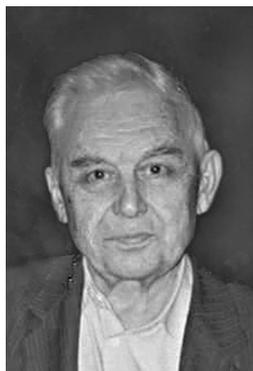


НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ АКАДЕМИКА РАН ТИМУРА МАГОМЕТОВИЧА ЭНЕЕВА

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ



23-го сентября 2024 г. исполняется 100 лет со дня рождения академика РАН Тимура Магометовича Энеева (1924–2019) — выдающегося советского и российского механика и математика. Ему принадлежат основополагающие научные исследования в области динамики космического полета, фундаментальные труды по теории движения ракет, астродинамике, прикладной небесной механике, астрофизике и космогонии, разработке математических методов для анализа генетического кода в биологии. Будучи неизменным сотрудником отдела «Механика космического полета и управление движением» Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Т.М. Энеев выполнял пионерские работы по теоретическому обоснованию возможности полетов первых искусственных спутников Земли и советских космических аппаратов к Луне, Венере и Марсу и их баллистико-навигационному обеспечению. Исследования Т.М. Энеева были связаны с проблемами оптимального

управления движением ракет и космических аппаратов, с проблемами астрофизики, космогонии и биоматематики. Его научные достижения заложили прочный фундамент для успешного развития отечественной астродинамики, науки о происхождении планетных систем и галактических аномалий, структуре генетического кода. Созданные им совместно с Д.Е. Охочимским фундаментальные результаты в теории оптимального управления послужили прочной основой для обеспечения устойчивой работы прямых методов оптимизации.

Начало творческой деятельности Т.М. Энеева пришлось на 40-е годы XX в. В то время работы по созданию ракетной техники велись как в Германии, так и в СССР, в США и в других технически развитых странах. Однако группа германских ученых во главе с конструктором Вернером фон Брауном, членом НСДАП с 1937 г., активно использовавшая наработки американского физика-ракетчика Роберта Годдарда, заняли в этом деле лидирующие позиции. Германия вместе с Японией была в начале сороковых годов в состоянии войны с СССР, Великобританией и США. В результате деятельности группы фон Брауна она получила на вооружение крылатую ракету Фау-1, впервые запущенную в 1944 г. в сторону Лондона, а затем и баллистическую ракету Фау-2, совершившую впервые в мире в 1944 г. суборбитальный полет на высоте 188 км. Начиная с 1944 г., эти ракеты регулярно бомбили Лондон, нанося ему значительный ущерб. Дальнейшее интенсивное развитие новой ракетной техники тормозилось необходимостью исследования совершенно новых задач оптимального управления

движением. Для решения таких задач в то время не хватало теоретической базы.

Параллельно в Германии и США велись интенсивные работы по созданию атомной бомбы. В этой гонке не на жизнь, а на смерть, ученые США во главе Робертом Оппенгеймером вырвались на лидирующие позиции. После полной и безоговорочной капитуляции Германии в мае 1945 г. война с Японией формально еще продолжалась. Чтобы завершить войну с Японией и отомстить за поражение в гавани Перл-Харбор, американцы сбросили на японские города Хиросиму и Нагасаки в августе 1945 г. атомные бомбы, продемонстрировав миру, что США единственная страна, обладающая новым сверхмощным супероружием. В СССР во время войны не было достаточных ресурсов для интенсивной разработки атомной бомбы, хотя соответствующие теоретические исследования неспешно проводились. В стране, как и во всем мире, в условиях войны интенсивно развивалась авиация. Однако был все же сохранен определенный задел в ракетостроении, основанный на работах Группы

изучения реактивного движения (ГИРД), в результате развития которого были созданы знаменитые минометы «Катюша». Для безопасности страны требовалось в кратчайшие сроки в условиях послевоенной разрухи создать необходимые средства противодействия возможной военной агрессии со стороны США. Т.М. Энеев занял достойное место в плеяде выдающихся советских ученых, обеспечивших создание ракетно-ядерного щита СССР. Его творческий путь был тесно связан с неотложными научными проблемами, от решения которых зависела судьба страны.

Учеба и работа в МИАН им. В.А. Стеклова

Тимур Магометович Энеев родился 23 сентября 1924 года в городе Грозный. Еще в школе Тимур, познакомившись с работами К.Э. Циолковского, увлекся астрономией, идеей полета в космос. После начала Великой Отечественной войны, семью отправили в эвакуацию в Астрахань. Тимур пошел работать на военный завод. Там, в результате несчастного случая на производстве, Тимур потерял правую руку. Однако он не сдался и, несмотря на то, что теперь ему надо было начинать все сначала, вернулся к полноценной жизни.

В 1941 г., после начала Великой Отечественной войны, механико-математический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова временно закрыли. Полноценные занятия в Университете возобновились в Москве весной 1943 г. Тогда же в первом наборе после эвакуации Т.М. Энеев и поступил на механико-математический факультет МГУ. В те годы на механико-математическом факультете профессор Аркадий Александрович Космодемьянский читал спецкурс и вел семинар «Динамика точки переменной массы». В 1941 г. он выполнил ряд блестящих научных работ, связанных с теорией движения пороховых ракет, которая была успешно применена при создании снарядов знаменитых «Катюш». А.А. Космодемьянский преподавал с большой увлеченностью и энтузиазмом. Это привлекало студентов. Занятия были почти целиком посвящены полетам в космос. Космические полеты тогда, после войны, казались очень далекой перспективой, и лишь некоторые ученые в СССР мечтали о них и вели теоретические исследования в этом направлении. Тимур увлекся вопросами оптимизации движения ракет. Он стал участвовать в работе семинара Космодемьянского и познакомился там с будущим академиком РАН Д.Е. Охоцимским, с которым работал и дружил впоследствии всю жизнь. Энеев выбрал А.А. Космодемьянского

своим научным руководителем, и, уже будучи студентом 3 курса, выполнил свою первую серьезную научную работу по выбору оптимального управления дальней ракетой, летящей в плоскопараллельном поле силы тяжести. Соответствующая статья была опубликована в закрытом журнале Комитета по организации работ в области реактивной ракетной техники при Совете Министров СССР.

В 1948 г. Тимур Магометович окончил МГУ по специальности «механика», защитил дипломную работу на тему «Программное управление ракеты в атмосфере» и поступил в аспирантуру Научно-исследовательского института механики МГУ, где его научным руководителем стал академик М.В. Келдыш. В это же время Т.М. Энеев был принят на работу научным сотрудником-совместителем в МИАН в отдел М.В. Келдыша. В 1946 г. М.В. Келдыша подключили к разработке теории атомного вооружения и созданию средств его доставки. Прекрасно выполненные студенческие работы Т.М. Энеева очень подходили к данной проблематике.

Будучи аспирантом, он вместе с Всеволодом Александровичем Егоровым в 1950 г. организовал в дополнение к семинару А.А. Космодемьянского на Мехмате МГУ студенческий кружок по космонавтике, который позднее стал факультетским спецсеминаром под руководством В.А. Егорова.

В 1949 г. в 170 км от Семипалатинска физики-ядерщики успешно испытали первую в СССР атомную бомбу РДС-1. Строго говоря, это было ядерно-взрывное устройство, ядерный заряд, но скорое появление полноценной атомной бомбы в СССР было уже вполне реальным. Надо было срочно позаботиться о средствах его доставки. По поручению М.В. Келдыша Д.Е. Охоцимским в отделе механики МИАН была организована группа ученых, состоявшая из участников семинара А.А. Космодемьянского — энтузиастов ракетного движения — Т.М. Энеева, С.С. Камынина, В.А. Егорова, В.А. Сарычева. Группа вплотную занялась теоретическими и прикладными исследованиями динамики и оптимизации полета составных крылатых ракет, вопросами управления, идентификации траекторий полета, теплозащиты и оптимальной компоновки.

В аспирантуре Т.М. Энеев продолжил тему своих первых работ и развил их для случая центрального поля тяготения. В 1951 г., после окончания аспирантуры Т.М. Энеев был принят на постоянную работу младшим научным сотрудником в Отдел механики МИАН СССР, где в

группе Д.Е. Охоцимского он продолжил заниматься задачами, связанными с разработкой крылатых и баллистических ракет. В 1952 г. Тимур Магометович защитил кандидатскую диссертацию по физико-математическим наукам на тему «Оптимальная программа полета баллистической ракеты». В этот период ему вместе с Д.Е. Охоцимским удалось на основе формализма множителей Лагранжа получить регулярный метод вычисления первой вариации функционала для вырожденных и невырожденных задач оптимального управления, на многие годы предвосхитивший появление знаменитого принципа максимума Л.С. Понтрягина.

Расчеты показали, что дальность полета крылатых ракет недостаточна для обеспечения глобальной обороны страны. Нужны были баллистические ракеты с радиусом действия не менее

8000 км. В ОКБ-1, которым руководил С.П. Королев, рассматривались разные компоновки таких ракет. С.П. Королев обратился к М.В. Келдышу с просьбой найти наилучшую конструкцию. Группа Д.Е. Охоцимского начала с анализа пакета жесткосоединенных одинаковых ракет с переливом или без перелива топлива в центральную ракету, предложенного М.К. Тихонравовым. Михаил Клавдиевич был большим энтузиастом полетов в космос. Он ранее активно работал в ГИРД, участвовал в разработке «Катюш», был одним из создателей первых в СССР жидкостных ракетных двигателей. В то время он работал заместителем начальника НИИ-4 при Министерстве вооруженных сил СССР, который с 1946 г занимался научно-исследовательскими и экспериментальными работами по проблемам реактивного вооружения. После тщательного

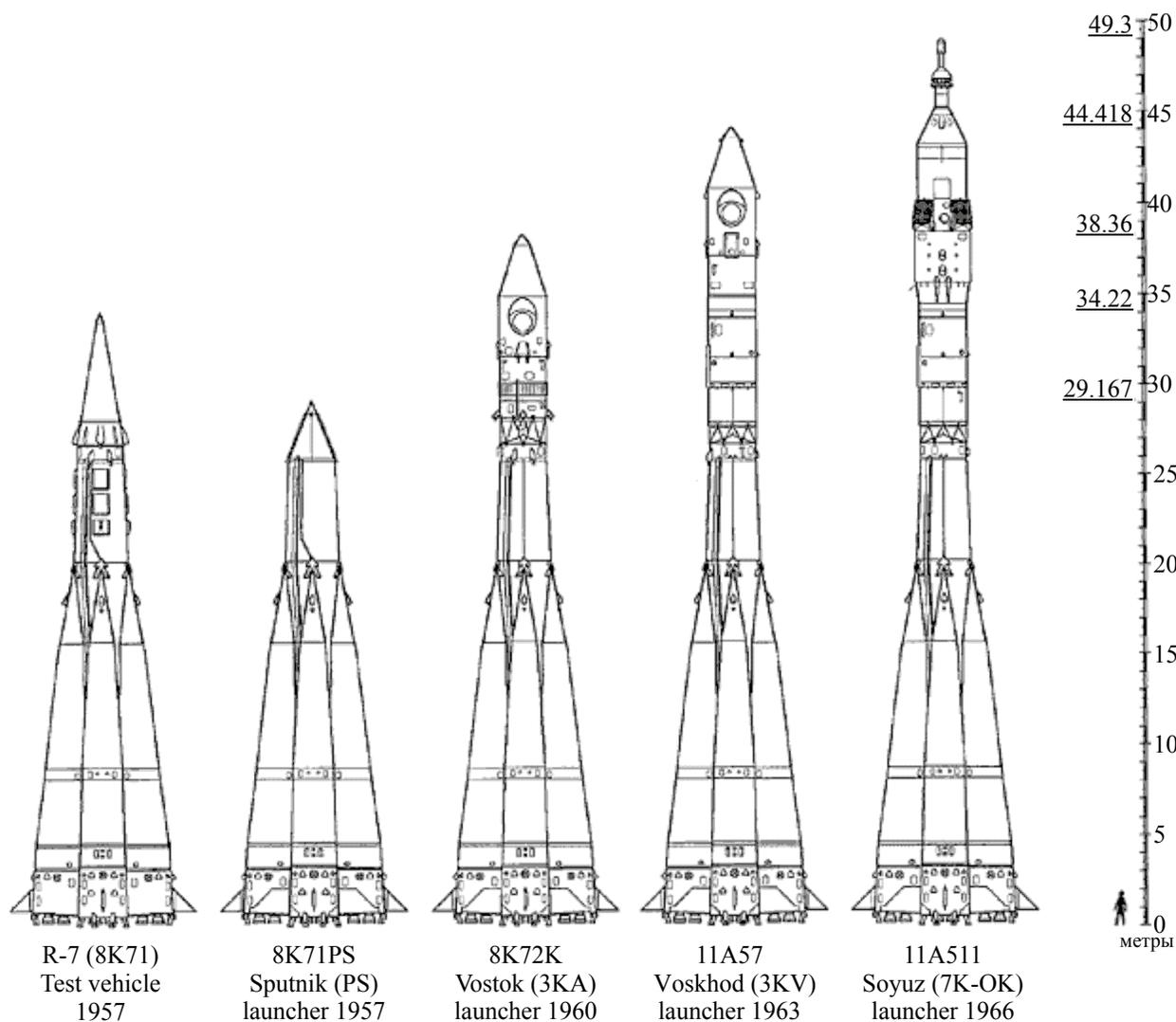


Рис. 1. Советские космические корабли на основе ракеты Р-7.

изучения различных вариантов компоновки пакета ракет группой Охоцимского, куда входил Т.М. Энеев, была предложена и рассчитана другая схема — с боковыми ракетами меньших размеров и меньшего запаса топлива. Именно эту схему Королев и его сотрудники сочли наиболее перспективной и на ее в основе была создана известная ракета Р-7, которая показала свою высокую надежность. Впоследствии различные ее модификации широко применялись не только для обороны страны, но и для первых полетов в космос (рис. 1).

В то время электронно-вычислительная техника еще только зарождалась. Первый опытный образец ЭВМ был разработан под руководством Сергея Алексеевича Лебедева в 1948 г. Это была малая электронно-счетная машина, она занимала площадь 60 м² и обладала быстродействием 50 оп/с. Затем Башир Искандарович Рамеев в 1951 г. предложил разработанную им и его сотрудниками машину М-1. Она была поменьше, выполняла 20 оп/с и занимала площадь 22 м². Наконец, в 1953 г. под руководством Юрия Яковлевича Базилевского была создана ЭВМ «Стрела», которая стала в СССР первой серийной вычислительной машиной. Она занимала площадь 300 м², выполняла 2000 оп/с, имела 2048 ячеек памяти по 43 бита на электронно-лучевых трубках. Первая машина «Стрела-1» была поставлена в Отделение прикладной математики (ОПМ) МИАН СССР в 1953 г., а «Стрела-7» была поставлена в НИИ-4 только в 1956 г. Заметим, что по состоянию на 1953 г. вычислительная техника в СССР и США была приблизительно на одном уровне. Таким образом, в начале 40-х годов XX в. еще не было ЭВМ, и все необходимые научные расчеты выполнялись вручную на арифмометрах «Мерседес».

Космические полеты

В 1953 г. с целью увеличения объема теоретических исследований по ракетно-ядерной тематике решением Правительства СССР, как отдельный институт, было создано Отделение прикладной математики МИАН СССР. Его возглавил академик М.В. Келдыш. Новый Институт объединил выдающихся советских ученых в области математической физики и прикладной математики — А.Н. Тихонова, Я.Б. Зельдовича, И.М. Гельфанда, А.А. Самарского, С.В. Яблонского и К.И. Бабенко. Их коллегами были А.Н. Мямлин — один из создателей ЭВМ «Стрела-1» и М.Р. Шура-Бура — один из авторов первого советского учебника по программированию. Группа Охоцимского перешла в ОПМ в

составе: Т.М. Энеев, В.А. Егоров, В.А. Сарычев и образовала знаменитый отдел № 5. Впоследствии Д.Е. Охоцимским были приглашены на работу В.В. Белецкий, А.К. Платонов, М.Л. Лидов, Р.К. Казакова и Э.Л. Аким. Вместе с сотрудниками, перешедшими из МИАН, они составили научную основу коллектива. Попасты в отдел на работу можно было только после очень строгого отбора, учитывавшего мнения всех сотрудников отдела. Т.М. Энееву была предложена должность старшего научного сотрудника, и он продолжил работать в тесном контакте с Д.Е. Охоцимским. По мере растущего объема работ увеличивалась численность отдела № 5, именованного «Механика космического полета и управление движением». Тимур Магомедович вскоре был переведен на должность заведующего сектором. В его секторе в разное время работали В.В. Белецкий, В.А. Егоров, Г.Б. Ефимов, Н.Н. Козлов, Р.З. Ахметшин, С.И. Ипатов. Вместе с другими сотрудниками Т.М. Энеев продолжил работу по выбору оптимальных конструктивных схем составных ракет с межконтинентальной дальностью полета, расчетам траекторий и определению фактических параметров полета посредством обработки траекторных измерений с наземных измерительных пунктов. Одновременно Т.М. Энеев и Д.Е. Охоцимский на перспективу занимались также анализом оптимальных траекторий выведения первого искусственного спутника Земли (ИСЗ). Применение самой мощной в СССР по тем временам ЭВМ позволило существенно расширить круг решаемых задач.

Постановление Правительства СССР о разработке двухступенчатой межконтинентальной ракеты Р-7 вышло 20 мая 1954 г. После создания баллистической ракеты запуск первого ИСЗ становился вполне реализуемым. М.В. Келдыш, С.П. Королев и М.К. Тихонравов с энтузиазмом продвигали эту идею, несмотря на недопонимание, а иногда и открытое противодействие со стороны представителей военно-промышленного комплекса СССР. В нем господствовало мнение, что практической пользы от искусственных спутников Земли не будет. Королев направил 26 мая 1954 г. министру оборонной промышленности Д.Ф. Устинову докладную записку о возможности и целесообразности вывода ИСЗ на орбиту на базе ракеты Р-7. М.В. Келдыш и М.К. Тихонравов подготовили научно-техническое обоснование по этому вопросу. Ранее, в середине февраля 1954 г., Мстислав Всеволодович провел в ОПМ историческое совещание, посвященное запуску первого искусственного спутника Земли и его оснащению научной аппаратурой.

На совещание были приглашены С.П. Королев, П.Л. Капица и некоторые другие заинтересованные ведущие ученые страны. На нем присутствовали также молодые специалисты института Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев, В.А. Егоров, В.А. Сарычев. Из НИИ-4 пригласили М.К. Тихонравова, Г.Ю. Максимова и И.М. Яцунского. Обсуждались вопросы, связанные с постановкой научных экспериментов в космосе и проблемой стабилизации спутника в связи с его конструктивными особенностями.

20 ноября 1954 г. эскизный проект первого ИСЗ был одобрен Советом министров СССР. К этому времени сложность оптимального управления ракетой при выведении ИСЗ на орбиту уже была преодолена. Д.Е. Охоцимский и Т.М. Энеев разработали уникальную методику расчета оптимального управления составной ракетой в неоднородной атмосфере с учетом неоднородности поля тяготения Земли. Им удалось это сделать с помощью ранее предложенного ими нового мощного регулярного метода оптимизации, основанного на обобщении метода множителей Лагранжа. Метод Охоцимского – Энеева направлен на вычисление первой вариации функционала и потому имеет заметные численные преимущества, как основа для построения прямых методов оптимизации, по сравнению с принципом максимума Понтрягина. Полученные в этой работе формулы для расчета управления широко применяются в теории и практике современного ракетостроения.

Тогда же Тимур Магомедович совместно с Д.Е. Охоцимским и Г.П. Таратыновой выполнил

расчет времени существования ИСЗ на орбите с учетом действия на него сопротивления атмосферы Земли. Решение этой задачи пытались аналитически найти многие исследователи в предположении экспоненциальной зависимости плотности атмосферы от высоты. Но на самом деле эта зависимость является куда более сложной. Энеевым, Охоцимским и Таратыновой решение было представлено в виде диаграммы (рис. 2), где по оси абсцисс откладывается апогей, по оси ординат — перигей орбиты спутника, а параметр v пропорционален числу витков орбиты. Зная коэффициент пропорциональности, можно быстро узнать время существования спутника. Диаграмма оказалась очень ценной для проектных расчетов.

Первый в мире искусственный спутник Земли был выведен на орбиту 4 октября 1957 г. ракетой-носителем Р-7. Запуск первого ИСЗ вызвал бурную реакцию во всем мире. Конечно, было большое число желающих наблюдать за ним. Для этого нужны были хотя бы грубые, но быстрые целеуказания. Однако выяснилось, что, основываясь на существующих методах расчета и имеющихся измерениях радиолокационных станций СССР, надежно определить орбиту и сделать прогноз движения спутника, не получится. Тогда решили объединить данные наблюдений астрономов-любителей со всего мира, обработкой информации занимался НИИ-4. ЭВМ «Стрела-7» появилась в НИИ-4 только за год до события, на ее освоение нужно было время. Соответствующие численные методы еще предстояло разработать. Поэтому обработку стекавшейся

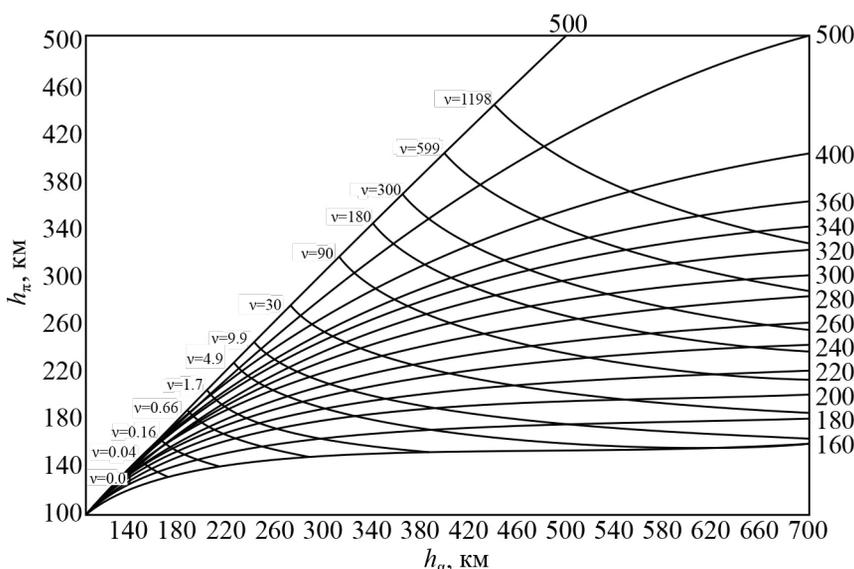


Рис. 2. К определению времени существования спутника.

информации производили с помощью подручных средств и предложенного П.Е. Элясбергом остроумного метода. Интерес к наблюдению за *Спутником-1* был настолько огромен, а всяческих измерений так много, что команда П.Е. Элясберга с трудом справлялась с объемом ручных вычислений. Видя это, М.В. Келдыш предложил Д.Е. Охочимскому автоматизировать обработку траекторных измерений спутника с помощью ЭВМ «Стрела-1». Тогда никто не знал, как это сделать. Дмитрий Евгеньевич сформировал для реализации этой объемной задачи усиленную группу в составе Т.М. Энеева, А.К. Платонова, Р.К. Казаковой, Э.Л. Акима. Идейным руководителем работ был Т.М. Энеев. Он предложил изящный, оригинальный и эффективный метод адаптации принципа Гаусса максимального правдоподобия к современным радиолокационным измерительным средствам. В связи с огромными по объему массивами измеренных разнородных величин и большим числом определяемых параметров орбиты, разработчики встретились с немалыми трудностями, связанными с организацией вычислений. Преодолевая эти проблемы, они существенно развили методы применения ЭВМ для обработки больших массивов данных, которые тогда во всем мире были еще в зачаточном состоянии.

Успешный запуск первого спутника доказал надежность ракеты-носителя. На государственном уровне была признана необходимость создания долгосрочной космической программы СССР, работу над теоретической проблематикой возглавил М.В. Келдыш. Сотрудники Д.Е. Охочимского готовили баллистико-навигационное обоснование программы и вместе с НИИ-4 выполняли баллистико-навигационное сопровождение полетов, анализировали ближайшие и отдаленные перспективы космических полетов. Требовалось выяснить, как можно для этого использовать уже имеющиеся технические средства. В частности, возможно ли осуществить полеты к Венере или Марсу с территории СССР с помощью трехступенчатой ракеты «Восток» с приемлемым полезным грузом. Д.Е. Охочимский, Т.М. Энеев и В.Г. Ершов рассмотрели большое число вариантов прямого запуска ракеты с территории страны и установили, что все они не годятся из-за малой допустимой полезной нагрузки. Тогда Тимур Магометович сделал неожиданное революционное предложение — не осуществлять прямой запуск с Земли, а сначала вывести аппарат на промежуточную орбиту ИСЗ, и уже с нее начинать требуемый космический полет. Это был знаменитый вариант

«Звездочка», который теперь повсеместно применяют как российские, так и зарубежные конструкторы. Расчеты показали, что этот вариант запуска увеличивает возможную массу полезной нагрузки на 500 кг и решает проблему дальних космических полетов. Для осуществления варианта «Звездочка» необходимо было лишь добавить четвертую ступень ракеты, выводящей аппарат на предварительную орбиту ИСЗ.

Таким образом, было доказано, что уже существующая ракета «Восток» подходит для полетов в дальний космос. В 1959 г. Т.М. Энееву по совокупности работ была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук. В качестве оппонента выступил С.П. Королев.

После первых удачных полетов советских космических аппаратов (КА) запуск космонавта на околоземную орбиту представлялся вполне реализуемым. Проблема состояла в том, чтобы космонавт безопасно вернулся на Землю. На участке спуска с орбиты могли возникать большие перегрузки. За бортом космического аппарата температура достигала несколько тысяч градусов Цельсия. Необходима была надежная теплозащита. Короткая траектория спуска грозила космонавту гибелью от перегрузки, длинная — тем, что тепловая волна может его сжечь. Т.М. Энеев и его коллеги сделали подробные расчеты и таки нашли семейство траекторий, обеспечивавших безопасный спуск в атмосфере, а также доказали возможность применения для этой цели теплозащиты для крылатых ракет. Дорога для человека в космос была открыта. Полет Ю.А. Гагарина, состоявшийся 12 апреля 1961 г., прошел благополучно. Американцы также разрабатывали проект запуска человека в космос с безопасным возвращением на Землю, но, потеряв первенство в этом вопросе, сконцентрировались на проблеме полета экипажа космонавтов на Луну. В мае 1961 г. президент США Джон Кеннеди объявил о начале грандиозной американской лунной программы. Для возможности реализации этого космического проекта необходимо было иметь достоверную математическую модель поля тяготения Луны.

В СССР была в 1961 г. утверждена аналогичная Лунная программа. Основная сложность для отечественной лунной программы состояла в том, что в Советском Союзе на тот момент не было сверхтяжелой ракеты-носителя для вывода корабля на нужную орбиту. Ее должны были разработать либо в ОКБ-52, которое возглавлял В.Н. Челомей, на базе создававшейся там перспективной мощной ракеты «Протон», либо в

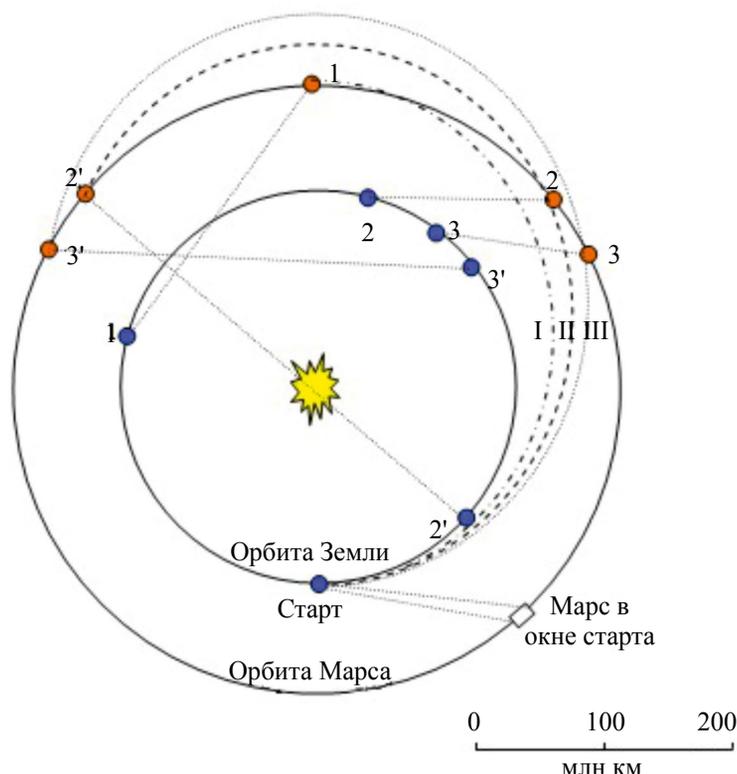


Рис. 3. Схема полёта межпланетной станции «Марс-1».

ОКБ-1, где под руководством С.П. Королева готовили к старту тяжелую ракету Н-1 с тридцатью торцевыми двигателями.

В то же время, страна реализовывала другие космические проекты. В 1962 г. при помощи ракеты-носителя «Молния» семейства Р-7 была запущена межпланетная станция «Марс-1» (рис. 3). Все сотрудники отдела Охотимского, включая Т.М. Энеева и Э.Л. Акима, занимались баллистико-навигационным сопровождением полета. Это была настолько трудоемкая, авральная работа, что тогда впервые задумались о создании высокоавтоматизированного баллистического центра Института. И здесь не обошлось без участия Т.М. Энеева, как научного лидера группы обработки траекторных измерений.

Для реализации Советской лунной программы нам, как и американцам, была нужна очень точная математическая модель гравитационного поля Луны. Чтобы ее создать, нужно было сначала осуществить облет Луны, что и предусматривалось отечественной Лунной программой. Межпланетная станция «Луна-9» была запущена 31 января 1966 г. и спустя несколько дней осуществила первую автоматическую посадку на Луну. На Землю были переданы три круговые

панорамы ее поверхности (рис. 4). Этот проект выявил много новых задач, которые потребовали основательного численного анализа. Отдел Охотимского как всегда блестяще справился с работой. И, 3 апреля 1966 г. на окололунную орбиту впервые в мире вышла автоматическая станция «Луна-10». До этого ни нам, ни американцам не удавалось создать спутник Луны. Предшествующие аппараты падали на Луну, т.к. неоднородности поля тяготения Луны были недостаточно изучены. Вывод станции на определенную окололунную орбиту был важнейшим элементом как отечественной, так и американской лунной экспедиции. Только с орбиты спутника Луны можно было обеспечить безопасное возвращение экипажа на Землю. Американские ученые предложили приближенную аппроксимацию поля тяготения так называемыми масконами (концентрациями массы). Она требовала учета огромного числа масконов, была локальной и не очень надежной. В отделе Охотимского при активном участии Т.М. Энеева, Э.Л. Акима и сотрудников смежных организаций был проведен анализ большого числа полетов и разработана наиболее точная на тот момент модель поля тяготения Луны. Естественно, возник вопрос целесообразности ее обнаружения в условиях

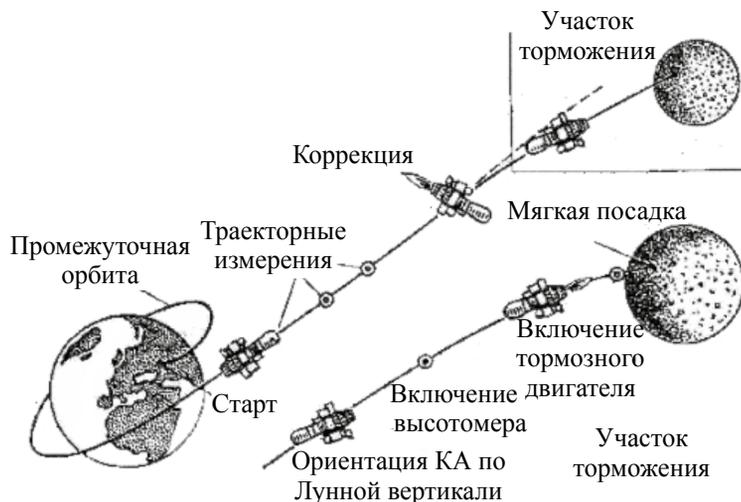


Рис. 4. Схема автоматической посадки на Луну.

лунной гонки. М.В. Келдыш посчитал, что научный приоритет может быть важнее, и настоял на скорейшей публикации. Успешный запуск первого искусственного спутника Луны был огромным достижением отечественной космодинамики. Появление в советской открытой печати статьи об уточненной модели поля тяготения Луны значительно способствовало осуществлению американского проекта «Аполлон».

В 1966 г. ОПМ получило статус самостоятельного научного учреждения и было переименовано в Институт прикладной математики Академии Наук СССР (сегодня Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.)

В 1968 г. был запущен «Зонд-5», ставший вторым космическим аппаратом совершившим полет вокруг Луны, и первым, благополучно вернувшимся на Землю (рис. 5). Одна из целей полета состояла в том, чтобы проверить методы управления КА при входе аппарата в атмосферу со стороны Южного полюса. На «Зонде-5» космонавтов представляли две черепахи, которые успешно выдержали испытания.

Полеты к Венере космических аппаратов «Венера-4» – «Венера-16» принесли много уникальной научной информации о строении этой загадочной планеты. Теоретическим обоснованием полетов послужили исследования, выполненные ранее Т.М. Эневым и его коллегами.

Большое значение имеют также работы Тимура Магомедовича, посвященные полетам космических аппаратов с двигателями малой тяги к малым планетам Солнечной системы с целью получения образцов реликтового вещества.

Электрореактивные двигатели (ЭРД) малой тяги, плазменные и ионные, со скоростью истечения реактивной струи, превосходящей химические двигатели, считаются более экономичными для дальних полетов в космосе. В исследованиях по их разработке принимали участие Т.М. Энеев, В.В. Белецкий, В.А. Егоров, Г.Б. Ефимов, Р.З. Ахметшин. Уравнения движения КА с малой тягой нелинейные. Для построения траектории перелета необходимо найти решение краевой задачи при осложняющем условии, что начальная планета и планета назначения движутся по своим орбитам, а на траекторию влияют практически все планеты Солнечной системы. При расчетах возникали многочисленные так называемые «овражные» эффекты, причем необходимые для решения численные методы были не очень развиты. Мощность ЭВМ «Стрела-1», бывшей тогда в распоряжении разработчиков, была недостаточной. Для того чтобы задача стала регулярной и доступной для массовых расчетов, Т.М. Энеев предложил линеаризовать уравнения движения относительно кеплеровой траектории перелета от Земли к планете с требуемыми датами старта и прилета («транспортирующей траектории»). Линейные уравнения движения для отклонений реальной траектории полета от указанной кеплеровой имеют аналитические решения. Поэтому оказалось возможным поставить расчет требуемых траекторий «на поток», что и проделали В.В. Белецкий и В.А. Егоров, рассчитав великое множество траекторий перелетов космических аппаратов с ЭРД к разным малым планетам.

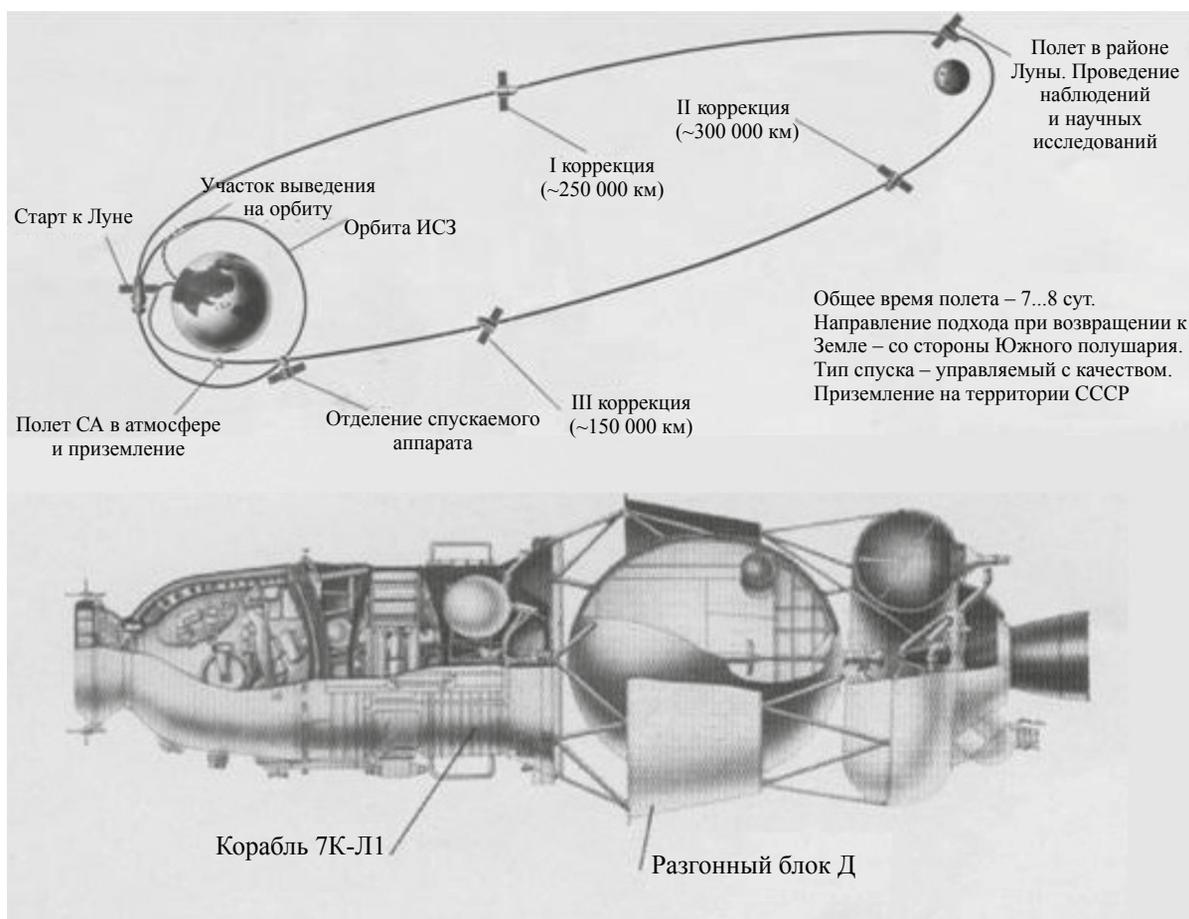


Рис. 5. Схема полёта космического корабля «Зонд-5».

Структурное моделирование

Анализ влияния аномалий поля тяготения Луны на космические аппараты посредством добавления большого числа «масконов» привел к появлению совершенно нового направления в науке. Т.М. Энееву и Н.Н. Козлову удалось создать совершенно уникальный эффективный численный метод структурного моделирования больших дискретных систем в механике и его реализацию на многопроцессорных вычислительных системах. С помощью этого метода авторам удалось объяснить образование крупномасштабных структур во Вселенной. Например, когда массивное тело летит мимо облака частиц в форме диска, возникают спиральные и другие структуры (галактики).

Оказалось возможным также промоделировать процесс формирования планет в Солнечной системе, который рассматривался как эволюция облака постепенно слипающихся частиц, вращающихся вокруг гравитирующего центра. Удалось воспроизвести не только соотношение

масс и радиусов планет Солнечной системы, но и направление вращения планет вокруг их осей, а также закон Тициуса – Боде (начиная с Меркурия каждая следующая планета располагается примерно вдвое дальше от Солнца, чем предыдущая). Кроме того, была построена модель миграции малых тел из отдаленных районов Солнечной системы в окрестность Земли (из пояса астероидов между орбитами Марса и Юпитера).

Исследования проводились с помощью графического дисплея ЭВМ SDS-910, созданного американской компанией Scientific Data Systems. Машину купили для ИПМ на компьютерной выставке. По политическим мотивам программное обеспечение машины владельцы удалили. Разработку необходимого программного продукта взяли на себя специалисты отдела М.Р. Шуры-Буры. Нужная программная оболочка появилась к концу 1960-х гг. при участии Ю.М. Баяковско-го, Ю.М. Лазутина и В.С. Штаркмана. На этой машине были выполнены первые в СССР работы по компьютерной графике. Был создан набор

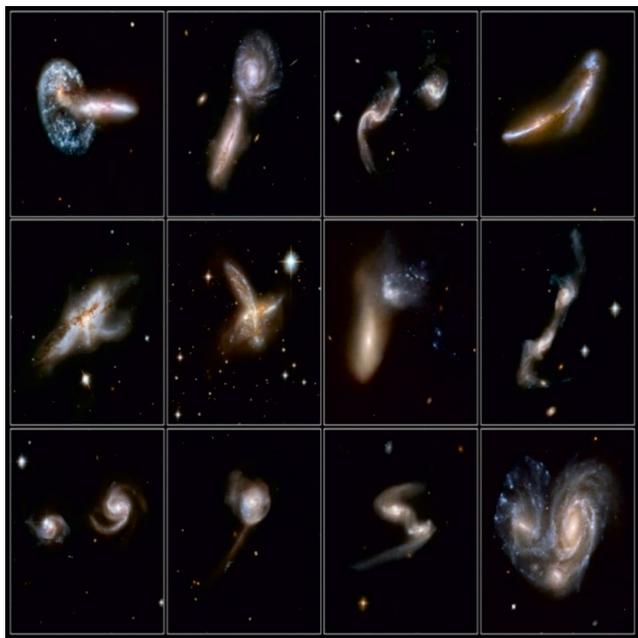


Рис. 6. Гравитационное взаимодействие галактик.

подпрограмм, позволяющих снимать видеоролики. После доработки оборудования появилась возможность покадровой фиксации изображений, выводимых на экран дисплея. С помощью этой системы в ИПМ в интерактивном режиме выполнялись пионерские работы по визуализации моделирования гравитационного взаимодействия галактик, а также робототехнические исследования. Представленные таким наглядным способом результаты Н.Н. Козлова и Т.М. Энеева были высоко оценены астрофизиками и специалистами по космогонии (рис. 6).

Возможная миграция астероидов в окрестность земной орбиты возбудила значительный общественный и научный интерес к вопросам обеспечения астероидной безопасности Земли. Опасность астероидов определяется по соответствующим шкалам. Применяются так называемая «Туринская шкала», для которой качественная оценка определяется в сравнении, какие астероиды более опасны, а какие менее, и «Палермская шкала», для которой находится количественная оценка опасности столкновения с Землей конкретного астероида. Самый известный из потенциально опасных астероидов — (99942) Апофис, открытие которого одно время обсуждалось всюду. Его диаметр составляет 370 м, дата сближения с Землей на расстояние 38000 км — 13 апреля 2029 г. Однако в списке потенциально опасных астероидов по Палермской школе он занимает лишь пятое место. На

первом месте находится астероид под названием (29075) 1950 DA, диаметром 1300 м. Он окажется в опасной близости с Землей предположительно в 2880 г. Астероиды Главного пояса на данный момент опасность не представляют, но они могут пересечь орбиту Земли после столкновений с соседями, либо в результате гравитационного влияния крупных объектов. Из околоземных астероидов внимание привлекает Эрос, аналогичный по величине тому, который, как предполагается, вызвал вымирание динозавров. Он находится в орбитальном резонансе с Марсом, и планета изменяет его траекторию на более вероятную для соударения с Землей.

В научной среде было предложено несколько вариантов борьбы с опасными астероидами: от подрыва астероида ракетой с ядерным зарядом, до покраски астероида в белый цвет, чтобы солнечное давление отклонило траекторию астероида. Тимур Магомедович не остался в стороне и предложил свою схему космического базирования для определения опасных астероидов. Его идея состояла в том, что на орбиту Земли запускается группировка из нескольких спутников (рис. 7). Каждый спутник имеет собственную оптическую систему наблюдения. Общая область наблюдения, создаваемая телескопами с нескольких космических аппаратов, образует «оптический барьер». Когда барьер пересекается

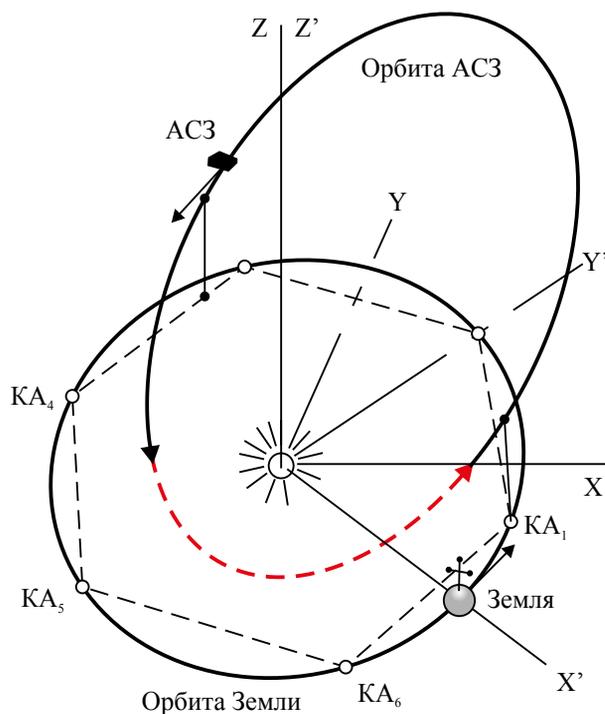


Рис. 7. Оптический барьер.

астероидом, происходит обнаружение астероида и определение его орбиты. Расчеты, выполненные Г.Б. Ефимовым, показали, что схема эффективна для группы астероидов Атон (например, Апофис), наблюдение которых с Земли затруднено.

Интерес Т.М. Энеева к структуризации биологических макромолекул связан с вопросом о возникновении жизни. Макромолекула — это молекула с высокой молекулярной массой, структура которой представляет собой многократные повторения звеньев, образованных из молекул малой молекулярной массы. Число атомов, входящих в состав макромолекул, может быть очень большим (сотни тысяч и миллионы). Т.М. Энеев в соавторстве с Н.Н. Козловым и Е.И. Кугушевым разработал уникальный последовательный метод математического моделирования процесса структуризации макромолекул, который позволил значительно повысить качество предсказания их вторичной и третичной структур. В ходе исследования по математическому моделированию процесса структуризации вторичных структур РНК ими была исследована задача об эффективности способов записи генетической информации посредством перекрывающихся генов. Оказалось, что перекрывающиеся гены определяют новые свойства генетического кода, которые могут быть получены только математическими методами. Выявленные новые свойства кода дали возможность достаточно глубоко проникнуть в его структуру и их взаимосвязи с перекрывающимися генами. Была решена совершенно новая задача — найти все генетические коды, которые удовлетворяют аминокислотным последовательностям, соответствующим перекрытиям двух, либо трех генов, взятых из одной и той же цепи ДНК. Впоследствии Н.Н. Козловым был найден обобщающий оригинальный подход к расчету сложнейшей дискретной структуры генетического кода. Было исследовано структурообразование из первичного биоматериала макромолекул ДНК и РНК от момента их зарождения. Вторичные структуры (образование петель и стеблей) выбирались по критерию локальной оптимальности свободной энергии. Степень предсказания структуры на 20 % превосходит существующие биохимические методы.

Общественная деятельность

Т.М. Энеев вел большую научно-организационную деятельность. Многие годы он был членом бюро Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН,

главным редактором журнала «Космические исследования», членом редколлегии ряда других научных журналов, членом Национального комитета по теоретической и прикладной механике. Как ближайший сотрудник М.В. Келдыша, он стал одним из редакторов собрания его трудов. Это была огромная работа. Кроме всего этого в 1970-е гг. Энеев внес значительный вклад в борьбу против проекта поворота течения сибирских рек на юг. В задачи проекта входили: транспортировка воды в Курганскую, Челябинскую и Омскую области России для орошения и обеспечения водой малых городов; транспортировка пресной воды в Казахстан, Узбекистан и Туркмению; открытие судоходства по каналу «Азия» (Карское море — Каспийское море — Персидский залив). Это выглядело весьма привлекательно с точки зрения экономики страны. Вместе с тем тщательное изучение проекта группой активных ученых с непосредственным участием Т.М. Энеева выявило серьезные последствия реализации такого проекта для глобальной экологии Земли. Это затопление сельскохозяйственных и лесных угодий водохранилищами; подъем грунтовых вод на всем протяжении канала с подтоплением населенных пунктов и автотрасс; гибель ценных пород рыбы в бассейне Оби; непредсказуемое изменение термического режима вечной мерзлоты; повышение солености вод Северного Ледовитого океана; изменение ледового покрова в Обской губе и Карском море; формирование болот и солончаков вдоль трассы канала; нарушение видового состава флоры и фауны на территориях, по которым должен пройти канал. Все это стало понятно далеко не сразу.

Проект появился в 1868 г. Его первоначальный вариант сделал выпускник Киевского университета Я.Г. Демченко под названием «Проект переброски части стока Оби и Иртыша в бассейн Аральского моря». В 1948 г. проект разыскал академик В.А. Обручев и написал о нем И.В. Сталину. Реакции не последовало. Тогда после кончины И.В. Сталина в 1954 г. казахский академик Шафик Чокин вновь поднял этот вопрос, написав письмо в ЦК КПСС. В 1968 г. пленум ЦК КПСС дал поручение Госплану, Академии наук СССР разработать план перераспределения стока рек. Экспертиза проекта была проведена недостаточно всесторонне. Была доказана реализуемость проекта, но о последствиях его реализации не очень задумывались. В 1976 г. XXV съезд КПСС принял решение о начале работ по осуществлению проекта. Катастрофа надвигалась. Для рассмотрения технико-экономического обоснования (ТЭО) была создана Государственная

экспертная комиссия из представителей Академии Наук СССР, Государственного научно-технического комитета Совета Министров СССР и Государственного комитета по строительству СССР. Комиссия в целом одобрила ТЭО Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР. К счастью, информация о проекте стала достоянием широкой научной общественности, в том числе и в АН СССР. Образовалась группа активных противников проекта, в которую входил Тимур Магомедович. Появились многочисленные публикации в прессе, авторы которых высказывались против проекта и утверждали, что он катастрофичен с экологической точки зрения. Группа противников переброски выявила факты грубых ошибок, допущенных при разработке всей проектной документации Минводхоза. Были подготовлены отрицательные экспертные заключения пяти отделений Академии наук СССР. Группа академиков подписала подготовленное академиком А.Л. Яншиным (по специальности геологом) письмо в ЦК «О катастрофических последствиях переброски части стока северных рек». Академик Л.С. Понтрягин написал личное письмо М.С. Горбачеву с критикой проекта. Предпринятые усилия оказались не напрасны, 14 августа 1986 г. Политбюро ЦК КПСС постановило прекратить работы.

Т.М. Энеев принимал также активное участие в общественной кампании против загрязнения озера Байкал промышленными отходами.

Труды Т.М. Энеева получили высокое признание в нашей стране и за рубежом. В 1957 г. за работы по созданию первого ИСЗ он был удостоен Ленинской премии; в 1961 г. за работы,

связанные с полетом первого человека в космос — орденом Ленина. В 1968 г. избран членом-корреспондентом АН СССР (сейчас Российская академия наук), а в 1992 г. — академиком РАН. В 1975 г., за участие в подготовке полета космической станции *Марс 3*, награжден орденом Трудового Красного Знамени; в 1984 г., по итогам участия в космической программе по изучению Венеры — Орденом Октябрьской революции. В 1992 г. Т.М. Энеев стал первым, кто был награжден академической Премией имени Ф.А. Цандера, за цикл работ по теории движения и управления полетом ракет и космических аппаратов. В 2001 г. его именем была названа малая планета 5711 Eneev. В 2005 г. награжден Орденом Почета; в 2006 г., за выдающийся вклад в прикладную математику и механику, включая небесную механику и космонавтику, ему присуждена Демидовская премия; в 2011 г., за цикл работ по механике и управлению движением, — Золотая медаль им. М.В. Келдыша.

Т.М. Энеев оставил исключительный след в науке, обеспечив наряду с другими выдающимися учеными-пионерами, создававшими практическую космонавтику, грандиозные успехи СССР на начальных этапах освоения человечеством космического пространства. Он всегда будет служить примером настоящего ученого и замечательного человека, беззаветно преданного науке, стремящегося к тому, чтобы научно-технический прогресс работал на благо всего человечества.

ГОЛУБЕВ Юрий Филиппович — д.ф.-н.м., профессор, г.н.с. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, golubev@keldysh.ru