

УДК 682 + 531.6; 519

Г.Б. ЕФИМОВ*, М.В. ЕФИМОВА**

АКАДЕМИК Т.М. ЭНЕЕВ И ЕГО ДОСТИЖЕНИЯ В ОСВОЕНИИ КОСМОСА, В МЕТОДАХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

**Государственный университет управления, Москва, Россия

Анотація. У статті описуються праці академіка Т.М. Енеєва, ветерана ІПМ ім. М.В. Келдыша, з космонавтики, програмування, починаючи з перших вітчизняних обчислювальних машин, з космічної механіки, програмних комплексів і методів розрахунку траєкторій і управління польотами космічних апаратів, математичного моделювання динаміки складних систем у космогонії та біології.

Ключові слова: історія науки, космонавтика, комп'ютери, програмування, космогонія.

Аннотация. В статье описываются труды академика Т.М. Энеева, ветерана ИПМ им. М.В. Келдыша, по космонавтике, программированию, начиная с первых отечественных вычислительных машин, по космической механике, по программным комплексам и методам расчета траекторий и управления полетами космических аппаратов, математическому моделированию динамики сложных систем в космогонии и биологии.

Ключевые слова: история науки, космонавтика, вычислительная математика, программирование, космогония.

Abstract. This paper regards the works of Academician T.M. Eneev, a veteran of Keldysh Institute of Applied Mathematics, in the field of space research, programming starting with the first soviet computers on space mechanics, software packages and methods of calculating the trajectory and control of spacecraft flying, mathematical modeling of the dynamics of complex systems in cosmogony and biology.

Keywords: history of science, space research, computing mathematics, programming, cosmogony.

1. Введение

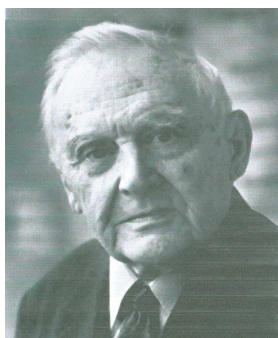


Рис. 1. Т.М. Энеев

История жизненного пути и творчества нашего замечательного ученого, академика Тимура Магомедовича Энеева связана с выдающимися достижениями в освоении космического пространства. Он был участником ярких и значительных свершений в науке. Т.М. Энеев был соратником М.В. Келдыша и С.П. Королева в работах по освоению космоса, прославивших нашу страну. Его работы в Институте прикладной математики Академии наук сыграли выдающуюся роль в таких событиях, как запуск первого искусственного спутника Земли, полет Ю.А. Гагарина, экспедиции к Луне, Венере, Марсу [1, 2]. Исследования в области освоения кос-

моса были тесно связаны с использованием ЭВМ (электронных вычислительных машин) с первых дней их появления. Энеев внес большой вклад в развитие вычислительных методов и математического моделирования.

2. Страницы биографии

Отец Энеева, Магомед Алиевич, родился в горах Балкарии вблизи Эльбруса. Он был блестяще образован: владел несколькими языками, европейскими и восточными, себя всегда называл народным учителем. Принимал участие в революционном движении, был среди организаторов Горской республики, объединявшей народы Северного Кавказа. Но его позиция по устройству Горской республики – равноправие и автономия больших и малых

народов – не совпала с позицией их объединения, принятой в столице, включая наркома по нацвопросам И.В. Сталина. Летом 1928 года в Ростове-на-Дону Магомет Энеев ушел из жизни. Его жена поехала в Москву, чтобы обелить память мужа; там ее случайно встретил А.И. Микоян, знавший Энеева по Кавказу, уговорил не искать правды, а растить детей, и помог устроиться в Москве [3].

В школе Тимур Энеев увлекся астрономией, идеей полета в космос. Мечтой всей его жизни стало участие в освоении космоса. Началась война, он рвется на фронт, но не попадает из-за возраста. На военном заводе, где он работал, его правая рука попала в станок и была ампутирована. «Так мне была сохранена жизнь», – говорил он. В 1943 году Энеев поступает на механико-математический факультет Московского университета, учится у профессора А.А. Космодемьянского – специалиста по движению ракет, создает кружок механики космического полета, работающий до сих пор. Его студенческая работа по движению ракеты опубликована в научном журнале (секретном), он принят в аспирантуру к М.В. Келдышу и одновременно в руководимый им отдел механики Математического института им. В.А. Стеклова АН (МИАН) [2, 3]. В МИАНе Энеев занимается механикой ракет, и это его вдохновляет. Ведь ракета – это способ полета в космос, его мечта.

3. Начало космической эры

Запуск первого искусственного спутника Земли – 4 октября 1957 года – начало космической эры человечества. Обстоятельства этого события и отклик на него в стране и в мире восторженный. Исследование Т.М. Энеевым и его товарищем и другом Д.Е. Охоцимским оптимальных программ управления направлением и величиной тяги ракеты сыграло в этом выдающемся достижении важную роль. Применение их позволяло увеличить полезный вес, выводимый ракетой Р7, на 10% и вывести спутник на орбиту. Работы по этой баллистической ракете велись в рамках достижения паритета военных блоков, бывших в то время в очень остром противостоянии. С 1949 года атомная бомба уже не была монополией США, но у них имелись мощная авиация и защищенность океаном. В 1956 году наша баллистическая ракета Р7 успешно прошла испытания. Королев, Келдыш и сотрудники 5-го отдела ОПМ (Отделения прикладной математики МИАН, как назывался институт вначале) – энтузиасты освоения космоса, вдохновляясь возможностью запустить искусственный спутник Земли (ИСЗ), заранее его готовили. Военным, от которых во многом зависело выделение ракеты «для удовлетворения любознательности ученых», объяснили, что спутник продемонстрирует специалистам конец американской монополии на доставку бомбы. Работы были засекречены; велись с большим вдохновением.

В это время Соединенные Штаты готовили запуск своего спутника и широко его афишировали. Был создан научно-популярный фильм об искусственном спутнике Земли и о полете человека в космос, его посмотрело 40 миллионов человек в мире. Поэтому, когда неожиданно на орбиту вышел советский спутник, мир встретил это с огромным энтузиазмом как начало космической эры. Всплеск энтузиазма и его размах был неожидан для многих, в том числе для его героев – Королева, его инженеров и «мальчиков Келдыша» из ОПМ. Неожиданно это было и для политиков по обе стороны океана. Американский министр, оправдываясь, заявил: «Подумаешь, железка летает», и как специалист, был прав, но реакция в мире заставила его вскоре уйти в отставку [2, с. 309].

Большое значение эти события имели и для нашей страны. В 1956 году на XX партийном съезде произошло разоблачение «культы личности Сталина» – «покаяние» в бывшем режиме террора, признание вины. Высокий престиж Советского Союза в мире, основанный на победе над Гитлером и идеях защиты прав угнетенных классов и народов, резко упал. Успех же с запуском спутника во многом восстановил престиж страны и советских людей. Смелость признания исторической вины перед своим народом и отказ от политики,

основанной на страхе и грубой силе, были «вознаграждены»: доверие к Союзу в мире получило поддержку. Возросло уважение к науке и у руководства страны, и у народа.

Восстановление престижа Союза способствовало доверию к новым инициативам его руководства – перейти от угрозы третьей мировой войны, на грани которой оказался мир, к сосуществованию двух политических блоков. Равновесие сил при направлении умов – «плохой мир лучше доброй ссоры» – получило моральную поддержку у миллионов людей всего мира и у нашего народа. Это помогло обеспечить мир на десятилетия.

4. ИПМ, механика космического полета

Вся творческая жизнь Тимура Магометовича прошла в ОПМ-ИПМ и неотделима от истории института и коллектива 5-го отдела во главе с Д.Е. Охочимским, его большим другом. Институт, созданный Мстиславом Всеволодовичем Келдышем для решения важнейших задач, стоявших перед страной, включал физиков, математиков, механиков, вычислителей, программистов; их взаимодействие позволяло совершать прорывы на стыке наук. При создании института в него вошли А.Н. Тихонов, И.М. Гельфанд, А.А. Ляпунов и другие, а также талантливая молодежь, из которой впоследствии выросли известные и выдающиеся ученые. В атмосфере энтузиазма и напряженной работы при решении новых задач с использованием первых компьютеров, создававшихся в те же годы, возникали и развивались новые направления в науке: в вычислительной математике и ядерной физике, в кибернетике и программировании, в астрофизике, аэромеханике и космонавтике [1]. Механика космического полета как наука возникла в эти годы, и в ее становление Т.М. Энеев внес выдающийся вклад.

Еще работая в МИАН, Энеев исследовал оптимальное управление направлением оси ракеты; вместе с управлением ее тягой, полученным Охочимским, оно легло в основу расчетов программ выведения ИСЗ на орбиту. Эти оптимальные задачи управления относятся к вырожденным задачам вариационного исчисления (позже исследованным Л.С. Понтрягиным и другими), так как функционал в них не квадратичный по скорости, как обычно в задачах механики, а линейный. Результаты оптимизации давали заметную экономию топлива и прибавку в величине полезного веса на орбите и позволяли не очень мощным нашим ракетами выводить спутники на орбиту [2, 4]. Работы по оптимальному управлению выведением ракеты вместе с расчетом времени жизни спутника, определяемого торможением его в атмосфере, были опубликованы в журнале УФН [5] накануне запуска первого спутника.

Несколько раньше Т.М. Энеев встретил в коридоре института М.К. Тихонравова, старейшего энтузиаста освоения космоса. На вопрос о причине визита, получил ответ, что приехал обсудить перспективы запуска спутника. Это окрылило Энеева, и он, параллельно с текущими делами, занялся исследованием возможности баллистического спуска космонавта с орбиты ИСЗ на Землю. Вопрос был очень сложный, ответственный: при неуправляемом входе аппарата в атмосферу из-за большой его скорости (≈ 8 км/сек) возникают сильные перегрузки (почти как удар), поток воздуха нагревает аппарат и неизвестно, сможет ли человек это вынести. Данных об атмосфере на больших высотах, о перегрузке и разогреве аппарата при таких скоростях не было. Специалисты единодушно считали, что спуск с орбиты человека возможен лишь на аппарате с крыльями, до которого было еще далеко. Тимур Магометович произвел много расчетов, советовался со специалистами и пришел к выводу, что перегрузки и нагрев лежат в допустимых границах, и баллистический спуск человека с орбиты возможен. Оказалось, что большие перегрузки продолжаются несколько минут, причем более пятикратной величины – не более 5 минут (допустимые для летчика-испытателя, из числа которых набирали космонавтов). Нагрев аппарата также, согласно расчетам, выдерживает теплостойкая обмотка аппарата (Юрий Гагарин видел в окне пламя и возмущался, думая, что сгорит, о перегрузке он был предупрежден). М.В.

Келдыш долго сомневался: «Риск очень велик, перегрузка и перегрев аппарата слишком сильные, опасность для космонавта чрезвычайно большая. Так спускаться будем приборы».

Энеев поделился своими результатами со смежниками из группы Тихонравова, также энтузиастами полетов в космос. Они повторили его расчеты, проверили предположения о торможении и нагреве при больших скоростях, просчитали варианты характеристик атмосферы и т.п. Результаты подтверждались, и они составили отчет. Отчет пришел в ОПМ, но ссылки на работу Т.М. Энеева в нем не было: не на что было ссылаться, Энеев не оформил свои результаты. После этого он быстро написал отчет, предоставил его Келдышу, и отчет был подписан через 10 месяцев после нового доклада.

С.П. Королев встретил отчет с энтузиазмом, и проект стал разрабатываться. Так был открыт путь человеку в космос, и он был совершен Юрием Гагариным 12 апреля 1961 года – всего через четыре года после запуска первого спутника. Открыт был путь и для космонавтов других стран: раз возможность простого спуска человека с орбиты доказана, остальное для специалистов – дело техники [2–4].

После полета Гагарина Джон Кеннеди сказал своим сотрудникам: «Вы думаете, это успех советского Военно-промышленного комплекса? Нет, это русская школа» [4] (в науке и образовании). Для ликвидации разрыва в США провели реформу высшего образования.

5. Разработка методов вычислений

Запуск первого искусственного спутника Земли и последовавших за ним спутников и космических аппаратов (КА) к Луне и планетам Венере и Марсу поставили множество вопросов: о расчетах траекторий перелетов к ним, оптимальных по энергозатратам, о наблюдении КА, об определении траектории полета по наблюдениям и т.д. Методы, известные в астрономии, баллистике снарядов и других науках, требовали существенного дополнения или кардинальной переделки из-за больших отличий в условиях полета КА, в методах наблюдений и т.п. Тимур Магомедович внес очень большой вклад в разработку этих методов, а во многих случаях его роль была решающей. За короткое время создавалась механика космического полета в нашей стране [2–4, 6–7].

Расчеты траекторий полетов, их определение по данным наблюдений проводились на первых ЭВМ. В ОПМ-ИПМ был создан мощный вычислительный центр с машинами «Стрела», БЭСМ-4, М-20, БЭСМ-6, «Восток». Некоторые из них имели заводской номер 1, а «Восток» был разработан и создан электронщиками ОПМ [1, 2]. Одновременно развивались методы вычислительной математики, например, новые варианты численных методов решения дифференциальных уравнений, лучшие по скорости счета, точности, экономии машинной памяти; методы исследования вырожденных задач вариационного исчисления; методы расчета траекторий КА и их определение по наблюдениям [2, 4, 6–8].

При полетах КА к Луне, Марсу и Венере возникли проблемы в несовпадении плоскостей орбит планеты и траектории аппарата при старте ракеты-носителя с территории СССР при почти всех датах старта. Согласование их на межпланетной траектории перелета требовало больших энергетических затрат. Энеев предложил использовать для межпланетных полетов разгон КА на промежуточную орбиту ИСЗ, и затем – доразгон с нее в момент, удобный для получения более выгодной по энергетике траектории межпланетного перелета. Старт межпланетного перелета с орбиты ИСЗ может дать более удобную плоскость траектории перелета, чем старт с космодрома, и добавку к скорости разгона от вращения Земли – за счет старта вблизи экватора. Этот способ разгона, получивший у баллистиков ИПМ и КБ Королева прозвище “Звездочка”, стал универсальным при всех полетах [2–4, 6].

В межпланетном перелете из-за погрешности при запуске возникали отклонения траектории КА от расчетной и необходимость ее коррекции. Определение траектории встречало немалые трудности. Наблюдение КА ведется радиотехническими средствами – измерением вектора радиальной дальности ρ и вектора радиальной скорости V (с помощью

принципа Доплера) – при расстояниях КА от Земли в сотни тысяч и миллионы км. Большая длина этих векторов и близость их по направлению усложняли определение траектории, задача была некорректной. Энеев предложил использовать в качестве наблюдений разности $\Delta\rho_i$ между измеренным значением $\rho_i(t_i)$ и его значением на расчетной траектории в тот же момент t_i , а также разности ΔV_i векторов радиальной скорости, измеренной и на расчетной траектории. Векторы $\Delta\rho_i$ и ΔV_i , в отличие от исходных векторов ρ_i , V_i малы, и не близки к друг другу, что делает задачу определения траектории корректной и позволяет успешно находить ее – Кеплерову орбиту КА с уточненными параметрами [4, 6].

На «пути» поиска минимального значения рассогласования, к которому приводит процесс решения нелинейных многомерных краевых задач, возникали «овражные» эффекты и проблемы. Они появлялись в задачах определения траектории перелетов к планетам по данным измерений и в различных задачах оптимизации. Проблемы «оврагов» в то время стояли остро. Т.М. Энеев предложил метод их преодоления, существенно облегчающий процесс решения краевых задач и получивший широкое применение у баллистиков [7].

Исследование траекторий межпланетных перелетов КА с электроракетными двигателями (ЭРД) с высокой скоростью истечения струи и поэтому экономичных, но с «малой тягой» (ускорение тяги \sim мм/с²), вызывало в 1960-е годы большой интерес. Уравнения движения КА с малой тягой нелинейные, для построения траектории перелета необходимо решение краевой задачи, что было связано с немалыми трудностями из-за малой мощности ЭВМ и неразвитости численных методов. Энеев предложил линеаризировать задачу относительно Кеплеровой траектории $r_0(t)$ перелета от Земли к планете с теми же датами старта и прилета. Уравнения движения для отклонений $\Delta r(t)$ траектории полета от Кеплеровой – линейные, имеют аналитические решения, с помощью которых тогда было легче строить траектории перелетов. В.В. Белецкий и В.А. Егоров построили эти решения, и с их помощью было рассчитано множество траекторий перелетов с ЭРД к планетам [4, с. 341].

В связи с проектом «Л-1» облета Луны разрабатывалась система автономной навигации на борту космического аппарата, спутника Луны, для определения космонавтами его положения на орбите с высокой точностью, используя наблюдения звезд и ориентиров на лунной поверхности. Бортовая ЭВМ имела очень скромные характеристики: оперативную память в 64 ячейки и быстроедействие 100 операций в секунду. Группа Энеева сумела создать и уместить в ЭВМ целый ряд необходимых непростых программ [8].

6. Метод анализа динамики сложных систем

Круг интересов Тимура Магомедовича не ограничился механикой космического полета. В 1970-е годы им, совместно с Н.Н. Козловым, был разработан новый численный метод анализа динамики сложных дискретных систем, названный «методом виртуальных контактов» и примененный при изучении разнообразных задач. Первоначально метод был разработан для анализа движения спутника Луны при возможной аномалии ее поля тяготения, наличия участков повышенного тяготения («масконов»). По просьбе астрофизиков (академика Я.Б. Зельдовича) этот метод был применен в задаче эволюции галактик при их гравитационном взаимодействии. При моделировании из облака в тысячу частиц, движущихся по почти круговым орбитам вокруг ядра галактики, под влиянием пролета другой галактики возникали спиральные ветви, выходящие из начальной плоскости движения частиц, что невозможно при других механизмах образования ветвей. На материале расчетов был снят фильм с экрана дисплея, имевший большой успех как у астрофизиков, так и у широкого зрителя: эпизод фильма долгие годы служил заставкой телепередачи С.П. Капицы «Очевидное – невероятное» [9].

Развивая этот метод, Энеев и Козлов путем численного моделирования изучили модель формирования Солнечной системы, эволюцию газопылевого протопланетного диска,

процесс аккумуляции и образования планет [10, 11]. Модель аккумуляции планет из большого числа частиц, первоначально движущихся по почти круговым орбитам, объясняет ряд принципиальных эффектов в образовании планет и систем их спутников: закон Тициуса-Бода (расстояния планет от Солнца образуют геометрическую прогрессию) и прямое собственное вращение планет (в ту же сторону, что и их движение по орбитам). Объяснение прямого вращения планет при слиянии протопланет, которое не удавалось получить классикам астрономии вплоть до А. Пуанкаре (использовавших линеаризацию задачи), получено благодаря точному численному решению в нелинейной постановке.

Для более реального моделирования образования Солнечной системы желательно иметь в модели ~10–12 миллионов частиц, а их при расчетах на БЭСМ-6 было только 25 тысяч (расчеты с увеличением их числа на порядок на БЭСМ-6 нереальны). За прошедшие с тех пор 30 с лишним лет появились новые мощные компьютеры, но эта задача в мире никем не была повторена и не продолжена из-за сложности метода. В ИПМ тоже, но из-за других проблем. Тимур Магомедович мечтает повторить свою модель с миллионами частиц [4].

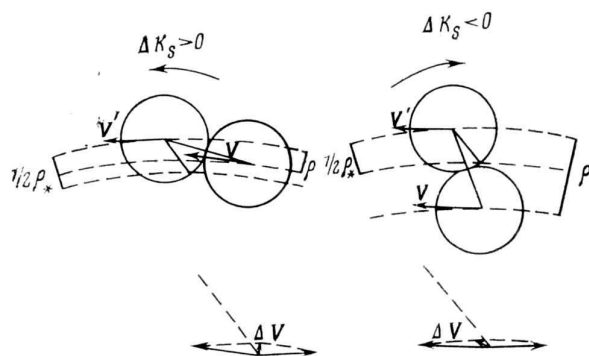


Рис. 2. Механика образования прямого вращения планет (слева) и обратного (в редких случаях справа) при объединении двух облачков-протопланет

На основании результатов моделирования образования Солнечной системы была высказана гипотеза о существовании астероидных поясов за Нептуном и о принадлежности Плутона к этому поясу [11]. Сейчас обнаружены астероиды этих поясов, и в науке представлен Плутон как малая планета (астероид), принадлежащая занептунному поясу. Опираясь на эти исследования, были поставлены и исследованы новые задачи в космонавтике. Одна – полет к малым телам Солнечной системы для изучения их состава и доставки «реликтового» вещества с них, что важно для понимания строения Земли и стратегии поиска полезных ископаемых [12, 13]. Другая задача – выявление астероидов, представляющих опасность для Земли, чтобы затем определить те из них, которые со временем могут столкнуться с Землей, и принять меры для отклонения их от столкновения [14].

Метод виртуальных контактов анализа динамики сложных дискретных систем характеризуется большой экономией числа операций при вычислениях – пропорционального $N^{3/2}$, а не N^3 , как обычно в подобных методах (N – число частиц, в десятки и сотни тысяч) [15]. Экономичность метода достигается отбором групп взаимодействующих частиц из их общего числа – для каждой области взаимодействия на каждом его шаге. Это выдающееся достижение в разработке методов моделирования динамики сложных систем.

Одним из приложений метода были исследования процессов структурообразования биологических макромолекул путем математического моделирования как отдельного явления и как процесса зарождения структуры в целом. При моделировании образования вторичной структуры – петель и стеблей – ее варианты выбираются по локальной оптимальности свободной энергии молекулы [4, 16–17]. Степень предсказания структуры при моделировании оказывается на 20% лучше, чем при косвенных биохимических методах. Моделирование образования и анализа структуры биологических макромолекул получило признание и становится особым методом их изучения наряду с традиционными методами.

7. Отклик на общественные проблемы

Т.М. Энеев не только выдающийся учёный, мыслитель, но и ответственный гражданин. Он активно откликается на актуальные проблемы истории науки, космонавтики, развития об-

разования, волнующие общество [18–20]. Трудно переоценить его вклад в борьбу против проекта поворота северных рек на юг. Проанализировав материалы, обосновывающие проект, он нашел в них вопиющие недочеты и грубые ошибки и активно включился в противодействие проекту. На решающем обсуждении проекта в Кремле он был докладчиком от имени его противников. В конце заседания председатель Совета Министров Н.И. Рыжков сказал: «Вопрос ясен. Проект закрываем». Один из друзей Энеева, ветеран ИПМ, был в Великом Устюге, старинном городе на Сухоне, в тех местах, которые должны были быть затоплены. Местные жители сказали ему: «У вас в Москве кто-то спас все это, нас спас. Это же всё было бы затоплено».

В ответе на письмо 10 академиков о так называемой «клерикализации» Т.М. Энеев написал, что для благополучия общества необходимы духовные основы и опоры, без которых все гражданские институты неизбежно подвергаются размыванию и распаду [19].

8. Заключение

Заслуги Т.М. Энеева перед наукой отмечены Ленинской (1957 г.) и Демидовской (2006) премиями, золотой медалью имени М.В. Келдыша Академии наук (2011) и орденами. Астрономическим союзом его имя присвоено астероиду 5711 Eneev в Главном поясе астероидов. Не менее важны – уважение и любовь к нему всех его знающих: космонавтов, которых он учил, коллег в ИПМ, товарищей по Академии наук и многих других.

«Траектория» жизни и творчества Тимура Магомедовича – ученого, мыслителя и гражданина, человека, вызывающего симпатию у самых разных людей – соединялась со славными страницами истории науки, создававшимися им и его коллегами в атмосфере энтузиазма и научного поиска. Он творец и личность, образец для подражания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.В. Келдыш и его институт. Первые двадцать лет. – М.: Изд. Кабинет-музей академика М.В. Келдыша, 2001. – 48 с.
2. Охоцимский Д.Е. Воспоминания [Электронный ресурс] / Д.Е. Охоцимский // Прикладная механика и управление движением: сборник статей, посвященный 90-летию со дня рождения Д.Е. Охоцимского. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010. – С. 393 – 302. – Режим доступа: <http://keldysh.ru/memory/okhotsimsky>; Охоцимский Д.Е. Диалог. Разговор – воспоминания об истории ИПМ и отечественной космической программе в Абрамцево, 3 января 2002 г. / Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев // Прикладная механика и управление движением. – М., 2010. – С. 303 – 327.
3. Кучемезова Р. Тимур Энеев: в начале мироздания был только свет (Серия «Наши знаменитости») / Кучемезова Р. – Нальчик, Эльбрус, 2011. – 152 с.; Бегиева-Кучемезова Р. Свет звезды и свечи... К 90-летию со дня рождения [Электронный ресурс] / Бегиева-Кучемезова Р. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2015. – 192 с. – Режим доступа: http://library.keldysh.ru/author_page.asp?aid=1129; <http://keldysh.ru/e-biblio/eneev/>.
4. Прикладная небесная механика и управление движением / Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев, Э.Л. Аким [и др.] // Прикладная небесная механика и управление движением. – М., 2010. – С. 328 – 367; Козлов Н.Н. Выдающийся ученый – энциклопедист. К 90-летию академика Т.М. Энеева / Козлов Н.Н. – Saarbrücken, Германия: Palmarium Academic Publishing, 2015. – 93 с.
5. Охоцимский Д.Е. Некоторые вариационные задачи, связанные с запуском искусственного спутника Земли / Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев // УФН. – 1957. – Т. 63, Вып. 1а. – С. 5 – 32; Охоцимский Д.Е. Определение времени существования искусственного спутника Земли и исследование вековых возмущений его орбиты / Д.Е. Охоцимский, Т.М. Энеев, Г.П. Таратынова // УФН. – 1957. – Т. 63, Вып. 1а. – С. 33 – 50.
6. Аким Э.Л. Движение искусственных спутников Земли. Межпланетные полеты / Э.Л. Аким, Т.М. Энеев // Прикладная небесная механика и управление движением. – М., 2010. – С. 7 – 27; Аким Э.Л. Определение параметров движения космического летательного аппарата по данным траекторных измерений / Э.Л. Аким, Т.М. Энеев // Космические исследования. – 1963. – Т. 1, № 1. – С. 5 – 50.
7. Энеев Т.М. Некоторые вопросы применения метода наискорейшего спуска / Энеев Т.М. – М.: 1970 – № 17. – 57 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР); Платонов А.К. О построении

- движений в баллистике и мехатронике / А.К. Платонов // Прикладная небесная механика и управление движением. – М., 2010. – С. 134 – 137.
8. Space autonomous navigation system of Soviet project for manned fly by Moon / Т. Eneev, V. Ivashkin, V. Sharov [et al.] // Acta Astronautica. – 2010. – Vol. 66. – P. 341 – 347.
9. Козлов Н.Н. Приливное взаимодействие галактик / Н.Н. Козлов, Р.А. Сюняев, Т.М. Энеев // ДАН СССР. – 1972. – Т. 204, № 3. – С. 579 – 582; Козлов Н.Н. Приливное взаимодействие галактик / Н.Н. Козлов, Р.А. Сюняев, Т.М. Энеев // Вестник Академии наук СССР. – 1974. – № 7. – С. 50 – 61.
10. Энеев Т.М. Модель аккумуляционного процесса формирования планетных систем. I. Численные эксперименты / Т.М. Энеев, Н.Н. Козлов // Астрономический вестник. – 1981. – Т. 15, № 2. – С. 80 – 94; Энеев Т.М. II. Вращение планет и связь с теорией гравитационной неустойчивости / Т.М. Энеев, Н.Н. Козлов // Астрономический вестник. – 1981. – Т. 15, № 3. – С. 131 – 141.
11. Энеев Т.М. О возможной структуре внешних (занаптонных) областей солнечной системы / Т.М. Энеев // Письма в АЖ. – 1980. – Т. 6, № 5. – С. 295 – 303; Энеев Т.М. Новая аккумуляционная модель формирования планет и структура внешних областей солнечной системы [Электронный ресурс] / Энеев Т.М. – М., 1979. – № 116. – 17 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР). – Режим доступа: http://library.keldysh.ru/author_page.asp?aid=1129; Энеев Т.М. О возможном механизме образования естественных спутниковых систем [Электронный ресурс] / Энеев Т.М., Козлов Н.Н. [и др.]. – М., 2006. – № 72. – 32 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР). – Режим доступа: http://library.keldysh.ru/author_page.asp?aid=1129.
12. Энеев Т.М. Актуальные задачи исследования дальнего космоса / Т.М. Энеев // Космические исследования. – 2005. – Т. 43, № 6. – С. 403 – 407.
13. Перспективные межпланетные полеты с использованием электроракетных двигателей и ядерных энергетических установок / Г.А. Попов, Х.В. Леб, Т.М. Энеев [и др.] // Отчет Объединенной Российско-Германской группы. – Бонн-Москва-Париж, 1995. – 202 р.; Космический проект “Фобос-Грунт”: основные характеристики и стратегия развития / В.С. Авдуевский, Э.Л. Аким, Т.М. Энеев [и др.] // Космонавтика и ракетостроение. – 2000. – Т. 19, Вып. 1. – С. 8 – 21.
14. Энеев Т.М. К вопросу об астероидной опасности / Т.М. Энеев, Р.З. Ахметшин, Г.Б. Ефимов // Космические исследования. – 2012. – Т. 50, № 2. – С. 99 – 108.
15. Энеев Т.М. О новом методе численного моделирования эволюции сложных дискретных систем / Т.М. Энеев, Н.Н. Козлов // ДАН СССР – 1982. – Т. 263, № 4. – С. 820 – 824.
16. Козлов Н.Н. Структурообразующие характеристики транскрипционного процесса / Н.Н. Козлов, Е.И. Кугушев, Т.М. Энеев // Математическое моделирование. – 1998. – Т. 10, № 6. – С. 3 – 19.
17. Козлов Н.Н. Параллельные вычисления при решении некоторых задач астрофизики и биологии / Н.Н. Козлов, Е.И. Кугушев, Т.М. Энеев // Математическое моделирование. – 2010. – Т. 22, № 7 – С. 65 – 70; Козлов Н.Н. Компьютерный анализ процессов структурообразования нуклеиновых кислот / Н.Н. Козлов, Е.И. Кугушев, Т.М. Энеев // Математическое моделирование. – 2013. – Т. 25, № 4. – С.126 – 134.
18. Авдуевский В.С. Главный теоретик космонавтики. 80 лет со дня рождения академика М.В. Келдыша / В.С. Авдуевский, Т.М. Энеев // Вестник АН СССР. – 1991. – № 3. – С. 95 – 101; Аким Э.Л. О Мстиславе Всеволодовиче Келдыше / Э.Л. Аким, Т.М. Энеев // Математичні машини і системи. – 2009. – № 2. – С. 3 – 7.
19. Раушенбах Б.В. Памяти академика Г.И. Петрова / Б.В. Раушенбах, Т.М. Энеев // Кучемезова Р. Тимур Энеев: в начале мироздания был только свет. – Нальчик, 2011. – С. 127 – 129; Энеев Т.М. Несколько мыслей по поводу открытого письма десяти академиков о так называемой клерикализации / Т.М. Энеев // Кучемезова Р. Тимур Энеев: в начале мироздания был только свет. – Нальчик, 2011. – С.130 – 137.
20. Ефимов Г.Б. К истории Академии наук / Г.Б. Ефимов, А.Б. Ефимов, Т.М. Энеев // Математичні машини і системи. – 2008. – № 4. – С. 3 – 9; К истории отечественного образования, светского и духовного [Электронный ресурс] / Г.Б. Ефимов, А.Б. Ефимов, Е.Ю. Зуева [и др.]. – 2010. – № 57. – 32 с. – (Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР). – Режим доступа: http://library.keldysh.ru/author_page.asp?aid=1129.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2015