

СЛОВО ОБ АКАДЕМИКЕ Д.Е. ОХОЦИМСКОМ

© Ю.Г. Сихарулидзе

sikh@kiam1.rssi.ru

В моем «Слове» отражены отдельные эпизоды взаимодействия с Дмитрием Евгеньевичем Охоцимским на протяжении почти 40 лет совместной работы. Эти эпизоды позволяют осветить с разных сторон многогранную личность Д.Е. Охоцимского и показать его в разных жизненных ситуациях. Несомненно, Д.Е. Охоцимский относится к числу ближайших сподвижников М.В. Келдыша, и кредо Главного теоретика космонавтики (сначала задача, потом ее решение, на обобщении которого строится теория) он неустанно прививал своим сотрудникам и ученикам. Строгость и дотошность Д.Е. Охоцимского к анализу научных результатов, одинаково скрупулезное отношение к большим и малым вопросам, нетерпимость к поверхностным оценкам – все это в сочетании с глубокой научной эрудицией и творческим подходом к решению сложнейших задач механики, баллистики и робототехники обеспечили высокий авторитет академику Д.Е. Охоцимскому.

1. Введение

Наше знакомство и даже в каком-то смысле сотрудничество с Дмитрием Евгеньевичем Охоцимским началось задолго до приглашения работать в ИПМ.

В начале 60-х годов прошлого века, когда бурно развивалась ракетно-космическая техника, Дмитрий Евгеньевич (или просто Д.Е., как звали между собой его сотрудники) читал лекции по механике космического полета

на механико-математическом факультете МГУ. Эти лекции, которые Д.Е. читал по средам, собирали огромную аудиторию. Среди слушателей преобладали сотрудники промышленности из Москвы и Подмосковья.

Я в то время работал «на фирме» В.Н. Челомея в Филях, где мы занимались проектированием универсальных ракет УР-200, УР-500 и УР-100. Две последние ракеты получили названия «Протон» и «Рокот», соответственно, и летают до настоящего времени. Все было окружено секретностью, и единственной открытой книгой по этой тематике была книга В.И. Феодосьева и Г.Б. Сиярева «Введение в ракетную технику» [1]. К сожалению, в ней не было информации по механике космического полета аппаратов, оптимальным орбитальным маневрам и т.п. Все баллистики нашей организации (и я в их числе) регулярно посещали лекции Д.Е. и тщательно их конспектировали. Когда курс лекций закончился, мы с В.П. Филатовой оформили конспект лекций на кальке для размножения в виде «синек». Конспект пользовался большим спросом, и Д.Е. неоднократно обращался ко мне с просьбой отпечатать еще один экземпляр для кого-то. В конце концов, я отдал кальки Д.Е., чтобы не работать печатником. Но история с конспектом лекций имела свое продолжение.

Как-то Д.Е. предложил мне выпустить этот конспект в соавторстве как книгу в издательстве МГУ. Я отказался по двум причинам. Во-первых, я не был тогда соавтором, а во-вторых, я заканчивал кандидатскую диссертацию, и у меня совсем не было времени. Тогда Д.Е. решил издать книгу в виде конспекта лекций, подготовленного В.П. Филатовой и Ю.Г. Сихарулидзе [2]. Этот «первый блин» оказался комом, потому что в редакции решили заново перепечатать текст с рисунками. Никто его не проверил, и в итоге там оказалось много опечаток, за что нам всем было очень стыдно.

После защиты кандидатской диссертации я решил сменить довольно однообразную ракетную тематику на другую и попросил Д.Е. рекомендовать меня в новый Институт космических исследований. К моему удивлению и огромной радости, вместо ИКИ Д.Е. предложил мне перейти на работу в Институт прикладной математики. ИПМ в то время (да и сейчас тоже) был известен во всех ракетно-космических организациях и играл ведущую роль в новых проектах. Чтобы компенсировать некоторую потерю в деньгах (я работал в КБ в качестве ведущего конструктора по баллистическому проектированию), Д.Е. сразу предложил мне должность и.о. старшего научного сотрудника. Такое доверие ко многому обязывало, и надо было достичь той высокой планки в науке, которой соответствовало звание старшего научного сотрудника ИПМ. Конечно, я без колебаний согласился с предложением

Д.Е. и в октябре 1968 года был переведен в ИПМ. Так началась моя работа под непосредственным руководством Д.Е., что позволило по-новому раскрыть мне все грани этого выдающегося ученого и человека.

Что больше всего поразило меня в новом для меня коллективе отдела 5, которым руководил Д.Е., так это дружеская и творческая атмосфера, высокий научный уровень, а также уважительное отношение «корифеев» к молодым сотрудникам.

2. Вход в атмосферу Земли

Я оказался в группе Д.Е., которая занималась проблемой приведения спускаемого аппарата (СА) в заданное место посадки после возвращения от Луны. Эта проблема была связана с советской лунной программой, которой руководили Главный конструктор С.П. Королев и Главный теоретик космонавтики, директор ИПМ и президент Академии наук СССР М.В. Келдыш. В то время в небольшой группе Д.Е. работали Г.И. Бельчанский (будущий доктор технических наук), А.П. Бухаркина (будущий кандидат физико-математических наук), В.А. Геловани (будущий академик РАН) и Ю.Ф. Голубев (будущий доктор физико-математических наук). Каждый старался внести свою лепту в решение общей задачи. Суть ее заключалась в следующем.

Существуют две возможные траектории возвращения от Луны к Земле: подлет с севера и подлет с юга. При подлете с севера спускаемый аппарат (СА) можно наблюдать с нашей территории, но из-за ограничений по перегрузке он не может приземлиться в Казахстане, а может только приводниться в Индийском океане, что связано с большими трудностями по спасению аппарата и экипажа. При подлете с юга СА оказывается вне зоны видимости с нашей территории, а для посадки в Казахстане СА должен выполнить сложный маневр в атмосфере. Сначала СА в процессе первого погружения в атмосферу уменьшает скорость от параболической до околосферической, а затем вылетает за пределы осязаемой атмосферы Земли для увеличения дальности полета. На втором погружении в атмосферу скорость и угол входа примерно соответствуют спуску с низкой околосферической орбиты. Таким маневром удастся выполнить ограничение по допустимой перегрузке за счет увеличения суммарной дальности двух атмосферных участков движения. Главная трудность в этом случае связана с обеспечением требуемой точности посадки, так как получающаяся пологая траектория после вылета СА из атмосферы оказывается очень чувствительной к возможным возмущениям и ошибкам управления на первом атмосферном участке. Среди возмущений наиболее существенными были атмосферные, т.е. вариации плотности относительно

существующей модели Стандартной атмосферы и ветер, который вообще отсутствует в этой модели. В то время еще не было результатов измерений параметров атмосферы в районе Индийского океана, поэтому была придумана и согласована ведущими исследовательскими организациями (ЦАГИ, НПО АП, ИПМ и др.) некоторая модель вариаций плотности, которая описывала гармонические колебания плотности по широте, так называемые «змейки». Эта модель оказалась «крепким орешком», который мы пытались открыть с помощью алгоритмов управления. Забегая вперед, скажу, что позже были организованы зондирования атмосферы в районе Индийского океана с помощью метеорологических ракет, которые запускались с научно-исследовательских судов Академии наук СССР. В результате была построена достаточно адекватная модель возмущенной атмосферы в районе первого погружения СА в атмосферу.

Когда я присоединился к группе Д.Е. по спуску, работа над алгоритмом управления маневром СА в атмосфере была продвинута довольно далеко. Впервые в нашей стране и параллельно с американцами, как оказалось потом из их публикаций, по инициативе Д.Е. разрабатывался многошаговый алгоритм терминального управления для бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ). Этот алгоритм отличался тем, что прогноз остающейся траектории движения СА для выбора управления выполнялся не по упрощенным интегралам уравнений движения, а путем численного интегрирования этих уравнений. Сейчас такой алгоритм терминального управления называют Numerical Predictor - Corrector (NPC). Он обеспечивает большую гибкость управления и возможность адаптации к действующим возмущениям (так называемую, робастность). Оригинальной была идея одновременного сведения к нулю прогнозируемого промаха в продольном и боковом направлениях. Для этого использовались два параметра построенной функции угла крена СА, посредством которого осуществляется управление траекторией движения: величина угла крена и момент изменения знака угла крена («переворот по крену»). Число переворотов СА по крену было минимальным (2-3 переворота, в то время как у «Apollo» число переворотов достигало 6-8), что обеспечивало существенную экономию топлива на угловое движение.

Первое задание, которое я получил от Д.Е., было связано с упомянутым ранее «крепким орешком», который серьезно тормозил разработку терминального алгоритма управления. Надо было критически проанализировать принятую модель возмущенной атмосферы Земли на предмет ее физической достоверности. Было предложено использовать для расчета скорости ветра принятый в динамической атмосфере подход, основанный на *geo-*

стратифическом приближении. Сущность этой модели основана на равенстве силы Кориолиса и градиента давления в атмосфере. Тогда скорость ветра связана с градиентом давления некоторым соотношением. Оказалось, что принятая модель вариаций плотности должна была бы порождать в верхней атмосфере ветер порядка 1000 м/с [3], что явно противоречит результатам зондирований атмосферы Земли. Таким способом были повержены атмосферные «змейки». Но Д.Е. не был бы Д.Е., если бы он удовлетворился полученным результатом. Поэтому он сказал мне: «Раз эта модель возмущений плоха, предложите что-нибудь лучшее». После такого «пожелания» в моей жизни появилась тема, которая продолжается до настоящего времени. Первая модель возмущенной атмосферы была достаточно простой и была построена совместно с М.А. Бутузовой, при этом нас консультировал известный специалист в области атмосфер планет М.Я. Маров (будущий академик РАН) [4]. Сейчас уже создана глобальная модель возмущенной атмосферы Земли до высот 100 км CMEDA (Computational Model of the Earth Disturbed Atmosphere), позволяющая имитировать неограниченное число случайных состояний для любого месяца [5].

Хотя советская лунная программа пилотируемых полетов была закрыта, наш большой накопленный опыт по созданию первых алгоритмов терминального управления движением центра масс СА и относительно центра масс оказался востребованным. Мы издали книгу «Алгоритмы управления космическим аппаратом при входе в атмосферу» [6], которая привлекла внимание ученых и инженеров к разработке таких алгоритмов и их практическому использованию. Правда, первые БЦВМ с небольшой памятью и быстроедействием ограничивали возможности использования алгоритмов терминального управления, но Д.Е. уверенно предсказывал неизбежность перехода к принципиально новому направлению развития теории управления – созданию терминальных алгоритмов для существующих и перспективных БЦВМ. И он оказался прав. Все современные космические аппараты и ракеты реализуют принцип терминального управления.

3. «Спейс шатл»

После защиты докторской диссертации в начале 1975 года Д.Е. предложил мне заняться разгадкой назначения новой американской многоэтажной системы «Спейс шатл» (Space Shuttle) или космического челнока. Подлило масло в огонь то обстоятельство, что когда на Ученом совете ИПМ Д.Е. доложил об этой задаче, М.В. Келдыш скептически заметил: «Разве один человек способен решить эту задачу? Вот в коллективах Сергея Павловича

(Королева) и Юрия Александровича (Мозжорина, директора ЦНИИМаш) над разгадкой работают несколько десятков тысяч человек, но пока безрезультатно». Такие слова «завели» Д.Е., а он «завел» меня.

К этому моменту у меня накопился большой объем информации по «Спейс шатлу», и по совету Д.Е. я засел за его критический анализ. Как следовало из моего общения с коллегами в промышленных организациях, основной вопрос формулировался следующим образом: «Для каких целей американцы хотят вывести на орбиту полезную нагрузку массой 29,5 т с габаритами 4,6×18,3 м?». Это была максимальная грузоподъемность многоразовой системы на низкую восточную орбиту, а габариты соответствовали размеру отсека полезной нагрузки. При такой постановке было трудно найти правильный ответ, поэтому мы решили просто использовать системный подход к анализу преимуществ и недостатков системы на всех участках полета: активном при выходе на орбиту, орбитальном и спуске в атмосфере. Оказалось, что активный участок не позволяет выявить особых преимуществ многоразовой системы по сравнению с существующими одноразовыми. Тяжелый орбитальный корабль с массой конструкции около 80 т был явно не предназначен для широкого маневрирования на околоземной орбите. Существенное преимущество орбитального корабля проявлялось только на участке спуска в атмосфере. Благодаря выбранной самолетной форме он был способен выполнять боковой маневр порядка 2000 км, что отвечало требованиям Министерства обороны США, которое выступало как «главный потенциальный потребитель» многоразовой системы, в то время как НАСА являлась лишь разработчиком. В частности, такой боковой маневр позволял выполнять одновитковые полеты со стартом и посадкой в одном и том же месте, что упрощало эксплуатацию.

Было установлено, что энергетические характеристики многоразовой системы «Спейс шатл» определяются полезной нагрузкой массой 14,5 т на западной орбите с наклоном 104° , а не полезной нагрузкой 29,5 т на восточной орбите с наклоном $28,5^\circ$ (по техническому заданию орбитальный корабль должен был доставлять с орбиты на землю полезную нагрузку массой именно 14,5 т).

В то время предполагалось, что полезные нагрузки военного назначения будут выводиться на орбиту, в основном, с космодрома базы ВВС Ванденберг в объявленном диапазоне азимутов запуска от 140° до 201° , что обеспечивало диапазон наклонов орбит от 56° до 104° . Когда были построены на карте трассы указанных орбит, то оказалось, что на первом витке они покрывают всю территорию от западных границ ГДР и Чехослова-

кии до восточных границ СССР, причем околополярная орбита проходит над Москвой. Кроме того, две из четырех «типовых» программ полета многоцветной системы, разработанных тогда специалистами НАСА, были одновитковыми (так называемые программы IIIA и IIIB). Одна орбита предполагалась полярной, т.е. на первом витке могла проходить над Москвой.

Из проведенного анализа следовал естественный вывод о возможном использовании многоцветной системы «Спейс шатл» для нанесения упреждающего обезглавливающего удара. Была промоделирована одновитковая траектория с так называемым «нырком», т.е. снижением орбитального корабля до высоты около 70 км путем аэродинамического маневра и последующим увеличением скорости (за счет включения двигателей орбитального маневрирования) для достижения базы ВВС Ванденберг с боковым маневром порядка 2000 км. В случае «нырка» время спуска сбрасываемого груза уменьшается до 3-4 минут, но последующее возвращение корабля на орбиту невозможно из-за ограниченного запаса топлива для орбитального маневрирования (суммарное изменение скорости около 300 м/с).

Забегая вперед, необходимо отметить, что стартовый комплекс для многоцветной системы «Спейс шатл» на базе ВВС Ванденберг так и не был построен, и все запуски осуществлялись из Центра имени Кеннеди во Флориде.

Д.Е. был очень доволен результатами проведенного анализа, которые мы оформили в виде отчета. Он решил, что настало время доложить результаты директору Института М.В. Келдышу. Поначалу директор не очень-то охотно шел на этот разговор и даже ограничил время сообщения тридцатью минутами. Как потом оказалось, обсуждение работы заняло два с половиной часа.

Мы пришли в «усиленном» составе: Д.Е., А.К. Платонов, М.Я. Маров и я. Сначала Д.Е. попросил меня рассказать об основных параметрах многоцветной системы «Спейс шатл», а затем о проделанной работе и полученных результатах. Директор слушал очень внимательно, изредка перебивал меня вопросами, требуя пояснений, чтобы детально вникнуть в сущность излагаемого. В процессе сообщения он изредка поговаривал: «Да, то правильно!». Иногда он пытался опередить события и «заглянуть» в конец, но мы общими усилиями старались выдержать логику изложения и подвести его самого к соответствующим выводам.

Когда я закончил, М.В. Келдыш сказал нам: «Может быть, они и в самом деле считают, что мы не догадаемся о назначении «Спейс шатла», но вот мы догадались и теперь можем действовать по дипломатическим каналам. Можем объявить, что каждое появление орбитального корабля над на-

ми будет расцениваться как акт агрессии и что мы будем применять в ответ свои средства». Д.Е. возразил: «Любые дипломатические акции могут иметь успех только в том случае, когда они подкреплены силой. Вот, например, резолюция ООН о выводе израильских войск с арабских земель была принята почти десять лет назад, но ведь никто не собирается ее выполнять». Я также добавил, что будет невозможно отличить действительные акты агрессии от регулярных полетов «Спейс шатла» в научных целях.

Потом директор спросил меня о состоянии дел с нашей многоразовой системой. Я высказался в том духе, что надо не просто копировать их систему, а создать такую, которая могла бы решать аналогичные задачи, но сначала надо четко сформулировать эти задачи.

Подводя итог совещания, М.В. Келдыш сказал: «Эта работа заслуживает, чтобы ее разослали для обсуждения. Давайте подумаем, кому следует направить отчет». К нашему списку адресов он добавил около десятка, причем все на самом высоком государственном уровне.

На другой день Д.Е. сказал мне: «Для первого доклада директору Вы выступили нормально. Единственный недостаток, который отметили мы с М.Я. Маровым, состоит в том, что Вы позволяли сбивать себя с намеченной линии. Надо строже придерживаться главного направления. Да, черт дернул Вас за язык упомянуть остров Гуам как место запасного аэродрома для орбитального корабля, если Вы не знали его расположения. Ясно, что Мстислав Всеволодович спросил бы Вас об этом. Лучше не произносить вслух то, что Вам доподлинно не известно». Так Д.Е. дал мне наглядный урок на всю жизнь.

Наш отчет с Д.Е., утвержденный М.В. Келдышем, оказался весьма своевременным и сразу разделил всех, кто его прочел, на наших «союзников» и «недоброжелателей». «Союзники» преобладали. Например, один из первых ракетчиков нашей страны, заместитель министра общего машиностроения, генерал-лейтенант, профессор Г.А. Тюлин специально перешел Миусскую площадь, которая отделяла МОМ от ИПМ, и пришел к Д.Е., чтобы выразить свое удовлетворение от проделанной работы. Такую же поддержку высказал генерал-лейтенант А.Г. Карась, который командовал тогда военно-космическими силами. Совсем другой прием ожидал Д.Е., Э.Л. Акима и меня у Главного конструктора НПО «Молния» Глеба Евгеньевича Лозино-Лозинского, который руководил созданием планера орбитального корабля «Буря». Со свойственной ему прямоотой и напором он на повышенных тонах заявил, что наше представление о возможном военном применении «Спейс шатла» является чепухой. Понятно, что такое начало нас несколько обеску-

ражило. После этого завязалась трудная дискуссия с привлечением фактов и результатов расчетов. Спустя час, когда обе стороны исчерпали свои аргументы, Главный конструктор подвел неожиданный итог: «Давайте не будем спорить, а лучше мы будем сотрудничать!». Когда мы в расстроенных чувствах покинули кабинет Г.Е. Лозино-Лозинского, нас встретил его первый заместитель Г.П. Дементьев, которого я хорошо знал по кафедре В.П. Мишина в МАИ. Он сразу понял, что мы были обескуражены манерой Г.Е. Лозино-Лозинского вести дискуссию и постарался успокоить нас: «Это обычная привычка Глеба Евгеньевича давить на собеседников, с которыми он не согласен. Вы постарайтесь не принимать его слова близко к сердцу». Мы постарались...

Будущий главный конструктор ракеты-носителя «Энергия» Б.И. Губанов в своей книге «Триумф и трагедия «Энергии» так описывал события тех лет: «Исследования, проведенные в Институте прикладной механики (должно быть математики – Ю.С.) АН СССР (теперь институт имени М.В. Келдыша) показали, что «Спейс Шаттл» дает возможность, осуществляя маневр возврата с полу- или одновитковой орбиты по традиционной к тому времени трассе, проходящей с юга над Москвой и Ленинградом, сделав некоторое снижение – «нырок», в их районе сбросить ядерный заряд и в совокупности с действиями других привлеченных средств парализовать систему боевого управления Советского Союза. Исследования были проведены известными учеными Ю.Г. Сихарулидзе и Д.Е. Охоцимским. М.В. Келдыш на основе результатов анализа направил доклад в ЦК КПСС. Состоялся разбор, в результате которого с активной поддержкой Д.Ф. Устинова Л.И. Брежнев принял решение о разработке комплекса альтернативных мер с целью обеспечения гарантированной безопасности страны. Советский Союз на то время не располагал организациями специального назначения типа американского НАСА. Головная роль в разработке альтернативных средств была отведена Министерству общего машиностроения, которому к тому времени исполнилось десять лет. Головным КБ стало НПО «Энергия», до 1974г. – ЦКБЭМ (ОКБ С.П. Королева). Минобщемаш и НПО «Энергия» приняли вызов Америки...».

Много лет спустя, заместитель главного конструктора НПО «Энергия» В.М. Филин в своем телевизионном интервью заявил, что в одном из полетов орбитальный корабль «Спейс шатл» действительно совершил «нырок» над Москвой. Заметим, что такой маневр возможен даже при старте из Центра им. Кеннеди во Флориде. Максимальное наклонение орбиты в этом случае равно 57° , т.е. примерно соответствует широте Москвы. Если последний

виток проходит над Москвой, то орбитальный корабль способен выполнить «нырок», а затем, после небольшого доразгона, продолжить траекторию спуска и совершить посадку. Правда, в таком случае траектория полета не будет одновитковой, т.е. теряется элемент внезапности, а сама траектория будет проходить над Москвой с запада на восток, а не с юга на север. Трасса полета будет пересекать почти всю территорию России также с запада на восток.

4. «Буран»

Руководство Оборонного отдела ЦК КПСС и Военно-промышленной комиссии Совета Министров СССР просило нас принять активное участие в реализации проекта «Энергия» - «Буран»

Д.Е. прекрасно понимал важность происходящих событий и принимал необходимые действия. Он сказал мне: «Я думаю, что Вас следует назначить ведущим от ИПМ по этой теме. Вы должны полностью сосредоточиться на проекте, принимать участие во всех совещаниях и обсуждениях, быть в курсе всех дел. Надо подумать, как развернуть работы у нас, кого привлечь еще дополнительно. Возможно, придется подключить и другие отделы. Составьте план первоочередных работ и покажите мне. Безусловно, новое направление работ является весьма перспективным и самым главным в настоящее время».

По проекту «Энергия» - «Буран» была организована большая межведомственная комиссия под председательством директора ЦНИИМаш Ю.А. Мозжорина. От Академии наук СССР по предложению М.В. Келдыша в нее вошли директор ИКИ академик Р.З. Сагдеев, Д.Е. Охочимский и я. Комиссия регулярно собиралась для обсуждения текущих узловых вопросов, возникающих проблем и т.п.

На ИПМ, помимо традиционных работ как Баллистического центра АН СССР по сопровождению проекта и участию в летных испытаниях, было возложено несколько важных задач, в их числе - участок спуска в атмосфере и посадки орбитального корабля, разработка общего математического обеспечения для БЦВМ, разработка языков программирования и математического обеспечения для наземного комплекса подготовки пуска, исследование условий запуска двигателей в невесомости, создание алгоритмов контроля за работой маршевого двигателя и др.

Д.Е. очень активно взялся за организацию работ по «Бурану» в нашем отделе №5. С его подачи был организован сектор «Динамики движения в атмосфере» под моим руководством, в состав которого вошли талантливые

молодые выпускники МАИ. Следуя принципам Д.Е., я отбирал «поштучно» каждого выпускника с учетом не только его знаний, но и человеческих качеств. На сектор были возложены работы по научному обеспечению бездвигательного спуска в атмосфере и посадки. Эти работы проводились в тесной кооперации со многими организациями промышленности. Так, с НПО АП (фирма Н.А. Пилюгина) мы разрабатывали алгоритмы управления траекторией спуска и углового движения орбитального корабля «Буран» от входа в атмосферу на высоте 100 км до высоты 20 км. Самое тесное взаимодействие было у нас с М.С. Хитриком, Ю.В. Труновым, М.А. Хазан, Л.Л. Петросяном, В.Л. Бекетовым, Ю.Ю. Литвиновым и др. По участку предпосадочного маневрирования и посадки (от 20 км до 0) мы работали совместно с МОКБ «Марс». Здесь больше всего мы контактировали с Главным конструктором А.С. Сыровым, его заместителем Р.И. Бонком и А.Г. Бровкиным. Из сотрудников ЦАГИ следует выделить В.А. Ярошевского, В.И. Кобзева и А.В. Бобылева, с которыми мы работали по математическому моделированию спуска и посадки. С НПО «Молния» – головным предприятием по планеру орбитального корабля, которое было ответственным за полет «Бурана» в атмосфере, мы работали по банкам аэродинамических характеристик, подготовке первого полета и его реализации. Здесь самые тесные контакты были с заместителем главного конструктора Е.А. Самсоновым, Г.Ф. Набойщиковым, В.П. Кирпищиковым, И.Н. Ширяевым, Э.Н. Дударом и др. В НПО «Энергия» – головной организации по всему проекту мы вместе с Р.Ф. Аппазовым, В.А. Высокановым, Л.С. Григорьевым и др. решали сложные вопросы, связанные с выходом из возможных аварийных ситуаций (маневр возврата, посадка на попутный аэродром и т.п.).

Конечно, при таком разнообразии работ Д.Е. не имел возможности вникать во все детали, но он регулярно обсуждал с исполнителями наиболее сложные и важные вопросы, контролировал ход работ.

Хотелось бы кратко изложить наиболее важные работы, которые проводились в нашем секторе по теме «Энергия» - «Буран» под «патронажем» Д.Е.

Одна из первых трудностей в работе, с которой мы столкнулись при попытке моделирования траектории спуска орбитального корабля в атмосфере, была связана с ограниченным объемом оперативной памяти вычислительной машины БЭСМ-6. Только числовой материал линейного банка аэродинамических характеристик орбитального корабля заполнял всю память БЭСМ-6, не оставляя места для записи уравнений движения. Для описания аварийных ситуаций числовой материал в несколько раз превышал память БЭСМ-6. Тогда А.А. Рамазов разработал программно-алгоритмиче-

ское обеспечение, которое под заданный объем свободной оперативной памяти «нарезало» блоки аэродинамических характеристик для некоторых чисел Маха. Эти блоки хранились в долговременной памяти и автоматически «подкачивались» по мере необходимости. Для эталонного банка аэродинамических характеристик со сплайновой аппроксимацией были разработаны алгоритмы, которые на порядок сокращали время вычислений (В.С. Ладыгин, А.А. Букреев). Это позволило использовать эталонный банк не только для моделирования траекторий движения центра масс, но и для полного движения с учетом работы двигателей системы стабилизации. Опыт ИПМ мы распространили на всех смежников и снабжали их вычислительными банками аэродинамических характеристик «Бурана», которые были построены с учетом располагаемого объема свободной оперативной памяти.

Другая вычислительная трудность была обусловлена большим числом шагов интегрирования (несколько десятков тысяч), когда имитировалась работа БЦВМ, такт которой, т.е. шаг интегрирования, равнялся 0,03 с при суммарном времени спуска около 30 мин. А.В. Буров разработал метод интегрирования с контролем точности, который обеспечил необходимую точность расчета траекторий полного движения орбитального корабля. Был создан стенд полунатурного моделирования, включающий реальную БЦВМ с полетным программным обеспечением для управления на участке спуска, и ЕС-1065 для имитации внешней среды и моделирования полного движения орбитального корабля «Буран».

Для обеспечения высокой надежности многоразовой системы «Энергия» - «Буран» большое внимание уделялось возможным нештатным ситуациям. Так, А.С. Самотохин решил задачу выбора оптимального управления для выполнения маневра возврата к месту старта при отказе в течение первой половины активного участка. Он же предложил алгоритм управления, обеспечивающий прохождение заданных ограничений в случае экстренного отделения орбитального корабля «Буран» при отказе на второй половине активного участка.

Д.Ю. Мостовой разработал программно-алгоритмическое обеспечение для построения банка границ, позволяющих контролировать движение орбитального корабля при штатной посадке и при выполнении маневра возврата. На базе этого была построена система оперативного контроля движения орбитального корабля на высотах от 40 до 20 км, которая работала в реальном времени с использованием поступающей телеметрической информации и внешнетраекторных измерений.

Совместными силами сотрудников сектора был разработан универсаль-

ный комплекс программ, который позволял на верхнем уровне собирать любую задачу по моделированию траекторий спуска с любой степенью детализации и любым набором возмущающих факторов, от полной модели, максимально приближенной к движению реального орбитального корабля, до максимально упрощенной модели, которая необходима для многократного оперативного прогноза движения на участке спуска от 40 до 20 км, т.е. до выхода на цилиндр рассеивания энергии.

Много времени и труда заняла визуальная проверка полетной версии программы участка спуска, выполненная Б.И. Жуковым, А.А. Букреевым, Л.И. Барановым и др. Потом оказалось, что на каждую 1000 команд были найдены 2 существенные ошибки и 10 ошибок типа программистской «грязи». Такая же статистика была и у американских специалистов при проверке программного обеспечения орбитального корабля «Спейс шатл».

Все сотрудники баллистического центра ИПМ участвовали в реализации первого (и, как потом оказалось, последнего) полета многоразовой космической системы «Энергия» - «Буран», от старта до посадки на аэродром. Это было 15 ноября 1988 года. Дул сильный встречно-боковой ветер со скоростью около 17 м/с, но орбитальный корабль совершил точную посадку в автоматическом режиме после двухвиткового полета. Правда, не обошлось без курьезов. В последний момент орбитальный корабль неожиданно поменял цилиндр выверки курса, чем поставил в крайне затруднительное положение летчика самолета с телевизионным оператором, который встречал «Буран» в зоне аэродрома. Как потом установил Б.И. Жуков, вероятность этого события была 3-4%, но оно реализовалось в первом же полете. Причина состояла в некоторой особенности алгоритмов управления на участке от 20 до 4 км, разработанных МОКБ «Марс». После анализа мы направили им свое предложение по доработке алгоритмов для исключения подобной ситуации.

Следует подчеркнуть, что американцы высоко оценили нашу систему «Энергия» - «Буран». В редакционной статье журнала *Aviation Week and Space Technology* они написали, что после первого спутника и полета Юрия Гагарина посадка «Бурана» в автоматическом режиме является самым большим нашим достижением.

Д.Е. и Э.Л. Аким поздравили всех наших участников программы «Энергия» - «Буран» с успехом, потом были и правительственные награды, но, к сожалению, не было других полетов. Правда, не по нашей вине.

К этому времени Д.Е. стал уделять космическим задачам меньше внимания и почти полностью сосредоточился на новой и интересной для него

тематике – робототехнике. Сначала не все понимали это новое увлечение Д.Е., в их числе М.В. Келдыш, но потом ситуация прояснилась. Стало ясно, что Д.Е. открыл новое направление в науке и технике, которое имеет огромное значение не только для обороны страны, но и для народного хозяйства. Д.Е. основал целую научную школу по робототехнике с привлечением таких «корифеев» как А.К. Платонов, В.В. Белецкий, Ю.Ф. Голубев и большого числа молодых талантливых ученых, но об этом лучше меня напишут те, кто работал с Д.Е. по новому направлению.

5. Как мы писали книги

Первую свою книгу в авторском коллективе Д.Е. Охочимский, Ю.Ф. Голубев и Ю.Г. Сихарулидзе [6] мы задумали написать, когда стало ясно, что наша пилотируемая лунная программа закрыта окончательно. Мы накопили большой опыт при разработке терминальных алгоритмов управления движением космических аппаратов в атмосфере, провели детальное математическое моделирование, сделали ряд докладов на всесоюзных и международных конференциях, подготовили докторские диссертации, но нам хотелось обобщить накопленные знания и представить их в виде одной книги, чтобы сделать ее доступной всем. Следует отметить, что в то время никто из соавторов не имел опыта издания полноценной книги. Д.Е. одобрил идею издания книги и правильно организовал работу. Ю.Ф. Голубев занимался, главным образом, управлением движения центра масс, а я занимался, в основном, движением относительно центра масс. Каждый готовил свою часть, а потом мы устраивали перекрестную читку, после которой можно было вместе с Д.Е. обсуждать рукопись. Конечно, окончательное решение принимал Д.Е., но без давления и диктата, а методом убеждения с убедительной аргументацией. В результате получилась книга на актуальную тему терминального управления, которое тогда только-только «входило в моду» ракетно-космической техники вместе с появлением более совершенных бортовых компьютеров. Нас приглашали к совместным разработкам в такие серьезные организации, как КБ, возглавляемое академиком В.П. Макеевым и НИИ, возглавляемое членом-корреспондентом Н.А. Семихатовым. Этот творческий союз длился несколько лет. По изложенным в нашей книге идеям были разработаны алгоритмы терминального управления для реальных систем.

Почему-то вторую нашу совместную книгу с Д.Е. мы задумали написать тоже после закрытия космической программы «Энергия» - «Буран». Возможно, это было обусловлено появлением некоторого «просвета» в напря-

женной работе. Я напомнил Д.Е. о его давнем предложении написать книгу на основе курса лекций по динамике космических полетов. Конечно, с той поры ситуация коренным образом поменялась. У нас было опубликовано много новых работ, которые могли войти в эту книгу. Кроме того, наши коллеги тоже опубликовали очень интересные и важные результаты, которые мы сочли необходимым включить в эту книгу. В результате появился довольно основополагающий труд под названием «Основы механики космического полета» [7], который в три раза был больше по объему, чем его предшественник [2].

Для подготовки рукописи Д.Е. предложил работать по выходным, чтобы нам никто не мешал. Хотя погода стояла теплая, и был соблазн отдохнуть за городом, мы стойко приезжали в пустой Институт с бутербродами и термосом чая и работали практически целый день. У нас были две копии рукописи, которые мы читали одновременно и после обсуждали исходный текст. Если он нам нравился, мы его оставляли, а если нет, то вместе решали, как его доработать. Когда я приносил доработанный текст на следующую встречу, процедура повторялась. Нельзя сказать, что работа давалась нам легко, Д.Е. вникал в каждую фразу, в каждое доказательство. Как всегда, он добивался строгости в доказательствах и ясности в изложении. Очень внимателен был Д.Е. также к расчетам, которые иллюстрировали выкладки, а также к построенным графикам. Все попадало в поле его внимания. Наконец, рукопись была готова, и мы передали ее в издательство «Наука».

Нельзя не вспомнить добрым словом В.И. Левантовского, который долгое время был редактором книг по космической тематике. Он с исключительным уважением и, я бы сказал, с любовью относился к Д.Е., посещал его семинар по динамике космических полетов в МГУ. Поэтому никаких сложностей при подготовке текста к изданию обеих книг у нас не возникало. Более того, обе книги были приняты в набор без обычной перепечатки текста, так как число опечаток было практически мизерным, а изложение доступным для понимания. За кажущейся простотой прохождения заключительного этапа публикаций скрывался большой труд авторов.

6. Дмитрий Евгеньевич как личность

Теперь мне хочется осветить другие стороны многогранной личности Д.Е. Прежде всего, его отношение к сотрудникам.

Д.Е. только к Т.М. Энееву обращался по имени и на «ты». К Э.Л. Акимову он тоже обращался по имени «Эфа», но уже на «Вы». Ко всем остальным сотрудникам отдела, включая молодых специалистов, Д.Е. обращался по

имени-отчеству и только на «Вы». Это свидетельствовало об его уважительном отношении к сотрудникам и поднимало их статус. Я никогда не слышал грубых или оскорбительных слов Д.Е. в адрес кого-либо. Он не повышал голоса на подчиненных, но мог сказать так, что виноватый был готов провалиться сквозь землю от стыда. Особенно раздражали Д.Е. некомпетентность или поверхностное отношение к порученному делу. Такие сотрудники не задерживались в отделе, хотя подобные случаи были единичными. В целом, Д.Е. очень тщательно, «поштучно» отбирал сотрудников в отдел. Помимо требования высокой академической подготовки, Д.Е. следил за тем, чтобы новый сотрудник хорошо вписался в коллектив и не оказался впоследствии генератором конфликтных ситуаций. В этом отношении Д.Е. имел особый дар распознавать потенциальные возможности молодых специалистов. Проработав в отделе № 5 свыше 40 лет, я ни разу не наблюдал сдвиг или интриг между сотрудниками отдела, и в этом несомненная заслуга Д.Е. Наверно, как у любого человека, у Д.Е. были свои «любимчики» и те, к кому он относился без симпатии, но внешне это никак не проявлялось.

Авторитет Д.Е. как руководителя отдела был непоколебим. Он воспитал целую плеяду ученых с мировыми именами, которые вели самостоятельные темы, получали лестные предложения со стороны о переходе в другие организации или о выделении в самостоятельные отделы внутри нашего Института, но никто не поддавался соблазну. Все считали своим долгом крепить и умножать школу Д.Е., были патриотами нашего отдела.

Надо ли говорить о том, насколько высок был авторитет Д.Е. среди специалистов ракетно-космической отрасли, как в нашей стране, так и за ее пределами. Достаточно вспомнить классическую работу Д.Е., выполненную в соавторстве с Т.М. Энеевым, об оптимальном управлении при выведении спутника на орбиту. Закон «линейного тангенса» угла тангажа использовался, используется и будет использоваться в системах управления всех ракет-носителей. Несомненно, что Д.Е. был ближайшим сподвижником и правой рукой «Главного теоретика космонавтики» М.В. Келдыша.

Меня всегда поражала способность Д.Е. мгновенно схватывать суть вопроса и расставлять все по своим местам. Я неоднократно был свидетелем, когда Д.Е. объяснял автору работы, что же тот получил на самом деле. И автор соглашался с выводами Д.Е. Как я уже отмечал, Д.Е. не терпел поверхностных рассуждений, небрежности в решении, некомпетентности. Он всегда требовал, чтобы доказательства были строгими, а задача исследована всесторонне. Д.Е. ценил оригинальные решения, как свои, так и чужие. Для него не было мелочей в анализе, все должно было выполняться на самом

высоком уровне. В то же время Д.Е. любил простые и наглядные решения даже сложных задач. Здесь он неукоснительно следовал основному принципу, который канонизировал М.В. Келдыш: сначала постановка технической задачи, потом нахождение ее решения и лишь затем создание теории, обобщающей построенный метод решения на подобные задачи.

Д.Е. не нравились люди, которые слишком возвеличивали свои научные результаты или старались казаться умнее всех, были чванливыми. Сам он всегда держался скромно, даже чересчур скромно, на мой взгляд, был демократичен и доброжелателен с теми, кто этого заслуживал. Даже с теми, кто был ему неприятен, Д.Е. держался ровно, не срывался, не вел себя демонстративно. Он деликатно урезонивал меня, когда в пылу дискуссии с другими я проявлял свой грузинский темперамент.

Д.Е. трогательно заботился о сотрудниках, когда у них возникали какие-то проблемы со здоровьем. Я не раз был свидетелем того, как Д.Е. подробно наставлял сотрудника, как вести себя при той или иной болезни, какому следовать режиму и т.д. Он мог лично позвонить в академическую поликлинику или в больницу, чтобы нашему сотруднику оказали должное внимание или предоставили место в стационаре.

Когда у меня возникли трудности с получением ордера на трехкомнатную квартиру для трех человек, Д.Е. надел свою Золотую Звезду Героя Социалистического Труда, медали лауреата Ленинской премии и Государственной премии и в таком виде пришел на заседание исполкома Фрунзенского района. Конечно, после такой поддержки ордер был выдан, и моя семья вселилась в новую просторную квартиру. Следует отметить, что свои награды Д.Е. надевал только по торжественным дням на праздничные мероприятия.

Иногда Д.Е. то ли в шутку, то ли всерьез называл себя занудой, обычно, в разговоре по телефону: «Вы ведь знаете, что я зануда...». Далее следовало подробное объяснение, что надо делать или где надо им встретиться. Признаюсь, что меня часто удивляло такое подробное обсуждение и, как мне казалось, бесцельная трата времени. Но потом я много раз ругал себя, что не следовал педантизму Д.Е., когда после часового ожидания встречи вдруг до моего сознания доходило, что у этой станции метро еще два выхода, а мы не договорились точно, у какого из них назначена встреча...

Надо ли говорить, что Д.Е. относился ответственно не только к производственным делам, но и ко всем общественным поручениям. В добрые старые времена у нас в отделе функционировал философско-методологический семинар. Руководил семинаром Д.Е., а я был его заместителем. Казалось бы, это - «обязаловка» и не надо тратить много сил и времени ради

очередной галочки! Но Д.Е. рассуждал иначе: раз такой семинар является обязательным, то следует проводить его с максимальной пользой для участников. Среди участников были все ведущие сотрудники отдела во главе с Т.М. Энеевым, М.Л. Лидовым и Э.Л. Акимом, а также молодые ученые, которые сейчас составляют «цвет» отдела. Обсуждаемые темы были самыми актуальными и разнообразными. Мы обсуждали, в частности, прогнозы Римского клуба, экономические теории, изложенные в книге академика Д.М. Гвишиани, философские концепции зарубежных и отечественных ученых, острые вопросы текущей политики, экономики и т.п. Работа семинара проходила после рабочего дня, и часто жаркие дискуссии заканчивались в 9-10 часов вечера, но никто не уходил раньше, настолько все было интересно. Д.Е. никогда не навязывал своего мнения участникам семинара, но умело подводил нас к правильным выводам, и аргументировал он не «административным ресурсом», а своей эрудицией и логикой. Сейчас, когда общественная жизнь практически утасла, мы с ностальгией вспоминаем то время и наш философский семинар.

Мне приходилось встречаться с Д.Е. и в неформальной обстановке. В частности, несколько раз мы ездили в его автомашине «Волга» в Подлипки и другие организации смежников. Надо сказать, что Д.Е. был прекрасным водителем, ездил быстро, я бы сказал, лихо, но очень аккуратно. Как-то я высказал комплимент Д.Е. по поводу удачного маневра. Он нахмурился и ответил: «Не надо меня хвалить за лихачество!». Очевидно, как и все автомобилисты, за рулем он был несколько суеверен и боялся, что его сглазят.

За праздничными застольями Д.Е. всегда был весел, остроумен и активен. Спиртное Д.Е. не любил. За вечер мог выпить только рюмку хорошего коньяка или вина. Он был демократичен, но не допускал фамильярности. Как-то Д.Е. рассказал, что на встрече выпускников мехмата какая-то женщина, которую Д.Е. даже не узнал, обратилась к нему на «ты» и по имени «Дима». Чувствовалось, что это ему не понравилось. Он сказал нам: «В последние годы так обращается ко мне только моя жена».

Д.Е. внимательно следил не только за научным ростом своих сотрудников, но также интересовался их здоровьем, воспитанием детей, обстановкой в семье. Это только увеличивало его авторитет в глазах сотрудников и уважение к нему.

7. Последняя встреча на лестнице

Я знал о тяжелой болезни Д.Е., знал со слов Э.Л. Акима, как Д.Е. мужественно борется со своим недугом.

В последний раз мы встретились с Д.Е. у входа в главный корпус, когда оба направлялись в кабинет директора на Ученый совет Института. По цвету лица Д.Е. я сразу понял, что надеяться на чудо бесполезно. У меня в жизни уже был такой печальный опыт...

Нам нужно было преодолеть несколько ступенек вверх, но я почувствовал, что Д.Е. трудно сделать это. Тогда я взял его деликатно под левый локоть, как бы поддерживая. Прежде такого я не позволял себе. Д.Е. удивленно посмотрел на меня и с иронией сказал: «Вы, очевидно, боитесь, что я упаду?». На это я ему ответил: «Что Вы, Дмитрий Евгеньевич, я просто хочу за Вас подержаться». Тогда Д.Е. с печалью в глазах заметил: «Вы - хитрец». Так мы медленно проследовали на Ученый совет. Больше с Д.Е. я не встречался...

Сейчас, когда уже несколько лет нет с нами Д.Е., особенно остро понимаешь, какую невосполнимую потерю мы все понесли. Без него очень трудно, на нас лег тяжелый груз ответственности за продолжение его дел, его школы, за передачу его принципов будущим поколениям молодых сотрудников нашего Института.

Лично я благодарен своей судьбе, которая свела меня с Дмитрием Евгеньевичем Охоцимским почти полвека назад и дала возможность работать с ним все это время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Феодосьев В.И., Синярев Г.Б.* Введение в ракетную технику. – М.: Оборонгиз, 1961, 506 с.
2. *Охоцимский Д.Е.* Динамика космических полетов. Конспект лекций, прочитанных на механико-математическом факультете МГУ в 1962/63 уч. году. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968, 157 с.
3. *Сихарулидзе Ю.Г., Бутузова М.А.* Модель вариаций плотности атмосферы Земли на высотах 30-80 км. – М: Препринт ИПМ АН СССР, 1969, 85 с.
4. *Сихарулидзе Ю.Г., Бутузова М.А.* Модель вариаций плотности атмосферы Земли на высотах 30-80 км // Космич. исслед., 1970, т.8, №4, с.526-534.
5. *Sikharulidze Yu.G., Korchagin A.N.* Computational Model of the Earth Disturbed Atmosphere: Advanced Version and Test Results of Ballistic Reentry Trajectories // Proceedings of the 17th International Symposium on Space Flight Dynamics, Moscow, Russia, 2003, v.1, p.312-326.
6. *Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф., Сихарулидзе Ю.Г.* Алгоритмы управления космическим аппаратом при входе в атмосферу. – М.: Наука, 1975, 400 с.
7. *Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г.* Основы механики космического полета. – М.: Наука, 1990, 448 с.