

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт прикладной математики и компьютерных наук  
Кафедра вычислительной механики и математики

Утверждено на заседании кафедры  
«Вычислительная механика и математика»  
« 26 » января 2023 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



В.В. Глаголев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по проведению практических (семинарских) занятий**  
**по дисциплине (модулю)**  
**«Педагогические основы преподавания математики и механики»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**01.03.03 Механика и математическое моделирование**

с направленностью (профилем)  
**Механика деформируемого твердого тела**

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 010303-01-23

Тула 2023 год

## Разработчик методических указаний

**Разработчик:**

Козлов В.В., к.ф.-м..н., доц.

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

## **Виды электронных средств обучения**

Электронные средства обучения. Образовательные электронные издания и ресурсы. Классификация электронных средств обучения

Повсеместное распространение компьютерной техники и связанных с ней информационных и телекоммуникационных технологий порождает новые направления информатизации деятельности человека практически в любой сфере общественной жизни. Очевидно, что образование не является исключением. За последние двадцать-тридцать лет компьютеры, соответствующие технологии и средства прочно вошли во все виды учебных заведений. В частности, средства информатизации применяются как в собственно подготовке школьников, так и при решении различных вопросов, связанных с организацией обучения. Настоящее издание будет посвящено проблемам и технологиям создания тех средств информатизации, цель разработки и использования которых - непосредственное повышение эффективности учебного процесса.

Существует много подходов к введению терминов и понятий, описывающих такие средства. Во многих научных и учебно-методических изданиях их называют педагогическими программными средствами, компьютерными учебными средствами, педагогическими средствами учебного назначения, учебными компьютерными программами. Этот список терминов можно продолжить. В рамках настоящего издания для именованя средств, работающих с использованием компьютерной и телекоммуникационной техники и применяемых непосредственно в обучении школьников, использован термин электронное средство обучения (ЭСО).

При изучении технологии создания ЭСО в общем виде понятие электронного средства обучения с определенным допущением можно отождествлять с понятием образовательного электронного издания (ОЭИ). Использование обоих терминов для именованя создаваемых электронных средств оправдано, поскольку терминология, связанная с ОЭИ, использована в других Интернет-изданиях настоящего проекта, образовательные электронные издания достаточно хорошо

изучены в созданной в 2002 году "Концепции создания образовательных электронных изданий и ресурсов", подробно описаны требования, предъявляемые к качеству ОЭИ, учет которых целесообразен при создании электронных средств обучения. В связи с этими и другими причинами в рамках настоящего Интернет-издания понятия электронных средств обучения и образовательных электронных изданий будут употребляться равнозначно.

Определение понятий электронных средств обучения и образовательных электронных изданий традиционно производится опосредовано через более общее понятие электронного издания.

Электронное издание (ЭИ) представляет собой совокупность графической, текстовой, цифровой, речевой, музыкальной, видео-, фото- и другой информации. В одном электронном издании могут быть выделены информационные (или информационно-справочные) источники, инструменты создания и обработки информации, управляющие структуры. Электронное издание может быть исполнено на любом электронном носителе, а также опубликовано в электронной компьютерной сети.

В этом случае образовательным электронным изданием (ОЭИ) или (равнозначно) электронным средством обучения (ЭСО) является электронное издание, содержащее систематизированный материал по соответствующей научно-практической области знаний, обеспечивающее творческое и активное овладение учащимися знаниями, умениями и навыками в этой области. Образовательное электронное издание должно отличаться высоким уровнем исполнения и художественного оформления, полнотой информации, качеством методического инструментария, качеством технического исполнения, наглядностью, логичностью и последовательностью изложения. Образовательное электронное издание и электронные средства обучения не могут быть редуцированы к бумажному варианту без потери дидактических свойств.

Благодаря специфике своего определения, ЭСО существенно повышают качество визуальной и аудиоинформации, она становится ярче, красочнее, динамичнее. Огромными возможностями обладают в этом плане современные

технологии мультимедиа. Кроме того, при использовании электронных средств в обучении коренным образом изменяются способы формирования визуальной и аудиоинформации. Если традиционная наглядность обучения подразумевала конкретность изучаемого объекта, то при использовании компьютерных технологий становится возможной динамическая интерпретация существенных свойств не только реальных объектов, но и научных закономерностей, теорий, понятий.

Основными видами компьютерных средств учебного назначения, которые могут рассматриваться как компоненты ЭСО или ОЭИ, являются:

- сервисные программные средства общего назначения,
- программные средства для контроля и измерения уровня знаний, умений и навыков обучающихся,
- электронные тренажеры,
- программные средства для математического и имитационного моделирования,
- программные средства лабораторий удаленного доступа и виртуальных лабораторий,
- информационно-поисковые справочные системы,
- автоматизированные обучающие системы (АОС),
- электронные учебники (ЭУ),
- экспертные обучающие системы (ЭОС),
- интеллектуальные обучающие системы (ИОС),
- средства автоматизации профессиональной деятельности (промышленные системы или их учебные аналоги).

Сервисные программные средства общего назначения применяются для автоматизации рутинных вычислений, оформления учебной документации, обработки данных экспериментальных исследований. Они могут быть использованы при проведении лабораторных, практических занятий, при организации самостоятельной и проектной работы школьников.

Программные средства для контроля и измерения уровня знаний обучающихся нашли наиболее широкое применение ввиду относительной

легкости их создания. Существует целый ряд инструментальных систем-оболочек, с помощью которых преподаватель, даже не знакомый с основами программирования, в состоянии скомпоновать перечни вопросов и возможных ответов по той или иной учебной теме. Как правило, задачей обучаемого является выбор одного правильного ответа из ряда предлагаемых ответов. Такие программы позволяют разгрузить учителя от рутинной работы по выдаче индивидуальных контрольных заданий и проверке правильности их выполнения, что особенно актуально в условиях массового образования. Появляется возможность многократного и более частого контроля знаний, в том числе и самоконтроля, что стимулирует повторение и, соответственно, закрепление учебного материала.

Электронные тренажеры предназначены для отработки практических умений и навыков. Такие средства особенно эффективны для обучения действиям в условиях сложных и даже чрезвычайных ситуаций при отработке противоаварийных действий. Использование реальных установок для тренировок нежелательно по целому ряду причин (перерывы в электроснабжении, возможность создания аварийных ситуаций, повышенная опасность и т.п.). Кроме этого, электронные тренажеры используются для отработки умений и навыков решения задач. В этом случае они обеспечивают получение краткой информации по теории, тренировку на различных уровнях самостоятельности, контроль и самоконтроль.

Программные средства для математического и имитационного моделирования позволяют расширить границы экспериментальных и теоретических исследований, дополнить физический эксперимент вычислительным экспериментом. В одних случаях моделируются объекты исследования, в других - измерительные установки. Такие средства позволяют сократить затраты на приобретение дорогостоящего лабораторного оборудования, снижается уровень безопасности работ в учебных лабораториях. К моделирующим программным средствам можно также отнести предметно-ориентированные программные среды, обеспечивающие возможность оперирования моделями-объектами определенного класса.

Информационно-поисковые справочные программные системы предназначены для ввода, хранения и предъявления педагогам и обучаемым разнообразной информации. К числу подобных систем могут быть отнесены различные гипертекстовые и гипермедиа программы, обеспечивающие иерархическую организацию материала и быстрый поиск информации по тем или иным признакам. Большое распространение получили также всевозможные базы данных. Системы управления базами данных обеспечивают возможность поиска и сортировки информации. Базы данных могут использоваться в учебном процессе для организации предъявления содержания учебного материала и его анализа. Учебные базы данных рекомендуются для самостоятельной работы учащихся с целью поиска и анализа необходимой информации.

Автоматизированные обучающие системы (АОС), как правило, представляют собой обучающие программы сравнительно небольшого объема, обеспечивающие знакомство учащихся с теоретическим материалом, тренировку и контроль уровня знаний.

Электронные учебники (ЭУ) являются основными электронными средствами обучения. Такие учебники создаются на высоком научном и методическом уровне и должны полностью соответствовать составляющей дисциплины образовательного стандарта специальностей и направлений, определяемой дидактическими единицами стандарта и программой. Кроме этого, ЭУ должны обеспечивать непрерывность и полноту дидактического цикла процесса обучения при условии осуществления интерактивной обратной связи. Одним из основных свойств ЭУ, является то, что его редукция к "бумажному" варианту (распечатка содержания ЭУ) всегда приводит к потере специфических дидактических свойств, присущих ЭУ.

Экспертные обучающие системы (ЭОС) реализуются на базе идей и технологий искусственного интеллекта. Такие системы моделируют деятельность экспертов при решении достаточно сложных задач. ЭОС способны приобретать новые знания, обеспечивать ответ на запрос обучаемого и решение задач из определенной предметной области. При этом ЭОС обеспечивает пояснение

стратегии и тактики решения задач в ходе диалоговой поддержки процесса решения. К сожалению, при работе с ЭОС не реализуются такие звенья дидактического цикла процесса обучения, как организация применения учащимися полученных первичных знаний и получение обратной связи (контроль действий учащихся). При работе с ЭОС обучаемым не приходится самим искать решение, соответственно, не реализуется и такое звено дидактического цикла, как получение обратной связи.

Интеллектуальные обучающие системы (ИОС) относятся к системам наиболее высокого уровня и также реализуются на базе идей искусственного интеллекта. ИОС могут осуществлять управление на всех этапах решения учебной задачи, начиная от ее постановки и поиска принципа решения и кончая оценкой оптимальности решения, с учетом особенностей деятельности обучаемых. Такие системы обеспечивают диалоговое взаимодействие, как правило, на языке, близком к естественному. При этом в ходе диалога могут обсуждаться не только правильность тех или иных действий, но и стратегия поиска решения, планирования действий, приемы контроля и т.д. В ИОС на основе модели обучаемого (уточняемой в ходе учебного процесса) осуществляется рефлексивное управление обучением. Многие ИОС могут совершенствовать стратегию обучения по мере накопления данных. Отличительным признаком ИОС является то, что они не содержат основных и вспомогательных обучающих воздействий в готовом виде, а генерируют их.

Средства автоматизации профессиональной деятельности (пакеты прикладных программ, CALS-системы и т.п.) рассматриваются в составе электронных средств обучения не только как предмет изучения, но и как средство обучения при решении профессионально-ориентированных задач.

Из приведенного списка и последующего описания видно, что указанные средства информатизации образования являются не более чем примером электронных средств обучения или их компонент. Естественно, что существуют и другие средства, которые попадают под приведенное выше определение ОЭИ или ЭСО.

Кроме того, включение в состав ЭСО сервисных средств, а также необходимость изучения в рамках настоящего Интернет-издания различных инструментальных сред, редакторов, конструкторов и других аналогичных средств образовательного назначения наравне с ЭСО делает целесообразным одновременное рассмотрение электронных средств обучения, образовательных электронных изданий и образовательных электронных ресурсов. Далее в настоящем пособии эти понятия будут использоваться вместе в виде единого термина образовательные электронные издания и ресурсы (или, равнозначно, электронные средства обучения). В некоторых случаях слово "ресурсы" использоваться не будет для простоты изложения. Аббревиатуры ОЭИ или ЭСО будут употребляться взамен этого более емкого составного понятия.

### **Преимущества использования электронных средств в обучении**

Информатизация образования. Средства информатизации образования.

Преимущества и недостатки использования электронных изданий и ресурсов в  
подготовке

Прежде чем вести разговор об особенностях и деталях создания электронных средств обучения, необходимо определить область наиболее эффективного использования таких средств, рассматривая ее в общем контексте процессов, связанных с информатизацией общего среднего образования.

Развитие и распространение информации и информационных технологий позволяет говорить о наличии процессов информатизации, оказывающих революционное воздействие на все сферы жизнедеятельности общества, кардинально изменяющих условия жизни и деятельности людей, их культуру, стереотип поведения, образ мыслей.

Очевидный прогресс в области информационных технологий повлек за собой появление в научных и научно-популярных изданиях термина "информационное общество". Некоторые ученые под информационным понимают общество, в котором главным продуктом производства являются знания. Задачам

информатизации общества и всех его сфер, к числу которых относится и образование, уделяется повышенное внимание. Необходимость системного государственного подхода к процессу развития информатизации общества начала осознаваться в начале 90-х годов прошлого века. Так, например, еще в 1990 году была разработана и принята "Концепция информатизации общества", а понятие "информатизация" стало все шире использоваться как в научной, так и в общественно-политической терминологии, постепенно вытесняя понятие "компьютеризация".

Относительно широкое определение понятия "информатизация" дал в своих публикациях академик А.П. Ершов. Он писал, что "информатизация - это комплекс мер, направленный на обеспечение полного использования достоверного, исчерпывающего и своевременного знания во всех общественно значимых видах человеческой деятельности". При этом А.П. Ершов подчеркивал, что информация становится "стратегическим ресурсом общества в целом, во многом обуславливающим его способность к успешному развитию". В то же время, по заключению ЮНЕСКО, информатизация - это широкомасштабное применение методов и средств сбора, хранения и распространения информации, обеспечивающей систематизацию имеющихся и формирование новых знаний, и их использование обществом для текущего управления и дальнейшего совершенствования и развития.

В настоящем комплексе Интернет-изданий для педагогов понятие "информатизация образования" вводится интеграцией этих двух определений.

Информатизация образования представляет собой область научно-практической деятельности человека, направленной на применение технологий и средств сбора, хранения, обработки и распространения информации, обеспечивающее систематизацию имеющихся и формирование новых знаний в сфере образования для достижения психолого-педагогических целей обучения и воспитания.

Внедрение информационных технологий в различные области современной системы образования принимает все более масштабный и комплексный характер.

Важно понимать, что информатизация образования обеспечивает достижение

двух стратегических целей. Первая из них заключается в повышении эффективности всех видов образовательной деятельности на основе использования информационных и телекоммуникационных технологий. Вторая - в повышении качества подготовки специалистов с новым типом мышления, соответствующим требованиям информационного общества.

Информатизация образования на практике невозможна без применения специально разработанных компьютерных аппаратных и программных средств, которые называются средствами информатизации образования. Важно понимать, что к числу средств информатизации образования в полной мере относятся и электронные средства обучения.

Средствами информатизации образования называются компьютерное аппаратное и программное обеспечение, а также их содержательное наполнение, используемые для достижения целей информатизации образования.

Использование только средств информатизации образования недостаточно для полноценного применения информационных и телекоммуникационных технологий в образовании. На практике такие средства обязательно должны быть дополнены идеологической базой информатизации образования, а также деятельностью специалистов в различных областях знаний, чье участие необходимо для достижения целей информатизации.

Информатизация образования, независимо от направления ее реализации, является широкой, многоаспектной областью деятельности человека, влияющей на функционирование всей системы образования, и, без преувеличения, на жизнь всего общества в целом.

Информатизация образования заставляет пересматривать традиционные учебные курсы информатики, методы, технологии и средства информатизации, применяемые в обучении другим дисциплинам. С помощью методов и средств информатики будущий специалист должен научиться получать ответы на вопросы о том, какие имеются информационные ресурсы, где они находятся, как можно получить к ним доступ и как их можно использовать в целях повышения эффективности своей профессиональной деятельности.

Информатизация образования включает в себя научные основы создания, экспертизы и применения образовательных электронных изданий и ресурсов. В этой области еще много не решенных задач. К ним можно отнести задачи адекватности таких средств реалиям учебного процесса, повышения уровня научности, смысловой и стилистической культуры содержания средств информатизации, необходимость интерфейсной, технологической и информационной связи между отдельными образовательными изданиями и ресурсами, задействованными в разных областях деятельности школ и вузов.

Может сложиться впечатление, что использование электронных средств обучения всегда оправданно во всех областях образовательной деятельности. Безусловно, во многих случаях это именно так. Вместе с тем, информатизация образования обладает и рядом негативных аспектов. Позитивные и негативные факторы использования образовательных электронных изданий и ресурсов необходимо знать и учитывать в практической работе каждому педагогу, а уж тем более учителю, создающему такие средства. Использование средств информационных технологий в системе подготовки школьников приводит к обогащению педагогической и организационной деятельности школы следующими значимыми возможностями:

- совершенствования методов и технологий отбора и формирования содержания образования;

- введения и развития новых специализированных учебных дисциплин и направлений обучения, связанных с информатикой и информационными технологиями;

- внесения изменений в обучение большинству традиционных дисциплин, напрямую не связанных с информатикой;

- повышения эффективности обучения за счет повышения уровня его индивидуализации и дифференциации, использования дополнительных мотивационных рычагов;

- организации новых форм взаимодействия в процессе обучения и изменения содержания и характера деятельности обучающего и обучаемого;

совершенствования механизмов управления системой образования.

Процесс информатизации образования, поддерживая интеграционные тенденции познания закономерностей предметных областей и окружающей среды, актуализирует разработку подходов к использованию потенциала информационных технологий для развития личности обучаемого. Этот процесс повышает уровень активности и реактивности обучаемого, развивает способности альтернативного мышления, формирования умений разрабатывать стратегию поиска решений как учебных, так и практических задач, позволяет прогнозировать результаты реализации принятых решений на основе моделирования изучаемых объектов, явлений, процессов и взаимосвязей между ними.

Использование электронных средств во всех формах обучения может привести и к ряду негативных последствий.

В частности, чаще всего одним из преимуществ обучения с использованием средств информатизации называют индивидуализацию обучения. Однако наряду с преимуществами здесь есть и крупные недостатки, связанные с тотальной индивидуализацией. Индивидуализация сводит к минимуму ограниченное в учебном процессе живое общение преподавателей и обучаемых, учащихся между собой, предлагая им общение в виде "диалога с компьютером". Это приводит к тому, что обучаемый, активно пользующийся живой речью, надолго замолкает при работе со средствами информатизации образования в лице образовательных электронных изданий и ресурсов, что особенно характерно для людей, обучающихся дистанционно. Орган объективизации мышления человека - речь оказывается выключенным, обездвиженным в течение многих лет обучения. Обучаемый не получает достаточной практики диалогического общения, формирования и формулирования мысли на профессиональном языке.

Другим существенным недостатком повсеместного использования образовательных электронных изданий и ресурсов является свертывание социальных контактов, сокращение практики социального взаимодействия и общения, индивидуализм.

Наибольшую трудность представляет собой переход от информации,

циркулирующей в системе обучения, к самостоятельным профессиональным действиям, иначе говоря, от знаковой системы как формы представления знания на страницах учебника, экране дисплея и т.п. к системе практических действий, имеющих принципиально иную логику, нежели логика организации системы знаков. Это классическая проблема применения знаний на практике, формальных знаний, а на психологическом языке - проблема перехода от мысли, к действию.

Определенные трудности и негативные моменты могут возникнуть в результате применения электронных средств обучения, предоставляющих педагогам и учащимся значительную свободу в поиске и использовании информации. При этом некоторые педагоги и обучаемые зачастую неспособны воспользоваться той свободой, которую предоставляют современные телекоммуникационные средства. Часто запутанные и сложные способы представления могут стать причиной отвлечения обучаемого от изучаемого материала из-за различных несоответствий. К тому же, нелинейная структура информации подвергает учащегося "соблазну" следовать по предлагаемым ссылкам, что, при неумелом использовании, может отвлечь от основного русла изложения учебного материала.

Колоссальные объемы информации, представляемые некоторыми образовательными электронными изданиями и ресурсами, такими как электронные справочники, энциклопедии, Интернет-порталы, также могут отвлекать внимание в процессе обучения.

Более того, кратковременная память человека обладает очень ограниченными возможностями. Как правило, обыкновенный человек способен уверенно помнить и оперировать одновременно лишь семью различными мыслимыми категориями. Когда учащемуся одновременно демонстрируют информацию разных типов, может возникнуть ситуация, в которой он отвлекается от одних типов информации, чтобы уследить за другими, пропуская важную информацию.

Во многих случаях использование электронных средств обучения неоправданно лишает обучаемых возможности проведения реальных опытов своими руками, что негативно сказывается на результатах обучения.

И, наконец, нельзя забывать о том, что чрезмерное и не оправданное

использование большинства средств информатизации негативно отражается на здоровье всех участников образовательного процесса.

### **ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

Задание 1. Выполнить дидактическое пособие с описанием его использования в учебном процессе, системой задач или предложенными всевозможными фрагментами с использованием данного пособия.

Задание 2. Составить и решить итоговую контрольную работу по алгебре за курс основной школы (контрольную работу по математике за курс полной школы). По рекомендованным Министерством книгам для проведения итоговой аттестации по математике составить один вариант работы, решить ее, правильно оформить, осуществить взаимопроверку с обоснованием оценки.

Задание 3. Знакомство с методическими системами опытных учителей математики. Группам студентов предлагается изучить особенности работы опытных учителей математики на выбор, подготовить сообщение и выступить с ним на занятии.

Задание 4. Методика обучения поиску решения задач. Для выполнения задания необходимо: уметь решать и осуществлять поиск решения каждой из списка задач (список выдается студентам); уметь описывать используемые при решении приемы поиска решения задачи, знать несколько способов решения задачи; уметь формулировать и решать обратные задачи, знать ключевые задачи для каждой из приведенных, а также обобщения и частные случаи задач; уметь организовывать диалоговую схему поиска решения задачи; знать все определения и формулировки теорем, которые используются при решении задач.

Задание 5. Разработка сценария внеклассного мероприятия по математике. Группа из 4-5 человек выбирает тему и вид внеклассного мероприятия. Сценарии оформляются в виде отдельных брошюр и сдаются преподавателю. В результате проверки выбираются 3 самые оригинальные работы. Авторы работ готовят весь необходимый наглядный и раздаточный материал и организуют игру в группе во

время очередного занятия.

Задание 6. Подготовьтесь к одному практическому занятию по математике. Тему занятия выберите самостоятельно. В отчете должно быть отражено:

- тематическое планирование;
- подробный отбор содержания занятия;
- конспект занятия.

Задание 7. Подберите десять трудных задач по тригонометрии для учащихся старшей школы. В отчете должны быть представлены различные способы решения, поиск решения задач, ключевые задачи.

Задание 8. Проанализируйте учебный материал курса механики сплошной среды с целью выявления используемого ими математического аппарата.

Задание 9. Разработайте методику решения прикладной задачи:

- Составление математической модели.
- Решение модели.
- Интерпретация, расшифровка решения.

Задание 10. Составьте задачи с практическим содержанием, раскройте методику их решения.

Задание 11. Рассмотрите задачи с экономическим содержанием, разработайте методику их решения.

Задание 12. Используя статистические данные, составьте задачи, использующие экономические категории: производительность труда, прибыль, себестоимость, затраты, эффективность производства и т.д.

## **1. РАЗВИТИЕ ВАРИАЦИОННЫХ ПРИНЦИПОВ МЕХАНИКИ У.Р.ГАМИЛЬТОНОМ**

Уильям Роуан Гамильтон (Hamilton) (1806–1865) – выдающийся ирландский ученый, иностранный член-корреспондент Петербургской академии наук (1837).



Уильям Роуан

Гамильтон

(1806–1865)

Гамильтон отличался исключительно разнообразными способностями, владел многими языками. По окончании Тринити-колледжа Дублинского университета он был назначен профессором астрономии колледжа св. Андрея Дублинского университета и королевским астрономом Ирландии. Многие годы Гамильтон возглавлял Дублинскую обсерваторию, был членом нескольких академий.

Первые работы У.Р.Гамильтона относятся к области оптики и механики. Созданная им в 1824 году теория световых лучей позволила предсказать (в 1832 году) явление конической рефракции в двуосных кристаллах, подтвержденное экспериментально Х.Ллойдом в опытах с аргонитом.

В 1830-е годы Гамильтон построил общий метод динамики на основе рассмотрения и развития оптико-механической аналогии. Обширный комплекс его исследований сыграл важнейшую роль в развитии вариационных принципов и других вопросов механики. Большое внимание в своих исследованиях он уделял геометрической оптике, динамике, указывая прямую связь между этими разделами естествознания. Он не ставил себе целью создание новых или видоизменение классических основных принципов механики. Свою задачу он формулирует в двух работах: «Об общем методе в динамике, с помощью которого изучение движения всех систем взаимно притягивающихся или отталкивающихся тел сводится к отысканию и дифференцированию определенной центральной зависимости или характеристической функции» и «Об общем методе в динамике» (1834-35).

Первой работой Гамильтона в области динамики (1833) была неопубликованная при жизни «Проблема трех тел, рассматриваемая с помощью моей характеристической функции». В качестве трех тел он выбрал Солнце, Юпитер и Сатурн и ввел характеристическую функцию. Гамильтон показал, что эта функция должна удовлетворять двум уравнениям в частных производных первого порядка и доказал, что уравнения, которым удовлетворяет функция  $V$ , действительно дают общее решение. Далее он находит решение с помощью последовательных приближений. Результаты работы описаны в упомянутых выше более поздних статьях Гамильтона.

Впервые принцип наименьшего действия был сформулирован в 1740 году французским ученым Пьером Луи Моро Мопертюи, который пришел к этому

принципу из ощущения, что совершенство Вселенной требует определенной экономии в природе и противоречит любым бесполезным расходам энергии. Естественное движение должно быть таким, чтобы сделать эту величину минимальной. У Мопертюи эта величина была произведением времени движения в пределах системы на удвоенную величину, которая теперь называется кинетической энергией. Позднее принцип наименьшего действия Мопертюи развивался Эйлером и Лагранжем.

Уильям Гамильтон сделал важный шаг в развитии вариационных принципов, предложив новую форму вариационного принципа механики. Принцип наименьшего действия Гамильтона можно сформулировать следующим образом. Действие  $S$  для истинного движения материальной точки, траектория которой в начальный и конечный моменты времени проходит через две определенные точки, принимает минимальное значение по сравнению с любыми виртуальными движениями, траектории которых в указанные моменты времени проходят через те же две точки.

Уильям Гамильтон разработал этот принцип для одного частного случая консервативных систем со стационарными связями и применял его к задачам небесной механики и оптики. Однако во всех этих задачах рассматривались системы с гладкими голономными удерживающими стационарными связями.

Принцип наименьшего действия эквивалентен законам Ньютона в рамках классической механики, но он может применяться и за ее пределами. Формулировка Ричардом Фейнманом квантовой механики с помощью интегралов по траекториям основана на принципе стационарного действия в качестве классического предела.

В настоящее время принцип наименьшего действия и канонические уравнения движения, носящие имя Гамильтона, служат для исследования не только механического движения, но и многих физических процессов.

Завершив свои исследования по механике и оптике, У.Р.Гамильтон в 1835 году написал работу «Теория алгебраических пар», где алгебра определяется как наука о чистом времени и где дано строгое построение алгебры комплексных чисел на основе представления комплексного числа как пары чисел. Впоследствии Гамильтон пытался проникнуть в алгебру числовых троек, числовых четверок.

В 1843 году он построил обобщенное представление комплексного числа в виде совокупности четырех действительных чисел  $t, x, y, z$ , названной им кватернионом и имеющей вид  $t+ix+jy+kz$ . Число  $t$  было названо им скалярной

частью, а обобщение мнимой части  $ix+jy+kz$  – векторной. Его исследования по кватернионам изложены в двух книгах: «Лекции о кватернионах» (1853) и «Основы теории кватернионов» (1866). В ходе исследований Гамильтон попутно ввел понятие векторного поля и создал основы векторного анализа. Наиболее известной частью этого исчисления кватернионов является теория векторов, которая входит как часть в теорию протяженности Грассмана. Во времена Гамильтона и долгое время спустя кватернионы сами по себе были предметом чрезмерного восхищения, что способствовало созданию «Международной ассоциации для содействия изучению кватернионов и родственных математических систем».

## 2 РАБОТЫ М.В.ОСТРОГРАДСКОГО ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ



Михаил Васильевич  
Остроградский  
(1801–1861/62)

Михаил Васильевич Остроградский (1801–1861/62) – российский математик и механик, академик Петербургской академии наук (1830), член-корреспондент Парижской академии наук, член Туринской, Римской и Американской академий.

М.В.Остроградский родился на Полтавщине, в имении отца, небогатого помещика. Математические способности у Остроградского были замечены лишь в семнадцатилетнем возрасте. В девять лет Остроградского отдали в Полтавскую гимназию. Сам же Миша Остроградский, как и многие юноши-сверстники, под впечатлением только что закончившейся Отечественной войны 1812 года мечтал лишь о военной карьере и поэтому учился в гимназии очень посредственно по всем предметам. Тогда отец решил взять сына из гимназии и определить в один из гвардейских полков. Это решение совпало с самым страстным желанием самого Миши. В самый последний момент по совету одного родственника, заметившего в мальчике большую наблюдательность и повышенный интерес к измерению предметов и горячо настаивавшего на продолжении им учебы, отец определил сына в Харьковский университет. Мише исполнилось в это время шестнадцать лет.

В 1818 году он сдал экзамены за полный курс университета, а через два года успешно сдал экзамены на степень кандидата наук. Казалось, перед ним открылась

прямая дорога к университетской профессуре. Однако ученой степени Остроградский не получил, и причиной тому послужила острая идейная борьба, развернувшаяся в Харьковском и других университетах России, вызванная наступлением реакции в последние годы царствования Александра I. Остроградского обвинили в том, что он не посещал лекций по «богопознанию и христианскому учению». На этом ничтожном основании ему не только отказали в присуждении ученой степени, но и лишили диплома об окончании университета.

И все же Остроградский стал великим ученым, академиком. Это, пожалуй, единственный случай, когда ученый, не имевший диплома об окончании университета, был избран академиком. В 1822 году он поехал в Париж. Несмотря на разного рода трудности, возникавшие в дороге, он прибыл в центр тогдашней математической мысли, где слушал лекции Огюстена Луи Коши, Пьера Симона Лапласа, Жана Батиста Жозефа Фурье, Симеона Дени Пуассона, Жана Виктора Понселе и многих других.

Общение с французскими учеными, изучение их трудов вскоре привели Остроградского к собственным открытиям. Французские ученые с похвалой отзывались о Михаиле Васильевиче. Работы молодого ученого публиковались в журнале Парижской академии наук.

По какой-то причине в 1826 году Остроградский не получил своевременно денег от отца, задолжал в гостинице «за харч и простой» и по жалобе хозяина был посажен в «Клиши» – «долговую тюрьму» в Париже. Здесь он, видимо, особенно усердно занимался математикой, написал свою знаменитую работу «Мемуар о распространении волн в цилиндрическом бассейне» и послал эту работу Коши. Коши представил работу с самым лестным отзывом Парижской академии, которая удостоила эту работу высшего отличия – напечатания в «Записках ученых посторонних Академии». Более того, Коши, сам не будучи богатым человеком, выкупил Остроградского из «долгового».

После шестилетнего пребывания в Париже Михаил Васильевич выехал в Россию. Тяжелой была эта дорога. В пути его обокрали, оставив только одну одежду; ему пришлось весь путь от Германии до Петербурга проделать пешком. Сразу же после приезда Остроградского в Петербург началась его плодотворная деятельность в Академии наук и кипучая педагогическая деятельность. Академия высоко оценила и научную работу Остроградского: в 1830 году его избирают экстраординарным, а через год – ординарным академиком. С этого времени его жизнь была полна творческих удач.

Параллельно с научной работой М.В.Остроградский до конца своих дней преподавал математику и механику в Главном педагогическом институте, в Институте инженеров путей сообщения, в Морском корпусе, в Артиллерийской академии. Также Михаил Васильевич читал циклы публичных лекций: в 1829-30 годах по небесной механике, в 1836-37 годах по алгебраическому и трансцендентному анализу, в 1851-52 годах по аналитической механике, в 1859-60 годах по дифференциальному исчислению и теории вероятностей.

В 1830-х годах Остроградского стали привлекать к работе в штабе военно-учебных заведений в качестве консультанта по вопросам преподавания математики и механики, а в 1847 году он был назначен главным наблюдателем за преподаванием математических наук в военно-учебных заведениях.

Научные труды Остроградского посвящены самым разнообразным разделам математики и механики: теории притяжения, гидромеханике, колебаниям упругого тела, теории удара, аналитической механике, баллистике, дифференциальному и интегральному исчислениям, алгебре, геометрии, теории вероятностей.

М.В.Остроградский первым из русских ученых дал свое оригинальное доказательство закона параллелограмма сил. Этот закон не обладает той наглядностью, какая присуща некоторым другим аксиомам и законам механики. Поэтому делались многочисленные попытки доказать его, приняв в качестве аксиом как можно более простые положения. Такие доказательства были даны Ньютоном, Вариньоном, Лапласом, Пуассоном и др.

Остроградский в своем доказательстве опирался на следующие положения, которые можно считать очевидными:

1. Две силы, приложенные к одной точке, могут быть заменены равнодействующей, лежащей в их плоскости.

2. При бесконечно малом изменении величин и направлений составляющих сил изменение величины и направления равнодействующей будет бесконечно малым.

3. Равнодействующая двух равных сил направлена по биссектрисе угла между ними.

4. При сложении нескольких сил, приложенных к одной точке, справедлив сочетательный закон, то есть слагаемые можно сочетать в любые группы.

5. Равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой, направлена по той же прямой.

6. Если две силы действуют по одной прямой, то действие каждой силы такое же, как если бы другой силы не было.

М.В.Остроградский был первым русским ученым, занимавшимся аналитической механикой, и ему принадлежит первое по времени изложение этой дисциплины в России. Он сформулировал общий вариационный принцип и получил уравнения движения для неконсервативных систем в самом общем случае, когда связи могут быть односторонними, неголономными и нестационарными.

Важной для развития аналитической механики является разработка М.В.Остроградским принципа возможных перемещений для случая систем с неударживающими связями. Его исследование на эту тему, законченное в 1834 году, было опубликовано в 1838 году под названием «Общие соображения относительно моментов сил». Под термином «момент сил» Остроградский понимал произведение приложенной силы на виртуальное перемещение и на косинус угла между ними. Позднее этот термин стал означать работу силы на возможном перемещении точки ее приложения.

Михаил Васильевич Остроградский разработал алгоритм использования неопределенных множителей Лагранжа в общем случае равновесия системы материальных точек с неударживающими связями. Предложенный Остроградским метод позволяет найти не только величину неопределенного множителя, но и его знак, который безразличен в случае системы с ударживающими связями. Эти знаки неопределенных множителей, механический смысл которых – реакции связей, – позволяют судить о том, какие из связей перестают влиять с некоторого момента времени, то есть освобождают точку.

Остроградский дал общий метод нахождения изменения скоростей всех точек системы при ее ударе о неупругую связь. Если удар осуществляется вследствие внезапного введения так называемой длительной связи, то есть идеальной двусторонней стационарной связи, сохраняющейся после удара, то происходит потеря живой силы, равная по модулю живой силе, соответствующей потерянными скоростям.

Эта теорема, сформулированная и доказанная Остроградским, является обобщением теоремы Карно, относящейся к абсолютно неупругому удару двух тел. Остроградский подчеркивал, что, хотя при ударе говорят о мгновенном изменении скорости, в действительности скорость при ударе изменяется непрерывно в течение очень короткого промежутка времени.

В своих трудах по баллистике Михаил Васильевич Остроградский, обобщая исследования Пуассона, рассмотрел движение центра инерции и вращение вокруг него для случая сферического снаряда, центр инерции которого не совпадает с геометрическим центром. Это исследование ученый проделал по заданию артиллерийского ведомства. Работы Остроградского по внешней баллистике стали основой, на которой создавалась русская школа баллистики.

М.В.Остроградскому принадлежит фундаментальное исследование распространения тепла в жидкости. Этот вопрос был впервые поставлен Фурье, который в 1820 году сообщил Парижской академии наук свои результаты. Остроградский также занялся этим вопросом и в 1829 году дал вывод уравнения Фурье. В том же году Пуассон получил искомое уравнение в другом виде. В 1836 году Остроградский дал свое полное и общее решение вопроса о распространении тепла в жидкости без ограничений на ее свойства.

В 1834 году академик Остроградский получил формулу преобразования кратного интеграла к интегралу меньшей кратности. А несколько ранее он вывел еще одну важную формулу преобразования интеграла по объему в более простой для вычисления интеграл по поверхности. Этой формулой пользуются не только математики, но и физики.

В жизни Академии наук Остроградский принял самое деятельное и разностороннее участие. Например, в 1829-30 годах он участвовал в работе двух комиссий: по введению григорианского календаря в России и по астрономическому определению мест империи. В 1834-37 годах Остроградский участвовал в работах комиссий по разработке водоснабжения Петербурга посредством труб и в комиссии для исследования возможности применения электромагнитной силы для движения судов по способу, предложенному знаменитым русским физиком, академиком Якоби.

Летом 1861 года ученый отправился на родину, на Полтавщину. Там он неожиданно для себя и друзей заболел. Злокачественный нарыв на спине оказался сильнее жизни, и 1 января 1862 года Остроградский скончался.

### **3. РАЗРАБОТКА П.Л.ЧЕБЫШЁВЫМ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ**

Пафнутий Львович Чебышёв (1821–1894) – русский математик и механик, создатель петербургской научной школы, академик Петербургской академии наук (1859), член-корреспондент Парижской академии наук (1860), а также многих

ученых обществ Западной Европы, почетный член многих русских университетов.

Родился 26 мая 1821 года в сельце Окатове Боровского уезда Калужской губернии, первоначальное образование и воспитание получил дома. В шестнадцать лет он стал студентом Московского университета и уже через год за



Пафнутий Львович  
Чебышёв  
(1821–1894)

математическое сочинение на тему, предложенную факультетом, был награжден серебряной медалью. В двадцать лет П.Л.Чебышёв окончил университет, а через два года опубликовал свою первую научную работу, за которой последовал ряд других, все более и более значительных и быстро привлечших к себе внимание научного мира.

В двадцать пять лет П.Л.Чебышёв защитил в Московском университете диссертацию на степень магистра, посвященную теории вероятностей, а еще через год был приглашен на кафедру Петербургского университета и переселился в Петербург. Здесь началась его профессорская деятельность, которой П.Л.Чебышёв отдал много сил, и которая продолжалась до достижения им преклонного возраста, когда он оставил лекции и отдался целиком научной работе, продолжавшейся буквально до последнего мгновения его жизни. В двадцать восемь лет он получил в Петербургском университете степень доктора, причем диссертацией служила его книга «Теория сравнений», которой затем в течение более полстолетия студенты пользовались как одним из самых серьезных руководств по теории чисел.

8 декабря 1894 года утром Пафнутий Львович Чебышёв умер, сидя за письменным столом.

Значительную долю своих усилий он потратил на конструирование шарнирных механизмов. Его целью было усовершенствовать механизм Уатта, служащий для превращения кругового движения в прямолинейное. Дело заключалось в том, что этот основной для паровых двигателей и других машин механизм был весьма несовершенен и давал вместо прямолинейного движения криволинейное. Это нежелательное явление вызывало вредные сопротивления, портившие и изнашивавшие машину. Семьдесят пять лет прошло со времени открытия Уатта: сам Уатт, его современники и последующие поколения инженеров пробовали бороться с этим дефектом, но, идя ощупью, путем проб, результатов добиться не могли.

П.Л.Чебышёв взглянул на дело с новой точки зрения и поставил вопрос так: создать механизмы, в которых криволинейное движение возможно меньше отклонялось бы от прямолинейного, и определить при этом наилучшие размеры частей машины. С помощью специально созданного математического аппарата он решил эту задачу. На основе разработанного им метода он сделал конструкции, которые до сих пор находят себе практическое применение в современных приборах.

Однако интересы П.Л.Чебышёва этим не ограничивались. Он занимался другими задачами, являющимися актуальными и для современного машиностроения. Создал знаменитую переступающую машину (стопоходящую машину), имитирующую своим движением движение животного; он построил так называемый гребной механизм, который имитирует движение весел лодки, самокатное кресло, оригинальную модель сортировальной машины и много других механизмов.

На много лет раньше других ученых Чебышёв вывел структурную формулу плоских механизмов, которая по недоразумению носит название формулы Грюблера – немецкого ученого, открывшего ее на 14 лет позднее П.Л.Чебышёва. Для истории математики важно то, что конструирование механизмов и разработка их теории послужили Чебышёву исходной точкой для создания нового раздела математики.

Большая часть лучших математических открытий была сделана П.Л.Чебышёвым в практических работах «Об одном механизме», «О зубчатых колесах», «О центробежном уравнителе», «О построении географических карт», «О кройке платьев».

В теории чисел П.Л.Чебышёв с помощью созданного им элементарного метода доказал закон больших чисел в столь широких предположениях, каких не могли осилить даже более сложные методы его предшественников. Другой раздел математической науки, в котором идеи и достижения П.Л.Чебышёва получили решающее значение, – теория вероятностей. Два основных закона этой науки – закон больших чисел и центральная предельная теорема – те два закона, вокруг которых до самого последнего времени группировались почти все исследования современных ученых. Оба эти закона в их современной трактовке берут свое начало от работ П.Л.Чебышёва.

#### **4 ИССЛЕДОВАНИЯ С.В.КОВАЛЕВСКОЙ ПО ДИНАМИКЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА**



Ковалевская  
(1850–1891)

Софья Васильевна Ковалевская (1850–1891) – выдающийся русский математик, первая женщина член-корреспондент Петербургской академии наук (1889).

С.В.Ковалевская, урожденная Корвин-Круковская, родилась в Москве 15 января 1850 года. Ее отец, генерал артиллерии, сначала не поощрял ее занятия математикой, к которой она проявила большой интерес, и только с 16-летнего возраста пригласил к ней учителя математики.

Для получения систематического высшего образования Софья Васильевна в 1868 году фиктивно вышла замуж за Владимира Онуфриевича Ковалевского, чтобы иметь возможность поехать за границу слушать лекции в университетах Западной Европы. В российские университеты до Октябрьской революции женщины не допускались. Приехав в 1869 году в Гейдельберг (Германия), Ковалевская после долгих хлопот получила разрешение на слушание лекций в университете. Ее выдающиеся способности были быстро замечены профессорами Гейдельбергского университета.

В 1872 году Ковалевская направилась в Берлин, чтобы слушать лекции Карла Вейерштрасса. Однако по условиям Берлинского университета Ковалевскую как женщину к слушанию лекций не допустили. Тогда Софья Васильевна обратилась к Вейерштрассу с просьбой заниматься с ней частным образом. Вейерштрасс, имея отзывы о Ковалевской от своих гейдельбергских учеников, согласился.

В Германии Ковалевская написала первую самостоятельную работу «О приведении некоторого класса абелевых интегралов третьего ранга к интегралам эллиптическим». Знаменитый французский математик, физик и астроном Пьер Симон Лаплас в своем труде «Небесная механика», рассматривая кольцо Сатурна как совокупность нескольких тонких, не влияющих друг на друга жидких колец, определил, что его поперечное сечение имеет форму эллипса. Это решение было первым и очень упрощенным. Софья Васильевна задалась целью исследовать вопрос о равновесии кольца с большей точностью. Она установила, что поперечное сечение кольца Сатурна должно иметь форму овала.

Зиму 1873 года и весну 1874 года Ковалевская посвятила исследованию «К теории дифференциальных уравнений в частных производных». В 1874 году К.Вейерштрасс представил эту и еще две математические работы С.В.Ковалевской

Геттингенскому университету с просьбой присудить ей ученую степень. Университет присвоил С.В.Ковалевской степень доктора философии с высшей похвалой. Упомянутая выше работа вызвала восхищение ученых, однако, позднее было установлено, что аналогичное исследование, но более частного характера, еще раньше Ковалевской написал Огюстен Коши.

В своей диссертации Ковалевская сформулировала и доказала теорему, которая сейчас называется теоремой Коши–Ковалевской. Большой интерес представлял приведенный в работе разбор уравнения теплопроводности, в котором Софья Васильевна обнаружила существование особых случаев, сделав тем самым значительное для своего времени открытие.

В 1884 году Ковалевская начала преподавать математику в Стокгольмском университете. Ее лекции пользовались большой популярностью.

В 1888 году Парижская академия наук объявила конкурс на лучшее исследование движения твердого тела около неподвижной точки. В числе 15 работ была подана на конкурс работа Софьи Ковалевской под девизом: «Говори, что знаешь; делай, что обязан; будь, чему быть». Эта работа, доставившая Ковалевской мировую известность, была премирована как наилучшая.

Сущность решенной задачи состоит в следующем. Движение тяжелого твердого тела около неподвижной точки впервые было подвергнуто математическому исследованию Эйлером, который составил три динамических уравнения движения твердого тела (эти уравнения называются сейчас динамическими уравнениями Эйлера) и показал, что, присоединяя к этим трем уравнениям три кинематических соотношения, можно получить замкнутую систему уравнений. Эйлер проинтегрировал полученные им уравнения для одного класса задач, предполагая, что центр тяжести тела совпадает с неподвижной точкой опоры. Позднее Лагранж и Пуассон получили полное решение задачи о движении симметричного тяжелого тела, имеющего неподвижную точку на оси динамической симметрии. Новых случаев движения после Пуассона не удалось открыть никому, несмотря на усилия лучших математиков и механиков. Работы Джеймса Джозефа Сильвестра, Карла Густава Якоба Якоби, Осипа Ивановича Сомова и Жана Гастона Дарбу обнаружили много интересных свойств движений в случаях Эйлера и Лагранжа–Пуассона, но не прибавили новых классов движений.

В своей работе Ковалевская задается целью отыскать такие классы движений тяжелого твердого тела около неподвижной точки, для которых проекции мгновенной угловой скорости на подвижные оси выражаются в виде некоторых

функций времени, имеющих особые точки только в форме полюсов первого порядка. В результате изысканий Ковалевская доказала, что этим приемом можно разрешить до конца еще один новый случай движения. В этом новом случае центр тяжести тела должен лежать в экваториальной плоскости эллипсоида инерции, построенного для неподвижной точки, причем на тело налагается одно дополнительное условие, а именно: распределение масс в теле должно быть таким, что полуоси эллипсоида инерции для неподвижной точки должны относиться, как  $1:1:1/\sqrt{2}$ .

Новый случай интегрируемости уравнений Эйлера, который Ковалевская обнаружила в своих изысканиях, представлял чрезвычайно большие математические трудности. Однако Софье Васильевне удалось получить в конечной форме все кинематические и геометрические элементы, характеризующие этот новый класс движений твердого тела. Работа С.В.Ковалевской о несимметричном гироскопе вызвала громадный интерес среди ученых во всем мире. В русских научных журналах появился целый ряд работ, посвященных продолжению исследования Ковалевской. Метод Ковалевской был принципиально новым, и все возможности этого метода выяснились в XX столетии.

Случай Лагранжа–Пуассона соответствует тяжелому симметричному гироскопу, составляющему неотъемлемую часть конструкции всех гироскопических приборов. Так, гироскопический горизонт (прибор на самолете) позволяет летчику держать самолет в горизонтальном полете в тумане или ночью; гироскопический компас, устанавливаемый на больших пароходах и военных кораблях, позволяет ориентироваться на море лучше, чем с помощью магнитного компаса, так как не подвергается действию близко расположенных стальных и железных масс. Конструкции всех такого рода приборов стали возможны благодаря теоретическим исследованиям, начатым Эйлером, Лагранжем и Пуассоном. Теория современных гироскопических приборов была создана за 80 лет до их технического осуществления. Главная особенность движения гироскопа Ковалевской заключается в непериодичности этого движения.

Работа Ковалевской была написана в 1888 году. Этой замечательной работой Ковалевская поставила свое имя в ряд с именами общемировых гениев Эйлера и Лагранжа.

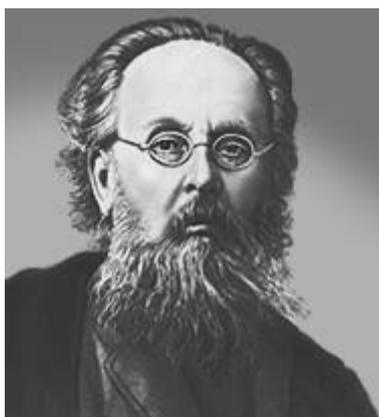
С.В.Ковалевская известна также как незаурядная писательница. Она автор

повестей «Воспоминания детства», «Сестры Раевские», «Нигилистка» и некоторых других художественных произведений.

Мировая история математики и механики не знает среди женщин имени столь знаменитого и талантливого, как Софья Ковалевская. Она, как отмечает Николай Егорович Жуковский, «не мало способствовала прославлению русского имени».

В конце 1889 года С.В.Ковалевская была избрана членом-корреспондентом Российской академии наук. Однако членом-корреспондентом родной академии Ковалевская была недолго. Возвращаясь в январе 1891 года в Стокгольм из Франции, где она проводила зимние каникулы, Софья Васильевна простудилась и вскоре умерла от воспаления легких.

## 5 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ КОСМОНАВТИКИ К.Э.ЦИОЛКОВСКИМ



Константин  
Эдуардович  
Циолковский  
(1857–1935)

Константин Эдуардович Циолковский (1857–1935) – выдающийся русский советский ученый и изобретатель в области аэро- и ракетодинамики, теории самолета и дирижабля, основоположник современной космонавтики.

Родился 17 сентября 1857 года в селе Ижевском Спасского уезда Рязанской губернии. Его отец был лесничим, мать вела домашнее хозяйство. Семья была бедная и многодетная. У Кости было двенадцать братьев и сестер. В девятилетнем возрасте мальчик заболел скарлатиной, после чего последовало осложнение на уши (ослабление слуха). Это несчастье наложило трагический отпечаток на всю дальнейшую жизнь ученого. В своей автобиографии он писал: «Что же сделала со мною глухота? Она заставляла меня страдать каждую минуту моей жизни, проведенной с людьми, я чувствовал себя с ними всегда изолированным, обиженным, изгоем. Это углубляло меня в самого себя, заставляло искать великих дел, чтобы заслужить одобрение людей и не быть столь презренным... Начальный удар от глухоты произвел как бы притупление ума, который от людей перестал получать впечатления. Я как бы отупел, ошалел, постоянно получал насмешки и обидные замечания. Способности мои ослабли. Я как бы погрузился в темноту. Учиться в школе я не мог. Учителей совершенно не слышал или слышал одни не-

ясные звуки. Но постепенно мой ум находил другой источник идей – в книгах».

В 16 лет Константин уехал в Москву для продолжения самообразования и знакомства с промышленностью. В захолустной Вятке, где тогда жила семья, условий для этого не было. В Москве Циолковский пробыл три года, живя в крайней бедности. Он получал из дома 10-15 рублей в месяц, но тратил их в основном на книги, приборы, химикалии и т.п. В первый год он изучил основательно элементарную математику и физику, во второй – высшую алгебру, дифференциальное и интегральное исчисления, аналитическую геометрию. Не прекращал молодой Циолковский и своей изобретательской деятельности.

После возвращения в Вятку Циолковский для заработка стал давать частные уроки ученикам местных школ, а в свободное время по-прежнему занимался изобретательством (в частности, построил самоходную лодку). Через год семья переехала на жительство в Рязань.

Циолковский экстерном сдал экзамены на звание учителя и получил право преподавать в уездных училищах Министерства просвещения. Зимой 1879 года он получил назначение в город Боровск. В 1880 году Константин Эдуардович женился на Варваре Евграфовне Соколовой – дочери хозяина дома, где он снимал комнату. В 1892 году Циолковский переехал в Калугу, где жил и работал до конца жизни. К.Э.Циолковский скончался в 1935 году.

Циолковский вошел в историю мировой и отечественной науки как ученый и изобретатель, работавший над тремя большими проблемами: цельнометаллическим дирижаблем, теорией хорошо обтекаемого аэроплана и ракетой для межпланетных сообщений. Он признанный основоположник современной космонавтики.

Труды по аэростатам (дирижаблям) выполнены в основном в 1885-92 годах. Чем дирижабль Циолковского принципиально отличался от предшествующих конструкций? Во-первых, тем, что он был цельнометаллическим, чем обеспечивалась значительная прочность аппарата. Во-вторых, благодаря гофрированной оболочке аэростат мог менять свой объем и, следовательно, поддерживать постоянную подъемную силу на разных высотах и при различной температуре окружающего воздуха. Изменение объема аэростата обеспечивала особая стягивающая система. Наконец, предусматривался подогрев наполнителя оболочки теплом отработанных газов двигателя, что также позволяло влиять на величину подъемной силы в нужном направлении.

Несмотря на поддержку Александра Григорьевича Столетова и Дмитрия

Ивановича Менделеева, сотрудники воздухоплавательного отдела Русского технического общества, от которых зависела судьба изобретения, отвергли тогда проект Циолковского, считая, что аэростат всегда будет лишь игрушкой воздушных течений. Первый русский дирижабль «Учебный» появился только в 1908 году. В 1912 году Россия уже имела 13 управляемых аэростатов. А первые успешные полеты дирижабля состоялись во Франции в 1899 году и в Германии в 1900 году. (Проект Фердинанда Цеппелина помечен 1895 годом – пятью годами позже предложения Циолковского.)

Триумфальное шествие идеи воздухоплавания с помощью аппаратов тяжелее воздуха заставило Циолковского заняться всерьез этой проблемой. В 1891 году он написал работу «К вопросу о летании посредством крыльев» и послал ее Николаю Егоровичу Жуковскому, который дал положительный отзыв об этом сочинении.

В 1894 году К.Э.Циолковский написал новую работу – «Аэроплан, или птицеподобная (авиационная) летательная машина». В этом исследовании ученый впервые дал аэродинамический расчет самолета и предложил конструктивную схему, которая на 15-20 лет предвосхитила техническую мысль изобретателей других стран. Именно по этому пути пошло развитие самолетостроения. В аэроплане Циолковского были крыло с утолщенной передней кромкой, фюзеляж обтекаемой формы, колесное шасси и даже гироскопический автопилот с электрическим приводом на руль высоты.

Чтобы поставить свои теоретические расчеты на прочный фундамент эксперимента, Циолковский в 1897 году построил «воздуходувку». Это было первое сооружение подобного рода в России. Аэродинамическая труба Жуковского появилась на пять лет позже.

Основной вклад К.Э.Циолковский внес в космонавтику. Реактивное движение и ракеты были известны давно. Они применялись для фейерверков, в военном деле, для переброски троса с одного корабля на другой, в китобойном промысле и т.п. Циолковский первым научно обосновал возможность межпланетных сообщений с помощью ракет, реактивного движения.

Первые мысли об использовании принципа реактивной отдачи для космических полетов появились у Циолковского еще в 1883 году. В 1903 году в статье «Исследование мировых пространств реактивными приборами» ученый дал математически строгую теорию полета ракеты с учетом изменения ее массы во время движения и заложил основы теории жидкостного реактивного двигателя, а

также элементов его конструкции. Публикации на аналогичную тему появились во Франции спустя 10 лет, в Америке – 16 и в Германии – 20 лет.

В дальнейшем Циолковский успешно работал над многими проблемами, связанными с межпланетными сообщениями. Он предложил создавать составные ракеты, или ракетные поезда, для достижения ими космических скоростей. Составная ракета представляла собой конструкцию из нескольких ракет, поставленных одна за другой. Сначала работает задняя ракета. Разогнав «поезд» до определенной скорости и выработав горючее, она отделяется, и в действие включается вторая ступень, затем – третья и т.д., а цели достигает одна головная ракета. Именно по такой схеме осуществляются космические полеты в настоящее время.

Вторая идея заключалась в параллельном соединении ряда ракет. Циолковский назвал такую конструкцию «эскадрилей ракет». В этом случае все ракеты работают одновременно до выработки половины топлива. Затем крайние ракеты переливают горючее и окислитель в остальные ракеты, отделяются, и «эскадрилья» летит дальше. Цели достигает одна центральная ракета.

Циолковский первым решил задачу о движении космического корабля в поле тяготения Земли и вычислил необходимые запасы горючего для преодоления силы притяжения. Он рассмотрел также влияние атмосферы на полет ракеты, возможность управления ею с помощью рулей, установленных на пути газов, выходящих из сопла, способ охлаждения стенок камеры сгорания компонентами топлива, различные топливные пары, например, спирт и жидкий кислород, создание искусственного спутника Земли и ряд других вопросов, в частности, предсказал, что будет ощущать космонавт в состоянии невесомости. В книге «Грезы о Земле и небе» Циолковский впервые высказал идею о возможности создания искусственных спутников Земли.

Циолковскому принадлежат изобретения и открытия не только в области космонавтики и дирижаблестроения. Он, например, предсказывал появление транспорта на воздушной подушке. К.Э.Циолковский был очень разносторонним человеком. Он занимался не только вопросами завоевания атмосферы, стратосферы и межпланетного пространства. В числе его трудов – работы по астрономии, астрофизике, математике, биологии, философии. Среди них: «Тяготение как источник мировой энергии», «Образование Земли и солнечной системы», «Механика животного организма» (она получила положительный отзыв Ивана Михайловича Сеченова), «Теория газов», в которой он изложил основы

кинетической теории газов (Циолковский не знал, что эта теория создана до него Людвигом Больцманом).

Не надо думать, что Циолковский никогда не ошибался. Ученый, например, написал работу, посвященную второму началу термодинамики, в которой пытался доказать неверность этого закона. Никакого значения не имеют также труды Циолковского по философии, и впоследствии он никогда даже не вспоминал о них. Но эти отдельные ошибки и заблуждения не могут перечеркнуть всего того великого, что сделал ученый для науки, для своей страны.

К.Э.Циолковский был членом многих научно-исследовательских организаций и учреждений: Социалистической академии общественных наук (1918), Русского общества любителей мироведения в Петрограде (1919), Южного астрономического общества (1927), Комиссии по научному воздухоплаванию (1928), Союза Осоавиахима (1932), почетным профессором Академии воздушного флота (1924). В 1932 году в связи с 75-летием со дня рождения и за заслуги перед страной К.Э.Циолковский был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

## **6 СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТУЛЬСКОЙ ШКОЛЫ МЕХАНИКИ**

Вклад Леонида Александровича Толоконникова в становление и развитие фундаментальной и прикладной науки Тульского региона трудно переоценить. Сам

он главной своей целью считал привлечение к исследовательской деятельности как можно большего числа молодых людей с тем, чтобы, по его выражению, «научить их учиться». Обладая неутолимой жадной жаждой познания, Леонид Александрович старался привить это качество и своим ученикам.



Необходимым условием создания научной школы является наличие яркой личности, сочетающей талант Ученого с талантом Учителя, готовностью поделиться своими знаниями и идеями с учениками. Пожалуй, у Леонида Александровича два этих таланта были выражены наиболее ярко. Многогранна его

педагогическая деятельность – это руководство кафедрой, постановка курсов

лекций по различным разделам математики и механики, организация и проведение научных семинаров, посредством которых воспитывались студенты и аспиранты, впоследствии ставшие кандидатами и докторами наук. Когда Толоконников занимался очередной научной проблемой, то часто, сформулировав основные идеи, передавал их реализацию ученикам. Дальнейшая разработка данного направления, как правило, завершалась появлением нового доктора наук, способного к последующим самостоятельным исследованиям. Даже формальные итоги научно-педагогической деятельности Леонида Александровича впечатляют. Под его руководством подготовлен двадцать один доктор и более 130 кандидатов наук.

### Литература

1. Введение в специальность: Механика (010701.65 «Фундаментальная математика и механика»). Сборник задач. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : МГУ имени М.В.Ломоносова (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова), 2013. — 72 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/73087> — Загл. с экрана.

2. Мендыгалиева А. К. Теория и методика изучения математики в начальной школе (изучение величины «Масса») [Электронный ресурс] — Электрон. дан.— Издательство Оренбургский государственный педагогический университет, 2020.— 73 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/159079> — Загл. с экрана.

3. Бертяев В.Д., Ручинский В.С. Теоретическая и аналитическая механика. Учебно-исследовательская работа студентов: учебное пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2019. — 424 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/111879> — Загл. с экрана.

4. Темербекова А. А., Чугунова И. В., Байгонакова Г. А. Методика обучения математике. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Издательство "Лань", 2021. — 512 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/168742?category=906>— Загл. с экрана.

5. Малахов А.Н., Максюков Н.И., Никишкин В.А. Практикум по методике преподавания математики: учебное пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан.— Издательский центр Евразийского открытого института, 2009 .— 396 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/126291?category=906>— Загл. с экрана.

6. Урсулов А.В., Бострем И.Г., Казаков А.А. Теоретическая механика: решение задач: учеб. пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан.— Уральский федеральный университет, 2012 .— 80 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/99100> — Загл. с экрана.

7. Байдак В.А. Теория и методика обучения математике: наука, учебная дисциплина [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Издательство "ФЛИНТА", 2016.— 264 с. — <https://e.lanbook.com/book/85851> — Загл. с экрана.

8. Скарбич С.Н. Формирование исследовательских компетенций учащихся в процессе обучения решению планиметрических задач [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Издательство "ФЛИНТА", 2016.— 194 с. — <https://e.lanbook.com/book/86006> — Загл. с экрана.