 в качестве ракеты носителя использовался «Протон» с 4 ступенями, что позволило посылать к Венере аппараты гораздо большего веса. Для баллистиков это изменение означало переделку всех программ, начиная от расчётов активных участков «Протона» до математических моделей орбитального аппарата (ОА), его систем ориентации, коррекции и спуска в атмосфере Венеры [29].

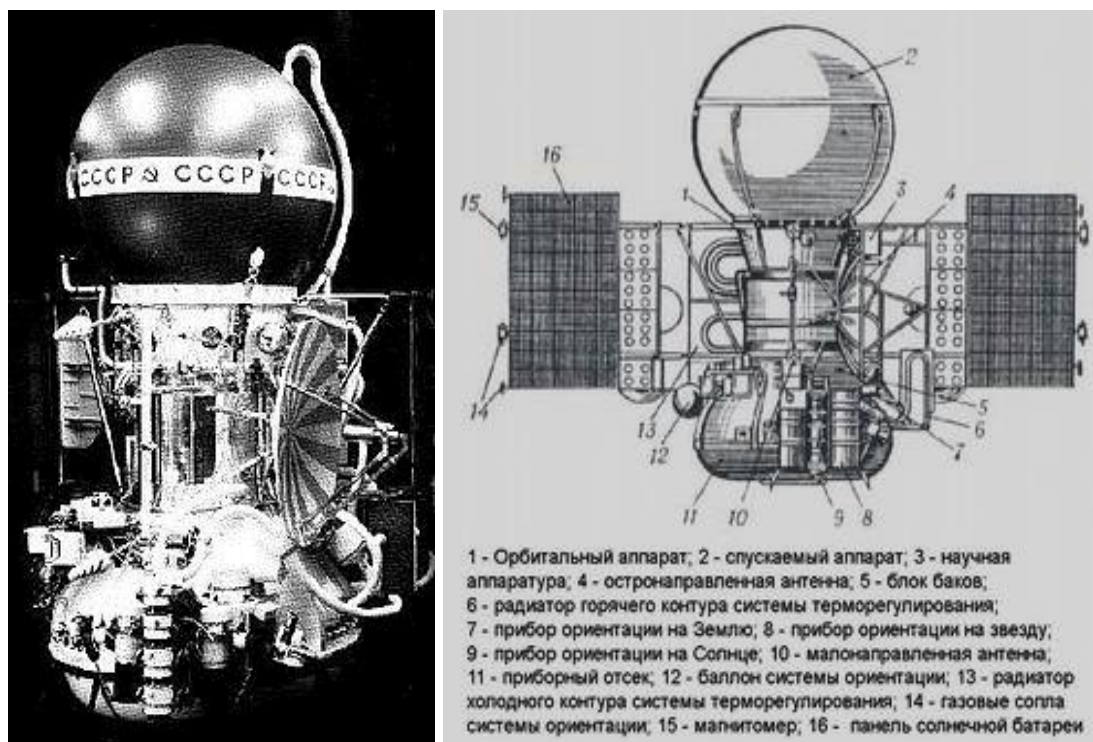


Рис. 6. Венера-10 с перечнем приборов, уставки ориентации которых рассчитывались.

Приведём пример перечня операций, выполненных баллистическими центрами при полёте к Венере в 1975 г.:

- **Выведение РКК на орбиту ИСЗ, старт с орбиты ИСЗ** в конце первого витка на межпланетную орбиту перелёта.
- **Проведение двух коррекций** для выполнения заданных условий входа СА в атмосферу планеты и его посадки в выбранный район Венеры.
- **Разделение СА и ОА** за двое суток до прохождения условного перицентра подлётной гиперболы и **перевод ОА на пролётную траекторию с направлением облёта планеты, противоположным движению СА.**
- **Торможение ОА** в районе перицентра для перевода на орбиту искусственного спутника Веперы (ИСВ).
- **Полёт СА по попадающей траектории** до входа в атмосферу Венеры.
- **Аэродинамическое торможение СА.**
- **Посадка** с последовательным использованием парашютных тормозных посадочных щитков.

Оба припланетных манёвра должны были обеспечить опережение орбитальным аппаратом спускаемого аппарата с тем, чтобы к моменту входа СА в атмосферу Венеры ОА уже находился на орбите спутника в зоне связи с СА. Сложность этих манёвров усугублялась тем, что непосредственно перед включением двигателей торможения, системы ориентации теряли опорное светило – Солнце, т.к. ОА входил в тень планеты, а затем теряли связь с Землей – ОА заходит за Венеру. Для решения задачи создания спутников в этих условиях был выбран **автоматический режим работы по заранее рассчитанным и переданным на борт уставкам сеанса торможения.**

Более простой – пролётного варианта полёта к Венере показан на рис. 7.

Для организации перечисленных работ с КА была создана БГ – «Баллистическая группа» с её формальным председателем – М.В. Келдышем (он утверждал руководящие документы) и с рабочими председателями – М.А. Казанским из ЦНИИМАШ и Г.П. Мельниковым из НИИ-4.

В состав БГ входили представители ЦНИИМАШ: М.А.Казанский<sup>\*)</sup> – руководитель группы (позывной 20-1), Н.М. Иванов (позывной 20-2), Т.Д. Агеева<sup>\*\*)</sup>; ИПМ АН СССР: Э.Л. Аким – руководитель БЦ-3 (позывной 3-01), А.К. Платонов – зам. руководителя по проблемам коррекции (позывной 3-02), М.Л. Лидов (позывной 3-03); НИИАП – А.Б. Найшуль и специалисты из НПО им. Лавочкина и из НИИ-4.

Для упрощения работы по громкой связи в каждом БЦ каждому сотруднику также присваивался его персональный позывной.

<sup>\*)</sup> Нельзя не вспомнить добрым словом и с большим уважением этого замечательного «отца всех баллистиков», обеспечившего дружную работу баллистической группы на протяжении ранних лет всех пусков Е-6 с 2МВ и последующих удачных полётов к Венере и неудачных к Марсу.

<sup>\*\*)</sup> Т.Д. Агеева – член (вместе с И.К. Бажиновым и О.В. Гурко) знаменитой группы М.К. Тихонравова в ранние годы НИИ-4 (см. [4]), в эти годы была заметным помощником М.А. Казанского в деятельности БГ.

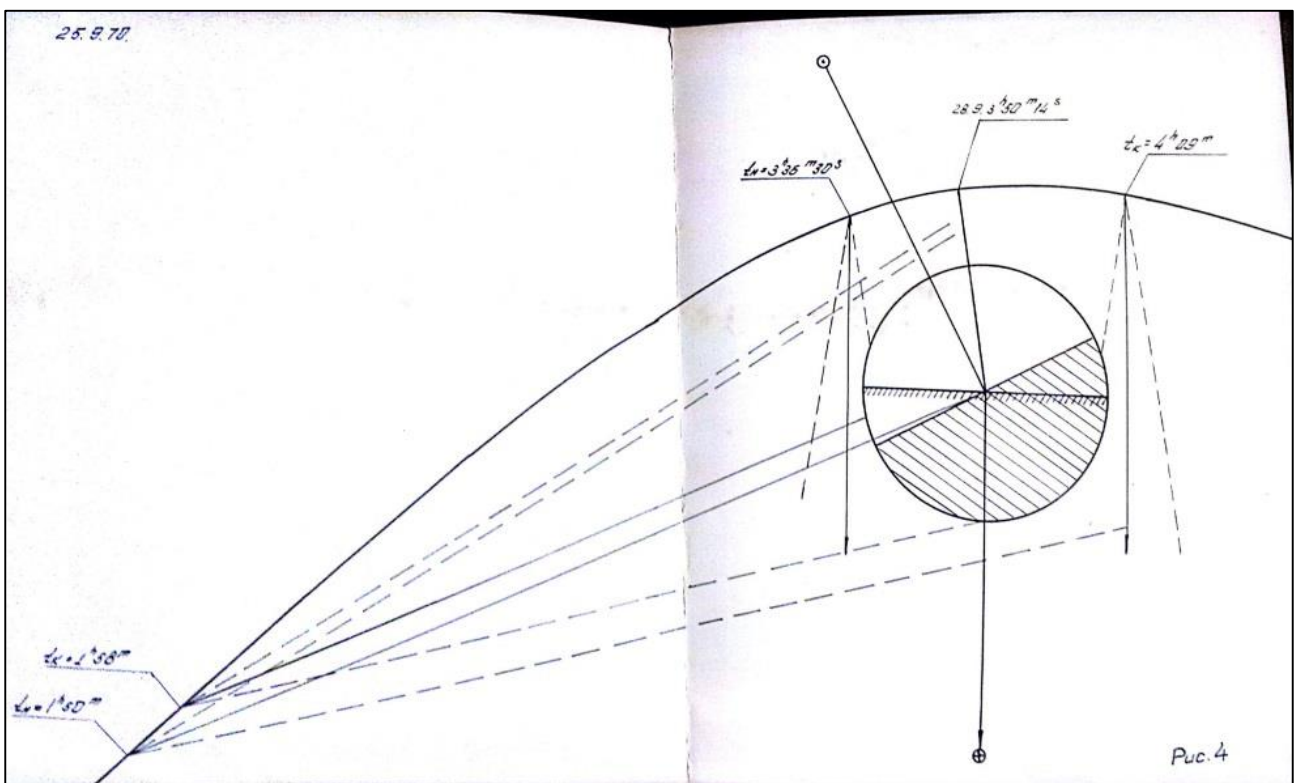
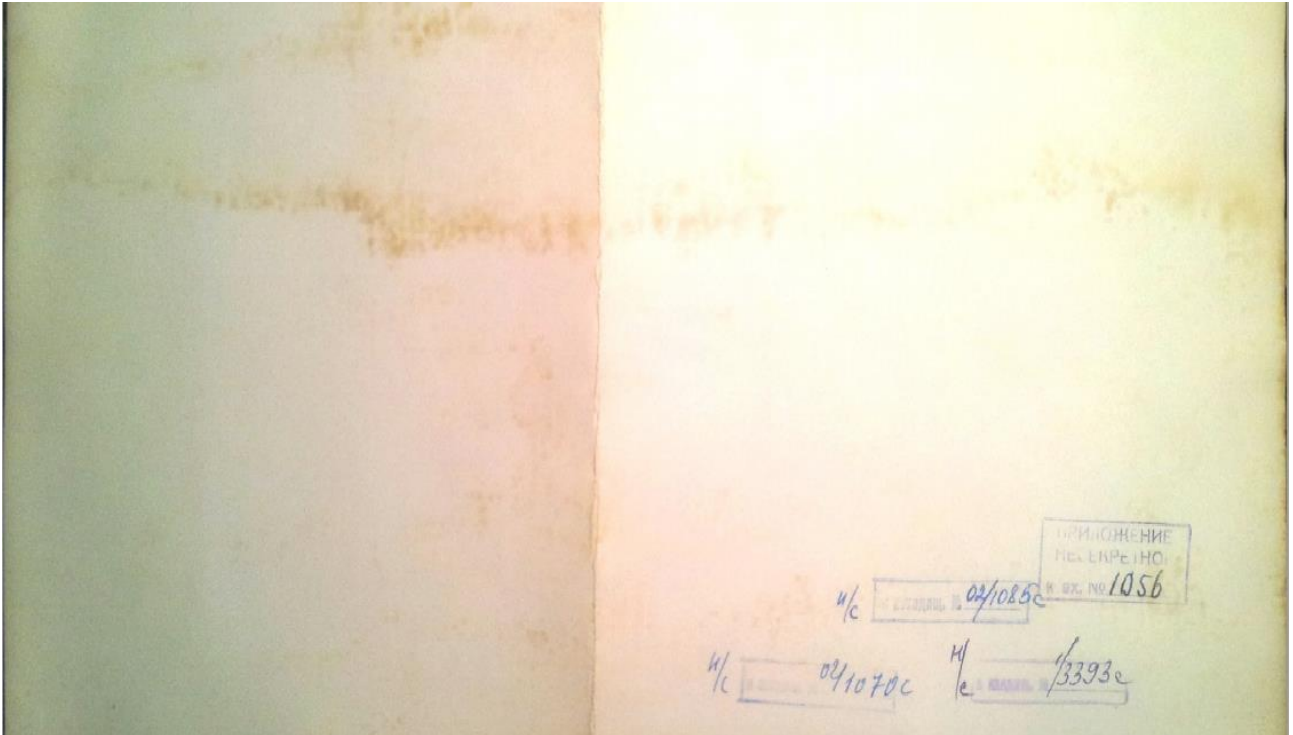


Рис. 7. Схема сеанса торможения при полёте к Венере в 1970 г. с посадкой на светлую сторону (из материалов баллистической группы).

На схеме показано, как ОА, залетая за Венеру, просвечивал радио-лучом её атмосферу. Посадить СА в узкий серп видимой с Земли освещённой Солнцем части Венеры было крайне трудно. Это требовалось осуществить любой из траекторий в трубке траекторий СА с её шириной, определяемой оценкой точности прогнозирования после последней коррекции с учётом погрешностей импульса разделения СА и ОА. Здесь особенно была важна достоверность знания точности получаемого прогноза движения СА. Команда Акима эту задачу решила!

Вспомним состав членов баллистической группы ИПМ АН СССР (БЦ-3) и их позывные (говорилось как “третий такой-то“):

**Группа расчёта пассивного участка, прогнозирования, целеуказаний:**

Э.Л. Аким 3-01 – руководитель группы, В.Т. Гераскин 3-04 – зам. руководителя, Г.С. Попов 3-05, В.А. Степаньянц 3-06, З.П. Власова 3-07, Г.С. Заславский 3-08, А.А. Горохова, И.П. Киселева, С.Ф. Марин 3-10, В.В. Савченко 3-11, Е.И. Краснова 3-12, Л.И. Бородулина 3-14.

**Группа расчёта коррекции и уставок для управления объектом:**

А.К. Платонов 3-02 – руководитель группы, Р.К. Казакова 3-20 – зам. руководителя, В.Б. Бритков 3-21, В.К. Шелухина 3-22, Т.И. Фролова 3-23, Н.В. Григорьева. 3-24, Л.Т. Громова, В.А. Гончар, Н.С. Малинина, К.Л. Волкова 3-26.

*Что и как было сделано этими людьми, не раз было упомянуто выше. Сейчас, когда уже многих из них нет в живых, необходимо поклониться их светлой памяти, – тех, кто тихо, серьёзно и очень надёжно делал свою работу, необходимую и незаметную в громадном коллективе специалистов космической техники, организованном соединении воли и интеллекта С.П. Королёва и М.В. Келдыша.*

## **Некоторые бытовые подробности**

Выполнение срочных оперативных работ в любое время суток было связано не только с математическими, алгоритмическими и вычислительными проблемами. Дело в том, что наш институт с момента его основания был закрытым учреждением, двойного подчинения – Академии наук СССР и Министерству среднего машиностроения – со сложными правилами работы с бумагами, с машиной и с серьёзной пропускной системой. На пропуске ставились штампы, разрешающие проход в определенный корпус, на выполнение работ в указанное время суток и дней недели.

На период оперативной работы выдавались дополнительные вкладыши, которые имели только сотрудники, связанные с оперативной работой, – это были баллистики, обслуживающие ЭВМ инженеры и техники, специалисты связи и ряд лиц технического персонала. Во время проведения оперативных работ ЭВМ поступала в полное распоряжение Баллистического центра. Счёт задач сотрудниками других отделов прекращался. А у этих отделов были не менее важные и алгоритмически сложные задачи, связанные с атомной энергетикой и с развитием авиации. И они тоже работали и вне рабочего времени, и по ночам!

Конечно, такая ситуация вызывала некоторое напряжение в институте. Но ОПМ (и в дальнейшем ИПМ) всегда был как одна дружная семья, объединённая общей ЭВМ, спортом, праздничной самодеятельностью и работой. Поэтому часто (хотя, увы, не всегда) использовался такой порядок: если оперативная работа по тем или иным причинам пусть даже на короткое время прерывалась ожиданием новых данных, сотрудникам других отделов немедленно отдавалась машина и обеспечивалась возможность в этом промежутке использовать машинное время для расчётов их задач.

Работа в реальном масштабе времени требовала не только большого напряжения, но подчас и быстрого передвижения сотрудников между корпусами. Дело в том, что, к сожалению, устройство ввода информации от пунктов наблюдения (ПУВД) с выдачей упомянутых колод перфокарт находилось в Главном корпусе, а используемые ЭВМ – в соседнем корпусе.

*Вспоминается, как в связи с этим две молодые сотрудницы (Алла Горохова и Ира Киселева) в момент получения информации с очередного пункта космической связи сразу же забирали перфокарты с ПУВДа и «пулей летели» в соседний корпус. При этом охранникам корпусов был дан приказ именно этих сотрудниц пропускать, не проверяя, и они уже держали двери в корпусах открытыми и пропускали их, не требуя пропусков.*

Сейчас особенно ощущается то обстоятельство, что в ОПМ (и в ИПМ) по требованию М.В.Келдыша никогда и нигде не было тупого формализма. С началом оперативных работ в условиях острого дефицита машинного времени М.В.Келдыш своим решением отменил табельный учёт. От сотрудника требовалось решение задачи в нужный срок, а его присутствие на работе регулировалось коллективом и руководством. Институт работал исключительно в интересах дела и работал как единый организм.

Несмотря на молодость, сотрудникам все-таки требовались отдых, питание. Дирекция шла нам на встречу. Были раскладушки, был ночной буфет, но это как-то не прижилось. И был в подчинении Д.Е. Охочимского круглосуточный микроавтобус «Рафик», который обеспечивал нам срочный доступ на совещания в других БЦ.

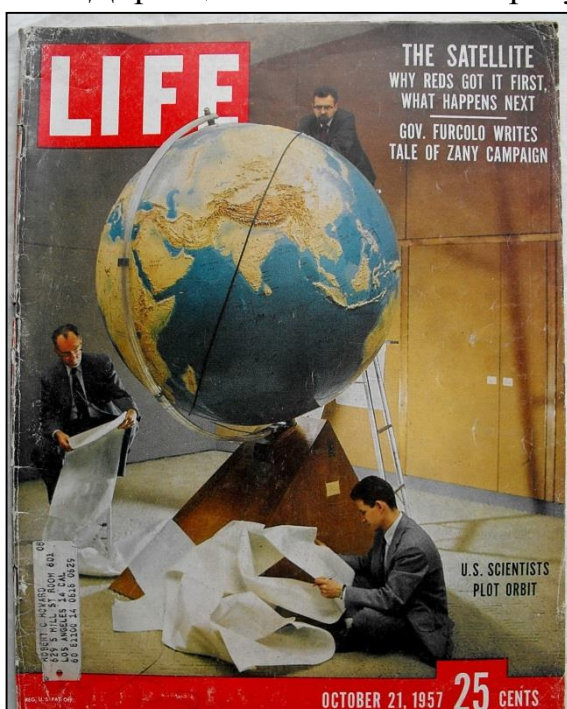


Рис.8. Обложка журнала Life окт.1957г с обсуждением запуска ИСЗ в СССР.

Интересное фото американского журнала попало нам в руки во время работы по определению орбиты 1-го ИСЗ. Эта картина, сделанная нашими «соперниками», очень точно отображала и нашу ситуацию с выполнением оперативных расчётов при самом первом использовании ЭВМ для определения траекторий полёта. Здесь хорошо видна веревочка на глобусе, с помощью которой и П.Е. Эльясберг определял траекторию в НИИ-4 (когда там еще не было ЭВМ и была создана упомянутая планшетная теория определения орбиты первого ИСЗ). Заметим, что по положению

этой верёвочки легко увидеть, что американские специалисты заняты нашим спутником по крайней мере через сутки (или ещё позже) после его запуска, поскольку Земля на их глобусе уже заметно повернулась. И трасса не проходит через точку запуска ракеты.

А ниже – сотрудники, запутавшиеся в машинной выдаче, – прообраз баллистиков из ОПМ, рассматривающих выдачи «Стрелы-1».

Нельзя не упомянуть также и выполненные в ИПМ отделом М.Р. Шуры-Буры расчёты траекторий полётов с человеком на борту и, прежде всего, обеспечение полёта Ю.А.Гагарина.

Описанный выше процесс был не самым тяжелым. Хуже стало, когда центр управления переместился из ЦНИИМАШ в Евпаторию. Выезжала туда большая команда баллистиков из ИПМ и ЦНИИМАШ. Везли неподъёмные грузы: коробки с перфокартами комплексов программ в двойном экземпляре, тексты программ и много нужных документов. Мы должны были оперативно вести свои расчёты на ЭВМ НИП-16 с его громадными 8 чашками антенн с эффективной площадью (самой большой в то время в мире) 800 м<sup>2</sup> дальней космической связи, прикреплёнными к поворотным по углу места осям, сооружёнными из прочных корпусов списанных подводных лодок!



Рис.9. Радиотехнический комплекс сверхдальней радиосвязи АДУ-1000 "Плутон".

Эта была замечательная для того времени разработка Г.Я. Гуськова – человека, много сделавшего для развития радиотехники дальней космической связи.

Казалось бы, чего проще: ЭВМ та же, что у нас в институте, перфораторы те же... Но все не так! ЭВМ НИПа наши перфокарты не вводит, их надо дублировать на местном перфораторе, который наши и свои перфокарты регулярно заминает (потому везли дубли), ЭВМ периодически сбивается. Вот когда мы могли в сравнении почувствовать уровень надёжности наших ИПМовских инженеров под руководством А.Н. Мямлина. А здесь работа была настоящим испытанием на прочность. Выстояли!

«Быта» в понятном смысле не было. Да он и не нужен в такой ситуации, так как день сравнился с ночью. Не было воды – кого-то отправляли в виноградник, давили виноград и наполняли графины.

Каждое возвращение из Евпатории в Москву в поезде было продолжением оперативной работы. Не за горами нас ждала следующая работа. Мы знали, куда и когда мы снова полетим. Было нужно вносить очередные изменения в программный комплекс. Времени в Москве на это много не будет, поэтому в вагоне мы старались обсудить новые задания на программирование.

Наконец, космическое руководство поняло, что так жить нельзя и приняло решение о переводе Центра управления из Евпатории в Москву, в ЦНИИМАШ. Все оперативные работы по пускам Л-1, Е-8 и последним пускам к Венере мы провели уже в Москве.



На всю жизнь запомнился полёт почти одновременно (старты 21 и 25 июля, 5 и 9 августа) четырёх КА к Марсу (Марс 4-7) в 1973 г. Это была космическая эквилибристика! Какие-то КА дошли до поверхности Марса, какие-то не дошли, какие-то вышли на орбиту ИСМ. Космический аппарат, стартовавший раньше, пришел к Марсу позже того КА, который стартовал позже. И надо учесть, что со всех четырёх КА (летающих к планете, перешедших на орбиту Марса, а также спускаемых и пролётных аппаратов) поступала информация во время полёта, которую нужно было анализировать и затем рассчитывать: для каких-то КА - пролётные траектории, а для каких-то - посадочные траектории. Практически одновременно проходили расчёт и закладка уставок на коррекцию, разворотов на фотографирование в сеансах связи со всеми - ещё только летящими к Марсу, подлетающими, пролетающими мимо, переходящими на спутник Марса - космическими аппаратами. Можно себе представить, как трудно было не запутаться в этом космическом клубке.

Запомнилась также "ЛУНА-20", порождённая по идее В.А. Егорова (старт 14 февраля 1972 г.). Это был сложный полёт по трассе Земля-Луна-Земля с посадкой спускаемого аппарата в Море Кризисов на Луне, забором грунта и возвращением на Землю по неуправляемой траектории. В.А. Егоров доказал, что это возможно, и это было реализовано. Как драгоценен был этот лунный груз, уже не раз отмечалось. И вот возвращаемый аппарат приземляется на самом краю возможной области посадки. Обычно КА приземлялись где-то в окрестности Джекказгана. В этом же случае КА приземлился в Ханты-Мансийских болотах. Координаты посадки вызвали у всех шок: это место не значилось на картах спасателей. Пришлось чуть ли не в Генштабе доставать карту-"миллионку", и тут выяснилось, что в окрестности посадки (с её размером в таком масштабе, как от Москвы до Смоленска), нанесены на карте только два "населенных пункта": "Летняя изба Каймысовых" и "Зимняя изба Каймысовых". К ним ведут тропы соответственно - зимняя и летняя, а кругом болота. Аппарат вполне мог утонуть в болоте. Но, к чести наших авиаторов, лунный грунт был спасен.

Оперативные работы продолжались непрерывно сутками с разной интенсивностью, но при обязательном участии баллистиков. Заканчивалась оперативная работа и по таким причинам: нет информации с борта КА, аварийная ситуация, миссия закончена. Отбой дежурств традиционно объявлял генерал-лейтенант Г.П. Мельников, сопровождая его благодарностью в адрес групп баллистиков.

Но был один победный полёт, который в среде баллистиков всем запомнился больше других. Скорее всего, это связано с очень долгой дорогой предыдущих неудач, которая затем завершилась крупным успехом, и этот успех был первым ощутимым результатом выполнения описываемых здесь оперативных работ баллистических центров. Речь идёт о Луне-9, совершившей мягкую посадку на Луну. И был чудесный тост в застолье по этому поводу дома у М.А. Казанского (еле поместились в его маленькой квартире в Подлипках). Этот полушутливый тост стал паролем БГ: «Лучше мягко сесть, чем жёстко спать!»

А вот и знаменитая карта места посадки, которую имеют все члены БГ.

Здесь первыми подписи поставили авторы этого текста, а уже потом – все остальные.

История этой карты (лежавшей на столе, за которым недавно сидел ушедший Д.Ф. Устинов) такова: когда с задержкой 1,5 сек (с учётом времени распространения радиоволн от Луны!) к радости всех присутствующих появился мучительно долго ожидаемый сигнал, то счастливый, как и все, баллистик Платонов облегчённо вздохнул.

У него теперь исчезли существовавшие сомнения: наконец-то появилось действительное подтверждение того, что и закон Ньютона, и модели объекта Е-6 верны!

А значит, и рассчитанные координаты посадки, скорее всего, правильны. С единственным желанием (что – совершеннейшая правда!) подтвердить это Платонов подошел к пустому столу с картой, посмотрел обозначенное место



Фото Венеры (автографы на обороте фото)



посадки и гордо рядом с меткой подтвердил его верность. Однако это действие было понято совсем иначе, и пример пришелся по вкусу всем присутствующим. Спасибо им: теперь мы имеем эту историческую карту первого мягкого прикосновения к Луне!

А слева – другой триумф мягкой посадки. Подписи уже стали традицией, и тут Платонову место еле-еле нашлось...



*Слева направо: Э.Л.Аким и  
Д.Е.Охоцимский;*

*А.К.Платонов, Ю.М.Лазутин и  
В.В.Белецкий;*

*А.К.Платонов, Р.К.Казакова и  
В.А.Сарычев;*

Главный теоретик космонавтики, трижды Герой Социалистического труда, Президент Академии наук СССР Мстислав Всеволодович Келдыш был для нас, прежде всего, Директором Института, нашей гордостью и нашей надеждой. Прекрасный организатор и оратор, он был человеком с непростым характером. Замкнутый, застенчивый, он мог быть в то же время суровым и резким, но неизменно всеми почитаемым и любимым.

Сотрудники Института дважды в год приходят к Кремлевской стене поклониться Мстиславу Всеволодовичу, с которым нам посчастливилось жить и работать.



## Вместо заключения

Б.Е. Черток (из книги «Ракеты и люди»:  
<http://famhist.ru/famhist/chertok/0052f387.htm>)

«Баллистика ракет существенным образом отличается от понятия баллистики в артиллерийском деле. Расчет траектории полета оказался делом крайне трудоемким. Неспроста потребителями первых отечественных электронных вычислительных машин «Стрела» и БЭСМ оказались именно баллистики. Баллистики находились в самом начале проектирования ракеты. Они же являлись и участниками завершающего этапа разработки полетного задания для ее пуска.

Дальность, кучность, масса полезной нагрузки, методики прицеливания и настройки автомата управления дальностью, учет особенностей характеристики двигателя, расхода компонентов по времени и масса других проблем, включая прогнозирование места падения ракет при возможных авариях, — все это входило в компетенцию службы баллистиков...

... Объединенные баллистики были инициаторами создания баллистических вычислительных центров. С началом космической эры эти центры и их измерительные пункты служили основой для первых центров управления полетом и всего командно-измерительного комплекса».

*Такая высокая оценка просто обязывает баллистиков «не снижать планку»!*

Перечисленные работы ОПМ, выполненные в тесном содружестве с баллистами С.П. Королёва, Г.Н. Бабакина, НИИ-4 и ЦНИИМАШ, как-то сами собой привели к тому, что ИПМ стал общепризнанным методическим центром обеспечения проектирования космических полётов. Именно в ИПМ выполнялось создание математических алгоритмов и методов для проектных и оперативных расчётов траекторий и характеристик систем управления КА, для обработки наблюдений и выдачи прогноза движения с параметрами его коррекции и многого другого — необходимого в работах смежных БЦ, ОКБ-1 и НПО им. Лавочкина.

В настоящее время созданный М.В. Келдышем в ИПМ Баллистический центр (его ныне возглавляет ученик Э.Л.Акима доктор физико-математических наук А.Г.Тучин) является ведущим центром страны для проектирования и обеспечения космических полётов. Центр продолжает выполнять разработку математических методик для проектных расчётов траекторий космических аппаратов различного назначения, создания программного обеспечения бортовых и наземных систем управления полётом КА, обеспечивает оперативное баллистическое обеспечение современных полётов ракетно-космической техники, разрабатывает новые методы и образцы навигационных средств.

Нет сомнения, что накопленный годами профессиональный опыт людей в БЦ ИПМ представляет собой национальное достояние. В государственных интересах нельзя разрушать и необходимо развивать такие коллективы. А для этого недопустимы остановки выполнения реальных работ в области баллистического обеспечения полётов. Поэтому поддержание непрерывной занятости БЦ — необходимое условие успеха полётов объектов ракетно-космической отрасли.

## Литература

1. *Келдыш М.В.* Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988. – 493 с.
2. Прикладная небесная механика и управление движением. / Сб. статей, посвящённый 90-летию со дня рождения Д.Е.Охоцимского. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010. <http://www.keldysh.ru/memory/okhotsimsky/index.htm>
3. *Платонов А.К., Казакова Р.К.* Создание проектного и оперативного баллистического обеспечения полётов космических аппаратов. Проектные работы на первых ЭВМ // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2014. № 37. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-37>
4. *Келдыш М.В., Егоров В.А., Камынин С.С., Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М.* Теоретические исследования динамики полёта составных крылатых ракет дальнего действия. // *Келдыш М.В.* Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988. – С. 147-196.
5. *Платонов А.К.* Долгий путь к звёздам. В кн. Будущее прикладной математики. Лекции для молодых учёных. Поиски и открытия. / под ред. Г.Г. Малинецкого. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 640 с.
6. *Энеев Т.М., Платонов А.К., Казакова Р.К.* Определение параметров искусственного спутника по данным наземных измерений / В сб. "Искусственные спутники Земли" М.:АН СССР вып. 4, 1960. С. 43-55.
7. *Энеев Т.М.* Некоторые вопросы применения метода наискорейшего спуска // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 1970. №17. 57 с.
8. *Платонов А.К., Казакова Р.К.* Первая машинная обработка траекторных измерений спутника Земли. Ж. Вестник Российской Академии наук. Том 72, № 9. Изд. Наука. 2002.
9. *Лидов М. Л.* Определение плотности атмосферы по наблюдаемому торможению первых искусственных спутников Земли. // Искусственные спутники Земли. 1958. № 1. с. 9
10. *Тучин А.Г., Комовкин С.В., Лавренов С.М., Тучин Д.А., Ярошевский В.С.* Небесно-механическая интерпретация радиотехнических измерений наклонной дальности и радиальной скорости. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2013. № 656. 30 с.
11. *Аким Э.Л., Беляев Н.А., Казакова Р.К., Платонов А.К., Савченко В.В., Суханов К.Г.* Баллистические аспекты исследования комет. // Доклады Академии наук СССР. Том 275, № 2. 1984.
12. *Аким Э.Л., Горохова А.А., Киселева И.П., Степаньянц В. А., Тучин А.Г.* Небесно-механическая интерпретация и первичная обработка измерений КА 'Гранат' и 'Интербол'. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 1997. № 114. 21 с. URL: [http://www.keldysh.ru/papers/1997/prep1997\\_114.pdf](http://www.keldysh.ru/papers/1997/prep1997_114.pdf)
13. *Платонов А.К., Иванов Д.С.* Методы обработки измерений. М.: МФТИ, 2013. – 108 с.
14. Основы теории полёта космических аппаратов. / Под ред. *М.К.Тихонравова, Г.С.Нариманова.* М.: Машиностроение, 1972, 607 с.

15. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. / Под ред. *Г.Н.Дубошина*. М.: Наука, 1971. – 584 с.
16. *Келдыш М.В., Аким Э.Л., Энеев Т.М., Золотухина Н.И.* О точности прогнозирования движения АМС «Марсс-1» // В кн. М.В.Келдыш "Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика". М.: Наука, 1988г. С. 339 – 347.
17. *Аким Э.Л., Энеев Т.М.* Определение параметров движения космического летательного аппарата по данным траекторных измерений // Космич. исслед. 1963. Вып. 1. Т. 1. – С. 5.
18. *Лидов М.Л.* К априорным оценкам точности определения параметров по методу наименьших квадратов. // "Космические исследования", т.2, вып.5. М.: Наука, 1964г.
19. *Лидов М.Л.* Минимаксные методы оценивания. Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша № 71 2010 г. 87 С.
20. *Келдыш М.В., Платонов А.К., Казакова Р.К.* Коррекция траекторий полёта к Венере и Марсу. // В кн. М.В.Келдыш "Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика". М.: Наука, 1988г. С. 385 – 414.
21. *Казакова Р.К., Киселев В.Г., Платонов А.К.* Исследование свойств энергетически оптимальных орбит полета к Юпитеру. // Космические исследования, т. 6, вып.1, 1968, С. 3-12.
22. *Чарный В.И.* Об изохронных производных / Искусственные спутники Земли. М.:АН СССР, вып.16, 1963.
23. *Платонов А.К., Казакова Р.К.* Язык для расчёта характеристик движения в прикладных задачах небесной механики // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 1974. № 78. 49 с.
24. *Платонов А.К.* Исследование свойств коррекционных манёвров в межпланетных полётах //Космические исследования, т.IV, вып.5. М.: Наука, 1966г. С. 670-693.
25. *Платонов А.К., Дашков А.А., Кубасов В.Н.* Оптимальное управление полётом космических аппаратов // Сборник трудов I Симпозиума ИФАК. Ставангер, Норвегия.1965.
26. *Платонов А.К.* Оптимальные свойства корректирующих манёвров при использовании двигателя с ограниченной тягой. // Космические исследования, т.V, вып.2. М.: Наука, 1967. С. 170-175.
27. *Платонов А.К., Казакова Р.К.* Язык для описания вращения космического аппарата. / Управление в пространстве. т.1, М.: Наука, 1973. – 12 с.
28. *Платонов А.К.* Метод определения кинематических характеристик роботов. / Программирование прикладных систем. М.: Наука, 1992, 9 с.
29. *Аким Э.Л., Казанский М.А., Суханов К.Г., Платонов А.К., Власова З.П., Степаньянц В.А., Казакова Р.К. и др.* Баллистика и навигация при управлении полётом автоматических межпланетных станций "ВЕНЕРА-9" и "ВЕНЕРА-10" // Космические исследования, т.14, вып.5 1976.