

## Тексты докладов

### **Вклад М.В.Келдыша в становление и развитие ракетной и космической науки и техники**

*Академик Т.М.Энеев*

Мстислав Всеволодович Келдыш начал работать в области ракетной техники с конца 1946г., после пятнадцатилетнего периода труда в авиации, где им был решен ряд ключевых проблем этой отрасли. Он был сразу увлечен перспективами, которые открывала ракетная техника в области научного познания и человеческой практики. Логика дела, которому он себя посвятил, привела его к тесному сотрудничеству и творческой дружбе с Сергеем Павловичем Королевым, которая продолжалась до самой кончины Сергея Павловича.

29 ноября 1946г. М.В.Келдыш был назначен начальником РНИИ, главной задачей, которого в тот период было внедрение ЖРД и ПВРД в авиацию. Вскоре, впрочем, выяснилось, что эти типы двигателей не могут конкурировать с газотурбинными двигателями, головными по которым в тот период был ЦИАМ. На какое-то время НИИ стал филиалом ЦИАМа, однако, позже его самостоятельность была восстановлена и работа на ЖРД и ПВРД была продолжена уже в плане применения последних для беспилотных баллистических и крылатых ракет.

В середине пятидесятых годов руководством страны была поставлена задача создания стратосферных межконтинентальных крылатых ракет, которые на ряду с межконтинентальной составной баллистической ракетой, разрабатывавшейся в ОКБ С.П.Королева могли-бы обеспечить безопасность страны от возможного ядерного нападения. Опытно-конструкторские работы велись в двух конструкторских бюро - С.А.Лавочкина и Мясищева. Однако, поставленная задача оказалась столь новой и трудной, что потребовалось развернуть комплекс научно-исследовательских работ по ключевым проблемам, связанным с созданием таких ракет. Научным руководителем этих работ был назначен Мстислав Всеволодович Келдыш. Под его научным руководством были решены основные проблемы создания межконтинентальной крылатой ракеты, включая принципиально новые для того времени задачи баллистики, астронавигации и длительной теплозащиты сверхзвукового крылатого аппарата с ПВРД. Научно-технические достижения, полученные в ходе разработки таких аппаратов нашли в дальнейшем широкое применение в авиационной и ракетно-космической технике. Например, в РНИИ было положено начало работам по теплозащите головных частей МБР, а затем спускаемых аппаратов космических кораблей и автоматических межпланетных аппаратов, а также по системам астроориентации и навигации для них

Проводя работы по созданию межконтинентальной крылатой ракеты, М.В.Келдыш одновременно вел научно-исследовательские работы, связанные с созданием межконтинентальной составной баллистической ракеты. Здесь он теснейшим образом взаимодействовал с Сергеем Павловичем Королевым и его ОКБ. Работы по созданию МБР были начаты Мстиславом Всеволодовичем еще в 1948 году в МИАНе, где он возглавлял отдел механики. В 1949-51гг. под его руководством был выполнен цикл работ, посвященный анализу и определению оптимальных схем и характеристик составных баллистических ракет. Эти работы помогли С.П.Королеву сделать окончательный выбор схемы составной ракеты Р-7. В этот же период были решены трудные задачи движения ракеты около своего центра масс, в которых учитывались подвижность жидкости, имевшей свободную поверхность в баках ракеты. Были выполнены работы по определению оптимального программного управления по тангажу для составной ракеты. Результаты этих работ помогли серьезно улучшить летные характеристики ракеты Р-7, а впоследствии послужили теоретической основой для многих дальнейших исследований.

В начале пятидесятых годов Мстислав Всеволодович собрал в отделе механики МИАНа, который он возглавлял, группу энтузиастов ракетного и космического полета - в основном,

выпускников МГУ. Несмотря на то, что в тот период задача космического полета в практическом плане еще не рассматривалась ни в одном из КБ, он горячо поддержал инициативу своих сотрудников по разработке теории космического полета. Не случайно в этот же период времени к нему обратился за помощью и поддержкой Михаил Клавдиевич Тихонравов, возглавлявший группу таких же энтузиастов в одном из военных научно-исследовательских институтов.

Уже в первый период начатых работ, еще до запуска первого искусственного спутника Земли, коллективом, руководимым М.В.Келдышем был получен ряд принципиальной важности результатов, оказавших серьезное влияние на развитие ракетно-космической техники. Отметим некоторые, наиболее важные из них.

В 1953г. был впервые предложен баллистический спуск космического аппарата с его орбиты на Землю и показана возможность использования этого метода спуска при пилотируемых полетах

В 1954г. был предложен первый конкретный вариант системы гравитационной (пассивной) стабилизации и ориентации искусственного спутника и построена теория такой стабилизации.

На базе ранее проведенных работ по определению оптимального программного управления по тангажу для составной ракеты, была разработана методика расчета оптимальной программы выведения искусственного спутника Земли на его орбиту.

Была исследована динамика движения искусственного спутника в поле тяготения Земли и разработана методика определения времени его пребывания на эволюционирующей под действием нецентральных составляющих сил поля и атмосферного (ионосферного) сопротивления орбите.

Наконец, были проведены первые в тот период работы по проблеме достижения Луны и окололунного пространства и при этом выявлены весьма важные закономерности и ограничения для такого достижения, при старте с территории Советского Союза.

После запуска первого искусственного спутника Земли фронт руководимых М.В.Келдышем работ необычайно расширился, и, в последующие годы, в механике космического полета практически не было более или менее серьезных вопросов, которые в той или иной мере не были затронуты М.В.Келдышем и его сотрудниками. К тому времени было создано (с 1953г.) Отделение прикладной математики МИАНа (ОПМ МИАНа), куда и был переведен упомянутый выше отдел механики М.В.Келдыша (с 1966г. ОПМ МИАНа был преобразован в Институт прикладной математики АН). Как и ранее отметим некоторые, наиболее важные работы, выполненные уже после запуска ИСЗ.

Сразу после запуска первого ИСЗ в ОПМ МИАНа были развернуты работы по обеспечению слежения за полетами искусственных спутников Земли и других космических аппаратов. В сентябре-ноябре 1957г. сотрудниками М.В.Келдыша была разработана методика обработки траекторных измерений, и, с ее помощью, впервые на ЭВМ осуществлено определение орбиты искусственного спутника Земли. Позднее при ОПМ был создан баллистический вычислительный центр, который вошел в общую систему слежения и управления полетами искусственных спутников и других космических аппаратов. В задачу этой системы входили сбор и обработка траекторной информации с целью определения истинных орбит летящих объектов, а также выработка соответствующих управляющих команд для них. С участием этого центра были разработаны и созданы многомашинные высокопроизводительные информационно-вычислительные комплексы (в частности, при этом было впервые реализовано сопряжение ЭВМ с каналами связи и между собой), позволившие в реальном масштабе времени решать задачи баллистико-навигационного обеспечения полета космических аппаратов самого разного назначения. Указанный центр

стал неотъемлемой частью замкнутого контура управления полетом космических аппаратов и способствовал успешному выполнению космических программ.

Были развернуты работы по комплексному баллистическому проектированию полетов космических аппаратов к Луне. Главные усилия были направлены на решение задачи достижения Луны и исследования окололунного пространства. Здесь следует подчеркнуть, что баллистическое проектирование полетов первых лунных космических аппаратов было проведено в весьма сжатые сроки коллективами исследователей под общим руководством М.В.Келдыша. Блестящим примером указанного “лунного” цикла работ явились исследования по выбору траектории облета и фотографирования обратной стороны Луны для третьего лунного космического аппарата.

В самый разгар работ по подготовке лунных экспедиций, Мстислав Всеволодович Келдыш и Сергей Павлович Королев приняли совместное решение начать баллистическое проектирование беспилотных полетов к Марсу и Венере. Выявившиеся в ходе этих работ новые трудности привели к поиску и разработке принципиальных технических решений, сыгравших в дальнейшем большую роль в развитии космической техники. К числу таких решений следует отнести, например, следующие: предложение схемы и разработку метода разгона аппарата с промежуточным выведением на незамкнутую орбиту искусственного спутника Земли, ставшим впоследствии универсальным способом разгона космических аппаратов разного назначения; разработку принципиальной схемы операций управления полетом КА, которая легла в основу всех последующих баллистических работ, как по проектированию, так и по фактическому управлению полетами межпланетных КА. Эта схема, базируясь на выявленных особенностях и закономерностях процессов обработки траекторных измерений, прогнозирования характеристик движения и оптимальной коррекции орбит, обеспечивала достижение как максимальной точности управления в ходе полета, так и минимальных весовых затрат связанных с созданием системы управления при ее проектировании. Следует заметить, что схема эта совершенствовалась в деталях и дополнялась новыми элементами, но в основных своих чертах она не изменилась за длительный период практики космических полетов. Под руководством М.В.Келдыша коллектив ОПМ МИАНа (ИПМ АН) участвовал во всех проектно-баллистических работах, а также работах по баллистико-навигационному обеспечению полетов космических аппаратов, предназначенных для исследования межпланетного космического пространства, Луны, планет и малых тел солнечной системы. В связи с этим в ОПМ были развиты вычислительные методы и программные комплексы для определения оптимальных дат старта, суммарных погрешностей управления и оптимальных значений установочных параметров для осуществления коррекции траектории полета, передаваемых на борт КА с помощью радиосредств.

Наконец, под руководством М.В.Келдыша проводились проектно-баллистические работы по созданию ряда уникальных искусственных спутников Земли (например, “Электрон”), новых и перспективных систем управления и стабилизации спутников (пассивные системы стабилизации), а также работы по определению фактического движения вокруг своего центра масс свободнолетающих (не стабилизированных) искусственных спутников Земли (например, спутников серий “Электрон” и “Протон”).

Следует при этом отметить, что вся указанная выше работа Мстислава Всеволодовича по прикладной небесной механике и ракетодинамике проводилась в тесной связи с его научно-организационной деятельностью по разработке и реализации научной программы исследования космического пространства; по разработке совместно с С.П.Королевым рациональной и эффективной стратегии освоения космоса.

В Мстиславе Всеволодовиче прекрасно сочетались качества дерзновенного мечтателя, стремившегося к пределам возможного и трезвого реалиста, знавшего, где эти пределы кончаются. Когда под впечатлением первых успехов космических полетов у многих

специалистов появилась тенденция к переоценке возможностей современной им космической техники, он первый выступил против такой переоценки.

Сегодня нельзя без некоторого недоумения вспомнить о том, как в 1959-60гг. весьма квалифицированными специалистами всерьез рассматривался проект пилотируемого полета к Марсу в 1964 году (в облетном варианте). Мстислав Всеволодович сразу указал на нереальность подобного рода проектов по целому ряду причин, и, в первую очередь, из-за отсутствия опыта длительного пребывания человека в космосе и отмечал, что беспилотные автоматические аппараты еще долгие годы будут основным средством исследования дальних планет (среди средств космической техники). Это не мешало, однако, ему возвращаться к обсуждению пилотируемых полетов к дальним планетам и подробно рассматривать различные их проекты на обозримое будущее.

Научно-организационная деятельность М.В.Келдыша в области собственно космонавтики была начата в 1954г., когда он совместно с С.П.Королевым и М.К.Тихонравовым выдвинул предложение о создании искусственного спутника Земли и принял непосредственное участие в подготовке докладной записки для правительства на эту тему. В следующем году Мстислав Всеволодович был назначен председателем специальной комиссии Президиума АН СССР по ИСЗ (комиссия по объекту "Д"). С этого момента и как руководитель комплексных научно-технических разработок, и как председатель многих экспертных комиссий по космическим объектам М.В.Келдыш нес особую ответственность за ход выполнения космической программы СССР, даже в самый напряженный период его многосторонней деятельности, когда с 1961г. по 1975г. он был президентом Академии Наук СССР.

Став президентом АН СССР, Мстислав Всеволодович получил возможность на новом, более высоком уровне осуществлять руководство разработкой и реализацией советской космической программы. Круг научных проблем, которые решались в эти годы под его руководством, был необычайно широк и разнообразен. С его непосредственным участием исследовались общие проблемы космонавтики, тенденции и перспективы ее развития. В поле его зрения постоянно находилась механика космического полета, теория управления, навигация, ориентация. С именем Мстислава Всеволодовича связаны начало и развитие исследования околоземного и межпланетного космического пространства, Луны и планет солнечной системы. Так, он совместно с Георгием Николаевичем Бабакиным руководил разработкой и реализацией программы исследования Венеры, анализом результатов научных исследований. Самое серьезное внимание он уделял пилотируемым полетам, программам этих полетов и научных исследований, оснащению космических кораблей приборами и аппаратурой, в том числе бортовыми вычислительными машинами. Предметом его постоянного внимания было расширение фронта научных исследований и совершенствование их организации. Он был инициатором создания Института космических исследований и Института медико-биологических проблем.

Мстиславу Всеволодовичу были присущи необычайная глубина мышления, широта взглядов, огромная эрудиция. Многих поражало, как быстро он умел вникать в самую суть обсуждаемой проблемы, найти главное звено, отбросив все неважное, второстепенное.

С именем Мстислава Всеволодовича связана целая эпоха в становлении и развитии космонавтики. Им внесен выдающийся вклад в развитие ракетной и космической науки и техники, дающий ему право занять в ее истории почетное место.

В заключение изложенного выше, отметим связь между вкладом Мстислава Всеволодовича в становление и развитие космонавтики и современным состоянием важнейшей из ее отраслей - исследованием планет солнечной системы. Мстислав Всеволодович придавал огромное значение развитию данного направления, и, как фундаментальной естественно - научной проблемы, и, как поиску экспериментальных данных, необходимых для наук о Земле. Известна огромная роль Мстислава Всеволодовича в осуществлении программ доставки

лунного грунта на Землю и в получении панорам поверхности Венеры. В последнем случае ему пришлось преодолевать сомнения ряда квалифицированных специалистов в осуществимости данной программы.

Развитыми странами (США, Франция, Япония) с давних пор ведутся или готовятся к проведению работы по исследованию планет и малых тел солнечной системы. Россия уже более десяти лет таких работ в космосе не ведет.

В настоящее время сложилась хорошо сработавшаяся Кооперация организаций промышленности и РАН (НПО им. С.А.Лавочкина, МАИ, ИКИ, ГЕОХИ, ИПМ им. М.В.Келдыша), которая подготовила глубоко проработанное Техническое Предложение по осуществлению полета к спутнику Марса - Фобосу, с целью забора и доставки на Землю его грунта, являющемуся реликтовым веществом солнечной системы и представляющим огромную ценность для специалистов, работающих в области наук о Земле.

Указанное Техническое Предложение было рассмотрено соответствующей Экспертной Комиссией и одобрено ей. Однако, дальнейшее продвижение работ по этому Предложению практически остановилось из-за отсутствия необходимого финансирования, хотя-бы для проведения работ по эскизному проектированию. Интереснейший проект находится под угрозой срыва.

Требуется решительное вмешательство Руководства РАН в ход дел, чтобы помочь Кооперации спасти Проект.

## **Космическое пространство: ключ к долговременному развитию**

*Академик М.Ч.Залиханов - Председатель Комиссии Госдумы РФ  
по проблемам устойчивого развития*

Уважаемые коллеги, дамы и господа!

Я выступаю от имени и по поручению Комиссии Государственной Думы по проблемам устойчивого развития. Комиссия попросила Оргкомитет включить в программу это выступление потому, что на ваших чтениях появилась секция "Космонавтика и устойчивое развитие".

Мировая ракетно-космическая общественность сразу же обратила внимание на устойчивое развитие и в 1992 году, во время работы Рио-де-Жанейрской конференции ООН по окружающей среде и развитию, там же, был проведен конгресс Международной Астронавтической Федерации. В конце столетия МАФ также провела конгресс тоже в Рио-де-Жанейро под девизом "Космос: инструмент для окружающей среды и развития". Таким образом, несколько лет Комитет ООН по космосу искал возможности подключить космонавтику к огромным финансовым потокам, планируемым для устойчивого развития, но этого не произошло. Космонавтика для этой цели оказалась непригодной.

Попытка разобраться в этом парадоксе и предложить способ изменения ситуации была одной из основных причин создания подобной комиссии в Думе прошлого созыва, правда, менее чем за два года до конца ее работы и той комиссии не так много удалось сделать. Пожалуй, самым важным ее выводом было то, что процесс ракетно-ядерного разоружения в нашей стране должен быть неразрывно связан с процессом перехода к устойчивому развитию мировой цивилизации. В результате комиссия в основном была озабочена проблемами ядерной и ракетно-космической отраслей. Думаю, понятно почему. Эти отрасли страна создавала десятки лет, не жалея сил и средств. В них сосредоточились

лучшие кадры, наука и производство, кстати, крупнейшее в мире такого профиля. Но зачем нам эти отрасли в условиях развивающегося процесса разоружения - это непростой вопрос. Отсутствие четкого ответа на него в немалой степени определяет их судьбу и в общем плане, и в таком частном вопросе, как, например, затопление в будущем месяце еще работоспособной космической станции "Мир".

В качестве названия выступления - "Космическое пространство: ключ к долговременному развитию", - мы выбрали заголовок соответствующего раздела доклада комиссии Брундтланд "Наше общее будущее", и сегодняшняя конференция, по-видимому, является первым в новом тысячелетии заметным собранием ракетчиков в мире. А в докладе Брундтланд впервые был введен в нашу жизнь термин устойчивое развитие. Это понятие обозначает обеспечение потребностей как нынешнего, так и будущих поколений, которым рано или поздно неизбежно потребуются ресурсы космоса.

Конференция Рио-92 также заявляла, что сокращение и переориентация военных расходов должны стать основным способом финансирования устойчивого развития. До сих пор так не получилось ни у кого. Именно с этим связано создание Комиссии Госдумы по устойчивому развитию. Комиссию создали после того, как Дума обратилась к специальной сессии Генеральной Ассамблеи Рио+5 в 1997 году с предложением объединить два из трех основных направлений деятельности ООН. На тот момент это были миротворческие операции, разоружение, особенно ядерное, и устойчивое развитие. Ни по одному из них нет успехов. И вы знаете, что на этом основании велись и до сих пор ведутся дискуссии о бесполезности ООН. И Дума обращала внимание Генерального Секретаря и Специальной сессии на то, что, если рассматривать совместно два направления: ядерное разоружение и устойчивое развитие, то из этого появляются неожиданные следствия, которые могут иметь очень большое значение для человечества.

Поскольку обращение Думы документ дипломатический, в нем не разъяснялось, о чем идет речь. Он, кстати, впоследствии был одобрен МИДом России как важная и конструктивная инициатива Государственной Думы. А речь шла о том, что в процессе ядерного разоружения, даже в процессе уменьшения количества ядерных зарядов, которые имеются в мире, Россия и сейчас, по данным Кофи Аннана имеет примерно вдвое больше, чем Соединенные Штаты. И эти заряды, возможно, открывают перед Россией, а вместе с ней и перед всем миром, новые перспективы долговременного развития. Потому что они, как и ракеты, которые должны были их нести, являются, по сути, средствами двойного применения.

Ракеты, и оружейный уран из их боеголовок без особых переделок, а главное, без перепрофилирования производств могут использоваться для мирных целей. Надо только найти им экономически выгодные применения, адекватные тому значению, которое они имели как оружие. Думаю, все вы чувствуете, что запуски малых спутников и разбавление оружейного урана до реакторных концентраций, предусмотренные договорами, неадекватны этому значению и, следовательно, как бы ни были важны для выживания отраслей в период кризиса, в государственном масштабе они ущербны, да и отрасли не спасут. К тому же думаю, что по понятным причинам неизбежно будут с разных сторон инспирировать "накаты" на ракетно-космическую и ядерно-оружейную отрасли. Руководители этих отраслей давно на себе испытывают широкомасштабное давление.

Поэтому не случайно на парламентских слушаниях по космосу Юрий Николаевич Коптев привел сведения о нашем плачевном положении на рынке полезных нагрузок. Это понятно, поскольку зарабатывает сейчас только космонавтика, добывающая или распределяющая информацию, а в сфере информатики мы давно уже занимаем положение безнадежно отстающего догоняющего. Коптев в своем выступлении также сказал, что мы могли бы занять 25% мирового объема запусков, но если не будем разрабатывать новые носители, то потеряем все. Из этого логически вытекает, что и впредь мы собираемся

выступать в основном в роли дешевого космического извозчика, хотя это особых дивидендов не приносит и не принесет при традиционном развитии космонавтики. "Рыдали" практически все выступавшие, но Герберт Александрович Ефремов в заключение сказал, что доклады были очень оптимистичны - будет гораздо хуже. Однако, никаких предложений о выходе из тупика, вернее пропасти, кроме очередных упований на бюджет, на слушаниях не прозвучало.

Между тем, чтобы добиться устойчивого развития общества и более высокого уровня жизни народа, государство должно регулярно пересматривать стратегию распределения национальных ресурсов, уменьшить или вовсе исключить не способствующие этому процессу технологии и производства.

Поэтому для устойчивого развития государство должно, в частности, всемерно способствовать распространению возобновимых источников энергии взамен экологически опасных горючих ископаемых, которые всего за полтора столетия подвели мир к наиболее труднопреодолимой экологической катастрофе - глобальному потеплению климата. Здесь для меня большая загадка: Почему ракетчики не участвуют в "Десятилетии солнечной энергии", которое сейчас проводит ООН? Приходящая на Землю энергия Солнца в 15 тысяч раз превышает энергопотребление человечества. Но в земных условиях использование этой энергии считается экономически неэффективным и в начале космической эры и даже до нее овладение неисчерпаемой энергией Солнца активно обсуждалось как одна из главных целей космонавтики. Римский клуб даже выдвигал идею разработки ударной программы, подобной программе высадки на Луну, для получения экологически безвредной энергии из космоса. А сейчас это, возможно, становится центральной проблемой устойчивого развития из-за "парникового эффекта".

Идея устойчивого развития возникла из понимания того, что глобальная социально-экономическая система не решила две фундаментальные проблемы - проблему нищеты (сейчас в мире за чертой бедности живет около полутора миллиардов человек) и проблему глобального экологического кризиса. Но если развитые страны ставят перед собой задачу устойчивого развития и могут постепенно приступать к ее решению, то Российской Федерации, чтобы выйти на стартовые условия устойчивого развития, надо преодолеть текущий структурный кризис. Преодоление кризиса зависит от политики нашего Правительства и взаимоотношений с развитыми странами, которые по-своему понимают устойчивое развитие и пытаются его реализовать, в том числе за счет остального мира. Отсюда не случайна обеспокоенность многих ученых, надеюсь, в том числе и сидящих в этом зале, о месте и роли России в этом процессе. Богатейшая материально-сырьевая база нашего государства всегда была и есть предмет зависти и вожделения многих западных политиков.

Каким они видят наше Отечество? Как сырьевую базу Запада или высокотехнологичную индустриальную державу? Ответ, однозначен и очевиден. Вспомните откровенные слова премьер-министра Великобритании Джона Мейджора: «...задача России после проигрыша «холодной войны» - обеспечить ресурсное благополучие страны. Но для этого вам нужно всего 50-60 миллионов человек». Их политики без стеснения публично заявляют: «Сейчас не надо подпитывать иллюзии о державности России. Нужно отбить охоту к такому образу мыслей. Россия будет раздробленной и под опекой» (Збигнев Бжезинский). «Я предпочту в России хаос и гражданскую войну тенденции восстановления в единое, крепкое централизованное государство» (Генри Киссинджер).

Такому мышлению этих враждебно настроенных к нашей стране видных политиков не в малой степени способствует и деятельность наших "джигитов" - реформаторов. В этой связи достаточно вспомнить слова Анатолия Чубайса: "Что вы волнуетесь за этих людей? Ну вымрет тридцать миллионов, они не вписались в рынок. Не думайте об этом - новые вырастут", сказанные им Владимиру Поливанову, министру Госимущества России, когда он

попытался изменить стратегию приватизации в интересах населения страны. Короче говоря, Запад, опираясь на таких наших граждан, если о них можно так говорить, всеми силами старается принизит роль России в мировой цивилизации. При этом международные банки диктуют условия по контролю экономики и промышленности, в том числе оборонной и космической.

При всех перечисленных обстоятельствах у нашей страны, как неотъемлемой части мирового сообщества, нет альтернативы выполнению резолюции ООН, которая предписывает, что к 2002 году во всех странах должны быть разработаны национальные стратегии устойчивого развития, отражающие обязанности и вклад всех заинтересованных сторон. При выполнении резолюции в условиях крайне опасного для страны процесса, для всестороннего укрепления наших позиций надо максимально использовать уникальные особенности России. Речь идет о лидерстве в ряде передовых технологий, в первую очередь, ядерных и космических. Мы с вами знаем, что эти технологии имеют наивысший приоритет по критерию "стоимость/эффективность", пусть он и военный. Значит, здесь нам и надо искать. В такой плоскости только специалисты большого масштаба могут сформулировать рамочную стратегию, только ученые в состоянии разобраться в хитроумных формулировках, которые кроются в международных документах, в частности, в киотских соглашениях о выбросах парниковых газов.

Поэтому не случайно ООН предписывала, что стратегия устойчивого развития должна разрабатываться с широчайшим участием всех групп населения и опираться на тщательную оценку нынешней ситуации и всех инициатив. Но разработчики проекта Государственной стратегии на протяжении пяти лет, несмотря на критику ряда академиков, несмотря на поручения Правительства, не нашли времени для его обсуждения с научной общественностью. В большинстве стран (более 150) уже развивается идеология устойчивого развития, возникает новая наука, областью приложения которой является современная цивилизация. К сожалению, в нашей стране недостаточно уделяется внимания этой глобальной проблеме. В результате и в этом вопросе мы сильно отстаем, чему, в первую очередь, способствовало нежелание реформаторов, как первой, так и второй волны, учитывать социальный фактор устойчивого развития, поскольку он подрывал их тягу к рыночной экономике и к частной собственности. Вспомните экономику Гайдара и приватизацию Чубайса, где не было места для учета сложных, переплетающихся политических, социальных, экономических, межнациональных и других процессов, имеющих ключевую значимость в любых преобразованиях.

Сегодня наш уникальный научный потенциал стремительно убывает. В том числе, и не только по причине «утечки мозгов», а и по причине отсутствия у молодежи потребности в научно-техническом образовании, которое не сулит им богатых или хотя бы интересных перспектив. Все ведет к дальнейшему отставанию в области наукоемких технологий, обезоруживает Россию перед лицом техногенных и природных катастроф, реально угрожает национальной безопасности, становится фактором, лишаящим Отечество будущего. Достаточно сказать, что в настоящее время в мире доля США в использовании наукоемких технологий 39%, Японии - 30, Германии - 16, а России - всего 0,3%. С таким положением мириться нельзя. И в этой связи мне вспоминаются слова Евгения Максимовича Примакова, сказанные на наших парламентских слушаниях: «Смысл перемен заключается в том, что происходит интеллектуализация производства. Интеллектуализация производства - это процесс, который происходит во всем мире. Мы вот находимся в поисках национальной задачи. Говорим, что эта национальная задача может проистекать из подъема национального духа и так далее. Все это очень важно. Но вдвойне, втройне важно, чтобы Россия в течение ближайших 10 лет выправила свое положение, хотя бы имея 10-12% удельного веса на мировом рынке наукоемкой продукции. Можем ли мы это сделать? Можем.

Несмотря на то, что совершенно ясно, что по всему фронту макроэкономических технологий, а эта наукоемкая продукция создана только макроэкономическими технологиями, мы пойти не можем, но на 7, на 8 участках у нас есть прорывные позиции, они еще существуют. Они существуют, потому, что еще не все уехали, потому, что еще инерционно действуют какие-то вещи, оставленные нам нашими предыдущими поколениями ученых, конструкторов, технологов и так далее. Но что для этого нужно? Для этого нужны государственные ассигнования по 7, по 8 программам хотя бы. И эти ассигнования должны быть подкреплены организационными мерами, а эти организационные меры, безусловно, должны сводиться к тому, что во главе каждой программы должен стоять не чиновник, а ученый. Те, кто имел отношение к нашим прошедшим делам, связанным и с космосом и с ядерным оружием, хорошо знают, что, например, тогда по ядерной проблематике стоял во главе всего крупнейший ученый, а Малышев, который был заместителем председателя Совмина, был рядом и во многом выполнял то, что ему говорил этот крупнейший ученый-организатор. Вот такая организационная структура существовала, которая очень подкрепляла государственное финансирование по этим нескольким направлениям.

Существует золотой миллиард. И существует весь остальной мир. Вот недавно мне довелось говорить на эту тему с профессором Вульфинсоном, директором Мирового банка реконструкции и развития. Он говорит, и я с ним согласен, что самая важная проблема сейчас: как выровнять как-то уровни жизни, каким образом не допустить расширения этого разрыва в мировом масштабе? Гипотетически можно идти по двум путям. Один путь – взять и у золотого миллиарда отрезать кусок и отдать для поднятия уровня жизни. Но этого никто не сделает потому, что этим будет нарушен прогресс, будет нарушено нарастающее движение по производству и потом главным образом то, что идет в виде такой гуманитарной помощи проедается, это потребление, а не производство. Это очень тонкая грань, которую ни в коем случае нельзя нарушить. Потому что если у доноров будут срезать достаточно много, к этому дело и идет сейчас по новому бюджету, то затормозится рост производства во всей России. О каком устойчивом развитии тогда можно говорить? Надо мобилизовать наши интеллектуальные возможности, наши интеллектуальные ресурсы для решения этих важнейших проблем, которые сегодня стоят перед Россией."

ООН подчеркивает необходимость комплексного подхода к устойчивому развитию и необходимость учета в стратегиях особенностей стран.

В этой связи хочу еще раз привести вам слова Евгения Максимовича Примакова: «Проблема в том, что если будет просто экстраполировано на будущее развитие России в том виде, в котором оно происходит сейчас, устойчивого развития никакого не будет. Просто не будет. Недавно я встречался с руководителями Правительства, и один из главных руководителей Правительства говорит, что только с помощью макроэкономической политики, с помощью сдерживания инфляции и санирования денежной массы, можно обеспечить рост реального сектора экономики, можно обеспечить продвижение вперед. Это абсолютно не так. Устойчивое экономическое развитие не идентично устойчивому экономическому росту. Если даже у нас будет устойчивый экономический рост и сохранятся тенденции, которые сейчас имеют место, устойчивого экономического развития не будет ни для нынешнего, ни для будущего поколений, ни на историческую перспективу России. Но даже, если мы будем расти, как сырьевой придаток и не будем отчислять необходимые средства для дополнительной разведки, для пополнения запасов, не будем отчислять дополнительные средства, необходимые для модернизации добычи, мы все равно через два, через три года будем неконкурентоспособным сырьевым придатком. В то же время мы все здесь люди заинтересованные, и я уверен, что мы болеем душой за Россию и за ее будущее. Но почему так происходит?»

В этой связи я тоже задаюсь вопросом: что же, сороковую годовщину пилотируемой космонавтики и первый год нового столетия, которое, по мнению многих членов нашей

комиссии должно стать космическим веком России и человечества, Росавиакосмос собирается ознаменовать только затоплением орбитальной станции «Мир»? Мы что, всерьез хотим лишиться себя базы для самостоятельной экспериментальной проверки новых технологий и, следовательно, лишиться страну права самостоятельного владения новой интеллектуальной собственностью, которая в будущем мире одна лишь станет реальной ценностью - вспомните хотя бы слова Билла Гейтса!

На слушаниях нашей комиссии депутаты также не раз подчеркивали, что для России, как суверенного государства, нет иной альтернативы, как использование интеллектуального ресурса в качестве основного ресурса развития. Надо только определиться в стратегии, осознать и определить свою роль в мировом процессе, свою нишу в мировом распределении труда. Чтобы уже сегодня изменить приоритеты развития, есть соответствующие ресурсы.

Очень хорошо, что у нас проводятся академические чтения, посвященные основоположникам космонавтики. Основоположники действительно совершили дела, великие для своего времени. Но они, конечно, осудили бы нас, если мы не будем творчески развивать их наследие, идти вперед, своевременно откликаясь на новые задачи, встающие перед человечеством, а лучше сказать - неотвратимо надвигающиеся на человечество. И никто лучше вас не сможет разъяснить обществу истинные возможности космонавтики и ту роль, которую она может сыграть в XXI веке в судьбе человечества. Только в этом случае космические отрасли могут рассчитывать на реальную поддержку общества и стабильное развитие.

В заключение я хотел бы сказать несколько слов о том, что те внешние и внутренние силы, которые подтолкнули и продолжают подталкивать Россию к разрушительным технологиям в сфере политической, социальной, экономической жизни постсоветского геополитического пространства, они живы и продолжают еще с большим старанием “добывать” наше государство. Этому одним из наглядных примеров служит затея Чубайса с реструктуризацией Единой Российской энергосистемы, которую надо понимать как приватизацию этой жизненно важной для страны отрасли. Для этого масштабного мероприятия два года Чубайсом готовилась почва. Так 23 апреля 1998 года, когда он стал Председателем Совета директоров капитал отрасли составлял 13 миллиардов 982 миллионов долларов, на 15 декабря 2000 года, после одобрения концепции так называемой реструктуризации РАО “ЕЭС” Правительством, он составил всего 3 миллиарда сто шестьдесят шесть миллионов долларов, против 3 миллиардов девятьсот восемьдесят трех миллионов составлявших всего двумя днями раньше. Стоимость активов на 1 кВт сегодня он довел до 64 доллара, когда во всем мире в среднем этот показатель составляет на 1 Квт более 1100 долларов.

Таким образом, сам руководитель РАО при активной поддержке членов Правительства сбивает цену и наверняка государству он оставит убыточные участки, а прибыльные пустит по дешевке, “по-чубайсовски” своим, как он сделал во времена “большой” приватизации, передав в частные руки 70 тысяч предприятий за 9 миллиардов долларов. Для сравнения в Латинской Америке 279 приватизированных предприятий дали государству 30 миллиардов долларов. При этом в Латинской Америке приватизировались убыточные предприятия, а у нас самые прибыльные.

В этой связи заместитель директора центра политической конъюнктуры в России Валерий Федоров говорит: « Концентрируются и подтягиваются ресурсы, вполне достаточные для превращения руководителя национальной энергосистемы в полноценного «главного олигарха». Это означало бы, что Чубайс претендует на место «серого кардинала» российской политики, вакантное после ухода со сцены Березовского и Гусинского. В сложившейся ситуации именно такой расклад наиболее устраивает «героев вчерашних дней» и значительную часть региональных руководителей, которые не видят для себя

возможностей адекватно выражать свои интересы и реализовывать свои властные амбиции в «системе Путина».

При этом, конечно, реализация «олигархических» устремлений Чубайса зависит от того насколько серьезно недавнее заявление Президента Путина о том, что он не позволит представителям крупного бизнеса ему диктовать условия. Несколько раньше он в своем послании Федеральному Собранию Российской Федерации говорил: “ Нам не добиться устойчивого развития без подлинно независимого суда и действенной системы правоохранительных органов.”

К сожалению, эти важные для жизни страны вопросы решаются крайне медленно – медленно выплывает страна из глубокого кризиса, куда завели страну в значительной мере Чубайс и его окружение, в том числе и 36 американских советников – “благодетелей” России.

Мы, граждане России, с беспокойством наблюдаем, как определенные силы не дают всенародно избранному Президенту распрямить плечи. Все его старания навести порядок в стране подаются мировому сообществу как возвращение к старому, а некоторые политические деятели, питающиеся с западного стола, пугают рождением в нашей стране тоталитаризма, а то и фашизма, выставя себя поборниками свободы и, что без них не будет демократии и т.д.

В такой ситуации мы, ученые, интеллигенция страны, которая уже много сделала для разрушения своей великой Державы, понимая, что другого пути нет, должны всесторонне поддерживать своего молодого Президента во всех его стремлениях по наведению порядка в нашей обкраденной России. И, несмотря на серьезные наши к нему претензии, есть надежда, что этот от природы одаренный человек сможет, наконец утвердить у нас верховенство Закона.

Мы надеемся, что не будет в самое ближайшее время и помысла о государственном хищении, неважно, что это – деньги ВМФ, РАО “ЕЭС”, кредиты или природные ресурсы и технологии страны, где правовое государство будет означать для всех граждан страны не набор слов, а уверенность в завтрашнем дне.

И никакая истерия западной печати и заказные статьи в “желтой” прессе, не должны остановить этот процесс – процесс устойчивого развития общества в нашей многострадальной стране.

## **Воспоминание о Мстиславе Всеволодовиче Келдыше**

*Академик И. М. Макаров*

Выдающийся математик и механик Мстислав Всеволодович Келдыш окончил физико-математический факультет Московского университета в 1931 г. и посвятил всю свою жизнь служению науке. Впервые я с ним встретился в середине пятидесятых годов, когда он был председателем комиссии по приемке законченных проектов ракетного оружия. Тогда я был одним из незначительных участников создания радиоуправляемой ракеты Р-105 типа земля-воздух. Такого типа ракета создавалась впервые для поражения воздушных целей и председатель был строг, но справедлив. Замечаний и пожеланий было высказано много, но проект в целом одобрили. Завершен он был через некоторое время с некоторыми коллизиями в НИИ-1 как объект Р-125 и отмечен Сталинской премией.

Сотрудничать и работать с М. В. Келдышем, непосредственно мне довелось, когда он уже был президентом Академии Наук и тут я понял, с каким замечательным ученым и

человеком мне приходится часто встречаться и обсуждать многие научные и научно-организационные вопросы. Такие как, определения приоритетных направлений науки, улучшение высшего образования, выделения дополнительного финансирования на экспериментальную базу для этих целей и, наконец, развития фундаментальной и прикладной науки в высшей школе и промышленных НИИ, создание академических центров на Урале, Дальнем Востоке, Подмоскowie, Поволжье и организации новых научно-исследовательских институтов в ряде городов нашей страны.

Как ученому Мстиславу Всеволодовичу принадлежат выдающиеся научные результаты в ряде современных областях математики, на основе которых он смог решить многие сложные задачи в самолёто-ракетостроении, создании космических летательных аппаратов, атомной физике, электронной и вычислительной технике, оставивших неизгладимый след в мировой науке. Глубокие фундаментальные знания позволяли ему быстро вникать в проблемы, образующиеся на стыках наук: термоядерной энергетики и физики, атомной физики, квантовой электроники, межатомных взаимодействий в кристаллах, биохимии, молекулярной биологии. Он считал, что здесь возможны великие открытия, которые сыграют огромную роль в жизни человечества.

В 1928 г. Мстислав Всеволодович поступает сразу на второй курс физико-математического факультета Московского университета и его старшая сестра Людмила Всеволодовна приводит его на семинар Николая Николаевича Лузина. Застенчивый и скромный студент сразу же попадает в среду известных математиков, где ведётся жаркая полемика о необходимости обогащения классических методов аналитических функций новыми достижениями теории множеств. На семинаре он знакомится со своим будущим учителем и другом Михаилом Алексеевичем Лаврентьевым. Профессор Иван Иванович Привалов приметил в нём способного студента и поставил перед ним ряд задач из теории функций комплексного переменного. М. В. Келдыш работает над ними в МГУ, ЦАГИ, МИАНе, ИПМ, и получает важные теоретические результаты, часть из которых была им доведена до практических приложений.

Он с блеском читает лекции студентам, аспирантам и научным сотрудникам, обращая внимание на необходимость владения логическими суждениями, позволяющими строить строгие доказательства теорем и находить важные конструктивные решения. Влияние его лекций на слушателей было глубоким и всеобъемлющим. В последствие многие из его учеников становятся профессорами, членами-корреспондентами, академиками Академии Наук СССР, возглавляющими новые математические школы, применительно к наиболее перспективным направлениям математики и механики.

М. В. Келдыш сосредотачивает своё внимание на задачах о равномерных полиномиальных приближениях на замкнутых областях, где доказывает теорему, ставшую сейчас классической и носящую его имя. Эта теорема положила начало дальнейших исследований в функциональном анализе и в теории банаховых алгебр. Его работы по проблеме полноты системы полиномов в квадратичной метрике с весом являлись новой страницей в теории приближений. Исключительно плодотворными оказались исследования М. В. Келдыша по равномерному приближению с касанием в неограниченных замкнутых областях при аналитичности функций внутри области. Предложенные им теоремы по приближениям целыми функциями стали основой теории приближений в комплексной области.

Используя эти работы, ему удалось исследовать аэродинамические процессы при обтекании тонкого профиля крыла с учётом сжимаемости воздуха, дать строгое обоснование теории винта Жуковского, решить проблему создания решётчатых крыльев, выяснить законы распределения сил при жёстком ударе поплавков гидросамолётов о воду и построить строгую модель образования нестационарных волн на поверхности несжимаемой жидкости. Данные исследования легли в основу разработки крыльев для скоростной авиации и позволили определить профили винтов, обеспечивающие полёты самолётов на

больших высотах. Были найдены оптимальные формы поплавков гидросамолётов, обводы морских кораблей и даны рекомендации по изготовлению речных судов на подводных крыльях. На опубликованные М. В. Келдышем статьи обращают внимание видные зарубежные математики: Константин Кардеори присылает ему свою книгу на английском языке «Комфортное отображение», Ла Валле Пуссен – статьи на французском и работы немецких учёных, где они приводят доказательство основной теоремы о комфортных отображениях с помощью видоизменённого принципа Дирихле.

Многие годы математики во многих странах мира изучали принцип Дирихле, создавали на его основе новые научные направления и решали важные практические задачи. Затем наступил период, когда стали считать, что теоретические положения принципа полностью себя исчерпали. Как раз в это время Мстислав Всеволодович Келдыш вводит понятие о гармонической мере множества и предлагает оригинальное интегральное представление, позволяющее рассматривать задачу Дирихле, не накладывая никаких ограничений на области, в которых она решается. Для этого он строго доказывает теоремы о её разрешимости и устойчивости. Показывает, что произвольный линейный оператор при определённых условиях представляет собой обобщённое решение задач Дирихле.

Будучи научным руководителем РНИИ, М. В. Келдыш использует принцип Дирихле для исследования теплозащиты головных частей баллистических ракет и спускаемых аппаратов космических кораблей, показывает на особенности формирования плоскопараллельных потоков в комбинированных прямоточных реактивных двигателях. На основе этого принципа определяет оптимальные параметры ступеней составных ракет-носителей.

Приняв гипотезу стационарности в неконсервативных системах, М. В. Келдыш доказывает сходимость решения дифференциальных уравнений в частных производных, пользуясь методом Бубнова-Галёркина. Это позволило определить причины возникновения флаттера самолётных конструкций и шимми передних колёс в трёхколёсных шасси и разработать способы предотвращения поломок и гибели самолётов. Решение данных проблем сыграло исключительно важную роль в развитии скоростной авиации.

М. В. Келдыш внёс большой личный вклад в разработку новых алгоритмов и мощных численных процедур, намного повысивших вычислительные возможности ЭВМ. В результате их применения были исследованы колебания жидкого топлива в частично заполненных баках и упругие колебания корпусов ракет-носителей, вызывающих опасные для прочности конструкции резонансные колебания. Путём введения корректирующих и запирающих фильтров в системы управления он исключил возможность возникновения неустойчивых режимов и поломок ракет.

Понимая исключительную важность освоения космического пространства, Мстислав Всеволодович развернул большие работы по баллистическому проектированию полётов космических летательных аппаратов к Луне, Венере, Марсу и их навигационному обеспечению. Созданный в МИАН Центр управления космическими полётами вёл оптимальную обработку информации об орбитах ожидания и траекториях полёта до достижения максимальной точности облёта планет или посадки на них при минимальных расходах топлива. Это позволило нашим космическим аппаратам впервые в мире обследовать Луну, Венеру, Марс и приступить к эре пилотируемых полётов в космосе, который открыли впервые Юрий Алексеевич Гагарин и за ним Герман Степанович Титов. Много внимания он уделял использованию космических летательных аппаратов для связи, навигации, метеорологии, картографии, охраны окружающей среды и исследованию природных ресурсов Земли. Мстислав Всеволодович считал, что освоение человечеством космоса и создание электронных вычислительных машин являются самыми величайшими достижениями нашей эпохи.

Несмотря на свою большую занятость он находил время для разоблачения ошибочных теорий, которые мешали развитию науки и служили личным интересам отдельных групп,

старающихся приспособляться к сложившимся в тот период у нас в стране условиям. Так обстояло с кибернетикой, квантовой механикой, молекулярной биологией и генетикой. Не признание таких важных наук наносило серьезный вред науке и промышленности, (сельскому хозяйству, биологии и медицине). Обсуждения данных проблем и разъяснительная деятельность позволяли ему устранять складывающиеся негативные последствия.

Защищая квантовую механику от нападок ряда ученых, считающих ее ошибочной и приводящей к отрицанию материальности природы, Мстислав Всеволодович говорил: "Если глубже проанализировать вопрос, то можно убедиться, что все основное развитие науки - и физики, и химии, и биологии по крайней мере за прошлое и наше столетие связано с проникновением в микроструктуру материи. Все эти науки добились поразительных результатов, полностью изменивших наше представление о многих процессах в природе, а самое главное - достигнутые успехи в науке нашли невиданное практическое применение, без которых не было бы современной радиоэлектроники, вычислительной техники, нелинейной оптики, сверхпроводящих сплавов, жаропрочных материалов, биополимеров и многих других химических веществ. Так о каком же отсутствии картины реальности может идти речь!"

Кибернетику, признанную во всем мире науку об общих принципах управления в технике и в живой природе, наши философы окрестили "наукой мракобесов". М. В. Келдыш, хорошо знакомый с идеями Н. Винера по спектральной теории и кибернетике, вел непримиримую борьбу с ними.

Приведу еще один пример. В трудный период второго "становления" Т. Д. Лысенко при Н. С. Хрущеве по инициативе М. В. Келдыша и В. А. Кириллина при участии ведущих биологов и генетиков страны удается подготовить проект постановления Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР "О мерах по дальнейшему развитию биологической науки и укреплению ее связи с практикой", которое было принято 9 января 1963 г.

Постановление не очень понравилось Н. С. Хрущеву, но он вынужден был согласиться с ним бросив фразу: "Видно, это умные люди его писали". Это постановление сыграло огромную роль в реабилитации биологической науки и дало огромный толчок ее развитию.

М. В. Келдыш на первый взгляд мог показаться сухим человеком, но зная его достаточно близко могу сказать, что он был человеком с искрящейся душой, благородный, честный, с огромным чувством юмора. Он увлекался и хорошо знал, и оригинально воспринимал и литературу, и музыку, и живопись и вообще красоту.

Порой меня поражало как он находил на все это время и задавал вопросы специалистам гуманитариям, искусствоведам ставя их в тупик не из желания уколоть, а из желания познать еще больше.

Блистательный был человек.

Заканчивая скажу, Мстислав Всеволодович Келдыш являлся примером выдающегося учёного, прекрасного инженера и талантливого организатора науки, занимающегося и реализацией её результатов с высокой ответственностью и глубокой обоснованностью. С его мнением считались не только известные учёные во многих странах мира, но и государственные деятели, что способствовало интеграции усилий ученых над решением крупных, дорогостоящих проектов и улучшению взаимоотношений между государствами. Такие люди, как академик Мстислав Всеволодович Келдыш, рождаются однажды в столетие, а помнить о нем будут века.

## **Задача терминального управления для ракетой ступени авиационно-космической системы**

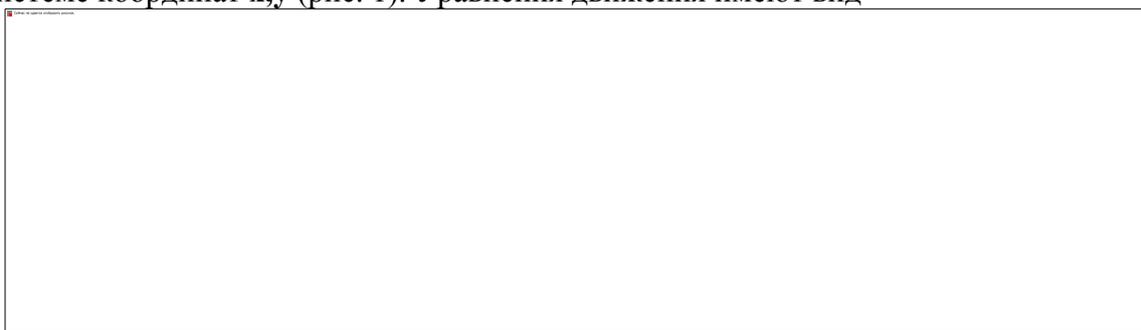
*В.В.Балашов, В.М.Бузулуков, Б.Х.Давидсон, А.В.Смирнов*

Рассмотрена возможность выведения малых ИСЗ на низковысотные орбиты с использованием авиационно-космической системы (АКС). В состав АКС входят самолет-носитель (СН) и двух-трехступенчатая ракета-носитель (РН). СН доставляет РН в район старта, выводит в заданные условия пуска и возвращается на аэродром вылета. Траектория выведения РН состоит из двух активных участков, разделенных участком пассивного полета (рис.1). Второй активный участок, примыкающий к орбите назначения, может быть аппроксимирован импульсом скорости на орбите, поскольку его продолжительность сравнительно невелика, и углы наклона траектории также малы. При заданной величине этого импульса определяется и скорость движения РН до импульса. Если импульс ориентирован по вектору орбитальной скорости, то скорость до импульса представляет собой скорость в апогее эллиптической траектории пассивного участка. Скорость в апогее  $V_A$  и радиус апогея  $r_A$  однозначно определяют параметры эллипса [1].

Задача формулируется следующим образом: для РН с заданными характеристиками ступеней определить параметры функции управления углом тангажа на первом активном участке, при которых обеспечивается выведение заданной массы полезной нагрузки  $m_{пн}$  на заданную орбиту. В рамках приведенной схемы выведения это эквивалентно требованию выполнения двух терминальных условий: горизонтальная и вертикальная компонента скорости  $u_f, w_f$ , достигнутые в конце первого активного участка на заданной высоте  $y_f$ , должны быть равны соответствующим компонентам скорости  $u_e, w_e$  движения по эллиптической траектории пассивного участка :

$$u_f(y_f) = u_e(y_f) , w_f(y_f) = w_e(y_f) . \quad (1)$$

Полагая, что траектория РН является плоской, рассмотрим движение РН в декартовой системе координат  $x, y$  (рис. 1). Уравнения движения имеют вид



где  $u$ ,  $w$  – компоненты вектора скорости РН ;  $g_x$ ,  $g_y$  – компоненты вектора гравитационного ускорения ;  $\varphi$  – угол тангажа;  $f$  – ускорение РН от силы тяги;  $c$  – скорость истечения продуктов сгорания;  $m$  – текущая масса РН.

Возможность получения аналитического решения системы (2) определяется тем, в какой форме представлены функции  $f(t)$ ,  $\varphi(t)$ ,  $g_x(x,y)$ ,  $g_y(x,y)$ . Функция  $f(t)$  определяется компоновкой РН (количеством и схемой расположения ступеней), массовыми характеристиками и характеристиками двигательных установок ступеней. В настоящей работе рассматривается вариант трехступенчатых РН с последовательным расположением ступеней. Первая и вторая ступени полностью обрабатывают на первом активном участке. Третья (орбитальная) ступень рассматривается в двух вариантах. Если ее двигательная установка допускает только одно включение, то ступень полностью обрабатывает на втором активном участке, обеспечивая достижение требуемой орбитальной скорости. Если двигательная установка допускает повторное включение, то третья ступень может частично отработать на первом активном участке. Для  $i$ -й ( $i=1,2,3$ ) ступени полагаются заданными:  $t \in [t_{i0}, t_{i1}]$  – интервал времени работы ступени;  $t_{i0}$ ,  $t_{i1}$  – начало и окончание активного участка ступени;  $T_i = t_{i1} - t_{i0}$  – длительность активного участка ступени;  $m_i$  – масса РН в начале активного участка ступени;  $m_{i0}$  – начальная масса ступени;  $m_{iT}$  – масса расходуемого топлива;  $c_i$  – скорость истечения;  $\alpha_i = \img alt="small icon" data-bbox="440 385 475 410"/>$  – секундный расход массы. Текущее значение массы РН

$$m(t) = m_i - \alpha_i (t - t_{i0})$$

и ускорение на активном участке  $i$ -й ступени

$$f(t) = c_i / (\tau_i - t), \tag{3}$$

где  $\tau_i = t_{i0} + \img alt="small icon" data-bbox="235 535 275 585"/>$ .

Компоненты вектора гравитационного ускорения в центральном (ньютоновском) поле в зависимости от текущих значений координат  $x$ ,  $y$  :



где  $g_0 = K / r_0^2 = v / r_0$ ,  $v = 2\pi / T_0$ ,

$K$  – постоянная гравитационного поля Земли;  $T_0$  – период Шулера – период обращения по круговой орбите радиусом, равным радиусу Земли  $R$ ;  $g_0$  – гравитационное ускорение в точке  $(0,0)$ .

Для компонент  $g_x$ ,  $g_y$  в виде (4,5) система (2) в аналитическом виде не интегрируется. Следует перейти к упрощенной модели гравитационного поля. В работе [2] предложено заменить выражения (4), (5) для компонент гравитационного ускорения приближенными формулами. С этой целью функции (4,5) разложены в окрестности точки  $(0,0)$  в ряд по степеням  $x$  и  $y$  Ограничиваясь в разложениях членами, содержащими  $x$  и  $y$  в первой степени, в [2] получены следующие приближенные формулы:

$$g_x = v^2 x \quad , \quad g_y = g_0 - 2v^2 y . \quad (6)$$

Линейные (по координатам  $x$  и  $y$ ) гравитационное поле (6) в литературе получило наименование «поле Охоцимского-Энеева». С использованием этой модели в [2] была рассмотрена следующая вариационная задача: для заданной функции  $f(t)$  найти функцию  $\varphi(t)$ , обеспечивающую максимальное конечное значение горизонтальной скорости  $u_f$  на заданной высоте  $y_f$ . Получена общая формула для оптимальной программы управления по тангажу, представляющая  $tg\varphi$  в виде дробно-линейной функции времени. Однако найденное решение содержит интегралы, не берущиеся в элементарных функциях. Т.о. в рамках поля Охоцимского-Энеева поставленная задача не решается и необходимо прибегнуть к дальнейшему упрощению.

Простейшей моделью гравитационного поля является однородное плоско-параллельное поле, в котором  полагается постоянным по величине и направлению, и т.о. компонента гравитационного ускорения

$$g_x = 0 \quad , \quad g_y = g_0 . \quad (7)$$

В рамках плоско-параллельного поля решен ряд задач оптимизации управления выведения ракет. Это, в первую очередь, работы Д.Ф. Лоудена [3] и В.К. Исаева [4]. Среди оптимальных законов управления – программа, представляющая  $tg\varphi$  в виде линейной функции времени. Следует, однако, отметить, что плоско-параллельное поле дает удовлетворительные результаты при сравнительно небольших дальностях полета, и с увеличением дальности ошибки возрастают. В работе [5] предложена уточненная модель поля, в которой учитывается изменение гравитационного ускорения по координате  $x$ , а по координате  $y$  оно полагается постоянным :

$$g_x = v^2 x \quad , \quad g_y = g_0 \quad . \quad (8)$$

Такой вариант представления гравитационного поля является промежуточным между линейным полем (6) и однородным плоско-параллельным полем (7). Поле (8), определяемое как линейно-однородное, используется в настоящей работе как форма представления  $g_x$  и  $g_y$  в системе (2). Данная модель, при некоторых упрощающих предположениях, позволяет получить аналитическое решение задачи о движении ракеты с управлением  $\varphi(t)$ , близким к оптимальному. В настоящей работе в качестве приближенно-оптимальной программы управления углом тангажа используется программа, представляющая  $\sin\varphi(t)$  в виде линейной функции времени :

$$\sin\varphi(t) = a + bt \quad (9)$$

Данная программа близка к оптимальным программам управления, полученным в [3,4], при относительно небольших углах  $\varphi$ . В этом случае допустимо также приближенное представление функции  $\cos\varphi(t)$  в системе (2) в виде:

$$\cos\varphi(t) = \sqrt{1 - \sin^2\varphi(t)} = \sqrt{1 - (a + bt)^2} .$$

Уравнения движения РН на активном участке  $i$ -й ступени в линейно-однородном поле (8) с программой изменения тяги (3) и управлением (9) имеют следующий вид :



Программа управления углом тангажа является общей для всех ступеней, работающих на первом активном участке. В работе [5] проведено интегрирование уравнений системы (10) и получены решения в элементарных функциях. Структура уравнений (10) позволяет получить интегралы уравнений движения для всей последовательности ступеней, отработавших на первом активном участке, т.е. в интервалах времени  $t \in [t_0, t_f]$ , где  $t_0$  – момент начала работы первой ступени,  $t_f$  – момент окончания первого активного участка. Значения характеристик траектории в конце первого активного участка в зависимости от начальных условий  $u_0(t_0)$ ,  $w_0(t_0)$ ,  $x_0(t_0)$ ,  $y_0(t_0)$  определяются соотношениями :

$$u_f = u_0 \cos v t_f - v x_0 \sin v t_f - \boxed{\phantom{0}} N_{fx} + V_{fx} - k_{f1} a^2 - k_{f2} a b - k_{f3} b^2, \quad (11)$$

$$w_f = w_0 - g_0 t_f + V_{fx} a + (t_f V_{fx} - L_{fx}) b, \quad (12)$$

$$x_f = x_0 \cos v t_f + \boxed{\phantom{0}} \sin v t_f + L_{fx} - k_{f4} a^2 - k_{f5} a b - k_{f6} b^2, \quad (13)$$

$$y_f = y_0 + w_0 t_f - \boxed{\phantom{0}} t_f^2 + L_{fx} a + (t_f L_{fx} - N_{fx}) b. \quad (14)$$

Функции  $V_{fx}$ ,  $N_{fx}$ ,  $L_{fx}$  и коэффициенты  $k_{f1}, \dots, k_{f6}$  при параметрах  $a$ ,  $b$  функции управления (9) определяются массовыми характеристиками и характеристиками двигательных установок ступеней.

В соответствии со сформулированными терминальными условиями компоненты скорости полета РН в конце первого активного участка должны соответствовать параметрам пассивного участка траектории выведения. Горизонтальная и вертикальная составляющая скорости движения по эллиптической траектории  $u_e$ ,  $w_e$  в зависимости от высоты полета  $y_f$ :



где большая полуось  $a_e$  и фокальный параметр  $p$  эллипса определяются при заданных  $V_A$  и  $r_A$ . Функции (15), (16) являются функциями малого параметра  и могут быть разложены в окрестности  в ряд по степеням . Ограничиваясь членами, содержащими  в первой степени, получим :



Для определения характеристик траектории в конце первого активного участка  $u_f, w_f, u_e, w_e$ , компонент скорости движения по эллипсу  $u_e, w_e$  и параметров управляющей функции  $a, b$  имеем пять алгебраических уравнений (11,12,14,17,18) и два терминальных условия (1). Уравнения (12), (14), (18), описывающие движение по вертикальной координате, могут быть записаны в следующем виде:

$$w_f = k_{11} + k_{12}a + k_{13}b \quad , \quad (19)$$

$$\text{} = k_{14} + k_{15}a + k_{16}b \quad , \quad (20)$$

$$w_e = k_{17} + k_{18} \text{} \quad . \quad (21)$$

Из этих уравнений и второго терминального условия (1) устанавливается связь между параметрами управляющей функции (9):

$$b = k_{19} - k_{20}a \quad . \quad (22)$$

Уравнения (11), (17) с учетом (22) приводятся к виду :

$$u_f = k_{21} + k_{22}a + k_{23}a^2 \quad , \quad (23)$$

$$u_e = k_{24} + k_{25}a \quad , \quad (24)$$

и первое терминальное условие (1) приобретает вид алгебраического уравнения второй степени относительно параметра управляющей функции  $a$  :

$$k_{26}a^2 + k_{27}a + k_{28} = 0 \quad . \quad (25)$$

Дискриминант этого уравнения :

$$D = k_{27}^2 - 4k_{26}k_{28} \quad . \quad (26)$$

Область существования решений уравнения (25) определяется условием  $D \geq 0$ . В случае  $D > 0$  задача терминального управления имеет два решения – два варианта закона

управления (9). При  $D = 0$  – решение единственное. В случае  $D < 0$  уравнение (25) действительных решений не имеет. Это означает, что горизонтальная скорость  $u_f$  (23), достигнутая на первом активном участке, меньше требуемой горизонтальной скорости  $u_e$  (24) на эллипсе пассивного участка. Геометрически это соответствует случаю, когда парабола (23) расположена ниже линейной функции (24) и не имеет с ней общих точек. Введем в рассмотрение невязку по горизонтальной скорости как функцию параметра функции управления  $a$  :

$$F(a) = u_f(a) - u_e(a) . \quad (27)$$

Минимальное значение невязки (27)  $F_{\min}$  соответствует значению параметра  $a$

$$a_{F_{\min}} = (k_{25} - k_{24})/2k_{23} .$$

Величина  $F_{\min}$  может служить мерой того, насколько, при заданных начальных условиях  $u_0, w_0, y_0$  и характеристиках ступеней РН, задача далека от решения. Для того, чтобы получить решение задачи, следует так скорректировать варьируемые параметры РН, чтобы обеспечить выполнение условия  $F_{\min} \geq 0$  и, как следствие, условия  $D \geq 0$ . В качестве варьируемого параметра может рассматриваться масса полезной нагрузки  $m_{пн}$  : с уменьшением  $m_{пн}$  происходит уменьшение  $|F_{\min}|$ . То значение  $m_{пн}$ , при котором будет выполнено условие  $F_{\min} = 0$  и, соответственно, удовлетворены терминальные условия (1), является максимальным значением массы полезной нагрузки, доставляемой на заданную орбиту ИСЗ ракетой-носителем с заданными характеристиками ступеней.

#### Л и т е р а т у р а

1. К.Эрике. Космический полет. Т.1, М., 1963.
2. Д.Е.Охоцимский, Т.М.Энеев. Некоторые вариационные задачи, связанные с запуском искусственного спутника Земли // Успехи физических наук, т. LXIII, вып. 1, сентябрь 1957г. С.5-32.
3. Д.Ф.Лоуден. Оптимальные траектории для космической навигации. М., 1966.
4. В.К.Исаев. К теории программирования тяги ракет // БНТИ ЦАГИ, 1962.
5. Б.Х.Давидсон. Некоторые задачи оптимального управления пространственным движением летательных аппаратов // Кандидатская диссертация, МФТИ, 1969.

