

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

П. А. Жилин

ПРЕПОДАВАНИЕ
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ
В ТЕХНИЧЕСКИХ
УНИВЕРСИТЕТАХ И ВУЗАХ

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург
2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
—
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

П. А. Жилин

ПРЕПОДАВАНИЕ
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ
В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ
И ВУЗАХ

Учебно-методическое пособие



Санкт-Петербург

2014

ББК 22.21:74.58

Ж72

Жилин П. А. **Преподавание теоретической механики в технических университетах и вузах:** учеб.-метод. пособие / П. А. Жилин. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. — 46 с.

Обсуждается роль и место теоретической механики среди других наук и в фундаментальном образовании инженеров. Освещается современное состояние преподавания теоретической механики в технических университетах и вузах. Формулируется концепция преподавания механики на первом и втором уровнях обучения. Дается примерная программа вводного курса рациональной механики.

Предназначено для преподавателей технических университетов и вузов.

Ил. 3.

Редакционная коллегия:

Доктор физико-математических наук Е. А. Иванова,
доктор физико-математических наук, член-корреспондент
Российской академии наук Д. А. Индейцев,
доктор физико-математических наук А. М. Кривцов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

© Жилина О. П., 2014

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2014

ISBN 978-5-7422-4432-5

Оглавление

Предисловие редакторов	4
Глава 1. Роль и место теоретической механики среди других наук и в фундаментальном образовании инженеров	6
Глава 2. Современное состояние преподавания теоретической механики в технических университетах и вузах	11
Глава 3. Концепция преподавания механики на первом и втором уровнях обучения	20
Глава 4. Вводный курс рациональной механики. Примерная программа	26
Глава 5. Комментарии к примерной программе	32

Предисловие редакторов

Работа Павла Андреевича Жилина о преподавании теоретической механики в технических университетах и вузах публикуется впервые, хотя написана она была в начале 90-х г. прошлого столетия. Возможно, текст был написан при подготовке к докладу на Всероссийском совещании-семинаре заведующих кафедрами теоретической механики вузов. Сейчас трудно с уверенностью сказать, в каком году был написан этот текст, что послужило поводом для его написания и почему он не был опубликован. Однако причины, побудившие П. А. Жилина высказать свою точку зрения на преподавание теоретической механики, вполне понятны.

В 1990 г. П. А. Жилин стал заведующим кафедрой теоретической механики Ленинградского государственного технического университета¹ и начал читать курс теоретической механики студентам первого и второго курсов физико-механического факультета. Ранее он работал на кафедре механики и процессов управления, где читал лекции студентам старших курсов по теории оболочек и другим разделам механики сплошных сред. Посмотрев на курс теоретической механики с позиций ученого и преподавателя, читающего будущим ученым современные курсы механики сплошных сред, Павел Андреевич пришел к выводу о необходимости его кардинального изменения. П. А. Жилин был глубоко убежден, что о фундаментальных научных проблемах будущие ученые должны размышлять еще будучи студентами. Он никогда не жалел времени на обсуждение фундаментальных вопросов со студентами как в личных беседах, так и на лекциях. Лекции П. А. Жилина отличались глубоким проникновением в суть вещей. Они не были простым пересказом известных литературных источников. Павел Андреевич излагал студентам свое видение современной науки, а отчасти и свои собственные научные открытия. Он не скрывал существующие научные проблемы, а наоборот, старался обратить на них внимание студентов. Созданный П. А. Жилиным курс теоретической

¹ В настоящее время Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

механики² не имеет аналогов в мире.

Многое из того, что обсуждается в работе П. А. Жилина, относится не только к курсу теоретической механики и не только к методике преподавания в вузах. Поднимаются вопросы, имеющие философский и мировоззренческий характер. Анализируются особенности психологии и менталитета молодежи, а также те проблемы, с которыми сталкиваются студенты, обучаясь в вузах. Дается исторический экскурс, в котором сравниваются образовательные программы вузов в Российской империи и Советском Союзе с образовательными программами классических и технических университетов западных стран. Обсуждаются тенденции изменения образовательных программ, наметившиеся во второй половине XX в., и те последствия, к которым это, по мнению П. А. Жилина, приведет в самое ближайшее время.

Как бывает со многими выдающимися личностями, П. А. Жилин обошел свое время. В 90-е г. XX в. идеи, сформулированные в данной работе, не вызвали большого интереса. Казалось, что беспокойство П. А. Жилина относительно проблем, связанных с высшим образованием, не имеет достаточных оснований. В те годы многие считали, что все проблемы высшего образования в России связаны исключительно с недостаточностью финансирования. Позднее, когда объем финансирования высшего образования увеличился, а ситуация практически не изменилась, стало очевидным, что проблема улучшения качества высшего образования не решится без кардинальных изменений. Сейчас в процессе реформирования высшего образования в России четко наметились тенденции к переходу на западный стиль образования. Нет смысла обсуждать, хорошо это или плохо. Это естественный процесс, и помешать ему невозможно. Однако, переходя на новую форму образования, очень важно не растерять того, что отличало в лучшую сторону образование в Советском Союзе по сравнению с западным образованием. В этой ситуации работа П. А. Жилина остается очень современной.

Редакционная коллегия выражает благодарность Д. Ф. Лебедеву за предоставленные материалы и Т. П. Товстик за подготовку рукописи к печати.

Е. А. Иванова, Д. А. Индейцев, А. М. Кривцов

² Жилин П. А. Теоретическая механика. Фундаментальные законы механики. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 340 с.

Глава 1

Роль и место теоретической механики среди других наук и в фундаментальном образовании инженеров

Механика, наряду с математикой, является одной из наиболее древних и глубоко разработанных наук. Она продолжает интенсивно развиваться и является живым и мощным организмом. Основные идеи механики родились в трудах величайших ученых всех времен и народов: Архимеда, Галилео Галилея, Леонарда Эйлера и Джеймса Клерка Максвелла. Огромный вклад в механику внесли и такие гении, как Р. Декарт, Я. Бернулли, И. Бернулли, Д. Бернулли, Х. Гюйгенс, Ж. Даламбер, И. Ньютон, П. Лаплас, Г. Лейбниц, Ж. Лагранж, К. Ф. Гаусс, К. Якоби, О. Коши, У. Гамильтон, А. Пуанкаре, А. Эйнштейн. Характерно, что все они, за исключением, быть может, Х. Гюйгенса и А. Эйнштейна, были и великими математиками. Велик вклад в механику и русских ученых. Имена М. В. Остроградского, Д. И. Журавского, П. Л. Чебышева, Д. К. Бобылева, Н. Е. Жуковского, С. В. Ковалевской, Ф. С. Ясинского, А. М. Ляпунова, И. В. Мещерского, Г. В. Колосова, С. А. Чаплыгина, И. Г. Бубнова, С. П. Тимошенко, А. И. Некрасова, А. А. Фридмана, Н. И. Мусхелишвили и многих других, родившихся уже в XX в., известны всему миру и принесли славу нашей науке и стране в целом.

Каждый, кто посмотрит на вышеприведенный и далеко не полный перечень великих имен, убедится, что не так просто назвать выдающегося ученого в области точного естествознания, который не работал бы в области механики. Этот факт указывает не только на огромную притягательную силу механики, но и на ни с чем не сравнимую роль механики в формировании естественно-научного мировоззрения. Особенно важную роль сыграла механика в становлении всего технического образования России в XIX в. и в первой половине XX в. Громадный скачок, который совершила неграмотная Россия в области технического образования в XIX в., был подготовлен в XVIII в. трудами все-

го одного человека, но этим человеком был Леонард Эйлер, работавший для России в составе Петербургской академии наук в течение 56 лет. Л. Эйлер создал замечательные, во многих отношениях непревзойденные до сих пор, учебники по дифференциальному и интегральному исчислениям, а также две версии учебника по механике (1736 г. и 1765 г.). Впервые идея технического образования, опирающегося на мощный фундамент математики и механики, была высказана и реализована во Франции в самом конце XVIII в. Однако во Франции была реализована идея двухступенчатого технического образования: сначала фундаментальное образование в Политехнической школе, а затем специализация в одном из технических вузов. При этом нарушалась непрерывность технического образования, так как технические вузы были не готовы использовать фундамент, заложенный в Политехнической школе.

Другой путь реализации идеи технического образования через фундаментальную подготовку был опробован в России. В 1809 г. был открыт Петербургский институт инженеров путей сообщения. В основу подготовки была положена мощная программа по математике и теоретической механике. К преподаванию были привлечены известные русские и французские ученые. В частности, различные аспекты механики преподавали французские ученые: Г. Ламе, который с 1820 по 1832 г. возглавлял кафедру механики, математики и физики, Б. Клапейрон, который был профессором с 1820 по 1830 г. Именно в это время Г. Ламе разработал свои знаменитые лекции по математической теории упругости, ставшие первым в мире учебником по теории упругости. Математику и теоретическую механику преподавал М. В. Остроградский, поставивший эти предметы на такой уровень, который был в то время недостижим даже для математических факультетов университетов. Многие выпускники и студенты математического факультета Санкт-Петербургского университета посещали лекции М. В. Остроградского. Поэтому влияние Института инженеров путей сообщения выходило далеко за рамки выпускников этого института.

Основное отличие русской реализации идеи технического образования от французской заключалось в том, что в России полный курс высшего образования давался в одном институте, и очень часто одними и теми же преподавателями. Например, Г. Ламе преподавал как теоретическую механику, так и различные разделы механики твердого деформируемого тела на старших курсах. Это приводило к глубокому усвоению студентами основных идей и понятий механики. Результаты такого обучения не замедлили сказаться. Выпускники Института инженеров путей сообщения Д. И. Журавский и Ф. С. Ясинский приобрели мировую известность. Примечательно, что оба они включились

в серьезную научную и инженерную деятельность немедленно после окончания института: Д. И. Журавский сразу включился и стал активным участником проекта железных дорог в России и сопутствующих им мостов, которые в то время были в основном деревянными. Тогда и появилась знаменитая формула Журавского. Ф. С. Ясинский внес существенный вклад в теорию упругой устойчивости технических конструкций. Весьма знаменитыми стали два ученика М. В. Остроградского: И. А. Вышеградский — основатель теории управления; Н. П. Петров — создатель гидродинамической теории смазки. Можно приводить еще много примеров, но для нас важным является вывод: практически все выдающиеся ученые России XIX в. в области точного естествознания воспитывались и формировались на основе глубокого изучения механики. Разумеется, это должно было сопровождаться глубокой математической подготовкой.

Опыт Института инженеров путей сообщения оказался столь удачным, что по этому же образцу стали создаваться и другие институты, например, Технологический институт в Санкт-Петербурге (основан в 1828 г.) и Высшее техническое училище в Москве (1830 г.). Напомним, что один из самых знаменитых институтов в мире — Массачусетский технологический институт (США), основанный в 1865 г., в основу обучения студентов положил программы, разработанные в МВТУ, в которых, в свою очередь, уже традиционно для России огромную роль играли курсы механики.

Весьма почетную и видную роль играет механика среди других фундаментальных наук: математики и физики. Именно в механике возникли первые дифференциальные уравнения и разработана теория их интегрирования, первые интегральные уравнения возникли в механике, вариационное исчисление и экстремальные принципы родились в механике, и самые интересные приложения они находят также в механике. Вообще среди идей классической математики, видимо, только идеи групп возникли непосредственно в математике, а затем широко внедрились в механику и физику. Долгое время механика считалась одним из важнейших и самым обширным разделом математики. Вплоть до 30-х г. XX в. в западных университетах механика не изучалась даже физиками, не говоря уже о представителях других экспериментальных наук. Однако на стыке XIX и XX в. родилась новая наука — теоретическая физика, которая уже в 20-е г. XX в. перестала быть делом одиночек. Вот в это время в западных университетах механика была введена в программу обучения физиков-теоретиков. Сделать это заставила жизнь, ибо все известные физики-теоретики того времени получили фундаментальную подготовку в области механики и пользовались языком механики. Да и на что мог рассчи-

тывать физик-теоретик, не знающий механики Гамильтона и не владеющий техникой канонических преобразований? Можно утверждать, что, не зная механики, невозможно глубоко усвоить ни основные математические понятия, ни главные физические идеи.

В чем же причина столь значительной роли механики в образовании и науке? Причина лежит в глубинной природе человека, который, хотя и может думать в абстрактных терминах, нуждается в твердой опоре на окружающую его реальность. Именно эту опору и доставляет человеку механика. Одно дело — изучать абстрактную теорию дифференциальных уравнений, но совсем другое дело — видеть, как работают эти дифференциальные уравнения при описании движения планет. Одно дело — познакомиться с одним из простейших дифференциальных уравнений в математике: $\ddot{x} + \omega^2 x = f(t)$, и совсем другое дело — знать, какое огромное количество явлений окружающего нас мира описывает это уравнение. Кстати, именно плохое знание механики многими преподавателями математики в вузе служит основным источником тех претензий, которые предъявляются специальными кафедрами к преподаванию математики. Не останавливаясь на важных деталях этой проблемы, укажем, что в технических университетах и вузах кафедры высшей математики и теоретической механики должны работать в особенно тесном контакте, который послужил бы обоюдной пользе, а выиграли бы — и значительно — студенты. Важно осознать, что без неспешного, вдумчивого изучения механики практически никто не в состоянии глубоко изучить основные математические методы. Важно также начинать изучение механики параллельно с курсом высшей математики, ибо, с одной стороны, студент немедленно начинает потребление пройденных в математике понятий, а с другой — он осознает важную роль математики в описании окружающего нас мира, что, в свою очередь, повышает его интерес к изучению математики.

Таким образом, вся история развития науки и техники свидетельствует, что механике как элементу образования и главному фактору естественно-научного мировоззрения нет альтернативы.

Перечислим основные задачи, выполнение которых предназначено механике, в частности, теоретической механике.

1. Демонстрация познаваемости окружающего мира и предсказательной силы науки на основе методов точного естествознания. Формирование не абстрактно отвлеченных, а конкретно естественно-научных представлений.
2. Демонстрация того, что возможно усвоение суммы идей, открывающих

путь к истине, а не суммы знаний, которые показывают отдельные аспекты истины, но одновременно с большим успехом прячут истину. Эта задача может быть решена только в высшей степени зрелой наукой, какой механика является, но она не под силу, например, физике, в которой сумма знаний все еще играет огромную роль.

3. Демонстрация рождения основных идей механики, т. е. основных естественно-научных представлений, и того факта, что возникновение основных идей потребовало работы мысли всего человечества.
4. Усвоение математических методов на основе детального решения конкретных задач для простых и наглядных моделей, которые можно продемонстрировать непосредственно на лекции. Иначе говоря, построение переходного мостика от абстрактных глубин математики к реальности окружающего мира и современной техники.
5. Демонстрация методологической основы механики как образца для формирования и развития других областей науки — задача, которую давно и с успехом выполняет механика.
6. Накопление будущими инженерами конкретных знаний в избранной ими профессиональной деятельности, однако здесь особенно важно соблюдать чувство меры, чтобы за деревьями студенты все еще могли видеть лес.

Все перечисленные выше задачи издавна возлагались на механику и решались ею более или менее успешно. В частности, так было и в России еще в первой половине XX в. Правда, иногда надделение механики упомянутыми выше функциями встречало сопротивление в нашей стране. Достаточно вспомнить историю организации Казанского авиационного института и ту борьбу за воплощение отмеченных принципов, которую вел выдающийся русский ученый-механик Н. Г. Четаев (1930–1932 гг.). Тем не менее механика всегда играла выдающуюся роль в русском техническом образовании, которое к 1960 г. считалось многими зарубежными экспертами одним из лучших в мире. Свидетельством этому явились наши достижения в космонавтике. Даже в электронике разрыв между СССР и ведущими странами Запада тогда был не слишком значительным, а в кое-каких разработках СССР тогда опережал ведущие страны Запада. А как обстоит дело сейчас? Об этом речь пойдет в следующей главе.

Глава 2

Современное состояние преподавания теоретической механики в технических университетах и вузах

Выше уже отмечалась ни с чем не сравнимая роль механики в высшем техническом образовании в XIX и первой половине XX в. Многие полагают, что механика уже утратила свои ведущие позиции, и достаточно небольших курсов теоретической механики для полноценного технического образования. Как следствие этой позиции, в последние 20–30 лет наблюдается неуклонное снижение той роли, которую отводят теоретической механике. Сторонникам этой позиции следовало бы обратить внимание на малоприятную для них аналогию: снижение роли механики в точности повторяет кривую деградации нашего общества. Со 2-го места в мире, которое занимало наше население по коэффициенту интеллектуальности в 1960 г., мы добрались до 54-го места в 1991 г. Причем коэффициент интеллектуальности молодежи в последние годы даже не снижается, а просто летит в пропасть. Могут возразить: а при чем здесь механика? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо немного порассуждать об общих проблемах, стоящих перед человечеством.

Одно из огромных достижений человечества состоит в колоссальном росте числа образованных людей. За последние 50 лет число студентов в мире выросло более чем в 10 раз. Если же сравнивать с XIX в., то эту цифру надо увеличить еще во много раз. Это, конечно, хорошо. Однако рост числа студентов сопровождается соответствующим ростом числа преподавателей, и вот здесь возникает проблема. Дело в том, что число выдающихся ученых в мире относительно мало зависит от числа образованных людей, хотя, разумеется, число ученых, так сказать, среднего уровня прямо пропорционально числу образованных людей. Кроме того, с ростом числа образованных людей резко возрастает число псевдоученых, носителей суммы знаний, но творчески бесплодных и не чувствующих биения пульса той науки, которой они зани-

маются. Вот эти-то люди и пришли в большом количестве в вузы и стали не только обучать, но и формировать программы обучения. Главной отличительной чертой людей, стоящих на относительно невысоком уровне духовного развития, является их неистребимый прагматизм. А последний не только вреден, но убийственен для духовного роста человека, а следовательно, и для всего образования, в том числе и технического. Прагматик никогда не поставит перед теоретической механикой те задачи, которые перечислены в первой главе. Поскольку теоретическая механика не приносит видимой пользы в собирании велосипедов, то и учить в ней нечему. Будучи носителем только суммы знаний, прагматик и в своих учениках видит только носителей книжного знания. Поэтому столь велика у него тяга к напихиванию в учеников различного рода полезной информации без заботы о степени активности усвоения этой информации. Вспомним, кто формировал программу Политехнической школы в Париже: Пьер Лаплас, Жан-Луи Лагранж, Гаспар Монж — лучшие умы Франции, да и не только Франции, того времени. Поэтому в их разработках звучали именно те идеи и задачи, которые мы уже перечислили выше. Поэтому столь большую роль они отводили механике. Эти же задачи ставились перед Петербургским институтом инженеров путей сообщения и, главное, реализовались они М. В. Остроградским и Г. Ламе.

Автор хорошо помнит, как лет 30 назад формировалась программа обучения на механическом потоке физико-механического факультета ЛПИ. Всю программу целиком, по всем предметам, исключая гуманитарные, обдумывали и формировали двое выдающихся ученых нашей страны — А. И. Лурье и Л. Г. Лойцянский. Разумеется, огромная роль в программе отводилась механике и математике в их различных аспектах. Результаты этого общеизвестны — выпускники этого факультета высоко котируются в стране и мире. А. И. Лурье и Л. Г. Лойцянский внимательно следили за тем, чтобы уровень преподавания механики на технических факультетах был достаточно высоким. В последние два десятилетия по разным причинам внимание к механике в ЛПИ (ЛГТУ) резко упало. И что же? Снизилась не только подготовка студентов по механике, но резко упала подготовка и по математике, снизился и вообще интерес к учебе. Разумеется, дело здесь не только в механике, а в общей утрате духовности образования, причем значительную долю этой духовности в техническом образовании брала на себя и могла бы брать в будущем механика.

Итак, прагматизм современных деятелей высшей школы является причиной снижения уровня технического образования. Конечно, полезно знать, как лудят чайники, но если это все, что дает высшее техническое образование,

то ученик не примет этого образования, ему это просто неинтересно. Прагматизм высшего технического образования характерен не только для нашей страны, но для всего мирового сообщества, что грозит уже в ближайшие годы жестоким кризисом мировой системы технического образования — уже и сейчас с каждым годом все труднее увлекать молодежь идеей технического образования.

Здесь необходимо обсудить одну важную проблему, характерную для нынешней молодежи и порожденную сложностью современной техники. Эта проблема возникла совсем недавно: 10–15 лет назад. Но ее последствия будут нарастать с течением времени. Дело в том, что даже те, кому сегодня 50–60 лет, не говоря уже о тех, кто старше, могли воочию наблюдать становление почти всей современной техники: на их глазах прошла свой путь развития авиация, родилась ракетная техника, возникли радио и телевидение. Большинство из них делали простейшие модели, собирали простейшие приемники, наконец разбирали (ломали) бытовую технику своих родителей, чтобы посмотреть, как она устроена. И они смотрели, а главное, были в состоянии понять, в чем там фокус. Поэтому в вуз приходили люди, хорошо знающие, что не боги горшки обжигают, что все можно понять и во всем разобраться. Интересно было лишь понять, как это делается методами науки. Да и программы обучения 30 лет назад были несравнимо проще.

А каковы современные студенты? Они родились у экрана цветного телевизора — устройства, удручающе сложного для ребенка. Конечно, они могут сломать видеомэгафон и из большого черного ящика вынуть множество маленьких черных квадратиков (интегральных схем), но что это им даст? Люди уже слетали на Луну, обсуждают проблему звездных войн, техника уже за гранью фантастики. И никаких шансов разобраться во всем этом. Где начало всего и есть ли оно? Можно ли постичь все эти таинственные премудрости? Родители и школа мало могут помочь в этом. В душе ребенка рождается страх перед непознаваемостью окружающего его мира, причем не перед непознаваемостью вообще, поскольку он знает, что именно люди эти чудеса создали, а перед его личной неспособностью понять все это. Так рождается глубочайшая закомплексованность молодого человека — одна из наиболее страшных болезней человека. Упомянутая закомплексованность рождает реакцию: инстинктивное отвращение от технического образования и нарочитая примитивность в поведении молодежи. Они подсознательно ощущают, что если не встанут обеими ногами на твердую землю, то погибнут. Именно отсюда проистекает тот ужасающий старшее поколение примитивизм в их музыке, песнях, танцах и т. д. Такова реальность, такова проблема. Помогает ли выс-

шая школа преодолеть эти комплексы? Нисколько! Напротив, она усугубляет их. Взгляните, с чего начинается курс высшей математики. С элементов теории множеств. На первой же лекции на студента обрушиваются два десятка малопонятных определений, и он окончательно убеждается, что является полным идиотом. Затем в курсе все упрощается, лекции становятся простыми и менее абстрактными, но уже поздно — поезд ушел, студенты, вернее, многие из них, уже начинают разрабатывать стратегию не изучения курса, а способов его успешной сдачи. О каком удовольствии от познания истины здесь может идти речь?

Первейшая задача вуза состоит в том, чтобы сразу же начинать снимать синдром закомплексованности. Это означает, что необходимо как можно проще и убедительнее показать простые реальности, стоящие за обсуждаемыми абстракциями. На деле все происходит наоборот. Даже физики начинают свой курс со статистической физики, с разговоров о распределении числа молекул по скоростям. Но кто их видел, эти молекулы? И кто измерял их скорости? Конечно, студенты знают, что и видели молекулы, и скорости их кто-то измерял. Но это делал кто-то другой. К ним, студентам, все это не имеет никакого отношения. Ведь почему так много желающих получить гуманитарное образование? Да просто потому, что люди верят, что они в состоянии понять поэзию Пушкина, выучить свод законов и даже научиться лечить людей. Хотя эта простота и обманчива, но они верят в нее. Понять же, что такое электричество, — это, как они уверены, для них совершенно невозможно. Ведь они же не знают, какой смысл вкладывают ученые в утверждение, что явление электричества изучено и понято наукой, а речь здесь идет о совсем другом смысле термина “понимать”, чем это принято на бытовом уровне. О проблеме закомплексованности можно еще говорить очень долго, но крайне прискорбно, что высшая школа не лечит болезнь, а часто углубляет ее.

Именно механика, как никакая другая наука, способна преодолеть комплекс неполноценности у молодого человека. Только в механике легко совмещаются научные идеи с простыми реальностями окружающего мира. Только в механике легко показать, как из реальностей рождаются абстракции. Только в механике оказывается возможным дать четкое и простое описание дороги, ведущей к истине, пусть и не окончательной, но весьма зримой и наглядной. Вот это и называется формированием естественно-научного мировоззрения, а вовсе не вбивание в человека суммы знаний. Правда, при этом преподаватель должен помнить, что грузик на пружине — это абстракция. Лучше показать ходики с маятником. Консольная балка — это тоже абстракция, нужно показать стрелу башенного крана или даже балкон дома, или трамплин для

прыжков в воду. Все это необыкновенно важно именно для современных студентов, а не для тех, кто учился 40–50 лет назад и полагает в силу инерции мышления, что в мире ничего не изменилось. Нельзя жалеть ни сил, ни времени на то, чтобы дать почувствовать студентам почву под ногами. В этом смысле механика не только не утратила своего значения, но, напротив, ее роль еще больше возросла. Ибо не столь важно убедить человека, что не боги горшки обжигают, сколь важно показать ему, что именно он — Вася или Петя — в состоянии обжигать горшок, но для этого ему нужно тренировать интеллект и возвышать свой дух. И все это нужно не ради суммы знаний, не ради утилитарного прагматизма, но ради того, чтобы стать истинным человеком, существом разумным. Задача эта очень трудна и под силу только преподавателю-личности. Вот почему старые европейские университеты так охотились за выдающимися учеными. Трагедия наших университетов и вузов в том, что они этого не понимают. И не только не гонятся за личностями, но готовы без сожаления расстаться и с теми, кого имеют.

До сих пор, говоря о механике, мы имели в виду механику в целом, т. е. огромную область научного знания. Когда говорят о теоретической механике, то, как правило, предмет этой части механики в учебниках не определяют. Не отмечают обычно и такую важную вещь, как объем предварительных знаний, необходимых для усвоения материала этого курса. В результате в настоящее время под одним и тем же названием “Теоретическая механика” на самом деле фигурируют совершенно разные учебники, т. е. в них излагаются по существу разные учебные предметы. Эта проблема важнее, чем может показаться на первый взгляд. Дело в том, что в стране около 900 вузов, в каждом из них есть кафедры теоретической механики, на которых работают, вероятно, свыше десяти тысяч преподавателей. Понятно, что далеко не все они в состоянии знать теоретическую механику на уровне, который требуется для преподавания на младших курсах. Таким преподавателям просто необходимо если не канонический, то во всяком случае с четко очерченным кругом вопросов учебник. Такие учебники есть, но они слишком приземлены, лишены философского и духовного содержания, поверхностны. Короче говоря, они — вторичны. Вторсырье никогда не считалось первосортным материалом. Вторичные знания тем более не могут считаться тем, в чем нуждается современный человек. Даже первоначальный курс механики должен содержать элементы открытия и постижения мира, а не просто сводку полезных знаний. Такого учебника, к сожалению, в мировой литературе нет. Образцом для подражания здесь могли бы служить Фейнмановские лекции по физике, но только в смысле стиля изложения. Конечно, у нас имеется много интересных учебников и учебных

пособий по теоретической механике. Однако трудно понять, кому они адресованы: авторы адресуют их студентам (какого года обучения?), аспирантам, преподавателям и научным работникам. Едва ли такую практику можно признать удачной.

Преподаватели вузов хорошо знают, какая огромная разница в восприятии у студентов второго и третьего курсов. Видимо, после двух лет обучения в вузе у студентов происходит какой-то внутренний скачок, так сказать, количество переходит в качество. Со студентами первого уровня обучения практически невозможно говорить на уровне идей. Разумеется, им можно и нужно объяснять основные идеи, но в каждый данный момент с ними можно обсуждать не более одной идеи. Комбинации идей ими воспринимаются или плохо, или вообще не воспринимаются. Пользуясь шахматной терминологией, даже двухходовые комбинации для них трудны и требуют тщательного разъяснения.

Студенты третьего курса — это уже другие люди. Они воспринимают не только двухходовки, но и значительно более сложные комбинации. Именно в силу этого обстоятельства бесполезно излагать блестящие лекции Р. Фейнмана студентам первого уровня обучения. И уж совсем непонятно, как можно адресовать одну и ту же книгу первокурснику и профессору, новичку и гроссмейстеру. А ведь именно так построены многие учебники по теоретической механике. В результате проигрывает и первокурсник, и профессор, а выигрывают, может быть, только аспиранты. В этом отношении нам следует более внимательно присмотреться к практике преподавания, принятой в университетах Запада. В силу сказанного нам кажется предпочтительней вместо термина “Теоретическая механика” для студентов первого уровня обучения использовать название “Вводный курс рациональной механики”, целью которого является теоретическое описание механической картины мира с выходом на относительно простые задачи, встречающиеся в природе и технике. Важное место здесь должно занимать изложение развития основных идей механики, описание основных структур механики и, самое главное, формулировка основных фундаментальных законов механики в их наиболее общей современной версии. Пора наконец и в учебных курсах восстановить действительную историю развития механики. Миф об Исааке Ньютоне — творце классической механики — гораздо дальше от действительности, чем мифы Древней Греции. В конце XX в. повторять фантазии дилетанта от механики Эрнста Маха просто неприлично. И это не пустяки! Только истина действительно возвышает человека. История механики несравнимо богаче идеями, коллизиями идей, чем это представлено у Маха. Прогресс науки — это принципиально

коллективный процесс; супергении только концентрируют мысль, выработанную многими.

В настоящее время много говорится о гуманитаризации, или гуманизации, образования. Это, конечно, всеми приветствуется. Однако здесь возникают вопросы. Как понимать гуманитаризацию образования? Многие полагают, что речь идет о гуманитарных курсах, но ведь это отнюдь необязательно. Более того, гуманитарные и общественные науки в нашей стране еще должны утвердить свое право на преподавание, ибо их вина перед обществом огромна. Речь идет не о политике. Вина общественных и гуманитарных наук в том, что они оторвали язык от здравого смысла, ибо постоянно говорили сами и заставляли говорить все наше общество словами и терминами, за которыми не стояло вообще никакого смысла. Это разрушительно подействовало на глубинные структуры человека, и последствия этого мы еще очень и очень долго будем ощущать. Смогут ли наши гуманитарии достаточно быстро перейти на язык здравого смысла и относительно точных понятий? В этом можно сомневаться. Поэтому гуманизация, т. е. очеловечивание, образования должно идти и другими путями. В частности, первоначальный курс рациональной механики располагает для этого огромными возможностями. Ведь механика создана людьми, среди ее создателей величайшие умы человечества, в механике множество поучительных коллизий. Чего стоят, например, взаимоотношения Леонарда Эйлера и Жозефа Лагранжа. Последний, мягко говоря, не любил и всячески критиковал Л. Эйлера, который прекрасно знал об этом и, тем не менее, делал все от него зависящее, чтобы возвысить Ж. Лагранжа и устроить его карьеру. Когда-то проблемы механики живо обсуждали люди, далекие от науки, интересовались ею и высочайшие особы, например, Екатерина II и Луи Бонапарт Наполеон. Последний к тому же немало способствовал развитию наук. Конечно, сегодня вызвать такой же интерес у людей к механике едва ли возможно. Однако соответствующее изложение задач небесной механики, включая межпланетные полеты, и сегодня способно вызвать интерес у слушателей. Особенно если это сопровождается подробными историческими справками. Но главное, конечно, — рассказ о возможности “делать открытия на кончике пера” и о том, как это делается.

Короче говоря, гуманизация курсов механики и физики не только возможна, но и необходима. Немало критических замечаний в адрес курса “Теоретическая механика” вызывает ее, если можно так выразиться, высокая профессионализация. Как и во всякой зрелой науке, в механике много классификационных понятий, которые чрезвычайно удобны и полезны для профессионалов-теоретиков, но мало полезны, а иногда и опасны, для инженера. Например,

вся теоретическая механика пронизана понятием идеальной связи. Для систем с идеальными связями доказано множество теорем, которые с удовольствием пересказываются в учебниках. Между тем идеальных связей в природе не бывает. Опасность этого понятия для инженера связана с тем, что малое нарушение идеальности связи может вызвать немалое отклонение в решении задачи. При этом совершенно отсутствуют доказательства того, когда переход к идеальной связи совершается непрерывно, а когда — нет. Более того, эти доказательства зачастую очень сложны и требуют математической подготовки, далеко выходящей за рамки университетской. Зачем же в этих условиях тратить столько времени на общее уравнение динамики в традиционной форме и вытекающие из него следствия? Не лучше ли более детально обсудить общие идеи и методы, не опирающиеся на идеальность связей. Ведь эти методы ничуть не сложнее и часто быстрее приводят к успеху. К тому же информативность этих решений с инженерной точки зрения намного богаче. Вообще отказ от рассмотрения идеальных связей во вводном курсе значительно упрощает его для начального восприятия и одновременно сильно обогащает курс идеями совершенно другого плана, связанными со структурной устойчивостью, катастрофами и т. д.

Имеются и другие, гораздо более серьезные, претензии к концептуальной основе теоретической механики, но сейчас не время их обсуждать. Здесь мы только хотели сказать, что вводный курс механики должен опираться на те идеи и методы, которые одинаково легко работают в разнообразных условиях и не имеют жестких ограничений. В конце концов теоретическая механика читается и будущим механикам, и будущим электрикам, и будущим технологами, и т. д. И все они должны получить пользу от теоретической механики. Если, например, вместо принципа возможных перемещений в его традиционной форме излагать современную версию уравнения баланса энергии, то последнее не менее эффективно работает в традиционных задачах и вместе с тем с такой же легкостью работает, например, в теории растворов, что немаловажно для технологов. К тому же уравнение баланса энергии в идейном отношении проще и, главное, надежнее в приложениях, чем принцип возможных перемещений, который весьма чувствителен к разного рода нарушениям “идеальности”.

Мы уже затратили немало слов, пытаясь доказать совершенно очевидное: механика — один из самых важных предметов во всем техническом образовании. Человек, усвоивший основные идеи механики, даже не изучая других предметов, легко адаптируется во всех областях техники. Это не означает, разумеется, что он может больше ничего не изучать. Это означает, что меха-

ника — важнейшая составная часть научной технической культуры. Поэтому повсеместное сокращение часов, отводимых на теоретическую механику, нельзя расценивать иначе как подрыв всего технического образования. Невозможно поверить, что человек, изучавший механику в объеме 50–60 часов, может быть хорошим инженером. Может быть, он будет способен стать лидером либерально-демократической партии, но не инженером. Конечно, речь идет не о талантливых самородках. Как любил говорить выдающийся ученый-механик А. И. Лурье: “Хорошего человека никаким образованием не испортишь”.

Глава 3

Концепция преподавания механики на первом и втором уровнях обучения

Одно из самых порочных убеждений, прочно укоренившихся в нашем вузовском образовании, заключается в уверенности в том, что главным в образовании является сумма знаний, что стоит человеку рассказать что-либо, и он сразу будет уметь что-то делать. Нелепость этого убеждения очевидна и никем не оспаривается, и, тем не менее, практика вузовского образования следует именно этому убеждению. Да и не только практика вузовского образования. В современной школе происходит то же самое. Например, те, кто общается с первокурсниками, знают, что они очень плохо умеют обращаться с правильными дробями, не умеют их складывать, умножать и т. д. Это достаточно новое явление — ничего подобного никогда не наблюдалось 10–15 лет назад и раньше. Однако удивляться этому не приходится, ибо в школе резко уменьшилось практическое освоение элементарной математики: выучили ученики правило сложения дробей — и хорошо, можно двигаться дальше. Между тем складывать дроби должна уметь рука, а голова при этом должна быть свободна для других вещей. Только тогда у ученика вырабатывается способность работать с комплексами идей, когда каждая из этих идей прочно освоена и переведена в математическое обеспечение интеллектуального “компьютера”. Если этого нет, то все дальнейшее обучение ничего не стоит. Все сказанное тривиально, но добиться реального внедрения принципа активного усвоения учебной программы студентами невероятно трудно. Предлагаемая ниже концепция целиком опирается на стремление добиться активного усвоения механики студентами. В конце концов мир един, если человек осознал основные идеи механики, ему легче понять и другие проблемы, стоящие перед страной и человечеством, в том числе и сугубо социальные аспекты бытия.

Изучение механики должно начинаться с первого семестра в курсе общей физики. Цель этого обучения — дать общее представление об основных за-

конах механики и о тех понятиях, на которые опирается механика. Вместе с тем механика, излагаемая в курсах физики, существенно ограничена в своих возможностях, ибо не может использовать в полной мере необходимый математический аппарат, который еще только начинает изучаться в курсах математического анализа, аналитической геометрии и линейной алгебры. Поэтому, повторяем, здесь речь идет именно об общем представлении, которое должно дополниться и проясниться в последующих курсах. Хорошие учебники такого плана у нас имеются. Для примера назовем два учебника:

- Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. I. Механика.
- Киттель Ч., Найт В., Рудерман М. Механика (Берклевский курс физики. Т. I).

Примерный объем часов в неделю: 2 часа лекций, 2 часа упражнений, 2 часа лаборатории.

В целом приводимый график соответствует утвержденным программам для вузов. К сожалению, физики часто экономят время на механике под тем предлогом, что она будет изучаться в курсе “Теоретическая механика”. Это не соответствует действительности, ибо в теоретической механике традиционно основное внимание уделяется достаточно формальным аспектам механики, включая математические структуры и математические методы анализа задач разных типов. Борьба с этим достаточно трудно. Нельзя забывать об исторических корнях теоретической механики. В XIX в. и первой четверти XX в. теоретическая механика излагалась в университетах только для математиков. И это наложило, естественно, свой отпечаток на эту науку. Буквально переворот был совершен в теоретической механике А. И. Лурье и Л. Г. Лойцянским в 1932–1934 гг. в их известном курсе. Тогда впервые теоретическая механика была приближена к техническим проблемам. Важную роль сыграло и широкое использование в курсе векторного исчисления. И сегодня, по признанию многих инженеров, этот курс является лучшим с точки зрения технических приложений. Тем не менее за прошедшие 60 лет этот курс в значительной мере устарел. Это понимают все, и, видимо, по этой причине последнее время один за другим появляются новые и очень интересные учебники по теоретической механике. Для примера назовем два новых учебника:

- Маркеев А. П. Теоретическая механика. М.: Наука, 1990.
- Павленко Ю. Г. Лекции по теоретической механике. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991.

Однако, во-первых, эти учебники предназначены для студентов университетов, а не технических вузов, и, во-вторых, по нашему мнению, они не годятся для студентов первого уровня обучения. Кроме того, не успев появиться, эти учебники уже морально устарели, ибо используют язык, который был хорош в первой половине XX в., но не в его конце. Нам очень неприятно говорить это, ибо два указанных учебника действительно выделяются в лучшую сторону из того, что имеется в мировой литературе. Особенно интересны сведения исторического характера, широко используемые в лекциях Ю. Г. Павленко. К сожалению, в них повторяются и широко распространенные заблуждения, но лучше так, чем изложение каких-то анонимных результатов.

Аналогично тому, как в начале 1930-х г. назрела необходимость широкого внедрения в механику векторного исчисления, так и сейчас без введения в механику тензоров высших рангов уже невозможно правильно излагать механику. Дело в том, что сегодня стал необратимым переход с ньютоновской механики на более общую, более простую и более эффективную в приложениях механику Л. Эйлера. Как в механике Ньютона основным исходным элементом являлась материальная точка, так в механике Эйлера исходным элементом выступает абсолютно твердое тело. По существу основное различие между теоретической механикой и механикой, излагаемой в курсе общей физики, как раз и заключается в более широком использовании в теоретической механике понятия абсолютно твердого тела и систем абсолютно твердых тел. Вот почему никак невозможно убирать раздел механики в курсе общей физики.

Вернемся, однако, к теоретической механике. Широкое использование модели абсолютно твердого тела приводит к необходимости вводить в рассмотрение понятия поворота и угловой скорости. Повороты, в свою очередь, невозможно просто и естественно изложить, не используя понятия собственно ортогонального тензора, или тензора поворота. За последним сразу же тянется понятие спина (тензора спина) и понятие вектора угловой скорости. Попытки изложения спина и угловой скорости на другом языке трудно признать удачными. Во всяком случае теоремы, относящиеся к этим понятиям, в классических учебниках теоретической механики являются просто ошибочными. К счастью, эти ошибки имеют логическую основу и, видимо, не проявляются в приложениях. Хотя, например, расхождение в теоретическом предсказании скорости прецессии Земли (300 суток) объясняется именно тем, что наблюдают не ту величину, которую вычисляют. И происходит это именно из-за недостаточности (и ненаглядности) используемого математического аппарата. В этой связи введению тензоров второго ранга в начальный курс механики

нет альтернативы. Как показывает опыт такого изложения механики, трудности с тензорным аппаратом испытывают не студенты, а преподаватели теоретической механики — именно это является главным тормозом для внедрения нового изложения механики в учебные курсы. Но поскольку избежать этого все равно нельзя и когда-то все равно придется начинать, то почему бы не начать это в России. Когда-то, в середине XIX в., из России в мир пришли первые учебники по математической теории упругости. Теперь, в конце XX в., из России должны прийти в мир новые учебники механики и люди, получившие образование нового, современного и динамического типа.

Итак, вслед за механикой, излагаемой в курсе общей физики, должны последовать курсы механики, читаемые на протяжении первого и второго уровней обучения. Какие же это курсы и в каком объеме, и когда они должны излагаться? Следующие курсы нам представляются абсолютно необходимыми для человека, получающего техническое образование любого профиля:

А. Вводный курс рациональной механики. Читается во втором, третьем и четвертом семестрах. Объем курса:

II семестр: 4 ч лекций и 2 ч упражнений в неделю;

III семестр: 3 ч лекций и 3 ч упражнений в неделю;

IV семестр: 2 ч лекций и 2 ч упражнений в неделю.

Программа и комментарии к ней будут приведены ниже.

Последующие курсы должны читаться на втором уровне обучения, т. е. на третьем и четвертом курсах вуза.

Б. Основы общей механики сплошных сред (гидро- и аэромеханика, механика твердых деформируемых тел). Объем курса:

V семестр: 3 ч лекций и 1 ч упражнений в неделю;

VI семестр: 3 ч лекций и 1 ч упражнений в неделю.

В. Колебания и волны. Объем курса:

V семестр: 2 ч лекций в неделю;

VI семестр: 2 ч лекций в неделю.

Г. Устойчивость в природе и технике. Объем курса:

VII семестр: 3 ч лекций в неделю.

Повторяем, что речь идет об общем для технического образования курсе механики. Объем вводного курса механики составляет 262 часа, а полный объем курсов по механике составляет 508 часов. Мы понимаем, что указанный объем часов по механике многих повергнет в шок и у многих вызовет негативную реакцию. Тем не менее мы настаиваем, что этот объем для общетехнического образования абсолютно необходим. Особенно большим требуемый объем часов кажется тем преподавателям, которые привыкли излагать материал без оглядки на слушателей и уверены, что освоение изложенного материала есть личная проблема студента. В предлагаемой концепции заложено — и это очень существенно — полное усвоение всего материала в аудитории, а домашняя работа для успевающего студента есть его личное дело: хочет — занимается, не хочет — не надо. Определенному, и достаточно высокому, стандарту он все равно будет отвечать. Автор излагает вводный курс рациональной механики даже в немного большем объеме (4+2; 4+3; 2+2), чем это записано в предлагаемом выше проекте. Он может свидетельствовать, что отводимых часов с трудом хватает (если хватает) на активное усвоение курса даже на просто удовлетворительном уровне.

Вот обычная сцена на упражнениях. Показывается задача и ее решение. Отвечают хором: “Все ясно!”. Формулируется еще одна задача, практически не отличающаяся от первой, и вызывается кто-либо к доске. Автор не делает никаких подсказок, но позволяет подсказывать студентам. И что же? С каким невероятным трудом удается добраться до конца, как много времени это отнимает на занятиях. Между тем автор работает с контингентом, которому позавидовал бы любой университет мира. Что интересно, если вызвать кого-либо и попросить пересказать материал, например, лекции, то он перескажет, и довольно толково. На экзаменах слушать — одно удовольствие. Но вот применение оставляет желать лучшего. Ситуация здесь примерно та же, как у большинства из нас с применением иностранного языка. Понимать книгу — понимаем, а говорим с трудом, да и то неизвестно на каком языке.

Выше шла речь о студентах первого уровня обучения и даже в основном о первокурсниках. На втором курсе, не говоря уже о третьем и более старших курсах, дело обстоит, конечно, проще. К сожалению, указанная выше методика — отнюдь не общепринята. Тот материал, который автор излагает, например, десять лекций, другие преподаватели укладывают в одну-две лекции. В результате появляются на третьем курсе студенты, при виде которых хочется плакать. Это — окончательно закомплексованные люди, привыкшие учиться на уровне полного непонимания, но при этом вполне успешно сдавать экзамены: в этом наши студенты — непревзойденные мастера. Исправить та-

ких студентов, вернуть им чувство собственного достоинства — чрезвычайно трудно, а иногда и безрезультатно.

Обсуждая вводный курс механики, следует иметь в виду, что он является основным “потребителем” знаний, даваемых в математике. В смысле математической культуры, т. е. умения выражаться в строгих, четких и определенных понятиях, умения устанавливать причинно-следственные связи, умения из немногих фактов-аксиом выводить много важных следствий, механике нет замены. Научить всему этому на основе простых, часто встречаемых в повседневной жизни, фактов — одна из важных задач механики. Эта задача никак не менее важна, чем сообщение тех или иных конкретных сведений. Кроме того, именно в начальном курсе механики студенты свободно овладевают такими важными понятиями, как векторы и тензоры, элементы теории поля, дифференцированием на абстрактных множествах, осознают важность интеграла Лебега. И, оказывается, что все это необходимо для того, чтобы выразить вполне элементарные понятия, такие, как кинетическая энергия, количество движения, кинетический момент, тензор инерции и т. д. Разумеется, в механике невозможно и не нужно придерживаться математической строгости введения этих понятий. Достаточно интуитивных соображений и “пальчиковой” техники. Однако когда студенты начинают проходить соответствующие разделы математики, они уже знают, что вводимые там понятия нужны, и имеются в голове примеры для приложения этих понятий. Нужно ли доказывать, как это важно? Ни механика, ни математика, ни физика не существуют и не должны существовать отдельно — это единый организм, и понимание этого — важная черта образованного человека.

Приведем теперь примерную программу вводного курса механики. После этого дадим к ней краткие комментарии.

Глава 4

Вводный курс рациональной механики. Примерная программа

Глава I. Пространство векторов классической физики

Скаляры, или тензоры нулевого ранга. Векторы: прямые и круговые векторы, ориентация системы отсчета, полярные и аксиальные векторы. Основные операции с векторами. Базис. Взаимный базис. Замены базиса. Ковариантные и контравариантные координаты вектора. Обобщенные и обычные символы Кронекера. Символы Риччи и Леви-Чивитты. Вычисление определителей, кофакторов и векторных произведений.

Глава II. Тензоры второго ранга

Тензорное произведение двух векторных пространств и определение тензора второго ранга. Основные операции с тензорами второго ранга. Тензорные базисы и координаты тензора. Частные случаи тензоров второго ранга: единичный тензор, симметричные и антисимметричные тензоры. Векторный инвариант и сопутствующий вектор тензора второго ранга. Типы тензоров: полярные и аксиальные тензоры. Линейные вектор-функции векторного аргумента. Определитель тензора. Обратный тензор. Ортогональные тензоры. Тензоры поворота. Теорема Эйлера о представлении тензора поворота. Правило квазиперестановочности поворотов. Углы Эйлера. Модифицированные углы Эйлера.

Глава III. Геометрия движений тел в пространстве

Системы отсчета и системы координат. Движение, скорость и ускорение материальных частиц. Полет снаряда дальнобойного орудия. Движение спутника по круговой орбите. Движение спутника по некруговым орбитам. Абсолютно твердое тело. Основная теорема и основное уравнение кинематики

твердого тела. Тензор поворота твердого тела. Теорема Эйлера: ось поворота, угол поворота. Вектор конечного поворота и его связь с тензором поворота. Тензор спина твердого тела. Вектор угловой скорости. Ось вращения. Уравнение Пуассона. Уравнение Эйлера. Распределение скоростей и ускорений в твердом теле. Представление вектора угловой скорости через производную от вектора малых поворотов. Поворот вокруг фиксированной оси. Вращение вокруг фиксированной оси. Условие совпадения осей поворота и вращения. Выражение вектора угловой скорости через производную от угла поворота и неподвижный вектор тензора поворота в общем случае. Сложные движения материальной точки и абсолютно твердого тела. Коммутативность сложения перемещений и квазикоммутативность композиции поворотов. Теорема сложения линейных скоростей. Теорема сложения угловых скоростей. Углы Эйлера. Кинематическое уравнение Эйлера. Мгновенная ось вращения. Вращение вокруг неподвижной точки. Качение конуса по конусу. Плоские движения твердого тела. Качение без проскальзывания. Необходимое условие качения без проскальзывания. Замена систем отсчета. Кинематика относительного движения: переносная и два типа относительных скоростей; переносное, кориолисово и относительные двух типов ускорения. Движение материальной точки по вращающемуся стержню: прямая и обратная задачи. Обратный поворот и угловая скорость обратного поворота. Относительные повороты тел и относительные угловые скорости вращения тел. Движение материальной точки по вращающейся платформе. Кинематика четырехзвенного робота-манипулятора.

Глава IV. Фундаментальные законы механики

Принцип Галилея. Инерциальные системы отсчета. Силы инерции. Инерция. Непроницаемость. Тела вообще. Примеры тел. Степени свободы. Система тел. Вселенная классической механики. Масса. Открытые и закрытые системы тел. Кинетическая энергия: основные аксиомы и общие определения. Тензоры инерции. Вычисление кинетической энергии для частицы и системы частиц, твердого тела и системы твердых тел, нитей, струн, канатов, стержней. Дифференцирование скалярных функций векторных аргументов по векторам-аргументам. Количество движения: основные аксиомы и общее определение. Примеры вычисления количества движения систем частиц, систем твердых тел, непрерывных сред — нитей, струн, стержней. Кинетический момент: основные аксиомы и общее определение, понятие опорной точки. Момент количества движения и собственный кинетический момент. Примеры

вычисления кинетического момента для различных типов тел, включая частицы, твердые тела, непрерывные среды — нити, струны, стержни, жидкие кристаллы. Общий вид и основные свойства тензоров инерции. Характер зависимости тензоров инерции от движения и выбора полюса в теле. Центральный тензор инерции. Теорема о спектральном разложении тензора второго ранга: главные моменты инерции и главные оси инерции. Теорема Гюйгенса–Штейнера. Ограничения на моменты инерции. Осевые и центробежные моменты инерции. Радиусы инерции. Различные формы представления кинетической энергии, количества движения и кинетического момента твердого тела. Вычисление тензоров инерции посредством трехкратного интегрирования и возникающие здесь технические сложности. Симметрии тензора инерции. Понятие о группе симметрии. Принцип Кюри–Неймана. Непрерывные и конечные группы симметрии. Примеры вычисления тензоров инерции на основе использования аддитивности тензоров инерции по массе и соображений симметрии. Воздействия: их векторная природа и аксиомы аддитивности по телам Вселенной. Воздействие, выражаемое полярным вектором, называется силой. Воздействие, выражаемое аксиальным вектором, называется моментом. Независимость силовых и моментных воздействий. Внешние и внутренние воздействия. Изолированные системы тел, и почему они существуют. Массовые и контактные воздействия. Главные векторы внешних сил и моментов.

Первый фундаментальный закон механики — уравнение баланса количества движения открытых систем. Общая формулировка. Законы Ньютона как следствия первого фундаментального закона. Динамика тел переменной массы. Уравнение Мещерского как пример записи первого фундаментального закона для точки переменной массы. Уравнения динамики нитей и струн. Уравнение равновесия нити Я. Бернулли — первое дифференциальное уравнение в истории механики (1694 г.). Приложение уравнения Бернулли к расчету усилий в линиях электропередач и портовых транспортных тросов, опасность недооценки этих усилий.

Второй фундаментальный закон механики — уравнение баланса кинетического момента открытых систем: общая формулировка и приложения. Законы динамики Эйлера суть первый и второй фундаментальные законы для закрытых систем. Законы сохранения кинетического момента и кинетической энергии для изолированных систем. Перманентные вращения твердого тела. Свободное вращение твердого тела с трансверсально-изотропным тензором инерции с приложением к описанию вращения Земли. Суточное вращение Земли объясняется регулярной прецессией ее оси вокруг вектора кинетиче-

ского момента, вращение Земли вокруг собственной оси происходит медленно (примерно 300 дней). Принцип рычага Архимеда — первая частная формулировка второго фундаментального закона. Почему удавались доказательства принципа рычага Архимеда, если второй фундаментальный закон является независимым законом природы. Первая демонстрация возможности альтернативной формулировки фундаментальных законов на основе соображений симметрии. О принципе достаточного основания в механике. Уравнения движения стержней. Равновесие стержней. Уравнения Эйлера равновесия прямых стержней и открытие независимости (1771 г.) второго фундаментального закона. Существование моментов, не порождаемых силами, или почему не удалось попытки Я. Бернулли вывести уравнения равновесия стержней. Замена опорной точки и условия, при которых опорная точка может быть подвижной.

Третий фундаментальный закон механики — уравнение баланса энергии для открытых систем. История открытия уравнения баланса энергии, работы Дж. Грина (1839 г.) и Г. Гельмгольца (1847 г.). Полная и внутренняя энергия системы тел. Параметры состояния системы: положения и скорости частиц тела, температура. Принцип детерминированности Лапласа. Ограничения, налагаемые на внутреннюю энергию. Жесткие движения. Принцип независимости внутренней энергии системы при наложении жестких движений. Примеры внутренних энергий системы тел: гравитационный потенциал, модель упругих шаров, потенциалы типа Леннарда–Джонса, двойные потенциалы типа Морзе, модели пружин и их энергия. Внутренняя энергия определяется с точностью до постоянной. Физический смысл постоянной внутренней энергии и задачи, когда эти постоянные начинают работать: бомба, химические реакции, внутренние источники энергии. В классической механике постоянные составляющие внутренней энергии, как правило, несущественны. О наличии минимумов у внутренней энергии и понятии внутренней устойчивости системы тел. Мощность внешних воздействий. Подвод энергии в систему. Общая формулировка уравнения баланса энергии для открытых систем. Приложение уравнения баланса энергии. Система двух частиц, соединенных пружиной, движущихся в среде с трением: вывод основных уравнений (несколько вариантов) на основе уравнения баланса энергии; демонстрация “подводных камней” при использовании уравнения баланса энергии. Системы с кинематическим возбуждением суть открытые системы с подводом энергии. Упругие системы. Уравнение баланса энергии для упругих стержней. Меры и векторы деформации упругого стержня. Определяющие уравнения нелинейно-упругих стержней. Полная система уравнений динамики нелинейно-упругих стержней.

Изгиб консольного нелинейно-упругого стержня моментом на торце. Аналогия между задачей теории стержней и свободным движением абсолютно твердого тела.

Альтернативная формулировка первого и второго фундаментальных законов на основе принципа неизменности третьего фундаментального закона при наложении жестких движений. Теорема Эмми Нётер и ее аналоги.

Глава V. Статика и устойчивость равновесия тел

Фундаментальные уравнения механики и необходимые условия равновесия. Достаточные условия равновесия. Понятие устойчивости положения равновесия. Устойчивость как одно из условий (достаточных) равновесия. Статически неопределимые задачи. Возникновение статической неопределимости в задачах равновесия твердого тела связано с невозможностью компенсировать малые технологические отклонения в устройствах опор без отказа от модели твердого тела. Понятие бифуркации равновесия. Устойчивость сжатого стержня. Эйлерова критическая сила.

Уравнение баланса энергии и принцип возможных перемещений. Условие существования потенциала внешних воздействий. Потенциальная энергия тела как энергия взаимодействия с внешним полем. Сумма внутренней и потенциальной энергии тела есть внутренняя энергия расширенного тела, включающего в себя тело и внешнее поле. Принцип возможных перемещений и экстремальность внутренней энергии расширенного тела. Устойчивость равновесия и минимум внутренней энергии расширенного тела. Машина Зимана и понятие катастроф.

Глава VI. Элементы небесной механики

Задача Кеплера. Полная задача двух тел. Метод возмущений.

Глава VII. Простейшие задачи теории линейных колебаний

Линейный осциллятор. Продольные колебания стержня. Волновое уравнение. Задача об одномерных колебаниях грузика на пружине, присоединенной к торцу полубесконечного стержня, или почему в балансирах часов пружина должна иметь малую жесткость. Продольные колебания стержня со свободными концами. Динамика одноатомной цепочки. О связи между непрерывными и дискретными системами.

Глава VIII. Простейшие задачи динамики твердого тела

Симметричный тяжелый волчок. Подпружиненный волчок. Устойчивость перманентных вращений свободного тела. Устойчивость вращательного движения волчка. Гироскопы и их роль в инерциальной навигации.

Глава IX. Вводные понятия динамики систем с трением

Основные установленные законы трения. Линейный осциллятор с вязким трением. Линейный осциллятор с сухим трением. Пример фрикционных автоколебаний. Движение колеса по горизонтальной плоскости при наличии трения скольжения и трения качения, или как возникает качение без проскальзывания.

Глава X. Динамика несвободных систем. Уравнения Лагранжа

Связи. Реакция связей. Метод неопределенных множителей Лагранжа. Уравнения Лагранжа I рода. Обобщенные координаты. Выражение кинетической энергии через обобщенные координаты и обобщенные скорости. Уравнения Лагранжа II рода. Возможные ошибки в применении уравнений Лагранжа. Кембриджские задачи. Принцип Гамильтона стационарности действия.

Глава XI. Специальные (профориентирующие) проблемы механики

Глава 5

Комментарии к примерной программе

Замечание 1

Программа носит примерный, ориентирующий характер. Она не включает в себя многие вопросы, традиционно включаемые в курсы теоретической механики. Напротив, в ней уделяется значительно большее внимание основам механики, которые традиционно остаются за рамками учебных курсов.

Принцип составления программы заключается в убеждении, что современная трактовка фундаментальных законов механики необходима всем, кто получает техническое образование, независимо от их будущей специализации. Собственно путь к открытию этих законов и есть история развития механики. Фундаментальные законы имеют четко очерченную структуру и, в свою очередь, включают в себя четко определяемые структуры, которые и должен активно усвоить изучающий механику. Следует осознать, что фундаментальные законы — это не законы Природы, но это — метод познания Природы. Они не могут быть неправильными, так как каждый из них вводит в рассмотрение новое понятие. Например, если какие-то факты начинают вступать в противоречие с первым фундаментальным законом, то это будет означать только то, что какие-то силы либо не учтены, либо учтены неправильно.

Основное значение фундаментальных законов состоит в том, что учащийся или инженер хорошо усваивает один путь к цели, пусть и не всегда самый рациональный, но всегда применимый. Рациональные и наиболее короткие пути важны только для профессионалов в механике, но к мировоззренческим вопросам они имеют отдаленное отношение. К сожалению, формулировка фундаментальных законов требует большой подготовительной работы, относящейся к формулировке, описанию и усвоению основных понятий. Пренебрежение к исходным понятиям приводит к тому, что даже учебники включают большое количество “странных” теорем и утверждений. Например, доказывается теорема о том, что вектор угловой скорости можно переносить

вдоль линии, натянутой на этот вектор. Между тем вектор угловой скорости — типичный пример свободного вектора, и теорема такого рода способна только запутать ученика.

Весьма популярно утверждение, что сила характеризуется числовым значением, направлением и точкой приложения. Хотя на самом деле сила и момент являются свободными векторами. Исторические корни этих заблуждений понятны, но ведь сейчас не 1725 г., когда появилась “Новая механика” Вариньона. Ведь уже Эйлером было показано, что воздействие — это пара свободных векторов: сила и момент. Если работать именно с этой парой, то вопрос о точке приложения силы отпадает сам собой. Силе совершенно безразлично, куда ее прикладывают. Приписать точку приложения понятию силы — это все равно что в характеристику человека ввести номер места в кинозале, куда он случайно забежал, чтобы спрятаться от дождя.

Подобных примеров можно приводить десятки. Но ведь все эти “оговорки” — вовсе не пустяки. Многие студенты пытаются добросовестно понять эти “теоремы”, хотя понять их совершенно невозможно, так как за ними не стоит никакого смысла. Хорошо хоть то, что указанные оговорки не могут привести к ошибкам, ибо даже если кто-то считает, что вектор угловой скорости имеет определенную линию действия, он все равно не сумеет использовать этот факт ни в одном уравнении.

В статике твердого тела тоже бывает полезно прикладывать силу не к телу, а к какой-либо произвольной точке вне тела. При этом также абсолютно ничего не изменится ни в первом, ни во втором законе динамики. Поэтому четкое и современное введение основных понятий на самом деле существенно упрощает идейное содержание механики, делает совершенно излишним большое количество содержащихся в элементарных учебниках теоретической механики “теорем”, обилие которых только запугивает студента, но никак не способствует хорошему усвоению механики.

Замечание 2

Может вызвать удивление отсутствие в программе аналитической механики Лагранжа–Якоби–Гамильтона. Это действительно спорный момент. Вот мотивы, заставившие сделать это. Огромный опыт преподавания аналитической механики и на втором, и на третьем курсах показывает, что подавляющее большинство студентов первого уровня обучения не готовы к восприятию глубоких, но достаточно абстрактных идей аналитической механики. Поэтому большинство изучаемых здесь результатов воспринимаются совершенно формально и мгновенно забываются после сдачи экзаменов, практически не

оставляя следа в образовании студента. Известен, правда, и такой феномен обучения: в дальнейшем, может быть, после окончания института, при повторном обращении к аналитической механике ее предшествующее изучение оказывается все-таки полезным. Именно этот факт и эксплуатируется теми, кто считает возможным обучение студентов предмету, который они не в состоянии понимать даже на удовлетворительном уровне. Не оспаривая самого факта, все же заметим следующее.

Во-первых, повторно обращается к аналитической механике относительно малое количество людей, связанных с теоретическими исследованиями, и, возможно, они как раз не относятся к упомянутому выше подавляющему большинству. Во-вторых, обсуждению подлежит не полезность предмета вообще (любые предметы для чего-то полезны), а возможность этого предмета в повышении той части научной и технической культуры человека, которая важна для всех видов инженерной деятельности. Что же касается аналитической механики, то ее нельзя изучить раз и навсегда, но требуется полное и профессиональное общение с этой наукой, что, в свою очередь, характерно только для механиков-исследователей, физиков-теоретиков и т. д. Вот для них и следует прочесть этот курс на втором уровне обучения, когда эффективность его усвоения будет несравнимо выше. Но включение аналитической механики в общетехническое образование кажется нецелесообразным.

Замечание 3

В программу включены те и только те вопросы и понятия, которые необходимы всем инженерам при условии их активного усвоения. Конечно, всю предложенную программу можно уложить в 40–50 часов, но в этом случае ни о каком усвоении, тем более активном, не может быть и речи.

Во-первых, все понятия обязательно должны иллюстрироваться примерами, даже серией примеров. Не случайно в курсе все время соседствуют примеры для разных моделей тел: частиц, систем частиц, твердого тела и систем твердых тел, нитей, струн, стержней. Цель этого — в том, чтобы показать единство метода. Учащийся должен осознать, что во всех случаях работают одни и те же аксиомы, определения, идеи, наконец. Он должен понять, что самих идей очень немного, но приложения их неисчерпаемы. Один из главных недостатков принятой в настоящее время практики вузовского обучения состоит в том, что многие студенты не успевают осознать глубокое единство изучаемых предметов. Дело доходит до абсурда. Многие студенты не осознают того, что, например, уравнение $\ddot{x} + \omega^2 x = f(t)$ выражает одно и то же, независимо от того, в каком курсе оно встречается. Это является пря-

мым следствием перегруженности программ обучения: студенты все время в спешке что-то изучают, готовятся к контрольным на заданную тему, решают какие-то неотложные сиюминутные проблемы. А вот сесть и обдумать, что бы это все значило, у них просто нет времени. Преподаватели, в свою очередь, озабочены тем, как бы побольше рассказать в отведенные им немногие часы.

Во-вторых, не следует бояться в лекциях повторов — без них студенты быстро превращаются в заурядных писарей, и эффективность лекции для усвоения материала резко снижается.

В-третьих, усвоение курса учащимися требует просто достаточно продолжительного времени. Например, работая с тензорами второго ранга, студент ощущает определенное чувство дискомфорта в течение первых пяти-шести месяцев. В течение этого времени идет привыкание человека к новому понятию, причем время привыкания практически не зависит от того, на каком курсе вводится понятие. Однако процесс привыкания идет нормально только в том случае, если это понятие постоянно используется и о нем напоминают в курсе.

Здесь хотелось бы сделать небольшое отступление от курса теоретической механики, а именно сказать о принципе формирования учебных программ. Формирование программы должно начинаться с определения списка базовых понятий специальности, т. е. тех понятий, которые безусловно необходимы хорошему специалисту в избранной области. Даже тщательно обдуманный, этот список оказывается достаточно большим. После этого должно произойти распределение базовых понятий по курсам. Скажем, курс X отвечает за понятия α , β , γ . Преподаватель курса X может читать то, что он считает нужным и важным, и в той форме, которую он считает наилучшей. Это его право. Но в любом случае он должен добиться, чтобы базовые понятия α , β , γ были не только прочно и активно усвоены студентами, но и усвоены в той форме, которая требуется картой специальности. В настоящее время это не происходит, нет и обдуманного списка базовых понятий. В результате даже основные фундаментальные понятия, о которых напоминают во множестве курсов, но каждый раз именно упоминают, а не внедряют в сознание студентов, даже эти понятия сплошь и рядом оказываются не усвоенными студентами.

Исходя из сказанного, мы считаем, что время, отведенное для вводного курса рациональной механики (1,5 года), и тот объем информации, который должен быть усвоен студентами, согласно предложенной программе, не находятся в противоречии друг с другом. Повторяем, за это время можно изложить намного больше, но пользы будет намного меньше.

О практических занятиях

Существуют различные мнения по поводу практических занятий (упражнений). В университетах Запада эта форма обучения применяется мало. В основном там ограничиваются примерами, приводимыми на лекциях, правда, примеров несоизмеримо больше, чем это принято в наших лекционных курсах. Думается, что добиться активного усвоения материала при таком способе обучения невозможно, относительный (далеко не блестящий) успех технического образования на Западе объясняется великолепной технической организацией учебного процесса, наличием превосходно оформленных учебников — их хочется читать, хотя содержание достаточно банальное, наличием и доступностью множительной техники и, главное, значительно меньшим объемом получаемой студентами информации, чем это принято у нас.

Другая крайняя позиция состоит в том, что упражнения как бы отрываются от лекций и проходят сами по себе. Именно эта позиция характерна для теоретической механики. В самом деле в лекциях рассматриваются, как правило, системы материальных точек. В задачах, как правило, рассматриваются твердые тела, которые совсем не похожи при поверхностном восприятии (а какое другое восприятие может быть у начинающего?) на материальные точки. Возникает психологический барьер. Дело усугубляется отсутствием хороших задачник по теоретической механике. Есть неплохие задачники для физиков, но для общетехнического образования остается только задачник И. В. Мещерского, который побил все рекорды долгожительства. Это, разумеется, говорит об его уникальных достоинствах. Но одновременно это говорит о высокой степени стагнации, наблюдаемой в теоретической механике. Ведь в настоящее время механика совершенно изменила свое лицо: она говорит на другом языке, обрела другую систему ценностей, изменились исходные позиции. Не замечать всего этого, не поступаться принципами — значит идти в никуда. Механика накопила огромное богатство идей, и они, разумеется, никогда не умрут. Проходить мимо этих богатств, не замечать их просто невозможно. К задачам это относится даже в большей степени, чем к теории.

Главный недостаток задачника И. В. Мещерского состоит в том, что он составлен под дополнительную технологию решения задач. Там есть множество прекрасных задач, но вопросы, которые ставятся к этим задачам, в большинстве своем, малосодержательны, равно как и приводимые ответы. Ну кого интересуют модули ускорений да еще только в определенный момент времени, а в другой момент времени уже ничего нельзя найти. В начале XX в. существовавший тогда аппарат действительно сильно ограничивал возможности

решения. Но в настоящее время все эти задачи решаются просто элементарно, за счет “голой” техники, т. е. посредством нового аппарата, в частности, использования тензора поворота. В одном из новейших учебников по теоретической механике в качестве примера рассмотрена задача о движении частицы по вращающемуся стержню, и требуется найти скорости и ускорения частицы в некоторый заданный момент времени. Однако если рассмотреть эту задачу полностью, то обнаруживается, что в ней стержень вращается с разрывной угловой скоростью, т. е. с бесконечными ускорениями. Разрывы имеет и скорость частицы. Какой смысл вычислять скорости и ускорения в заданный момент времени в такой задаче? Да и сама задача бессмысленна в физическом отношении, так как требуется источник энергии неограниченной мощности. Ничего этого автор не замечает и уж, конечно, не разъясняет изучающим все возникающие здесь особенности. По нашему мнению, такой подход абсолютно неприемлем. Все обсуждаемые задачи должны исследоваться и анализироваться полностью. Именно это качество необходимо воспитывать у студентов, а не приучать их к верхоглядству. К сожалению, примеров такого сорта можно привести сколько угодно.

На упражнениях часто можно наблюдать такую картину. Студентам дается задача из Мещерского. Они смотрят, что в ней дано, и тут же пытаются найти формулу, посредством которой с помощью известных данных можно найти требуемый ответ. При этом, конечно, ни о каком анализе задачи не может быть и речи. Кого и чему можно научить при таком подходе? Большого труда стоит объяснить студентам, что в жизни так не бывает, что никто и никогда не задаст им требуемых условий. Есть конструктор и есть чертеж предполагаемой конструкции. Это все! Требуется составить модель, провести ее анализ и ответить на все возникающие вопросы. Это — единственный путь, приемлемый для инженера. А значит, и учить надо этому. Но как раз этому никто и не учит. Другое дело, что задачи, которые ставятся перед начинающим, должны быть достаточно простыми. Но он обязан уметь проводить их полный анализ. Только в этом случае начинающий обретет уверенность в себе, ощутит силу изучаемой им науки, осознает, что высшее образование — это не “корочки”, а его внутреннее “Я”, его сущность. Если этого нет, то это профанация и образования, и науки.

Теперь о конкретном обеспечении упражнениями предлагаемого курса. Материал первых двух глав требует 16–20 лекционных часов. На упражнениях необходимо тренироваться в работе с векторами. Кажется целесообразным проводить эти тренировки на задачах статики, хотя в лекциях этот материал пойдет гораздо позже. Преподаватель просто вводит понятия силы, момента

и момента силы. Далее постулирует необходимые условия равновесия, трактуя их как законы, установленные опытным путем. Все это отнимает совсем немного времени. Далее должны следовать задачи. Не должно быть ни одной задачи, взятой не из жизни. Студенты обязательно должны видеть реальную ситуацию. К счастью, задач такого сорта в статике очень много. Статике посвящается 12 часов. На седьмой неделе — контрольная работа, носящая характер экзамена. О конкретных формах этого экзамена будет подробно говориться ниже. Следующие три занятия (6 часов), включая часовую контрольную, посвящаются динамике точки. Принцип тот же, что и в статике: задачи должны быть из жизни, простыми и с полным анализом. Оставшиеся 12 часов первого семестра посвящаются кинематике твердого тела и сложным движениям точки и твердого тела. Здесь основное внимание уделяется тензору поворота и его приложениям к описанию кинематики твердых тел. Главная трудность заключается в выборе оптимальной формы представления тензора поворота через модифицированные углы Эйлера. Однако имеется много задач, где этот вопрос решается элементарно. На 17-й неделе (зачетной) — часовая контрольная по кинематике твердого тела. Пример такой контрольной прилагается.

Первый семестр второго курса начинается с упражнений на вычисление тензора инерции (6 часов). Основное внимание уделяется тренировке по визуальному восприятию тензора инерции: как по виду тела установить вид его тензора инерции и наоборот. Первый фундаментальный закон механики (6 часов). Второй фундаментальный закон механики (6 часов). Затем контрольная, ее пример прилагается. Третий фундаментальный закон (10 часов). Статическая устойчивость (8 часов, включая контрольную). Оставшиеся 11 часов посвящаются линейным колебаниям и включают в себя контрольную работу по этой теме.

Второй семестр II курса. Динамика твердого тела и динамика систем с трением (16 часов, включая контрольную). Уравнения Лагранжа (16 часов). Контрольная работа.

Контроль и экзамены

Принятая в нашей стране система контроля знаний заключается в сдаче после всех основных курсов экзаменов, для чего выделяются специальные сессии. Всего в году на сессии уходит 10 недель (8 недель — экзамены, 2 недели — зачеты). Идея экзаменов в принципе кажется весьма здоровой. Студент изучает курс в течение семестра, а перед экзаменом студент упорядочивает свои знания и окончательно устраняет возможность неясности. На экзамене

преподаватель в течение 15 минут (так отведено по графику) должен оценить степень усвоения курса студентом и выставить ему оценку по четырехбалльной шкале.

В настоящее время уже установлено, что такая система контроля неэффективна. Вот основные минусы системы:

- пропадает много (10 недель) времени в учебном году;
- учебный год оказывается слишком коротким (33 недели), а фактически он еще короче (30 недель);
- большая часть времени на лекциях фактически пропадает, так как уже после первых лекций студенты перестают понимать материал, но заглядывать в уже прочитанные лекции и восстанавливать в памяти пройденный материал у них нет никакой необходимости и, следовательно, желания;
- на экзаменах фактически проверяются не активные познания, а память и способности попугая; лучше всех проходит экзамен человек-зеркало: человек, способный воспринять информацию и, не пропуская ее через свой мыслительный аппарат, без искажения воспроизвести ее на экзамене; по этой причине из отличников относительно редко выходят талантливые ученые и инженеры (среди лауреатов Нобелевской премии в области химии и физики таковых около 20 %);
- выборочные проверки показывают, что уже через месяц после сдачи экзамена подавляющее большинство студентов не в состоянии выполнить те контрольные, которые они успешно выполняли в ходе изучения курса.

По указанным причинам в подавляющем большинстве университетов Европы и Америки описанная система контроля знаний студента не используется. Безусловно, должна быть изменена эта система и у нас. В настоящее время наиболее удовлетворительной кажется следующая система контроля и оценки знаний студента.

Прежде всего определяется рейтинг читаемого курса. Один час занятий в неделю оценивается, например, в 2 очка. Полный рейтинг курса вычисляется по простой формуле: $2mn$, где m — число часов в неделю, n — полное число недель. Курс не обязательно должен продолжаться целое число семестров. Он может длиться 1,5 семестра и вообще любое число недель. Не допускается только выход курса за пределы одного уровня обучения; курс должен начинаться и заканчиваться в рамках одного уровня обучения. Через каждые 4–6 недель проводится письменный экзамен. Максимальное число очков,

которые можно набрать на данном экзамене, определяется по формуле: $2p$, где p — число часов, затраченных в курсе на материал, включенный в экзамен. Разумеется, сумма всех чисел $2p$ должна равняться рейтингу курса. Число очков, которое определяется по объективным результатам экзамена, составляет $0,9(2p)$. Десять процентов, т. е. $0,1(2p)$ преподаватель сохраняет для себя как поощрительные: он может их дать студенту, а может и не давать. Поощряется обычно добросовестная работа студента в течение учебного процесса. Но может поощряться и оригинальность ответов, их красота или тщательность выполнения задач (все плюсы, минусы на месте, никаких мелких арифметических ошибок и т. д.). В конце курса выставляется окончательная оценка как сумма набранных очков на всех экзаменах. Если нужно выставить оценку по четырехбалльной системе, то можно использовать следующую шкалу: “отлично” — больше или равно $0,75p$; “хорошо” — меньше $0,75p$, но больше или равно $0,62p$; “удовлетворительно” — меньше $0,62p$, но больше или равно $0,51p$, где p — рейтинг курса. В целом, конечно, лучше использовать полную шкалу в рейтинговых числах, так как она детальнее дифференцирует студентов и выпускников.

Программа, скажем, факультета (большого) должна формироваться так, чтобы максимальный рейтинг (сумма рейтингов по всем предметам) был одинаковым. В конце обучения выпускники “выстраиваются” по суммарному рейтингу и вводится новый рейтинг: 10 % лучших, 25 % лучших и т. д. Причем в полное число выпускников включаются все студенты, принятые на первый курс вместе с данным выпуском, т. е. включаются все отчисленные или ушедшие.

Обратим внимание, что никаких пересдач экзаменов не предусматривается, и это правильно. Студенты должны приучать себя к ответственности за совершаемое ими. Чувство безответственности, присущее всем нам с детства (причины не обсуждаем), немало способствует нашей дороге вниз к полной деградации.

Вернемся, однако, к реальностям нашей вузовской практики, ведь сессии пока никто не отменял. Поэтому сейчас возможны только компромиссные решения. Можно предложить следующее решение вопроса.

В течение каждого семестра проводятся три контрольных письменных экзамена. Первые два (продолжительность — 60 минут) оцениваются максимально в 25 очков каждый. Третий экзамен (продолжительность — 75 минут) оценивается максимально в 40 очков. Преподаватель сохраняет за собой 10 очков поощрительных. Итого в сумме студент может набрать 100 очков. Далее используется шкала: больше или равно 51, но меньше 62 — “удовле-

творительно”; больше или равно 62, но меньше 75 — “хорошо”; больше или равно 75, но меньше или равно 100 — “отлично”. Студентам, получившим “отлично”, на официальном экзамене выставляется отличная оценка автоматически. Набравшие суммы очков на “удовлетворительно” и “хорошо” получают шанс улучшить свою оценку, но при этом каждый из них должен бегло отвечать материал всего курса (точнее, они должны бегло отвечать на все вопросы, вынесенные на экзамен, список которых студенты получают заранее). Это — “стандартный” путь. Но могут быть отклонения. Например, студент пропустил один письменный экзамен. Пропуск двух письменных экзаменов не допускается вообще. Для одного экзамена выделяется время на зачетной неделе. Практика показывает, что студенты очень стараются написать работу вовремя. Так что экзамен на зачетной неделе — исключение.

О том, как проводится письменный экзамен. Студентам категорически запрещается разговаривать друг с другом. Пользоваться конспектами и любыми шпаргалками разрешается. Всем дается один вариант (экзамен проводится в одной группе во время упражнений). Число задач подбирается так, чтобы их выполнение за время, меньше отведенного, для студентов практически было нереально. Поэтому даже лучшие студенты трудятся все отведенное время, ибо они стараются набрать побольше очков. Задачи не требуют никакой изобретательности, но твердое знание материала обязательно: без этого студент справится, в лучшем случае, с одной задачей из пяти предлагаемых. Никакой конспект им здесь не поможет. Нужно уметь быстро и четко выполнять довольно большое число стандартных операций. Но самое главное — студент должен отлично знать, из какой “оперы” взята данная задача. Задачи выстраиваются по принципу возрастания используемых понятий. Например, в первой задаче достаточно знать, что такое поворот и как с ним работать. Во второй задаче уже нужно владеть композициями поворотов и уметь выбирать эти композиции. В третьей задаче композиции поворотов встречаются в сочетании с трансляциями и т. д. Кроме того, нужно уметь дифференцировать векторы и тензоры, вычислять скорости и ускорения. Если все это делать в “лоб”, то опять-таки немного очков набирает студент, т. е. он должен владеть материалом. Вот пример контрольной работы. Время исполнения — 75 минут. Максимальное число очков — 40. Очки указаны в скобках.

*Пример третьего письменного экзамена
в первом семестре изучения теоретической механики*

К концу этого семестра студент должен свободно оперировать векторами и тензорами второго ранга. Кроме того, он должен точно знать основные

уравнения кинематики и основные определения. Всякий, кто возьмется сделать эту контрольную, убедится, что 75 минут — это весьма жесткий контроль времени, которого явно не хватит, чтобы долго рыться в конспектах. Тем более что именно таких задач в конспектах нет, хотя составные компоненты задач в конспектах найти можно, но ведь надо еще суметь воспользоваться этими компонентами.

Задача 1 (4 очка). Вычислить вектор \mathbf{a}' , полученный в результате поворота вектора $\mathbf{a} = 5\mathbf{j}$ вокруг вектора $\mathbf{b} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$ на угол $\alpha = \pi/6$.

Задача 2 (6 очков). Даны два ортогональных триэдра $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ и $\mathbf{i}' = (\mathbf{i} + \mathbf{j})/\sqrt{2}$, $\mathbf{j}' = (\mathbf{j} - \mathbf{i})/\sqrt{2}$, $\mathbf{k}' = \mathbf{k}$. Найти тензор поворота, переводящий $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ в $\mathbf{i}', \mathbf{j}', \mathbf{k}'$. Найти угол поворота и неподвижный вектор тензора поворота.

Задача 3 (10 очков). Дан тензор поворота

$$\mathbf{P} = (1 - \cos \theta)\mathbf{m}(t) \otimes \mathbf{m}(t) + \cos \theta \mathbf{E} + \sin \theta \mathbf{m}(t) \times \mathbf{E},$$

где $\theta = \text{const}$, $\mathbf{m}(t) = \mathbf{Q}(t) \cdot \mathbf{n}$, $|\mathbf{n}| = 1$, $\mathbf{n} = \text{const}$, тензор поворота

$$\mathbf{Q}(t) = (1 - \cos(\omega_0 t))\mathbf{p} \otimes \mathbf{p} + \cos(\omega_0 t) \mathbf{E} + \sin(\omega_0 t) \mathbf{p} \times \mathbf{E},$$

где $|\mathbf{p}| = 1$, $\mathbf{p} = \text{const}$.

Вычислить угловую скорость поворота \mathbf{P} и угол между осями поворота и вращения.

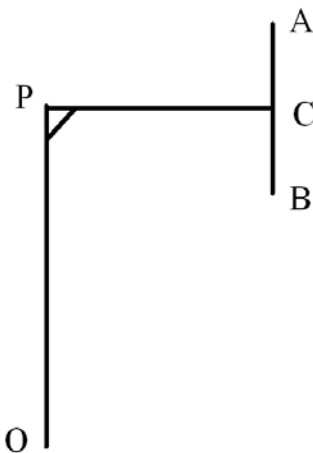


Рис. 5.1. К задаче 4

Задача 4 (10 очков). Стержни OP и PC жестко спаяны между собой. Стержень AB вращается вокруг PC с постоянной угловой скоростью ω_1 . Стержень OP вращается в плоскости чертежа вокруг точки O с постоянной угловой скоростью ω_2 . Длины стержней: $|OP| = a$, $|PC| = b$, $|AC| = |BC| = c$. Найти вектор положения точки A в произвольный момент времени, если при $t = 0$ вся конструкция находилась в плоскости чертежа. Вычислить векторы скорости и ускорения точки A .

Задача 5 (10 очков). Ротор A вращается вокруг оси BC с постоянной скоростью $\omega_1 = \text{const}$. Опоры B и C жестко закреплены на основании конуса Π , который катится без проскальзывания по неподвижному конусу I . Основания конусов имеют радиусы: a (конус I) и b (конус Π). Угол раствора конуса I равен 2α , угол раствора конуса Π равен 2β . Ось BC составляет острый угол γ с горизонтальной плоскостью. Линейная скорость точки D по модулю равна v . Вычислить вектор угловой скорости ротора A .

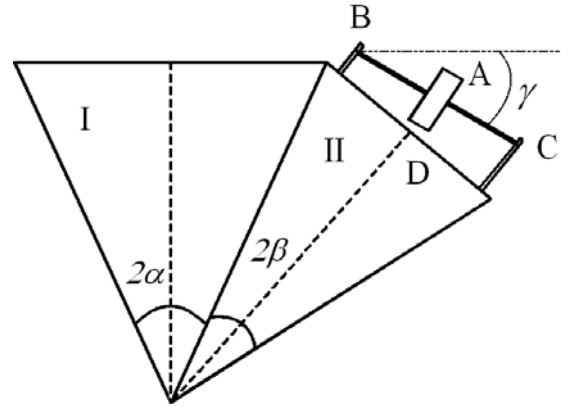


Рис. 5.2. К задаче 5

*Пример второго письменного экзамена
во втором семестре изучения теоретической механики*

Контроль — 60 минут. Число баллов — 25. Эту контрольную сделать намного проще, чем приведенную выше, но необходимо владеть материалом лекционного курса. Однако надо иметь в виду, что это — середина семестра, когда студенты еще “плавают” в основном материале.

Задача 1 (4 очка). Дано тело, состоящее из кругового цилиндра радиусом a и высотой $2l$ и двух жестко сцепленных с торцами цилиндра шаров того же радиуса a . Центры тяжести шаров и цилиндра лежат на оси цилиндра. Масса цилиндра — M , массы шаров — m . Вычислить центральный тензор инерции, осевой и экваториальный моменты инерции.

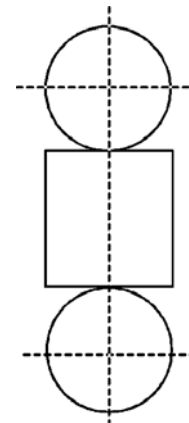


Рис. 5.3. К задачам 1, 2

Задача 2 (8 очков). Пусть конструкция, описанная в задаче 1, движется в пространстве так, что ее центр тяжести движется со скоростью $\mathbf{v} = 5\mathbf{m}$ м/с, $|\mathbf{m}| = 1$, $\mathbf{m} = \text{const}$, $\mathbf{m} \cdot \mathbf{e} = 0$, \mathbf{e} — единичный вектор, направленный по оси цилиндра при $t = 0$. Цилиндр вращается с угловой скоростью $\boldsymbol{\omega} = 20\mathbf{n}$ рад/с, где $|\mathbf{n}| = 1$, $\mathbf{n} = \text{const}$, угол между \mathbf{n} и \mathbf{e} равен $\pi/3$. Вычислить кинетический момент. Выяснить, действуют ли на это тело внешние силы и моменты. Если действуют, то указать их величину.

Задача 3 (13 очков). Тело в виде сплошного однородного кругового цилиндра движется относительно инерциальной системы отсчета. Внешние воздействия на тело отсутствуют. В момент времени $t = 0$ известно, что:

- 1) скорость центра масс $\mathbf{V}_c = 10 \mathbf{n}$ м/с, $|\mathbf{n}| = 1$;
- 2) угловая скорость $\boldsymbol{\omega}_0 = 100 \mathbf{m}$ рад/с, $|\mathbf{m}| = 1$;
- 3) угол между \mathbf{m} и \mathbf{e} равнялся $\pi/6$, где \mathbf{e} — единичный вектор, направленный по оси цилиндра.

При $t > 0$ найти: 1) тензор поворота тела; 2) вектор угловой скорости; 3) угловую скорость прецессии и угловую скорость собственного вращения; 4) то же, что в п. 3, но при использовании соотношения между осевым λ и экваториальным μ моментами инерции: $\mu = 3\lambda$; 5) вектор положения и вектор скорости точки A тела, которая при $t = 0$ определялась вектором $\mathbf{r}_A - \mathbf{r}_C = a\mathbf{e}$ м, где C — центр тяжести цилиндра.

О специализации вводного курса рациональной механики

Представленный в программе материал является стандартным для студентов всех факультетов. Однако различия в подготовке студентов на различных факультетах и, тем более, в различных вузах все-таки весьма ощутимы. Поэтому задача преподавателя — адаптировать предлагаемый курс к уровню, подходящему для данного факультета или вуза. Достигнуть этого нетрудно: достаточно просто убрать часть материала. Например, для векторов достаточно добиться только твердого знания скалярного и векторного произведений. Все остальное можно выбросить. Тензор поворота применяется только в случае вращения вокруг фиксированных осей и т. д. Тем не менее все вводимые в курсе “механические” понятия обязательно должны быть сохранены для всех технических специальностей. При спокойном и неспешном изложении материал курса, безусловно, доступен всем студентам (с преподавателями, конечно, сложнее — многие из них не желают учиться ничему новому).

Итак, выше предложенная программа — минимум для всех технических специальностей. Но определенная специализация курса несомненно необходима. Для этой цели в программе предусмотрен “зазор” в 15–20 часов. Этого времени должно хватить для адаптации введенных в курсе понятий к нуждам той или иной специальности. Например, для физиков целесообразно рассмотреть задачи на движение частиц в электромагнитных полях. Для электриков полезно рассмотреть электромеханические аналогии и задачи электромеханики. Для технологов полезно рассмотреть приложения к сплошной среде и теорию многокомпонентных сред. Здесь уже главную роль играет уравне-

ние баланса энергии. Конечно, все эти вопросы должны рассматриваться кафедрой теоретической механики в содружестве со специальными кафедрами. Единственное, что можно гарантировать, так это легкую приспособляемость предлагаемого курса ко всем техническим курсам с точки зрения проблем механики.

О курсах механики на втором уровне обучения

Продолжение чтения курсов механики на втором уровне обучения представляется необходимым для того, чтобы дать законченную (хотя и упрощенную) подготовку по одной из важнейших областей знания. Никто не будет спорить о том, что каждый, претендующий на звание инженера или бакалавра технических наук, должен иметь представление о резонансах и способах борьбы с ними, а также о существовании волн и волновых процессов. Чтение этих курсов не доставляет больших затруднений, так как у нас имеется много хороших книг. Хуже обстоит дело с курсом “Устойчивость в природе и технике”. Книг общего плана здесь практически нет, но курс этот необходим. Значит, нужно искать специалистов, способных поставить этот курс. Специалисты высокого уровня в области устойчивости у нас имеются.

ЖИЛИН Павел Андреевич

**Преподавание теоретической механики
в технических университетах и вузах**

Учебно-методическое пособие

Корректор *О. К. Чеботарева*

Оригинал-макет подготовлен редакционной коллегией пособия

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3005 — учебная литература

Подписано в печать 14.05.2014.

Формат 70×100/16.

Усл. печ. л. 3,75.

Тираж 100.

Заказ 11620b.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного Издательством Политехнического университета,
в Типографии Политехнического университета,
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812)552-77-17; 550-40-14.