АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ СЕРИЯ

В. П. Липевский

Андрей Петрович МИНАКОВ

1893—1954

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА
1983

Л—67 Лишевский В. П. **Андрей Петрович Минаков (1893—1954).** М.: Наука, 1983. 152 с.

В книге рассказывается о жизни и научной деятельности известного ученого, основоположника механики нити А. П. Минакова. Дан подробный анализ его научного наследия, а также освещена его преподавательская деятельность в МГУ и Московском текстильном институте. Рассмотрены педагогические воззрения А. П. Минакова, показаны его лекторское мастерство и талант преподавателя, которые всегда неразрывно связаны с научной деятельностью, общественным обликом и личными качествами ученого.

Ответственный редактор
доктор физико-математических наук, профессор
А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ

Л $\frac{1701000000-175}{042(02)-83}$ 129-83-II

От редактора

Мы, современники и ученики профессора Андрея Петровича Минакова, — свидетели очень грустной исторической несправедливости. Он был известным ученым-механиком, основоположником механики нити, а также талантливым педагогом высшей школы нашей страны, воспитателем советской молодежи. И если исследования А. П. Минакова по механике нити были опубликованы и на них ссылаются другие ученые в своих научных работах, то педагогическое наследство этого выдающегося Учителя начинает уже на наших глазах становиться безымянным. Необычную стойкость и верность оригиналу обнаруживают лишь некоторые занимательные рассказы, которые вводились А. П. Минаковым для «освежения» и «подогревания» уставшей студенческой аудитории. Верные, глубокие, классически ясные мысли Андрея Петровича о процессе обучения и воспитания советского студенчества, о методах преподавания теоретической механики в высшей школе постепенно утрачивают свою определенность и забываются, исчезая в «снегу времен, в дали веков» (слова А. Блока).

Автор данной книги сделал попытку уберечь от забвения, сохранить в памяти советской интеллигенции образ замечательного человека, большого ученого и выдающегося педагога А. П. Минакова.

Рассказу о научной деятельности А. П. Минакова предпослан исторический обзор, в котором изложение классических работ по механике нити дано вполне адекватно подлинным сочинениям. Этот исторический очерк позволяет более верно оценить вклад, сделанный А. П. Минаковым в развитие механики нити.

Известны всего три работы, в которых А. П. Минаков изложил некоторые мысли о преподавании механики в высшей школе. Тем труднее реконструировать воззрения Андрея Петровича, его мысли и действия в качестве лектора высшей школы. При написании этого раздела книги автор опирался на свои беседы с А. П. Минаковым, которого он хорошо знал лично, студенческие записи курса теоретической механики и курса «Методика преподавания механики», различные сохранившиеся архивные материалы. Надо отметить, что приводимые в книге стенограммы некоторых лекций Андрея Петровича Минакова им самим не правились и, следовательно, не вполне точно отражают характер и стиль лекций. Мне как-то довелось ознакомиться со стенограммой лекции, прочитанной А. П. Минаковым в Доме ученых, а затем выправленной им для печати. На ней, как говорится, не было живого места. Я уверен, что и в приводимые стенограммы А. П. Минаков внес бы существенные изменения. Это необходимо помнить, читая главу «Лекторское мастерство». Отметим, что В. П. Лишевский первым начал пропаганду педагогических воззрений Андрея Петровича. Его небольшая работа «Некоторые вопросы методики преподавания статики» вышла в свет в 1957 г.

Данная книга, по моему мнению, интересна и принесет пользу многим, прочитавшим ее, особенно преподавателям вузов, техникумов и средних школ.

Предисловие

Данная книга — рассказ о жизни и деятельности большого ученого и замечательного педагога, мыслителя и Человека Андрея Петровича Минакова. Ему принадлежат основополагающие работы в области механики нити. Его научные труды еще при жизни получили признание и стали классическими. Теперь в механике нити наряду с уравнениями Эйлера и Дарбу есть уравнение Минакова и функция Минакова, которые строятся в зависимости от формы нити и сил, действующих на нее.

Одновременно с занятиями наукой Андрей Петрович Минаков преподавал теоретическую механику на механико-математическом факультете МГУ, в Военно-воздушной инженерной академии им. Н. Е. Жуковского и Московском текстильном институте, где заведовал кафедрой. Преподавание было второй (если не главной) страстью А. П. Минакова. Его лекции по теоретической механике были настолько содержательны и интересны, а читал он их с таким изумительным мастерством, что слушать его приходили не только студенты других курсов, но даже других факультетов. Перед каждой лекцией Андрея Петровича шло сражение за первые места.

Происходило так потому, что А. П. Минаков считал передачу знаний другим одной из важнейших обязанностей ученого. И к этой второй стороне своей деятельности он относился очень добросовестно. Его лекции поражали гармонией содержания и формы, образностью языка, эмоциональностью, яркими запоминающимися примерами. Он знал великую силу слова, чувствовал его и умело использовал. Он никогда не читал равнодушно, и студенты не оставались равнодушными. Андрей Петрович Минаков на каждую лекцию шел как на праздник, и слушателям передавалось его приподнятое настроение.

В 1965 г. в газете «Известия» была помещена небольшая заметка «Одна ненаписанная книга», в которой рассказывалось об А. П. Минакове и говорилось о том, что было бы хорошо издать курс лекций этого ученого-механика. Для этой цели предлагалось прислать в Московский текстильный институт все сохранившиеся у его бывших студентов записи лекций А. П. Минакова.

Мне посчастливилось на протяжении ряда лет слушать лекции Андрея Петровича по теоретической механике, методике преподавания механики, бывать у него дома. И я решил рассказать об этом выдающемся педагоге. Книга «Педагогическое мастерство ученого» была издана в 1975 г. и получила положительную оценку в прессе.

Данная работа — расширенный, переработанный и дополненный вариант предыдущего издания. Если там А. П. Минаков был представлен только как педагог, то здесь показана и его научная деятельность. Ей посвящена глава «Механика нити». Значительные изменения внесены в другие разделы книги: часть текста изъята и добавлен новый материал, обновлены иллюстрации.

Андрей Петрович Минаков был не только крупным ученым, но и широко образованным высококультурным человеком, интеллигентом в лучшем смысле этого слова. Он свободно владел несколькими иностранными языками, прекрасно играл на рояле, сочинял стихи. И был очень добр ко всем.

Мне хочется надеяться, что перед читающими эту книгу возникнет светлый образ советского ученого, выдающегося педагога и замечательного человека — Андрея Петровича Минакова.

Глава 1

Страницы жизни

Минаковы происходят из деревни Дерюгино Дмитровского уезда Курской губернии. Дед Андрея Петровича, Андрей Васильевич, был крепостным князя Голицына, но образованным крепостным — служил фельдшером. Андрей Васильевич умер рано, и детей воспитывала мать с редким для крестьянки именем Нимфодора.

Семья жила бедно. Отец Андрея Петровича, Петр Андреевич (1865—1931), впоследствии вспоминал, что зимой он часто не мог выйти из дома, так как не имел валенок. Он сидел у окна и смотрел, как на улице играют его сверстники. Отсутствие сахара в доме было обычным явлением. Иногда не было и хлеба.

Несмотря на бедность, Нимфодора Ивановна стремилась дать детям хорошее образование. Старший сын Николай стал, как и отец, фельдшером. Петр после окончания Курской гимназии поступил на медицинский факультет Московского университета. Потянулись голодные годы ученичества, когда весь дневной бюджет студента составляли всего несколько копеек. Но стремление к знанию было огромно, оно помогало преодолевать трудности.

После окончания университета и защиты магистерской диссертации, посвященной слоновой болезни, Петра Андреевича послали «на государственный кошт» за границу изучать судебную медицину. Эта специальность стала его профессией на всю жизнь.

После возвращения в Россию П. А. Минаков получил должность приват-доцента Московского университета и начал читать лекции студентам, причем делал это блестяще. «Лекции по судебной медицине, посещаемые раньше по наряду, стали привлекать такое количество слушателей, какое не всегда могла вместить большая аудитория Патологоанатомического института»,— вспоминал впоследствии профессор А. Н. Крюков [1],— известный советский терапевт, академик АМН СССР.

В 1889 г. Петр Андреевич Минаков женился на Любови Алексеевне Абрикосовой (1866—1949), и в 1890 г. у них родился сын Сергей. В 1893 г. (31 января) родился второй сын Андрей, а в 1899 г. — дочь Люба, которую все нежно звали Любаней.

Семья жила дружно. Любовь Алексеевна была прекрасной хозяйкой, и в гостеприимном доме Минаковых любили бывать родственники, товарищи Петра Андреевича по работе, студенты. В семье царила атмосфера общего доброжелательства, взаимной любви, и Андрей рос мягким, добрым, веселым и жизнерадостным мальчиком, в меру шаловливым для своего возраста.

Братья Сергей и Андрей учились в одной и той же 9-й московской гимназии им. Григория Шелапутина и окончили ее оба с золотой медалью (Андрей поступил в гимназию в 1904 г., Сергей двумя годами раньше).

Сергей увлекался астрономией и много времени проводил за подаренным ему отцом небольшим телескопом. После окончания гимназии (в 1909 г.) Сергей поступил на физико-математический факультет Московского университета, где успешно занимался и написал работу, посвященную зодиакальному свету [2].

У Андрея в детстве не было ярко выраженного увлечения. Поэтому после окончания гимназии перед ним встал вопрос: какую выбрать специальность, куда пойти учиться? Только одно он знал наверняка — в университет он поступать не будет! После увольнения оттуда отца на университет был наложен семейный запрет. В одной из сохранившихся автобиографий Андрей Петрович Минаков писал: «В 1912 г. поступил на технологическое отделение Московского коммерческого института (позже Институт народного хозяйства), не желая поступать в Московский университет, откуда в 1911 г. мой отец был уволен министром Кассо» [3]. Да, видимо, А. П. Минакова и не приняли бы в университет как сына опального профессора.

В 1911 г. в Московском университете произошли студенческие волнения, которые были жестоко подавлены полицией с благословения тогдашнего министра просвещения Л. А. Кассо, ведомство которого Владимир Ильич Ленин охарактеризовал как «министерство полицейского сыска, глумления над молодежью, надругательства над народным стремлением к знанию» [4]. В знак протеста против расправы над студентами ректор университета

А. А. Мануйлов и проректоры П. А. Минаков и М. А. Мензбир подали заявление об отставке. (Профессор судебной медицины Петр Андреевич Минаков был избран проректором университета в 1909 г. За его избрание при тайном голосовании было подано 54 голоса, против — 4.) Вслед за руководством из университета ушли все лучшие профессора и преподаватели, в том числе К. А. Тимирязев, В. И. Вернадский, П. Н. Лебедев, Н. А. Умов, С. А. Чаплыгин.

Уход П. А. Минакова из университета сильно отразился на жизни семьи. Прежде всего изменилось ее материальное положение. Кроме того, научные исследования Петру Андреевичу теперь приходилось проводить у себя на квартире. «Экспериментальная научная работа по проблемам судебной медицины в малоприспособленной комнате, кислоты и реактивы в колбах и пробирках, кости, черепа преступников и самоубийц, подвергавшиеся исследованию, наложили специфический отпечаток на жизнь семьи и общую обстановку в квартире, — пишет профессор А. А. Космодемьянский.— В конце двадцатых годов, когда я начал бывать в старом доме на Смоленском бульваре, в минуты откровенных бесед, Андрей Петрович рассказывал неоднократно, что черепа преступников и самоубийц, которые он видел ежедневно в домашней лаборатории судебной медицины, порождали у него в те годы «немую жуткость» и восхищение твердостью и принципиальностью своего отца» [5].

Итак, двери университета были для А. П. Минакова закрыты, и он уехал учиться в Париж, где жила сестра его матери, вышедшая замуж за известного французского физиолога Шарля Рише (1850—1935). Там же, в Париже, учился и брат Сергей, который вслед за отцом покинул Московский университет.

Во время пребывания в Париже А. П. Минаков посетил лабораторию знаменитого французского физика Пьера Кюри (1859—1906), где после смерти мужа продолжала вести научные исследования его жена, тоже физик, лауреат Нобелевской премии Мария Склодовская-Кюри (1867—1934). «И что же я увидел,— вспоминал впоследствии Андрей Петрович.— Мне показалось, что я попал на «дно», описанное М. Горьким: убогий подвал, темно, плесень на стенах, небольшой стол с пробирками. И это лаборатория великого Кюри!» Посещение оставило неизгладимое впечатление. Андрей Петрович понял, что на Западе, так же как и в России, ученые вынуждены работать в неимоверно тяжелых условиях.

В осеннем семестре 1911 г. А. П. Минаков прослушал на медицинском факультете университета курсы физики, химии, зоологии и ботаники, но пребывание в Париже оказалось недолгим (октябрь—декабрь 1911 г.). В январе 1912 г. Андрей Петрович вынужден был вернуться в Москву, так как ему предстояла сложная операция среднего уха. Осенью 1912 г. он поступил на технологическое отделение Московского коммерческого института, где проучился четыре года.

В 1913 г. всю Россию всколыхнуло дело Бейлиса, приказчика кирпичного завода, который клеветнически обвинялся в убийстве русского мальчика Андрея Ющинского якобы в ритуальных целях. С разоблачением лживости обвинений, выдвинутых против Бейлиса, выступили многие представители передовой русской интеллигенции — А. М. Горький, В. Г. Короленко, А. А. Блок, В. И. Вернадский и др. К их протесту присоединился в качестве судебного медика и отец Андрея Петровича. П. А. Минаков убедительно показал несостоятельность судебной экспертизы, проведенной официальными экспертами Косоротовым, Сикорским и др. [6]

В 1914 г. началась первая мировая война. Старший брат Андрея, Сергей, сразу же был призван в действующую армию и вскоре убит в Восточной Пруссии. Газета «Русское слово» сообщала: «29-го августа в бою между Гольдапом и Даркеменом, в Восточной Пруссии, пал прапорщик одного из пехотных полков — Сергей Петрович Минаков...

Подробных сведений об обстоятельствах его смерти в Москве еще не получено» [7].

Через несколько дней более полное сообщение появилось в другой газете: «Отступила армия ген. Ренненкампфа. Благополучному ее отступлению в значительной мере помогли мужество и отвага прикрывавших ее частей на левом фланге... Здесь же был убит сын московского профессора Минакова, Сергей Петрович, молодой прапорщик, начинающий ученый-астроном. Минаков вел себя как герой и погиб, когда шел со своею ротою в атаку.

Прапорщик Сергей Петрович Минаков был убит в бою 29-го августа. Покойному было 24 года. Он окончил в 1909 г. с золотой медалью гимназию имени Шелапутина и поступил на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета. В 1911 г., после того, как его отец был уволен из числа профессоров Московского университета, Сергей Петрович также покинул университет и поступил на математический факультет Парижского университета. В 1913 г. он отбывал воинскую повинность вольноопределяющимся, вышел прапорщиком запаса.

Покойный с большой любовью изучал астрономию и уже успел обнаружить себя очень способным и вдумчивым астрономом-наблюдателем...

Отец павшего на поле брани С. П. Минакова исходатайствовал разрешение отправиться на театр военных действий для отыскания тела погибшего сына» [8].

Вместе с отцом на фронт выехал Андрей, но к тому времени, когда они туда добрались, русские войска отступили, и место захоронения Сергея оказалось на территории, занятой немцами. Попасть туда не было никакой возможности.

Смерть Сергея потрясла родных. Отец в течение месяца не мог даже читать лекции на Высших женских курсах, где он преподавал после ухода из университета.

Андрей очень любил старшего брата и тяжело переживал его гибель. Дневник Андрея Петровича тех лет заполнен записями и стихами, посвященными памяти брата. Вот одно из стихотворений того периода.

Я несу вам огни и пожары очей моих, плачущих,
О любимом герое — о брате бесценном моем.
Там, в коварстве болот, средь пожаров,
Средь всадников скачущих,
Умирал он в повозке, на поле — на поле ночном...
Подсекался камыш, целовала вода утопающих,
В чаще леса плутала безумная рота в ночи.
Отступали... В бескровные лица бойцов умирающих
Ударяли холодного лунного света лучи...
И была тишина и поспешность... Но в мертвых уж было
свершение
Нерушимо великое: подвиг честнейшей души.
И живые несли мертвецов в молчаливом, тревожном смущении,
И глядела на мертвых луна, и шуршали в тиши камыши...

Это стихотворение помечено октябрем 1914 г. Несколько позже, в ноябре, Андрей записывает в дневнике: «Сереженька, как скучно мне жить без тебя!»

Учась в Коммерческом институте, Андрей Петрович Минаков занимался исследованием рентгеновских лучей под руководством профессоров А. А. Эйхенвальда, А. В. Цингера и Е. Н. Успенского. В 1915 г. он написал совместно с А. З. Талем (1892—1938) свою первую научную работу, которая была опубликована в известном русском журнале [9]. В ней по сути дела впервые описывалось получение рентгеновского спектра.

Одновременно с занятиями в Коммерческом институте А. П. Минаков в 1914—1916 гг. работал рентгенологом в различных госпиталях Москвы. В 1916—1917 гг. он заведовал в Киеве рентгеновским кабинетом в 1-м госпитале Красного Креста, где написал свою вторую научную работу (совместно с доктором С. Новицким) «О ранней диагностике газовой гангрены при помощи рентгеновских лучей». Статья была напечатана во «Врачебно-санитарных известиях Красного Креста Юго-Западного фронта» (№ 14, 25 июля 1917 г.). Еще раньше в том же журнале (№ 11, 25 апреля 1917 г.) были опубликованы переводы с французского двух медицинских статей, сделанные А. П. Минаковым.

Несмотря на первые успехи в рентгенологии, профессия врача не привлекала Андрея Петровича. Его все больше и больше начинает интересовать физика, и особенно один из ее разделов — механика.

После Февральской революции 1917 г. в университет возвращается отец А. П. Минакова, а через некоторое время туда же, на математическое отделение физико-математического факультета, поступает Андрей Петрович, «желая получить более полную математическую подготовку для дальнейшей специализации по этим предметам» [10]. Октябрьскую революцию Минаковы встретили с пониманием и сочувствием, как все передовые русские интеллигенты.

Время учебы Андрея Петровича в университете совпало с годами гражданской войны и последовавшей за ней разрухой. Было голодно и холодно. Трамваи не ходили, и на занятия профессора и студенты добирались пешком. Здание университета не отапливалось, и в аудиториях все сидели в пальто и шапках. Но, несмотря на эти трудности, жизнь университета шла обычным порядком. Профессора точно в назначенное время входили в аудитории (рассказывают, что по появлению профессора Л. К. Лахтина можно было проверять часы) и начинали занятия с немногочисленными тогда студентами. А. П. Минаков вспоминал, что часто на лекциях и семинарах у С. А. Чаплыгина он был единственным слушателем.

Андрей Петрович учился у выдающихся ученых. Различные разделы механики он слушал у Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина, высшую алгебру ему преподавал Н. Н. Лузин, дифференциальные уравнения, вариационное исчисление и дифференциальную геометрию — Д. Ф. Егоров, дифференциальное исчисление и теорию вероятностей — Л. К. Лахтин, аналитическую геометрию — А. А. Власов. Все эти предметы Андрей Петрович сдал с наивысшей оценкой «весьма удовлетворительно».

В январе 1922 г. А. П. Минаков окончил университет, защитив диплом на тему «Колебания маятника с подвижной точкой подвеса», и был оставлен на кафедре теоретической механики физико-математического факультета. Он стал работать ассистентом у Николая Николаевича Бухгольца. Одновременно (с 1923 г.) Андрей Петрович начал преподавать механику в Московском текстильном институте. (Кафедру теоретической механики МТИ в то время возглавлял профессор Л. С. Лейбензон.) С этими двумя высшими учебными заведениями и связана вся преподавательская деятельность А. П. Минакова.

Талант преподавателя проявился у Андрея Петровича с первых же дней его работы в университете. В то время не было строгого деления на студенческие группы, и, прежде чем сдать экзамен по механике профессору Н. Н. Бухгольцу, нужно было получить зачет у любого из трех ассистентов: И. М. Воронкова, И. И. Метелицына или А. П. Минакова. Студенты любили ходить к Андрею Петровичу. Объяснялось это тем, что, во-первых, он давал для решения на зачете не абстрактные, а интересные «жизненные» задачи, а во-вторых, учащихся привлекала к Андрею Петровичу его доброта. Не либерализм, а именно участливое, доброжелательное отношение к студентам. Андрей Петрович знал все о своих учениках, кто как живет и «чем дышит». Студенты охотно делились с ним своими заботами и горестями, понимая, что всегда встретят искреннее сочувствие, а Андрей Петрович в свою очередь помогал им и словом и делом. Одному он советовал, как поступить в создавшейся ситуации, другого журил за совершенный проступок, третьему незаметно совал в карман деньги.

В то время не существовало хорошего задачника по теоретической механике для университетов и А. П. Минаков совместно с Н. Н. Бухгольцем и И. М. Воронковым решили его создать. Первое издание нового задачника увидело свет в 1925 г. Затем он выдержал еще два издания и до настоящего времени остается одним из лучших практических пособий по механике для университетов. Задачник переведен на венгерский и румынский языки.

В личном деле А. П. Минакова [11] сохранился отчет о проделанной им работе в 1926/27 учебном году. Андрей Петрович пишет, что в истекшем академическом году он продолжал участвовать в деятельности Комиссии по изданию трудов профессора Н. Е. Жуковского при ЦАГИ; отредактировал и снабдил примечаниями следующие работы Н. Е. Жуковского: 1) «Видоизменение метода Кирхгофа для определения движения жидкости в двух измерениях при постоянной скорости, данной на неизвестной линии тока», 2) «Определение движения жидкости при каком-нибудь условии, данном на линии тока», 3) «К вопросу о разрезании вихревых шнуров», 4) «О движении вихревых колец», 5) «Обобщение задачи Бьеркнеса о гидродинамических силах, действующих на пульсирующие или осциллирующие тела внутри жидкой массы» и 6) «Теоретическое исследование движения подпочвенных вод».

Далее Андрей Петрович указывает, что им сделано сверх простого редактирования перечисленных трудов.

В первой работе он нашел ошибку у Н. Е. Жуковского в формуле для определения расстояния h между двумя перьями турбины. По предложению С. А. Чаплыгина, который указал, как обобщить и упростить сложное решение, данное Н. Е. Жуковским, Андрей Петрович провел новый расчет и получил формулу, из которой формула Н. Е. Жуковского получалась как частный случай. А. П. Минаков дал также расчет мощности и скорости вращения турбины.

В четвертой работе (в конце статьи) он нашел ошибку, к счастью не влиявшую на результат.

В пятой работе Андрей Петрович упростил выкладки. В последнем параграфе этой работы он нашел ошибку, значительно искажавшую ответ.

Во втором разделе отчета А. П. Минаков рассказывает о своей работе по применению теоретической механики к изучению текстильных процессов. «Еще в прошлом году я начал исследовать процесс крутки и вытяжки ровницы (нитки) в кольцевой ватерной машине». Андрей Петрович пишет, что он определил форму баллона (дал уравнение формы нити в меридиональной плоскости) и вывел формулу для вычисления величины натяжения нити в зависимости от угловой скорости ее вращения и массы элемента длины.

Таким образом, мы видим, что задачами, относящимися к механике нити, А. П. Минаков начал заниматься в 1926 г.

В третьем разделе отчета Андрей Петрович перечисляет большое число книг по высшей алгебре, математическому анализу и гидромеханике, которые он прочитал, и в заключение добавляет: «В связи с моей педагогической деятельностью я следил за иностранными учебниками и задачниками».

Наконец, четвертый раздел отчета посвящен преподавательской работе. «Состоя старшим ассистентом при кафедре теоретической механики в Московском текстильном институте, читал по-прежнему, по поручению профессора Л. С. Лейбензона, курсы статики и кинематики. В этом году я перешел на векторное изложение теорем кинематики (главным образом для кинематики точки). Вел упражнения по всем отделам механики.

Состоя преподавателем 1-го Московского университета, вел упражнения по курсу теоретической механики у профессоров А. И. Некрасова и Н. Н. Бухгольца.

Состоя старшим ассистентом при кафедре теоретической механики в Институте народного хозяйства, вел упражнения по теоретической механике на электрофакультете.

В качестве самостоятельного преподавателя в Московском электротехникуме читал лекции и вел упражнения по курсам теоретической и технической механики».

Девять страниц большого формата, отпечатанные на машинке,— таков отчет. Когда читаешь его, поражаешься тому объему работы, который был выполнен всего за один год. И эта колоссальная работоспособность отличала Андрея Петровича всегда.

В 1930 г. Андрей Петрович был утвержден Наркомтяжпромом в должности профессора и возглавил кафедру теоретической механики Московского текстильного института. К этому времени он окончательно выделил для себя в механике класс задач, которыми занимался всю жизнь. Это были задачи по механике нити.

Иногда Андрея Петровича Минакова называют основоположником и создателем механики нити. Это и верно и неверно. Неверно потому, что отдельными вопросами механики нити занимались еще Эйлер, Лагранж, Остроградский и другие ученые. Но только А. П. Минаков собрал все воедино, разделил все известное о нити на статику, кинематику и динамику, ликвидировал белые пятна, и получился самостоятельный раздел науки. В этом смысле Андрея Петровича можно считать творцом механики нити.

Начав в 1926 г. с работы по теории баллона, в которой впервые было изучено влияние сил Кориолиса на движущуюся нить, и написав ряд оригинальных статей по отдельным вопросам текстильной механики, А. П. Минаков с 1939 г. занялся всесторонним изучением механики нити. С этой целью он прежде всего познакомился с историей вопроса, для чего собрал и проштудировал обширную литературу, начиная с трудов И. Бернулли и Л. Эйлера и кончая работами современных ему исследователей.

Систематизируя разрозненный материал и делая большие обобщения, А. П. Минаков создал динамику нити с учетом ее упругости — раздел, который до него был разработан лишь частично. Кроме того, он дал теорию стационарных движений идеальной, гибкой нерастяжимой нити, установив стройную классификацию таких движений и найдя изящный метод их изучения, значительно более простой и удобный, нежели методы предшествующих авторов. Теперь в механике нити наряду с уравнениями Эйлера и Дарбу есть уравнение Минакова и функции Минакова, которые строятся в зависимости от формы нити и сил, действующих на нее. Если функция Минакова не зависит от времени ($\partial\Phi/\partial t = 0$), движение нити стационарное.

А. П. Минаков не только разрабатывал неизученные вопросы механики нити, но и старался сделать ее понятной для инженера. В его работах много практических примеров. Даже термины взяты из лексикона инженера текстильной промышленности: бегунок, баллон, протяжка нити. Но основная заслуга Андрея Петровича в том, что он пробудил интерес к механике нити. Вслед за ним механикой нити занялись многие.

Можно с полным правом сказать, что Андрей Петрович Минаков является основоположником научной школы, которая ставит перед собой цель всесторонне изучить механику текстильных технологических процессов или, говоря иначе, механику гибких тел.

30 июня 1941 г. А. П. Минаков защитил докторскую диссертацию на тему «Основы механики нити». Это была своеобразная энциклопедия по механике нити. Вот как о ней отзывались официальные оппоненты — академик (тогда член-корреспондент АН СССР) И. И. Артоболевский и профессор А. А. Космодемьянский.

«Работа представляет собой обстоятельную монографию, посвященную в основном вопросам кинематики и динамики гибкой нити. В результате проведенного исследования автор выводит общие уравнения для кинематики и динамики растяжимой нити, из которых как частные случаи автором получены соответствующие уравнения нерастяжимой нити...

Первой важной технической задачей, разрешенной автором, является задача о движении нити по шероховатой кривой. С помощью выведенных общих уравнений автор дает решение целого ряда важных задач, имеющих крупное значение для различных технических приложений. Автором рассмотрены случаи движения нити, покоя нити, равномерного ее движения и т. д. Все указанные случаи находят себе применение в технике: в ременных передачах, в канатных передачах, в текстильных машинах, в автоматах для производства сетей и даже в некоторых автоматах специального назначения. Весьма интересно, что те простейшие уравнения, которыми пользуются обычно в практических расчетах, получаются как частные случаи общих уравнений, выведенных автором.

Таким образом, те общие зависимости, которые установлены автором, позволяют значительно упростить расчеты, которые ведутся в конструкторских бюро и заводских организациях.

Следующей весьма интересной задачей является задача о натяжениях, возникающих в нити, провисающей под действием собственного веса, вследствие рывка, приложенного к одной точке нити. Эта задача несомненно найдет себе применение в тех технических расчетах, в которых необходимо произвести расчет с учетом движения нити рывками, что имеет место в целом ряде практических случаев...

Считаю, что работа проф. А. П. Минакова является крупным вкладом в техническую литературу и вполне соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям.

Член-корреспондент АН СССР, проф.— доктор И. Артоболевский» [12].

«...Работа посвящена исследованию некоторых основных вопросов механики идеально гибкой растяжимой нити и систематизации всех наиболее важных результатов, полученных разными авторами по этой теме.

Нужно отметить, что, несмотря на широкое применение нитей, канатов, тросов и др. в различных областях техники, теоретические исследования в этом направлении носили характер решения отдельных частных задач, без должного исследования общих уравнений динамики нити...

Уравнения (20) главы II имеют большую общность и приводятся в литературе впервые. Большой практический и теоретический интерес имеет § 6 этой главы, где исследуются ударные воздействия на нить...

Таким образом, автору в представленной работе удалось получить более общие уравнения динамики идеальной гибкой и растяжимой нити, из которых уравнения, применяемые предыдущими исследователями, вытекают при частных предположениях...

Классификация и подход к решению стационарных движений оригинальны и также обладают большой общностью и наглядностью.

Исследования А. П. Минакова представляют большую научную ценность как систематизацией исследований по динамике нити, так и распространением методов математического анализа на новые классы движения нити...

Представленная работа полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на степень доктора технических наук, и мы полагаем, что проф. Минаков вполне достоин присуждения степени доктора технических наук за данное исследование. Доктор физико-математических наук, профессор А. Космодемьянский» [13].

В ноябре 1942 г. А. П. Минаков был утвержден Высшей аттестационной комиссией в ученом звании доктора технических наук [14]. Такой большой срок от защиты до утверждения объясняется тем, что шла война и обычное нормальное течение жизни нарушилось.

Андрей Петрович встретил войну как истинный патриот своей Родины. Он тяжело переживал первые неудачи, но ни минуты не сомневался в окончательной победе

Советской Армии. «Это не может долго продолжаться»,— говорил Андрей Петрович, имея в виду отступление наших войск в первые дни войны. Андрей Петрович тяготился тем, что по состоянию здоровья не мог принять непосредственное участие в военных действиях, и все порывался что-нибудь делать для фронта. Узнав, что недалеко от его дома работает артель, которая сколачивает ящики для снарядов, он собрался идти туда устраиваться на работу.

Вскоре стремление Андрея Петровича работать для скорейшей победы над врагом осуществилось. Причем так, что знания и способности Андрея Петровича получили наилучшее применение. Вместе с Х. А. Рахматулиным он занялся изучением процесса, происходящего при ударе, который наносит самолет по нити аэростата заграждения. (Жившие в Москве во время войны помнят, что в ночное небо столицы поднималось множество аэростатов заграждения.) Затем А. П. Минаков включился в научно-исследовательскую работу, посвященную повороту танка. Он рассчитывал усилия, возникающие на гусеницах при повороте. Теперь Андрей Петрович был доволен: он вел исследования, необходимые фронту.

(Еще раньше, перед войной, А. П. Минаков решил задачу, которая во время войны приобрела важное оборонное значение в связи с перебазированием промышленности на восток. Это была задача о тяговой силе, силах натяжения, возникающих в сцепках поездов, и допустимых ускорениях при движении тяжеловесных составов.)

Не оставлял Андрей Петрович и своей работы над механикой нити, а после окончания Великой Отечественной войны целиком переключился на решение задач из этой области науки. Его авторитет в вопросах динамики нити был настолько высок, что в декабре 1951 г. он был назначен председателем секции мотки Комиссии по научно-техническим проблемам текстильной промышленности. Андрей Петрович Минаков являлся также консультантом Всесоюзного научно-исследовательского института легкого и текстильного машиностроения и Комиссии по прядению отделения технических наук АН СССР. Одновременно с занятием наукой Андрей Петрович преподавал в Московском государственном университете и Московском текстильном институте. Преподавание было страстью Андрея Петровича, его любовью и делом всей его жизни. На лекцию он шел как на праздник, и студентам передавалось это приподнятое настроение. Он любил студентов, и они отвечали ему тем же.

Андрей Петрович часто повторял: «Чтобы быть хорошим педагогом, надо быть ученым, философом, артистом, воспитателем и Человеком». Именно таким преподавателем был Андрей Петрович Минаков. Он был ученым, крупным специалистом и признанным авторитетом в области механики нити. Он хорошо знал труды философов древности и классиков марксизма-ленинизма. Он был артистом, и это может подтвердить каждый, кто хоть однажды слушал Андрея Петровича.

Утверждают, что К. С. Станиславский, познакомившись с А. П. Минаковым, был поражен его актерским дарованием и звал Андрея Петровича работать в МХАТ. По другой версии, просьба о зачислении в Художественный театр якобы исходила от Минакова, на которую Станиславский ответил так: «Нет, я не возьму вас в свой театр. Мы вас испортим. Вам нужно создавать свой театр».

Конечно, это, видимо, легенды, созданные слушателями лекций Андрея Петровича Минакова, но основываются эти легенды на реальных фактах: на знакомстве двух выдающихся людей и на незаурядных артистических способностях А. П. Минакова, позволявших ему с таким блеском проводить каждую лекцию.

Андрей Петрович был прекрасным воспитателем студенчества. Он воспитывал прежде всего своим образом жизни, своим интеллектом, добротой, участливым отношением к людям, интеллигентностью, мягкостью, а затем уже словом. Андрей Петрович почти никогда не уходил из аудитории на перерыв и все десять минут проводил окруженный студентами. Разговор шел на самые разные темы. Эти беседы помогали Андрею Петровичу не только быть в курсе всех студенческих дел и забот, следить за усвоением предмета и, если надо, вносить коррективы в читаемый курс, но и влиять на студентов в нужном направлении. «В воспитательном смысле,— говорил Андрей Петрович,— слово, сказанное в коридоре, много дороже двухчасовой лекции».

Андрей Петрович Минаков был Человеком с большой буквы. Он искренне любил людей, и они чувствовали это. От него прямо-таки исходили какие-то флюиды доброжелательства, участия, желания помочь всем и каждому, и к нему тянулись все — от уборщицы до академика, рассказывая о своих трудах и заботах.

Андрей Петрович замечательно понимал людей. Он был незаурядным психологом. По малейшим деталям — выражению глаз, интонации, жестам — Андрей Петрович мог судить о внутреннем состоянии человека, его чувствах и желаниях.

Андрей Петрович был художественно образованным и одаренным человеком. Он прекрасно знал литературу, писал стихи, артистически читал их. Стихи Андрей Петрович писал преимущественно лирические, чем-то напоминающие стихи Блока. Андрей Петрович любил читать и свои стихи и чужие. Профессор А. А. Космодемьянский вспоминает, что чтение Андреем Петровичем стихов Есенина его просто потрясло: «Я, например, понял мятущегося поэта Сергея Есенина, слушая чтение Минаковым знаменитого стихотворения «Чорный человек,» лучше, чем из многочисленных критических статей литературоведов и воспоминаний современников Есенина» [15]. С чтением стихов А. П. Минаков выступал не только в узком кругу друзей и знакомых, но и на студенческих вечерах.

Отец А. П. Минакова играл на скрипке, а сам Андрей Петрович — на рояле. Отец и сын часто устраивали домашние концерты.

Андрей Петрович знал несколько иностранных языков: английский, французский, немецкий, итальянский и латынь. Многие записи в его тетрадях сделаны на этих языках.

Об эрудиции Андрея Петровича говорит, например, такой факт. В течение трех лет я слушал в университете один и тот же его курс «Методика преподавания механики», рассчитанный на год. Но за эти три года Андрей Петрович ни разу не повторился. Ежегодно он читал, скажем, главу «Трение». Но в первый год это был рассказ о конусе трения, во второй — о формуле Эйлера, в третий — о трении качения.

Высокую оценку лекторского мастерства А. П. Минакова давали прежде всего сами студенты. Она выражалась той тишиной, которая стояла в аудитории во время лекции Андрея Петровича, тем вниманием, с каким слушалась и записывалась лекция, предупредительным и бережным отношением студентов к своему преподавателю, заметками в стенной и многотиражной газетах. Вот одна такая заметка, которая называлась «На лекциях профессора А. П. Минакова». Она была опубликована в многотиражной газете Московского текстильного института [16].

«Замечательным лектором является профессор Андрей Петрович Минаков, руководитель кафедры теоретической механики института.

Как правило, лекции А. П. Минакова посещают все студенты, «выкраивают» время для этого и те, кто учебу совмещает с работой.

...В зале тишина. Студенты еще задолго до звонка приготовились слушать лекцию так, чтобы не пропустить ни одного слова; заранее приготовлены тетради, ручки...

Приход А. П. Минакова студенты всегда встречают дружным, теплым приветствием.

Любопытный штрих. У Андрея Петровича существует правило: перед чтением лекции пройти через весь зал и, как бы случайно, на несколько минут задержаться около группы студентов, попутно спросив некоторых из них об усвоении пройденного материала. И, примечательно, профессор останавливается как раз против тех учащихся, которые по тем или иным причинам отстают по механике.

Лекция началась. Краткий обзор прошлого, 1—2 ярких примера, и слушатель незаметно для самого себя «входит» в тему с головой. Время идет незаметно.

Всем доступный язык, отсутствие витиеватых слов; краткие, но ясные фразы, а потому легко воспринимаемые. И так до конца лекции.

Скучная на первый взгляд и внешне отвлеченная наука, теоретическая механика у А. П. Минакова превращается в живую, действующую силу.

Этот лектор никогда не задает аудитории вопроса: «Вы поняли?»

Он наперед знает, где нужно задержать чтение, привести больше живых, остроумных примеров, рассеивающих напряженность...

Так с неослабевающим вниманием, полные благодарности своему лектору, студенты слушают курс теоретической механики, оставляя надолго в своей памяти образ этого профессора. Студент Н. Кувшинский».

В 1951 г. Андрей Петрович Минаков за многолетнюю и плодотворную работу в высшей школе был награжден орденом Ленина. Это признание Родиной его заслуг позволило студентам еще раз высказать преподавателю свою любовь и уважение.

«Незабываемый день,— вспоминает Л. Д. Попкова, одна из учениц Андрея Петровича.— Кто-то притащил в аудиторию газету. Андрей Петрович награжден орденом

Ленина! Все галдели, никому не сиделось на месте, живо обсуждался вопрос, как лучше поздравить своего профессора. Хотели придумать что-нибудь необычное, но ничего придумать не успели. Звонок! Мы все притихли, ждали: вот-вот войдет. И только он показался в дверях, как поднялась навстречу любимому профессору вся аудитория, гром оваций взлетел к потолку. Мы все улыбались и радостно шумели, а он был серьезен. Медленно прошел к столу, положил портфель и подошел к первым рядам. Он стоял тихо, не мешал своим студентам — он умел уважать человеческие чувства. «Я очень, очень тронут»,— сказал он, когда аудитория затихла» [17].

В эти дни Андрей Петрович получал много телеграмм и писем, в которых бывшие студенты поздравляли его с высокой наградой, желали ему здоровья и дальнейших творческих успехов. Вот одно такое письмо.

«Дорогой Андрей Петрович! Горячо поздравляем Вас с награждением орденом Ленина. В Вашем лице мы, бывшие Ваши ученики, видели замечательного педагога, учителя и друга. Мы помним Вас, любим и знаем Вашу горячую любовь к студентам, которым Вы посвятили 30 лет своей педагогической деятельности. Желаем Вам здоровья, бодрости и сил в Вашей плодотворной и благородной деятельности. Бокач, Лебедев, Веригин, Литвин, Попов, Сербиновский, Феофанов» [18].

Андрей Петрович продолжал преподавать в МГУ и в МТИ, но здоровье его начало ухудшаться. Часто беспокоило сердце. На улице ему иногда приходилось останавливаться и пережидать боль. Он уже не выходил из дома без нитроглицерина.

Андрею Петровичу советовали беречь здоровье, предлагали уменьшить преподавательскую нагрузку, но он не соглашался. «Я люблю преподавать,— говорил Андрей Петрович.— Когда я читаю лекции, сердце у меня не болит!»

Он умер мгновенно (остановилось сердце) 26 марта 1954 г., и огромное горе охватило всех, кто его знал. Советская наука потеряла крупного ученого, а советская педагогика — выдающегося преподавателя.

Через год после смерти Андрея Петровича, в 1955 г., Московский университет отмечал 200-летие со дня своего основания. В юбилейной газете механико-математического факультета было помещено стихотворение двух студентов (теперь ученых) — А. Дерибаса и В. Кузнецова, в котором говорилось о прошлом и настоящем мехмата. Три строфы в этом стихотворении были посвящены Андрею Петровичу Минакову:

Говоря о том, что раньше было
И чего теперь уж больше нет,
Мы должны сказать о самом милом,
Кем всегда гордился факультет.
Как живой, он здесь сегодня с нами,
Верный друг — то ласков, то суров,
Он актер, учитель и механик,
Наш Андрей Петрович МИНАКОВ.
Лекции его мы не забыли,
Так читать лишь он один умел,
Многие ученые светили,
МИНАКОВ всегда светил и грел.

В марте 1968 г. научная общественность Москвы торжественно отметила 75-летие со дня рождения Андрея Петровича Минакова. Открывая вечер памяти в МГУ, академик А. Ю. Ишлинский сказал: «Мы не вполне отдавали себе отчет в том, что среди нас жил и работал гений».

Глава 2

Механика нити

Исторический очерк

С нитями, канатами, веревками человек столкнулся в глубокой древности. Так, в Египте уже при Сезортозене I (XXVIII в. до н. э.) выковывали золотые нити для тканей, а серебряные — во времена Тотмесов (XVI в. до н.э.) [1]. Тетива, стягивающая лук, канат, перекинутый через блок, позже — полиспасты и другие веревочные машины, снасти кораблей, всевозможные тали, канаты в катапультах, цепи подъемных мостов — все это известно очень давно. И тогда же человек начал изучать весь этот круг явлений.

«... На известной ступени развития земледелия и в известных странах (поднимание воды для орошения в Египте), а в особенности вместе с возникновением городов, крупных построек и развитием ремесла развилась и *ме-*

ханика. Вскоре она становится необходимой также для *судоходства* и *военного дела*... Итак, уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством» [2]. Таким образом, можно считать, что механика нити, также порожденная потребностями практической деятельности человека, зародилась в глубокой древности. Известно, что уже в Древней Греции и в Древнем Египте мы встречаем довольно-таки сложные механизмы и машины, в которых применялись веревки, цепи, канаты и т. п.

Механика нити как наука возникает значительно позже: в XVI—XVIII вв.

«Когда после темной ночи средневековья вдруг вновь возрождаются с неожиданной силой науки, начинающие развиваться с чудесной быстротой, то этим чудом мы опять-таки обязаны производству» [3].

По-видимому, первым, кто оставил письменные доказательства своих занятий механикой нити, был гениальный художник и замечательный ученый эпохи Возрождения Леонардо да Винчи (1452—1519). Он уделял большое внимание механике, называя ее «раем математических наук», видя в ней ключ к познанию тайн природы.

Если среди всех областей знания механику Леонардо да Винчи ставил на первое место, то в механике особое внимание он уделил рассмотрению различных задач, связанных с нитью. Наследие ученого, относящееся к механике нити, наиболее значительно. Например, механике нити посвящены начало и значительная часть середины «Кодекса Арундель» и многие страницы в более поздних трудах. Это, видимо, объясняется тем, что веревки, канаты, цепи очень широко применялись при строительстве, а Леонардо да Винчи, как известно, был еще и инженером.

Ученого интересовало: как нагружаются ветви нити, когда к ней в любой точке подвешен определенный груз; можно ли и какими грузами выпрямить нить, провисающую под действием подвешенного между точками укрепления груза; где порвется излишне нагруженная нить, подвешенная за два конца; и т. п.

В разделе, озаглавленном «О законах статики», Леонардо да Винчи пишет:

«Если поддерживаемый груз весит 20 фунтов (рис. 1), тогда, говорю я, 10 фунтов действует на блок e и 10 фунтов на блок n, к которым груз в 20 фунтов подвешен. Таким образом, *o* берет 5 фунтов у *e*, также и *p* 5 фунтов у *e* и 5 фунтов у *n*. Наконец, *n* передает 5 фунтов *q*. Если ты хочешь осилить эти 5 фунтов, ты должен приложить в *x* противодействующий груз в 6 фунтов. Когда приложены 6 фунтов в крайней точке в *x* против 5 фунтов и когда каждая из четырех частей веревки, держащей 20 фунтов, испытывает лишь 5 фунтов тяжести, тогда, поскольку действующий добавочный груз на канате *qx* не находит ни-

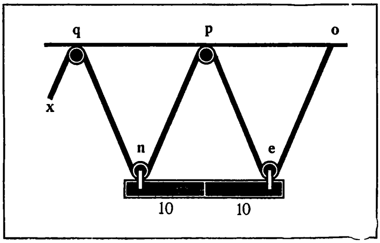


Рис. 1

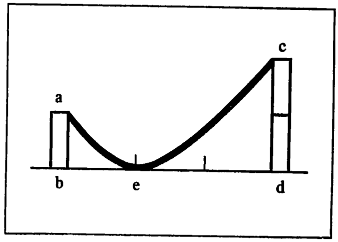


Рис. 2

чего, чтобы его уравновешивало в противоположных действующих частях каната, напряжение будет преодолено и возникает движение» [4].

В заметках Леонардо да Винчи много задач. Вот, например, как он решает одну из них.

«При самом низком положении дуги (рис. 2), образуемой нитью, более длинной, чем расстояние между ее концами, и поддержанной на этих концах двумя опорами разной высоты, она будет касаться земли ближе к меньшей опоре во столько раз, сколько раз меньшая высота содержится в большей.

Например, если опора *ab* помещается 2 раза в большей опоре *cd*, то расстояние, остающееся между *eb*, помещается также 2 раза в *de*» [5].

Далее Леонардо да Винчи утверждает, что груз, подвешенный к свободно висящей на двух опорах разной высоты нити, так распределяет свой вес между этими опорами, что части этого веса обратно пропорциональны высотам опор, или расстояниям точек наибольшего провиса до опор, или соответствующим длинам нити.

Как известно, это не так. Желая получить как можно более простое решение, Леонардо да Винчи распространяет на гибкую нить законы жесткого рычага, что и приводит к ошибке.

Леонардо да Винчи вычислял также коэффициенты трения скольжения для силы трения каната о деревянную палубу корабля и получил формулу $T = 0{,}25N$ (T — сила трения, N — сила нормального давления), которая хорошо согласуется с опытом.

Свое внимание механике нити уделил выдающийся нидерландский ученый и инженер Симон Стевин (1548—1620).

В качестве приложения к статике у Стевина имеется раздел, носящий название «Спартостатика» (от латинского слова spartum, что означает испанский ковыль, дрок, из которого делались канаты, рогожи и т. п.). В этом разделе С. Стевин специально рассматривает статику веревочных машин, т. е. законы передачи натяжений в веревках. Этот раздел статики С. Стевина можно считать первой работой по статике веревок (нитей).

Галилео Галилей (1564—1642) в своих «Беседах и математических доказательствах, касающихся двух новых отраслей науки» (1638) первым поставил вопрос о форме каната (или цепочки), закрепленного двумя своими концами и провисающего под действием собственного веса («Беседы», день 4-й).

Вначале он указывает на сходство двух явлений: полета камня и натяжения каната. Галилей говорит: «Кривизна линии, описываемой горизонтально брошенным телом, обусловливается двумя силами, из коих одна (сила бросившего) двигает его в горизонтальном направлении, а другая (т. е. его собственная тяжесть) тянет его вниз. При натяжении каната также имеются силы, натягивающие канат горизонтально, и его собственный вес, естественно, влекущий его вниз. Таким образом, эти два явления имеют между собой много общего». И заключает: «...канат, натянутый в большей или меньшей степени, располагается по линии, весьма близкой к параболе. Сходство столь велико, что если вы начертите на вертикальной плоскости параболическую линию и, рассматривая ее в обратном положении, т. е. обратив вершину ее вниз, а основание, параллельное горизонту, вверх, подвесите цепочку, укрепив концы ее в конечных точках основания начерченной параболы, то вы увидите (укорачивая или удлиняя цепочку, смотря по надобности), что она очень близко подходит к параболе; при этом совпадение ее с параболой наблюдается тем большим, чем меньше кривизна параболы, т. е. чем более последняя растянута, так что при параболе, описываемой при угле наклона в 45 градусов, цепочка почти точно совпадает с параболой» [6].

Замечание Галилея о форме провисающей цепочки осталось никем не опровергнутым до тех пор, пока Иоахим Юнгий (1587—1657) не показал в своей «Geometria empirica», что провисающая однородная цепочка не имеет форму параболы. Таким образом, вопрос о форме провисающей цепочки остался нерешенным.

В мае 1690 г. в знаменитом журнале «Acta eruditorum» появляется заметка Якоба Бернулли (1654—1705), в которой он, изложив свое решение задачи о брахистохроне, предложенной ранее Г. В. Лейбницем (1646—1716), ставит, в свою очередь, задачу об отыскании уравнения «веревочной линии». Формулирует он ее следующим образом: «Найти, форму какой кривой принимает веревка, не слишком натянутая и свободно подвешенная между двумя неподвижными точками. Предполагают при этом, что веревка есть линия, совершенно гибкая во всех своих точках» [7].

В июле того же года и в том же журнале Лейбниц, сообщая свое решение задачи о двух игроках (задача по теории вероятности), говорит, что он решил и задачу о веревке, но пока воздержится от опубликования своего решения, дабы дать возможность другим лицам заняться этой проблемой.

Примерно через год, в июне 1691 г., в том же журнале «Acta eruditorum» появляются сразу три заметки, принадлежащие Иоганну Бернулли (1667—1748), Лейбницу и Х. Гюйгенсу (1629—1695), посвященные рассматриваемой задаче. Собственно говоря, эти краткие заметки, занимающие в общей сложности всего несколько страниц, не могут быть названы решениями, так как содержат лишь указания способов построения точек искомой кривой и описание некоторых ее свойств, без всяких объяснений и доказательств. (На рис. 3 приведен чертеж, сопровождающий статью И. Бернулли.)

Вот начало заметки Иоганна Бернулли.

«Приблизительно год тому назад, во время моей беседы с братом (Якобом. — *В. Л.*), разговор случайно зашел о той кривой, форму которой принимает веревка, свободно подвешенная между двумя неподвижными точками. Мы удивлялись, что явление, наблюдаемое и, так сказать, осязаемое всеми ежедневно, не привлекло до сего времени ничьего внимания. Задача казалась нам выдающейся и полез-

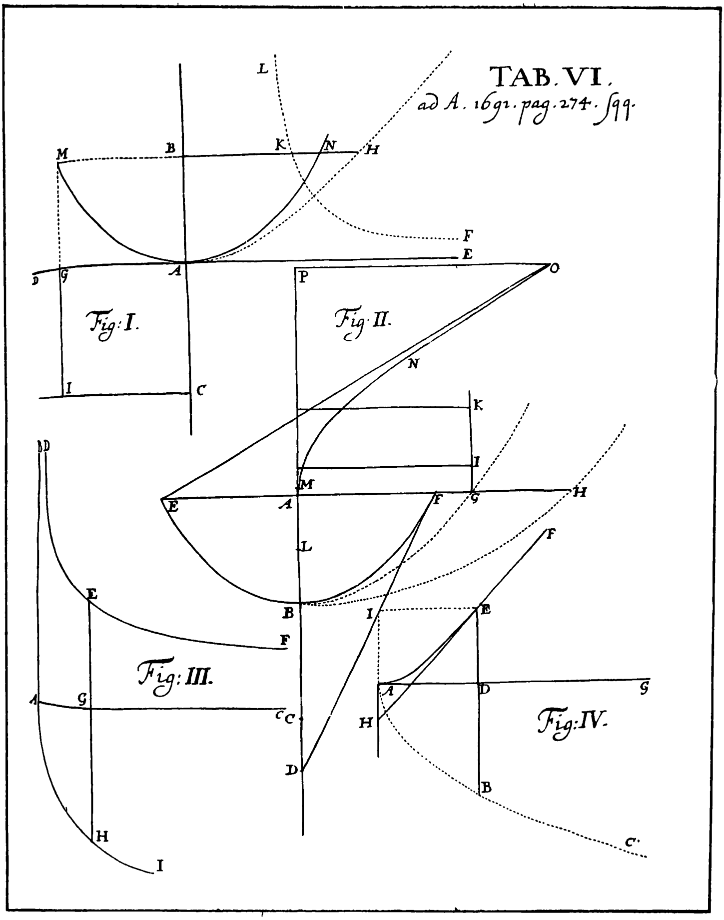


Рис. 3

ной, но мы не захотели тогда приступить к ней по причине тех трудностей, которые мы предвидели, и мы решили поэтому предложить ее через печать на рассмотрение ученых, чтобы посмотреть, решится ли кто-нибудь из них взяться за эту задачу...

Знаменитый геометр Лейбниц счел ее достойной своего внимания и сообщил нам, что нашел ее решение («Acta», июль, 1690 г., с. 360), которое опубликует после известного срока, если никто другой к тому времени не решит эту задачу.

Это обстоятельство дало мне смелость самому приступить к задаче, и мне удалось раньше срока найти полное решение и при этом такое, на которое я вначале не решался и надеяться.

Однако оказалось, что наша веревочная кривая не геометрическая, но принадлежит к числу тех, которые называются механическими, т. е. таких, характер которых не может быть выражен алгебраическими уравнениями» [8].

Задачу о провисающей веревке удалось решить лишь в 1697 г. оксфордскому профессору (астроному и оптику) Давиду Грегори (1661—1710), который опубликовал в «Philosophical Transactions» свое собственное решение. Лейбниц в феврале 1699 г. на страницах «Acta eruditorum» упрекнул Д. Грегори за то, что он публикует «старые новости». На что Грегори возразил в декабре того же года, что он (Грегори) первый доказал то, что Лейбниц, И. Бернулли и Гюйгенс опубликовали, правда, 7 лет тому назад, но не привели доказательств своих решений.

Пьер Вариньон (1654—1722), размышляя над решением задачи о равновесии тяжелой цепочки, закрепленной в своих концах, пришел к идее веревочного многоугольника, названного впоследствии его именем. Вариньона интересовали также задачи о равновесии различных веревочных машин, которые широко применялись в технике парусного морского флота того времени. «Техника веревочных машин, а также действие ветровой нагрузки на парус — вот две технические предпосылки, под влиянием которых возникла идея веревочного многоугольника Вариньона еще в XVII в. Форма невесомой нерастяжимой веревки, закрепленной по краям и несущей один, два и более грузов в своих точках, напоминала форму паруса, вздутого ветром (в профиле). Еще более тесной становилась аналогия, когда число грузов увеличивалось бесконечно, или попросту веревка становилась весомой, с равномерно распределенным по ее длине весом» [9].

XVIII в. для механики нити был тем же, чем и для других наук. «...Восемнадцатый век собрал воедино результаты прошлой истории, которые до того выступали лишь разрозненно и в форме случайности, и показал их необходимость и внутреннее сцепление. Бесчисленные хаотические данные познания были упорядочены, выделены и приведены в причинную связь; знание стало наукой, и науки приблизились к своему завершению, т. е. сомкнулись, с одной стороны, с философией, с другой — с практикой. До восемнадцатого века никакой науки не было; познание природы получило свою научную форму лишь в восемнадцатом веке или, в некоторых отраслях, несколькими годами раньше» [10].

Много внимания нитке уделял в своей научной деятельности Леонард Эйлер (1707—1783). Среди 850 работ, написанных им, есть немало, посвященных решению задач на равновесие и движение гибкой идеальной нити. Особенно известна формула Эйлера, позволяющая вычислить усилие, которое необходимо приложить, чтобы поднять груз при помощи веревки, переброшенной через неподвижный горизонтальный шероховатый цилиндр: $T = Pe^{k\varphi}$ (см. рис. 22). Здесь T — натяжение нити, P — вес поднимаемого груза, e — основание натуральных логарифмов, k — коэффициент трения, а φ — угол охвата. Эта работа была издана в 1775 г.

В 1742 г. вышла в свет «Динамика» Д'Аламбера. О том, что нить в его механике занимает достойное место, говорят названия ряда параграфов «Динамики»: «О телах, соединенных между собою при помощи нитей или стержней»; «О телах, действующих друг на друга с помощью нитей, вдоль которых они могут свободно скользить»; «О сохранении живых сил в том случае, когда тела, рассматриваемые как точки, соединены между собою при помощи нитей».

В «Динамике» Д'Аламбера много задач, так или иначе связанных с нитью. Например: «Два шара A и B, подвешенных на нитях CA и GB, укрепленных в точках C и G, только что ударились друг о друга. Найти их движение после удара» [11] и др.

Много внимания нити и связанным с нею задачам уделил Жозеф Луи Лагранж (1736—1813). Чтобы убедиться в этом, достаточно просмотреть его «Аналитическую механику» (1788). Вот названия некоторых параграфов этой работы: «О равновесии трех или большего количества тел, укрепленных на нерастяжимой нити или же на нити растяжимой и способной сокращаться»; «О равновесии гибкой и нерастяжимой нити»; «О равновесии гибкой и вместе с тем поддающейся растяжению и сокращению нити или поверхности»; «О равновесии упругой нити или пластинки»; «Применение выведенных выше формул к колебаниям натянутой струны, нагруженной несколькими телами, и к колебаниям нерастяжимой нити, нагруженной любым количеством грузов и закрепленной в обоих концах или только в одном из них» и др.

Подход Лагранжа к поставленным задачам следующий. Когда он решает задачи на равновесие, то применяет принцип возможных (виртуальных) перемещений. При решении динамических задач Лагранж использует комбинацию принципа Д'Аламбера, который позволяет динамические задачи сводить к статическим, с принципом возможных перемещений.

Формулы, полученные Лагранжем, очень сложны, что практически исключает их использование при инженерных расчетах. Например, уравнение равновесия жесткой нити заданной формы, выведенное ученым, занимает в книге пятнадцать строчек.

Решая задачу о форме висящей тяжелой нити, закрепленной в двух точках, Лагранж приходит к уравнениям, аналогичным известным формулам цепной линии, которые в его записи выглядят так:

$$\frac{dy}{dx}=\frac{B+\int Y\,dm}{A+\int X\,dm},\qquad \frac{dz}{dx}=\frac{C+\int Z\,dm}{A+\int X\,dm}.$$

Здесь dm — элемент нити, который пропорционален элементу ds кривой линии, умноженному на плотность нити; A, B, C — произвольные постоянные, полученные при интегрировании; а X, Y, Z — внешние силы, направленные по координатным осям x, y, z, действующие на каждую точку нити.

Если нить, лежащая на заданной поверхности, находится только под действием сил, приложенных к ее концам, то натяжение нити одинаково, а ее длина, как показывает Лагранж, должна быть или максимальной или минимальной. Давление же, оказываемое нитью на каждую точку этой поверхности, обратно пропорционально радиусу кривизны ρ.

Лагранж был, по-видимому, первым, кто вывел, исходя из принципа наименьшего действия, уравнения конечных движений идеальной нерастяжимой нити (1762) [12].

В XVIII в. и в предшествующие времена механика нити развивалась в основном в направлении решения некоторых, не связанных между собой задач, имевших практический или чисто теоретический интерес. В XIX в. положение меняется: создание механики нити становится существенно важным для развития целого ряда производств и направлений техники.

Промышленный переворот, как известно, начался в 30-х годах XVIII в. в хлопчатобумажной промышленности и завершился созданием крупного механизированного производства. Если в условиях ручного труда прочность нити не имела особенного значения (концы нити всегда можно связать узелком), то теперь, при машинном производстве пряжи и ткани, прочность нити приобретала первостепенную важность: непрочная нить делала предприятие убыточным. Таким образом, создание механики нити становится существенно важным и разработка механики нити происходит одновременно с разработкой ведущих идей прикладной механики.

Но одновременно выявляются и другие технические задачи, которые, как оказалось, относятся к той же самой проблеме, например вопросы прочности корабельных и шахтных канатов, возникшие еще в предыдущие столетия. Новые технические применения получила теория трения гибкой нити, разработанная Эйлером. Дело в том, что энергетическая проблема фабрик и заводов на протяжении почти всего XIX в. решалась с помощью универсального двигателя — паровой машины, приводившей во вращение главный вал, а распределение энергии по отдельным машинам производилось при помощи множества кожаных бесконечных ремней, которые с течением времени растягивались и начинали проскальзывать. Прочность и эксплуатационные качества таких ремней опять-таки приводили к механике гибкой нити.

Новыми задачами механики нити стали также вопросы прочности стальных канатов и железных цепей, которые широко применялись в технике, особенно в краностроении и в корабельном деле.

Кроме вопросов прочности, трения и связанного с последним явления сцепления волокон нити между собой и с прилегающими объектами, уже с конца XVIII в. исследователей стали интересовать и некоторые динамические явления, сопутствующие движению нити. В первую очередь это касалось колебательных процессов.

В 1784 г. Шарль Кулон (1736—1806) исследовал крутильные колебания проволоки с подвешенным на ней тяжелым металлическим цилиндром и вывел дифференциальное уравнение этого явления: $n\varphi = -I\ddot{\varphi}$, где φ — угол закручивания.

Экспериментальным путем Кулон вывел формулу для крутящего момента $M = \mu d^4\varphi/l$, где l — длина проволоки, d — ее диаметр, μ — постоянная, характеризующая материал. В результате он пришел к выводу, что для характеристики механических свойств материалов надо знать два числа: число μ, определяющее упругие свойства материала, и предел упругости. Как уже сказано, Кулон исследовал колебания проволоки, но его работа имела значение и для механики нити.

С 1807 по 1833 г. в печати появилось несколько статей С. Д. Пуассона (1781—1840), посвященных изучению малых колебаний идеальных нитей [13].

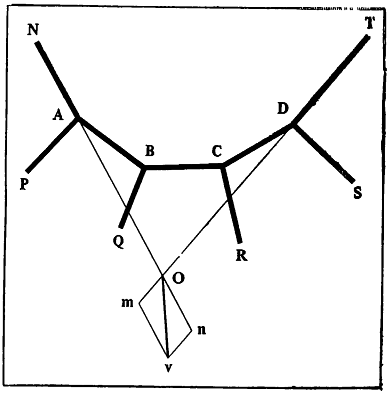


Рис. 4

Технические возможности применения канатов в различных отраслях народного хозяйства привлекли внимание ученых к вопросем статики нити. Так, Л. Пуансо (1777—1859) в четвертой главе своих «Начал статики» (1803) посвящает этому вопросу три раздела: «О нитях», «О цепной линии», «О блоках и полиспастах» [14].

В первом разделе «О нитях» Пуансо рассматривает нитяной (веревочный) многоугольник (рис. 4).

Пусть, говорит он, мы имеем несколько точек A, B, C и D, связанных между собой нитями AB, BC, CD и находящихся под действием сил N, P, Q, R, S, T, направленных вдоль других нитей, причем в каждой точке или узле A, B, C и D сходятся не более трех нитей.

Если система находится в равновесии, то и каждая из точек находится в равновесии. Например, точка A находится в равновесии под действием сил N и P и натяжения нити AB, так как другие точки (C и D) могут действовать на нее только через посредство нити AB.

Таким образом, для равновесия необходимо, чтобы три нити AN, AP, AB лежали в одной плоскости и выполнялись бы следующие соотношения:

$$N : P = \sin PAB : \sin NAB,$$
$$P : X = \sin NAB : \sin NAP,$$

где X — натяжение нити AB.

Аналогичные соотношения можно записать для точек B, C и D. Перемножая почленно соответствующее число этих пропорций, можно найти отношение любой из этих сил к какой угодно другой силе или натяжению.

Когда крайние нити AN и DT лежат в одной плоскости, то две силы N и T имеют общую равнодействующую. Эта сила должна быть равна и прямо противоположна равнодействующей V остальных сил P, Q, R и S, которая проходит через точку O — точку пересечения направлений крайних нитей. Если концы N и T этих нитей неподвижны, то, разлагая в точке O равнодействующую V на две силы N и T по направлениям нитей AN и DT, можно определить усилия, действующие на эти неподвижные точки (или натяжения указанных нитей).

Далее Пуансо рассматривает случай, когда направления сил P, Q, R и S параллельны между собой. Тогда для сил и натяжений сохраняются ранее выведенные пропорции, однако для равновесия необходимо еще одно условие, а именно, чтобы все силы и стороны многоугольника лежали в одной плоскости.

Для параллельных сил оказывается, что натяжения N, X, Y, Z, T обратно пропорциональны синусам наклонения сторон к направлению параллельных сил P,Q,R и S.

В разделе «О цепной линии» Пуансо говорит, что в качестве такой кривой можно рассматривать нить, нагруженную бесконечным числом маленьких грузиков, распределенных по всей ее длине, или как нить, все точки которой находятся под действием малых вертикальных (параллельных между собой) сил.

В разделе «О блоках и полиспастах» Пуансо вначале рассматривает систему подвижных блоков A, A', A'' (рис. 5). Если вся система находится в равновесии, то и каждый блок находится в равновесии под действием приложенных к нему сил и натяжений. Обозначая через r, r', r'' радиусы соответствующих блоков, через c, c', c'' — хорды дуг, охватываемых нитями, через X — натяжение первой нити и через Y — натяжение второй, можно записать для блока A следующую пропорцию: $X : P = r : c$. Аналогично для блока A' получаем $Y : X = r' : c'$ и для третьего блока A'' — $Q : Y = r'' : c''$. Перемножая почленно эти пропорции, окончательно будем иметь $Q : P = rr'r'' : cc'c''$, т. е. сила так относится к сопротивлению, как произведение радиусов блоков к произведению хорд дуг, охватываемых нитями.

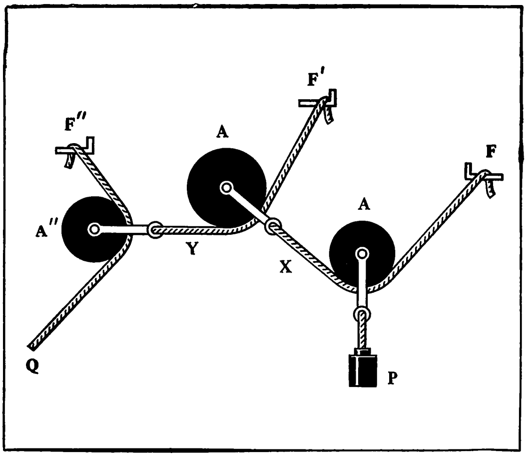


Рис. 5

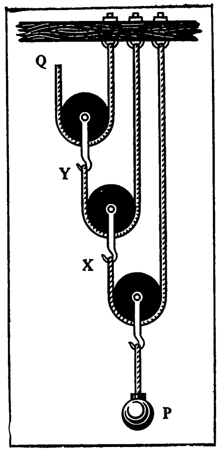


Рис. 6

Если все нити параллельны (рис. 6), то хорды c, c', c'' равны диаметрам $2r$, $2r'$, $2r''$. Деля оба члена последнего отношения на произведение $rr'r''$, получим $Q : P = 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2$, т. е. сила так относится к грузу, как единица к числу 2, возведенному в степень, равную числу блоков.

Полиспастом Пуансо называет систему блоков, укрепленных в одной обойме или на отдельных осях, или на общей оси, и подробно рассматривает работу этих веревочных механизмов.

Внимание механике нити уделяли и отечественные ученые.

В своем «Трактате по механике»[15] профессор Института корпуса путей сообщений М. Г. Дестрем (1787—1855) исследует равновесие веревочного многоугольника в главе, посвященной равновесию гибких тел. Исходя из положений Пуансо, он излагает сперва определение натяжений в сторонах веревочного многоугольника, а затем переходит к определению формы нити, подвешенной в двух точках. Предполагая, что нить идеально гибкая и нерастяжимая, и обозначая длину элементарной дуги через s, вес единицы длины — h и действующую силу — A, получает уравнение кривой, которой он дает имя «цепочки»:

$$A \sin C dx - A \cos C\, dy = hs dx,$$

где C — угол xMr (рис. 7).

После ряда преобразований Дестрем получает

$$x = \frac{A\cos C}{b}\log\left(\frac{A - By - \sqrt{(A - By)^2 - A^2\cos^2 C}}{A(1 - \sin C)}\right),$$

откуда следует, что цепочка является трансцендентной кривой того же порядка, что и логарифмическая кривая. Затем он определяет натяжение в произвольной точке кривой и ординату ее самой низкой точки. С помощью последнего выражения он определяет значение самого малого натяжения в нити.

Те же вопросы подверг глубокому анализу М. В. Остроградский в своем докладе, прочитанном в Петербургской академии наук 7 ноября 1834 г., «Общие соображения относительно моментов сил» [16]. В этом докладе, посвященном обобщению принципа возможных перемещений, в качестве примеров в § 4 он исследует равновесие веревочного многоугольника, а в § 5 — равновесие гибкой нерастяжимой нити.

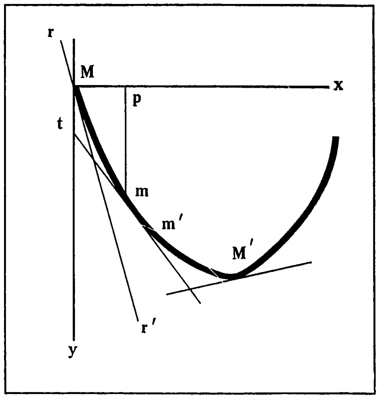


Рис. 7

Через несколько лет М. В. Остроградский вновь возвратился к этому вопросу. 18 января 1839 г. он прочитал в Академии наук доклад «О равновесии веревочного многоугольника и гибкой нерастяжимой нити» [17]. В первой части этого сочинения рассматриваются условия равновесия веревочного многоугольника под действием некоторой системы сил.

Переходя далее к рассмотрению равновесия гибкой нити, М. В. Остроградский предполагает, что она закреплена на концах и в каждой точке на нее действуют силы, изменяющиеся при переходе от одной точки к другой и являющиеся, следовательно, функциями трех переменных x, y, z. Если обозначить через ds элемент длины нити, через ω — площадь поперечного сечения, через ρ — ее плотность и через X, Y, Z — проекции ускорения на оси координат, то тогда составляющие силы, приложенной к этому элементу нити, будут $X\rho\omega ds$, $Y\rho\omega ds$, $Z\rho\omega ds$.

Пусть, далее, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2 — координаты крайних точек нити; их неподвижность выразится следующими условиями связи:

$$\delta x_1 = 0, \quad \delta y_1 = 0, \quad \delta z_1 = 0, \quad \delta x_2 = 0, \quad \delta y_2 = 0,$$
$$\delta z_2 = 0.$$

Вследствие совершенной гибкости и нерастяжимости нити имеет место неравенство $\delta ds \leqslant 0$.

Общее уравнение равновесия нити имеет следующий вид:

$$\int \rho\omega\,(X\delta x + Y\delta y + Z\delta z)\,ds + \int \lambda\delta s + a_1\delta x +$$
$$+ b_1\delta y + c_1\delta z + a_2\delta x + b_2\delta y + c_2\delta z = 0. \qquad (1)$$

После ряда преобразований М. В. Остроградский получает такие уравнения равновесия:

$$X\,\rho\omega ds - d\lambda dx/ds = 0,$$
$$Y\rho\omega ds - d\lambda\, dy/ds = 0, \qquad (2)$$
$$Z\rho\omega ds - d\lambda\, dz/ds = 0,$$

и

$$\lambda_1\,(dx/ds)_1 = a_1 \quad \lambda_2\,(dx/ds)_2 = -a_2,$$
$$\lambda_1\,(dy/ds)_1 = b_1, \quad \lambda_2\,(dy/ds)_2 = -b_2, \qquad (3)$$
$$\lambda_1\,(dz/ds)_1 = c_1, \quad \lambda_2\,(dz/ds)_2 = -c_2.$$

Уравнения (3) позволяют вычислить величины a_1, b_1, c_1 и a_2, b_2, c_2 — составляющие реакций связей в концах нити. Реакции направлены по касательным к крайним точкам кривой.

Далее М. В. Остроградский исследует уравнения (2), которые единственно нужны для равновесия. Для определения количеств λ, равных абсолютным величинам натяжений, он получает

$$d\lambda = \rho\omega(Xdx + Ydy + Zdz).$$

Интегрируя, находит, что

$$\lambda = \int \rho\omega\,(Xdx + Ydy + Zdz),$$

и подставляет эту величину в тройное равенство

$$d\lambda = \frac{X\rho\omega\,ds - \lambda d\,\frac{dx}{ds}}{\frac{dx}{ds}} = \frac{Y\rho\omega\,ds - \lambda d\,\frac{dy}{ds}}{\frac{dy}{ds}} = \frac{Z\rho\omega\,ds - \lambda d\,\frac{dz}{ds}}{\frac{dz}{ds}},$$

выведенное из уравнений (2).

Так М. В. Остроградский получает дифференциальные уравнения кривой, образуемые нитью в состоянии равновесия.

Далее ученый прилагает полученную теорию к частному случаю равновесия однородной весомой нити, свободно подвешенной за оба неподвижных конца и имеющей по всей длине одинаковое поперечное сечение, и получает уравнение цепной линии. Он находит также длину цепной линии и натяжение в ее нижней точке.

Таким образом, М. В. Остроградский завершил задачу, которую до него решали Пуансо, Дестрем и др. Следует отметить, что в трудах этих ученых были заложены основы нового раздела прикладной механики — строительной механики, и теория нити для них, как это и подчеркивают Дестрем и Остроградский, имела значение теоретического обоснования практики сооружения подвесных мостов.

Аналогичным путем шел и Г. Г. Кориолис (1792—1843).

По-другому к этому вопросу подошел А. Ф. Мебиус (1780—1869), который развил идею, высказанную еще Маклореном, об аналогии, существующей между равновесием нити и кратчайшей траекторией тяжелой точки, пробегающей в вертикальной плоскости путь между двумя точками.

Эту аналогию Мебиуса И. Петерсен распространил на систему нитей и таким образом из принципа виртуальных скоростей в приложении к равновесию нитей вывел для движения точки принцип наименьшего действия и принцип Гамильтона.

В 1845 г. Понселе в своем «Traité de Mecanique appliquée aux Machines» первым применил формулу Эйлера к двум шкивам, вращающимся вокруг неподвижных осей и связанных между собой бесконечной гибкой нитью. Он показал, что натяжения прямолинейных ветвей этой нити T и t связаны при передаче движения от одного шкива к другому соотношением $T + t = 2T_0$, где T_0 — натяжение нити, с которым она была натянута при надевании на шкивы. Доказательство этого соотношения следует из того, что на сколько вытянется под большим натяжением одна ветвь нити, на столько укоротится другая ее ветвь, где натяжение меньше, так как общая длина нити остается неизменной.

Опытную проверку соотношения Понселе провел Морэн в «Notions fondamentales de Mecanique». Там же помещены результаты его опытов по определению коэффициентов трения при помощи формулы Эйлера. Делалось это следующим образом. Вертикальные ветви веревки, перекинутой через неподвижный блок, нагружались произвольными грузами. Затем одна из ветвей перегружалась до тех пор, пока ремень не приходил в движение. Теперь в уравнении $T = te^{\alpha f}$ все величины, кроме f, были известны, и можно было вычислить коэффициент трения f. Для $\alpha = \pi$ и чугунного блока Морэн получил, что $f = 0{,}282$, а для деревянного — 0,477.

В книге Рауса «Динамика систем твердых тел» (1860) [18] есть целый раздел, в котором рассматриваются конечные движения нерастяжимых идеально гибких нитей, происходящие в плоскости, а также ударные явления, связанные с нитями. Раус составляет уравнения 2-го порядка относительно натяжения, которые он получает из уравнений 1-го порядка, исключая из них скорости при помощи кинематических условий, полученных им ранее. Рассмотрение ударных воздействий на концах нити приводит Рауса к двум уравнениям 2-го порядка, одно из которых, как указывает автор, было раньше него получено Тодхунтером. Специальный параграф посвящен стационарному движению на плоскости идеальной нерастяжимой нити. Интерес к такому виду движения возник, вероятно, в связи с прокладкой телеграфного кабеля между Европой и Америкой. Эти работы, как известно, начались в 1857 г. и после многих неудачных попыток в 1866 г. завершились успехом.

В «Трактате о натуральной философии» (1867) Кельвина и Тэта [19] имеется исследование ударного тангенциального импульса, приложенного к концам нерастяжимой гибкой нити двоякой кривизны.

В 1872 г. Резаль опубликовал уравнения движения плоской нерастяжимой нити (в натуральных координатах) и условия на скоростях, которые он получил независимо от Рауса, изучая движение каната, привязанного к летящему ядру мортиры, а также исследуя канатные передачи [20].

В 1878 г. лаборант кембриджской лаборатории Эйткин проводил опыты по «пластичности» («вязкости») быстро движущихся вдоль себя цепочек и резиновых шнуров [21]. Это явление впоследствии исследовалось Радингером, Скутшем и другими в связи с вопросом о передаче мощности от мотора к станку при помощи приводного ремня и получило название «эффект Радингера» [22].

Весьма интересны работы Леотэ[23], Августа[24] и Аппеля[25], в которых изучается возможность скольжения плоской идеально гибкой нерастяжимой нити вдоль самой себя с сохранением формы (стационарное движение).

Леотэ продолжил исследования Резаля по динамике канатных передач и транспортеров. В его работах рассматриваются условия, при которых возможен кажущийся покой идеальной нерастяжимой нити в поле силы тяжести, а также устойчивость такого движения.

Работа Августа состоит из девяти параграфов. Первый — введение. В § 2 автор исследует случай прямолинейной формы кажущегося покоя при наличии лишь продольных сил. В § 3—5 ученый рассматривает случай кривой двоякой кривизны при отсутствии силового поля, а также в параллельном однородном поле; § 6 посвящен центральному полю, в котором цепочка движется продольно и равномерно; § 7 содержит случай равномерного и равнопеременного скольжения нити вдоль гладкой поверхности, при этом автор говорит, что даже в этом случае интегрирование уравнения движения нити настолько сложно, что ему удалось сделать это только для случая скольжения тяжелой цепочки по гладкой наклонной плоскости. В § 8 Август рассматривает скольжение нити вдоль неподвижной материальной кривой, а в § 9 содержится резюме всей работы:

«Пусть однородная цепочка: α) свободна в пространстве, или β) может двигаться по неподвижной гладкой поверхности, или γ) по кривой. Пусть на цепочку действуют известные внешние силы, являющиеся функциями положения, и пусть, наконец, на концах цепочки осуществлены, путем соответствующих приспособлений, надлежащие натяжения. Тогда состояние кажущегося покоя может происходить только в следующих случаях:

A. Вдоль всякой кратчайшей линии, соответствующей связям, а именно: α) в пространстве — вдоль прямой и при том условии, что силы направлены вдоль цепочки; β) на поверхности — вдоль геодетики и притом при условии, что сила лежит в соприкасающейся плоскости; γ) вдоль заданной кривой при любых силах; натяжение на концах может при этом быть любой функцией времени, а тангенциальное ускорение может меняться по любому закону (во времени).

B. Не вдоль кратчайшей линии. Это может иметь место в случаях α и β, но только при постоянном ускорении b.

Форма и положение траектории в этих случаях зависят при заданных силах от величины тангенциального ускорения b, но не зависят от начальной скорости. Натяжение определено в каждой точке при любом положении и скорости. Вдоль кривых, для которых $b = 0$, цепочка может не только двигаться, но и быть в покое.

C. Если внешние силы отсутствуют, то цепочка может двигаться с постоянной скоростью c и постоянным натяжением c^2 вдоль любой кривой, удовлетворяющей условиям связей».

Мемуар П. Аппеля, занимающий 50 страниц большого формата, делится на три части. В первой выводятся уравнения движения плоской неоднородной гибкой нерастяжимой нити; во второй разбираются применения этих уравнений к некоторым случаям кажущегося покоя и стационарного движения; третья часть посвящена вопросу малых поперечных колебаний нерастяжимой нити.

Одна из задач, которую решает Аппель, такова.

Пусть сила, действующая на элемент нити, зависит только от положения и от ориентировки этого элемента, то есть от x, y и α. Может ли нить при таких условиях находиться в состоянии кажущегося покоя?

Приняв за основной признак такого движения отсутствие у всех элементов нити нормальных составляющих скорости, исследователь приходит к следующему выводу. Если нить находится в состоянии кажущегося покоя в поле сил указанного характера, то скорость продольного скольжения нити пропорциональна времени; при этом формой кажущегося покоя является та фигура равновесия, которую приняла бы нить, если бы все нормальные компоненты сил остались прежними, а тангенциальные — возросли на одинаковую постоянную величину, численно равную величине продольного ускорения нити.

В качестве примера Аппель определяет фигуру кажущегося покоя однородной нерастяжимой идеально гибкой нити, скользящей равноускоренно в поле сил тяжести, и приходит к результату, совпадающему с ответом, найденным Августом. Затем Аппель рассматривает возможность решения данной задачи для случая неоднородной нити.

В 1889—1900 гг. Флокэ, ученик Дарбу, опубликовал несколько работ, посвященных конечным движениям нерастяжимой нити [26]. В них автор, опираясь на кинематический метод своего учителя, получает уравнение первого порядка для движения идеальной нерастяжимой нити двоякой кривизны, а также два условия на скоростях поступательного и вращательного движений элементов нити. Первое называется уравнением Дарбу, вторые — условиями на скоростях Резаля—Флокэ. В статьях Флокэ показано также несколько интересных применений теории к некоторым задачам абстрактного характера.

Среди русских ученых, занимавшихся в этот период механикой нити, прежде всего следует назвать Н. Е. Жуковского (1847—1921), В. Г. Имшенецкого (1832—1892), Н. П. Петрова (1836—1920) и М. Н. Демьянова.

В IX томе «Математического сборника» была напечатана интересная статья Николая Егоровича Жуковского «Связь между вопросами о движении материальной точки и о равновесии гибкой нити» [27], содержание которой ученый доложил Московскому математическому обществу на заседании 18 ноября 1878 г. В этой статье прослеживается аналогия между движением материальной точки и равновесием гибкой нити.

Предположим, пишет Н. Е. Жуковский, что материальная точка движется по некоторой поверхности под действием сил, имеющих силовую функцию U.

Дифференциальные уравнения движения точки, если принять ее массу равной единице, можно записать так:

$$dU/ds = v\,dv/ds, \qquad dU/dn = v^2/\rho. \tag{1}$$

Здесь v — скорость точки, ds — элемент дуги траектории, ρ — радиус ее геодезической кривизны относительно поверхности и dn — элемент нормали траектории по направлению ρ.

Предположим теперь, что вдоль рассматриваемой траектории лежит на поверхности гибкая нить, плотность которой во всех точках равна единице, и напишем дифференциальные уравнения равновесия этой нити под действием сил, имеющих силовую функцию F.

На каждый элемент нити ds от натяжения нити T будет действовать по направлению касательной сила $\frac{dT}{ds}ds$, а по нормали — сила $\frac{T}{\rho}dn$. Поэтому уравнения равновесия нити запишутся так:

$$-dF/ds = dT/ds, \qquad -dF/dn = T/\rho. \tag{2}$$

Интегрируя первые уравнения систем (1) и (2), найдем v и T:

$$v = \sqrt{2U}, \quad T = -F. \tag{3}$$

Теперь нетрудно, пользуясь уравнениями (3), привести уравнения (1) к виду уравнений (2), и наоборот.

Из уравнений (1) можно получить, что

$$d\sqrt{2U}/ds = dv/ds, \quad d\sqrt{2U}/dn = v^2/\rho, \tag{4}$$

а из уравнений (2)

$$\frac{d\left(\frac{1}{2}F\right)}{ds} = T\frac{dT}{ds}, \quad \frac{d\left(\frac{1}{2}F\right)}{dn} = \frac{T^2}{\rho}. \tag{5}$$

Если положить в уравнениях (4) $\sqrt{2U} = -F$, а $v = T$, то получим уравнения (2). Если же, наоборот, в уравнениях (5) положить $F^2/2 = U$, а $T = v$, то получим уравнения (1).

Это показывает, заключает ученый, что, изменяя надлежащим образом силовую функцию, можно переходить от задачи о движении материальной точки к задаче о равновесии гибкой нити и, наоборот, сохраняя для траектории и для нити одну и ту же кривую, а для скорости и натяжения — одну и ту же величину.

В заключение Н. Е. Жуковский показывает, как аналогично записывается силовая функция и скорость (для точки) и силовая функция и натяжение (для нити), когда материальная точка движется по параболе и гибкая нить в равновесии представляет собой параболу; когда материальная точка движется по эллипсу и гибкая нить в равновесии представляет собой эллипс и т. д.

Если материальная точка на поверхности движется по геодезической кривой, то силовая функция и скорость постоянны. Если гибкая нить на поверхности натянута по геодезической кривой, то силовая функция и натяжение нити постоянны. И так далее. Эту аналогию никто до Н. Е. Жуковского не замечал.

В 1880 г. выходит в свет исследование Василия Григорьевича Имшенецкого, в котором он рассматривает равновесие гибкой нерастяжимой нити, получает канонические уравнения равновесия нити и составляет соответствующее им дифференциальное уравнение в частных производных Якоби—Остроградского. В работе рассмотрен также случай равновесия нити на заданной неподвижной поверхности [28].

Свою статью «Влияние трения при передаче работы упругим ремнем» Н. П. Петров начинает следующими словами:

«Более 100 лет тому назад знаменитый Леонард Эйлер определил соотношение между уравновешивающими силами, приложенными к концам гибкой и нрастяжимой нити, огибающей круглый цилиндр в плоскости, перпендикулярной к оси, и силами трения между нитью и поверхностью цилиндра» [29]. Далее автор говорит о том, что, несмотря на то что формула Эйлера выведена в предположении нерастяжимости нити, ею пользуются и тогда, когда нить растяжима. Н. П. Петров ставит перед собой задачу определить, какую ошибку допускает инженер, пользуясь при расчете упругой ременной передачи формулой Эйлера, и решает эту задачу.

Одновременно с Н. П. Петровым вопросом применимости формулы Эйлера к гибкой связи занимался М. Н. Демьянов. Он тоже ставил перед собой задачу «выявить по возможности те последствия, которые являются результатом пренебрегаемой растяжимости ремня» [30].

В своих трех статьях «О значении упругости ремня при передаче им работы» М. Н. Демьянов выводит формулы, по которым можно вычислять скорости, натяжения, работу ременных передач; доказывает справедливость уравнения Понселе; иным способом выводит формулу Кретца для ременных передач:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{r_2}{r_1}\frac{1-T/E\omega}{1-t/E\omega}\,.$$

Здесь ω_1, r_1, ω_2, r_2 — угловые скорости и радиусы шкивов, T — натяжение ведущей ветви, t — натяжение холостой ветви, E — коэффициент упругости ремня, а ω — площадь его поперечного сечения.

У Н. М. Демьянова несколько иной подход к рассмотрению данной проблемы, чем у Н. П. Петрова. Если Н. М. Демьянов предполагает, что упругий ремень скользит на каждом шкиве вдоль всей дуги охвата и объясняет разнообразие рабочих усилий, передаваемых ременной передачей, зависимостью коэффициента трения от сил натяжения свободных частей ремня T и t, то Н. П. Петров считает, что коэффициент трения f постоянен, не меняется, а ремень скользит не на всей дуге охвата, а только на части ее.

Так как подход авторов к решению данной задачи разный, то различны и полученные ими результаты. Кто же из них прав? На этот вопрос отвечает Н. Е. Жуковский в своей обстоятельной статье «О скольжении ремня на шкивах», в которой он подробно разбирает исследования Н. П. Петрова и Н. М. Демьянова.

Прав Н. П. Петров, утверждает Н. Е. Жуковский, ремень скользит не на всех дугах охвата α_1 и α_2, а только на частях этих дуг α_1' и α_2'. Поэтому основные формулы Н. М. Демьянова приближенны, так как получены им из неправильно составленного уравнения.

Далее Н. Е. Жуковский замечает, что уравнение Кретца

$$\frac{r_1\omega_1}{1 + T/\varepsilon} = \frac{r_2\omega_2}{1 + t/\varepsilon}$$

не зависит от воззрений на коэффициент трения, так как является следствием условия сохранимости массы ремня в данном месте пространства: $\rho = \text{const}$. А вот соотношение Понселе $T_0 = (T + t)/2$ надо считать приближенным, справедливым при большом l сравнительно с r_1 и r_2.

Указывая на достоинства исследования Н. П. Петрова, Н. Е. Жуковский отмечает полученный им интересный результат: работа, потерянная на преодоление трения скольжения ремня по ведущему шкиву, равна потерянной работе на рабочем шкиве.

В заключительном разделе своего труда Н. Е. Жуковский пишет: «М. Н. Демьянов в конце своей статьи говорит по поводу существования нескользящих дуг, что «окончательный приговор в данном случае принадлежит опыту»... Подтверждение существования нескользящих дуг прямым опытом не лишено интереса. Этот последний параграф моей статьи будет посвящен объяснению небольшого прибора, построенного мною для упомянутой цели» [31].

И далее ученый рассказывает о том, как устроен прибор, построенный им для доказательства того, что существуют нескользящие дуги, и как он проводил опыты, показавшие справедливость утверждения Н. П. Петрова.

В начале XX в. Хойн в ряде работ (1900—1909 гг.) исследовал кинетику проволок, нитей и цепей [32].

Гамель в своей «Элементарной механике»[33] уделяет большое внимание статике и динамике нитей и проволок (жестких канатов). В динамике автор учебника выводит некоторые уравнения движения нерастяжимой и идеально гладкой нити двоякой кривизны. В работах Гамеля (1925—1926 гг.) содержится статика и кинематика канатов и веревок. Построены эти разделы на принципе возможных перемещений. В более поздней работе 1927 г. Гамель дает шесть уравнений равновесия нити в общем виде.

Работы Хойна и Гамеля интересны тем, что данные авторы дают следующую классификацию нитей:

1) нить в собственном смысле слова: изгибающий момент отсутствует полностью;

2) лента, ремень, жесткий канат: существует только изгибающий момент;

3) проволока: в каждом сечении существуют три момента — двухосный, изгибающий и крутящий (под двухосным моментом понимается момент, который раскладывается на составляющие по главной нормали и бинормали. — *В. Л.*).

В «Технической механике» (1924) Лоренца[34] есть целая глава, посвященная движению веревок. Рассматривая стационарное движение веревки, автор упоминает работу Эйткина. В двух параграфах подробно разбирается плоская канатная передача (с учетом жесткости).

Мюллер в своем учебнике по динамике[35] рассматривает случай стационарного движения плоской нити и дает формулу натяжения канатной передачи без учета жесткости.

В учебниках по теоретической механике Лове[36] и Лейма (1935 г.) можно найти сокращенный пересказ теории Рауса и большое количество задач на ударные явления в нитях. Ничего нового эти учебники, так же как и учебники Лоренца и Мюллера, не содержат.

В учебнике по теоретической механике Н. Н. Бухгольца[37] один из параграфов статики (§ 31) посвящен рассмотрению равновесия гибкой и нерастяжимой нити.

Вот примерно, что было известно к тому времени, когда А. П. Минаков начал заниматься механикой нити. Данный краткий исторический очерк, безусловно, не претендует на полноту. Желающие познакомиться с историей механики нити более подробно найдут интересующие их сведения в специальной литературе.

Вклад А. П. Минакова в механику нити

Рассмотрим подробно исследования А. П. Минакова по механике нити. Им написано 13 работ по этой тематике. Основные указаны в библиографии. Главный труд — «Основы механики нити» (1941). В нем разрабатываются и систематизируются вопросы кинематики, динамики и статики идеально гибкой растяжимой нити и впервые дается ряд формул, которые не были известны ранее и которые могут быть использованы для различных практических расчетов. В книге приводятся примеры, иллюстрирующие применение найденных автором зависимостей к конкретным инженерным задачам.

Остановимся более подробно на главной научной работе А. П. Минакова «Основы механики нити». Дадим обзор данной работы, покажем, чем она отличается от исследований его предшественников, что нового и ценного внес ученый в науку о механике нити. Естественно, здесь будут опущены все частности, подробные выкладки и несущественные детали.

Труд А. П. Минакова состоит из двух основных разделов: «Часть I. Теоретические основы механики идеально гибкой растяжимой нити» и «Часть II. Стационарные движения гибкой нерастяжимой нити».

Глава первая «Кинематика идеально гибкой растяжимой нити» начинается с определений.

Нитью, пишет А. П. Минаков, мы будем называть весьма тонкий материальный стержень, ось которого может принимать любую форму. Если длина этой оси во всех ее частях не может изменяться ни при каких условиях, нить называется нерастяжимой.

Пусть есть элемент нити ds, к началу которого — точке A — приведена система внешних сил. Получены главный вектор и главный момент этих сил. Затем к точке A приводится система напряжений, возникающих в нормальном сечении. Получаются главный вектор и главный момент напряжений. Разложим главный вектор на силу, направленную по касательной в точке A, и на поперечную силу, лежащую в нормальной плоскости. Главный момент напряжений разложим на крутящий момент вдоль касательной и на изгибающий — в нормальной плоскости.

В зависимости от того, каковы будут в отдельных случаях элементы приведения системы напряжений, А. П. Минаков различает следующие виды нитей: 1) идеально гибкая нить — существует только сила вдоль касательной; 2) нить, упругая на изгиб,— весь главный момент расположен в нормальной плоскости; 3) нить, упругая на кручение,— весь главный момент расположен вдоль касательной.

В первой части работы А. П. Минаков рассматривает только идеальную гибкую растяжимую нить, движущуюся в стационарном силовом поле. Растяжимость нити он определяет следующим образом.

Пусть до растяжения длина элемента нити была $d\sigma$, а после растяжения она стала ds. Обозначив плотность нерастянутой нити, меняющуюся, вообще говоря, вдоль нити, через m_0, а через m — плотность нити растянутой, можно написать такое очевидное равенство: $mds = m_0 d\sigma$, т. е. $ds/d\sigma = m_0/m$.

Положим, что это отношение есть некоторая функция растягивающего усилия T и времени t:

$$ds/d\sigma = m_0/m = f\,(T,\, t) = f. \tag{1}$$

Эта величина f очень важна, так как она входит во все уравнения, полученные А. П. Минаковым для движения гибкой растяжимой нити.

Если допустить, что выполняется закон Гука, т. е. положить, что $T = E\,(ds - d\sigma)/d\sigma$, то $f = ds/d\sigma = 1 + T/E = 1 + \alpha T$, где E — модуль упругости, а α — удельное относительное удлинение.

Ясно, что если нить нерастяжима, то $\alpha = 0$, а $f = 1$.

Далее А. П. Минаков выводит условия на ускорениях, которые ранее до него нигде в литературе не встречались:

$$\begin{aligned}
\left(\frac{\partial \mathbf{w}}{ds}\right)_1 &= \frac{\partial w_1}{\partial s} - \frac{w_2}{\rho} = -\omega_2^2 - \omega_3^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial t^2},\\
\left(\frac{\partial \mathbf{w}}{\partial s}\right)_2 &= \frac{\partial w_2}{\partial s} + \frac{w_1}{\rho} - \frac{w_3}{\rho'} = \omega_1\omega_2 + \varepsilon_3 + \frac{2\omega_3}{f}\frac{\partial f}{\partial t},\\
\left(\frac{\partial \mathbf{w}}{\partial s}\right)_3 &= \frac{\partial w_3}{\partial s} + \frac{w_2}{\rho'} = \omega_1\omega_3 - \varepsilon_2 - \frac{2\omega_2}{f}\frac{\partial f}{\partial t}.
\end{aligned} \tag{2}$$

Здесь w_1, w_2, w_3 — натуральные проекции вектора ускорения $\mathbf{w}$; ω_1, ω_2, ω_3 — мгновенные угловые скорости вращения вокруг натуральных осей: касательной, нормали и бинормали; ε_1, ε_2, ε_3 — проекции вектора мгновенного ускорения на те же оси, а ρ и ρ' — радиусы кривизны и кручения растянутой нити (о функции f было сказано выше).

Для того чтобы было понятно дальнейшее, необходимо сделать несколько предварительных замечаний.

Пусть на концах A и B элемента нити ds (рис. 8) действуют натяжения, направленные по соответствующим касательным, причем одно из них $T + dT$ действует в положительном направлении отсчета дуг s, а другое — в отрицательном. Пусть, кроме того, нить находится в стационарном силовом поле, причем сила, отнесенная к единице длины нерастянутой нити и к единице ее плотности, равна $\mathbf{F}$. Тогда на элемент движущейся нити будет еще действовать сила $m\mathbf{F}ds = m_0\mathbf{F}d\sigma$.

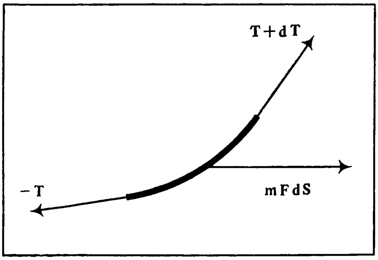


Рис. 8

Применяя принцип Д'Аламбера $\partial\mathbf{T}/\partial s - m\mathbf{F} - m\mathbf{w}$, заменив m на m_0/f и использовав еще ряд кинематических формул, выведенных ранее, А. П. Минаков получает общие основные уравнения движения растяжимой неоднородной нити при любом законе упругости:

$$
\begin{gathered}
m_0\left[\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial T}{m_0\partial s}\right)-\frac{T}{m_0\rho^2}\right]+\frac{1}{f}\frac{\partial f}{\partial s}\frac{\partial T}{\partial s}= \\
=\frac{m_0}{f}\left(-\omega_2^2-\omega_3^2-\frac{\partial F_1}{\partial s}+\frac{F_2}{\rho}+\frac{\partial^2 f}{\partial t^2}\right), \\
\frac{m_0}{T}\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{T^2}{m_0\rho}\right)+\frac{1}{f}\frac{\partial f}{\partial s}\frac{T}{\rho}=\frac{m_0}{f}\left(\omega_1\omega_2+\varepsilon_3-\frac{\partial F_2}{\partial s}-\frac{F_1}{\rho}+\right. \\
\left.+\frac{F_3}{\rho'}+\frac{2\omega_3}{f}\frac{\partial f}{\partial t}\right), \\
\frac{T}{\rho\rho'}=\frac{m_0}{f}\left(\omega_1\omega_2-\varepsilon_2-\frac{\partial F_3}{\partial s}-\frac{F_2}{\rho'}-\frac{2\omega_2}{f}\frac{\partial f}{\partial t}\right).
\end{gathered}
\tag{3}
$$

Здесь все величины имеют те же значения, что и в выражениях, встречавшихся ранее.

Уравнения (3) получены А. П. Минаковым впервые и нигде в литературе по механике нити, изданной до разбираемой работы, не имеются. Уравнения, выведенные исследователями до Минакова, получаются из уравнений (3) как частные случаи. Так, например, для случая однородной нерастяжимой плоской нити имеем два таких уравнения:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial s^2} - \frac{T}{\rho^2} = -m_0\left(\omega^2 + \frac{\partial F_1}{\partial s} - \frac{F_2}{\rho}\right),$$
$$\frac{1}{T}\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{T^2}{\rho}\right) = m_0\left(\varepsilon - \frac{\partial F_2}{\partial s} - \frac{F_1}{\rho}\right). \tag{4}$$

Первое из этих уравнений было получено в 1900 г. Флокэ.

Далее А. П. Минаков рассматривает стационарное движение нити, под которым он понимает следующее.

Пусть кривая, форму которой имеет нить, перемещается в пространстве поступательно, не меняя своей конфигурации, а сама нить движется вдоль этой кривой. Другими словами, нить как бы движется в жесткой гладкой трубочке, которая перемещается поступательно в пространстве. Такое движение назовем стационарным.

Скорость $\mathbf{v}$ такого движения можно представить как сумму двух скоростей: $\mathbf{v} = \mathbf{a} + \mathbf{u}$, где $\mathbf{a}$ — переносная поступательная скорость (скорость трубочки), а $\mathbf{u}$ — относительная скорость (скорость нити вдоль трубочки).

А. П. Минаков получает следующие уравнения стационарного движения нерастяжимой нити:

$$\frac{1}{m_0}\frac{\partial T^*}{\partial s} = \dot{a}_1 + \dot{u} - F_1,$$
$$\frac{1}{m_0}\frac{T^*}{\rho} = \dot{a}_2 - F_2, \tag{5}$$
$$0 = \dot{a}_3 - F_3,$$

где $T^* = T - m_0 u^2$.

Если продольное движение нити равномерное, то, введя обозначение $m_0(\mathbf{F} - \mathbf{a}) = m_0\mathbf{F}^*$, получим такие уравнения:

$$\partial T^*/\partial s = -m_0 \mathbf{F}_1{}^*, \tag{6}$$
$$T^*/\rho = -m_0 F_2{}^*,$$
$$0 = -m_0 F^*.$$

Получаются уравнения, имеющие вид уравнений равновесия. Анализируя их, можно прийти к такому выводу.

Если нерастяжимая идеальная нить движется вдоль себя равномерно и, кроме того, переносно поступательно, то ее форма и распределение натяжений удовлетворяют уравнениям равновесия при условии, что к силам добавлены соответствующие силы инерции переносного движения, а натяжение увеличено во всех точках нити на одну и ту же величину $m_0 u^2$. Само собой разумеется, что если и переносное движение равномерно, то в правых частях уравнений (6) будут стоять только обычные силы. Другими словами, если нерастяжимую однородную идеальную нить или цепочку, движущуюся равномерно вдоль себя, поместить в некоторое силовое поле, то она сохранит форму той кривой, которую она имела бы при отсутствии продольного движения; это остается справедливым даже при равномерном поступательном перемещении этой кривой в пространстве. Натяжение увеличивается при этом (по сравнению со статическим) на величину $m_0 u^2$.

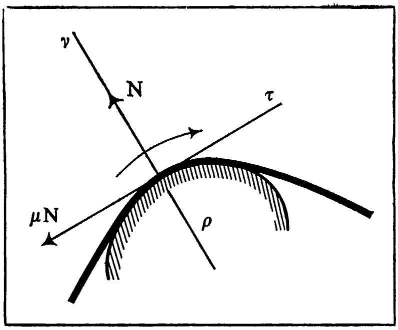


Рис. 9

Из сказанного вытекает следующее. Так как при полном отсутствии сил F нить, не движущаяся вдоль себя, может иметь любую форму, то и продольно движущаяся нить будет в этих условиях и при известной скорости (эта скорость совпадает со скоростью распространения вдоль нити поперечной волны) устойчиво сохранять любую приданную ей форму (эффект Эйткина—Радингера «пластичности» или «вязкости» нитей и цепей). Таким образом, если цепочку, движущуюся продольно с надлежащей скоростью, уложить на совершенно гладкой горизонтальной плоскости, то она может устойчиво сохранять приданную ей форму, как бы протекая в воображаемой изогнутой трубочке.

Далее А. П. Минаков рассматривает ударные воздействия на нить и некоторые вопросы статики растяжимой идеально гибкой нити. В последнем разделе он получает формулы, из которых как частный случай сразу следуют классическая формула Эйлера: $T = Ce^{\mu\varphi}$, а также уравнение формы равновесия упругорастяжимой (по Гуку) тяжелой однородной нити — уравнение обычной цепной линии.

В конце первого раздела А. П. Минаков разбирает ряд примеров и задач. В них он показывает, как применяется изложенная им теория в некоторых простых случаях, имеющих практическое значение. Он дает методику постановки задачи, составляет уравнения, определяет интеграционные константы, не углубляясь особенно в вычисления и ограничиваясь получением общих решений.

В примере 1 рассматривается движение и натяжение нити, скользящей вдоль плоской неподвижной шероховатой кривой (рис. 9). Формулы выводятся в предположении, что скорость нити и коэффициент удлинения α невелики ($\partial f/\partial t = 0$). Получив общее выражение, связывающее натяжение нити и угол охвата ею неподвижной кривой, исследователь останавливается далее на двух частных случаях. Один из них такой. Упругорастяжимая нить перекинута через шероховатый неподвижный круг. Тогда радиус кривизны $\rho = R = \text{const}$ и общее уравнение принимает вид

$$\mu d\varphi = \frac{(1+\alpha T)\,\partial T}{T(1+\alpha T) + \frac{m_0 bR}{\mu} - m_0 v^2} = \frac{(1+\alpha T)\,\partial T}{T(1+\alpha T) + \frac{R}{\mu}\left(m_0 b - \mu\frac{m_0 v^2}{R}\right)}.$$

Здесь μ — коэффициент трения, а b — продольное ускорение нити. Обозначив $n = \frac{R}{\mu}\left(\frac{m_0 v^2}{R} - m_0 b\right)$, получим

$$\mu\varphi = \int \frac{T\alpha + 1}{\alpha T^2 + T - n}\,\partial T + C \tag{7}$$

или

$$2\mu\varphi = \ln(\alpha T^2 + T - n) + \frac{1}{2\sqrt{n\alpha + 0{,}25}}\ln\left(\frac{\sqrt{n\alpha + 0{,}25} - 0{,}5 - \alpha T}{\sqrt{n\alpha - 0{,}25} + 0{,}5 + \alpha T}\right) + C. \tag{8}$$

Так как эта формула, связывающая натяжение нити и угол охвата ею окружности, верна и для случая $u = 0$, т. е. для случая покоя нити или для такого мгновения, когда $v = \sqrt{bR}$, то в этих случаях общее уравнение (8) переходит в следующее: $Ce^{2\mu\varphi} = -\alpha T^2$, откуда, определив постоянную, находим формулу Эйлера. Таким образом, формула Эйлера оказывается верной и для случая растяжимой (по Гуку) нити. Это кажется парадоксальным, но не надо забывать, что так как нить растянута, то охватываемый ею угол соответствует меньшему углу нерастянутой нити.

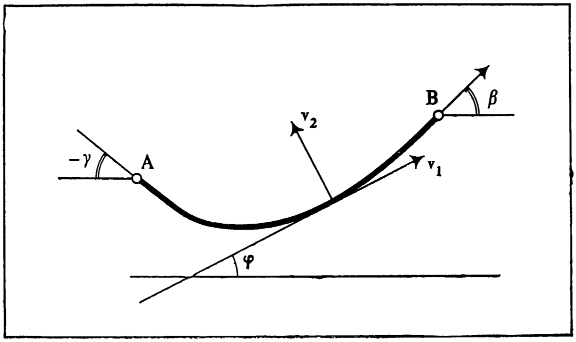


Рис. 10

Исследуя уравнение (8), можно также прийти к выводу, что в случае движущейся неравномерно или начинающей двигаться нити натяжение в ней существует даже при отсутствии натяжения на заднем конце нити ($T_0 = 0$).

В примере 3 разбирается следующая задача.

Однородная нить AB провисает под действием силы тяжести (рис. 10). К концу нити B прилагают тангенциальный рывок. Найти распределение натяжений, возникающих в нити в момент рывка, а также направление мгновенных скоростей всех ее точек.

Решив эту задачу, Минаков находит закон распределения ударных натяжений вдоль нити в зависимости от угла φ наклона касательной:

$$T = \frac{\cos\gamma + (\gamma+\varphi)\sin\gamma}{\cos\gamma + (\gamma+\beta)\sin\gamma}\,\frac{\cos\beta}{\cos\varphi}\,T_B = \frac{1+(\gamma+\varphi)\operatorname{tg}\gamma}{1+(\gamma+\beta)\operatorname{tg}\gamma}\,\frac{\cos\beta}{\cos\varphi}\,T_B. \tag{9}$$

Заменяя φ через $\operatorname{arctg}(s/a)$, он получает закон распределения натяжения как функцию дуги s, отсчитываемой от самой нижней точки нити:

$$T = \frac{1+\operatorname{tg}\gamma\,[\operatorname{arctg}(s/a)+\gamma]}{1+(\gamma+\beta)\operatorname{tg}\gamma}\cos\beta\sqrt{1+\frac{s^2}{a^2}}\,T_B. \tag{10}$$

Исследуя эту формулу для некоторых значений угла φ, можно получить:

а) натяжение ударное на закрепленном конце нити

$$T_{-\gamma} = T_B\,\frac{\cos\beta}{(\gamma+\beta)\sin\gamma+\cos\gamma};$$

б) натяжение для нижней точки нити ($\varphi = 0$)

$$T_0 = T_B \frac{\gamma \sin \gamma + \cos \gamma}{(\gamma + \beta) \sin \gamma + \cos \gamma} \cos \beta;$$

в) если оба конца нити закреплены на одном уровне ($\gamma = \beta$), то натяжение на концах

$$T = \frac{\cos \beta + (\beta + \varphi) \sin \beta}{\cos \beta + 2\beta \sin \beta} \frac{\cos \beta}{\cos \varphi} T_B.$$

Исследуя, наконец, влияние точки приложения рывка, т. е. исследуя натяжение T как функцию угла β, Минаков приходит к такому важному выводу: один и тот же тангенциальный рывок сказывается тем сильнее, чем ниже он приложен к провисающей нити. Поэтому если равномерно бегущая вдоль себя тяжелая нить зацепится в нижней точке, то опасность обрыва нити гораздо больше, чем в случае такого же зацепления в какой-либо другой, более высоко расположенной точке.

Для скорости получается

$$v_x = c_1 \cos^2 \varphi = \mathrm{const}/\rho, \tag{11}$$

т. е. горизонтальные скорости точек нити пропорциональны кривизне нити в этих точках; кроме того, очевидно, что горизонтальные скорости одинаковы на одном уровне, возрастая от нижней точки, где $v_x = c_1$.

Вертикальные компоненты скоростей

$$v_y = v_1 \sin \varphi + v_2 \cos \varphi = \frac{1}{2} c_1 \sin 2\varphi + (c_1 \varphi + c_2). \tag{12}$$

Таким образом, вертикальные проекции скоростей неодинаковы для углов $-\varphi$ и φ. Для $\varphi = 0$ $v_y = c_2$, и это значение является максимальным для вертикальных скоростей.

В примере 6 Минаков рассматривает натяжения, возникающие в баллоне кольцевого ватера вследствие некоторых рывков. Вначале он намечает путь, следуя которому можно изучить действие рывков в баллоне кольцевого ватера и других текстильных машин, и разбирает два явления.

1. Бегунок B (рис. 11, a) внезапно застревает на кольце. В этом случае происходит, во-первых, рывок вследствие продолжающихся круговых движений точек нити (благодаря инерции), во-вторых, рывок вследствие мгновенного возрастания скорости пробегания нити сквозь

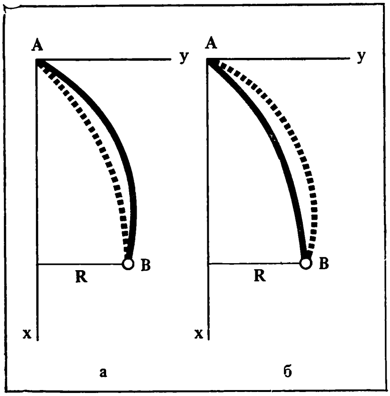


Рис. 11

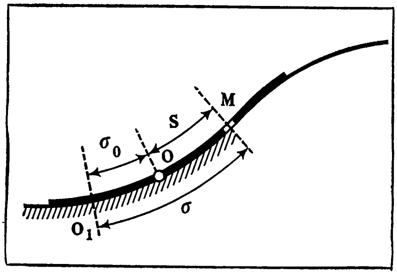


Рис. 12

остановившийся бегунок, которое ведет к «спадению» баллона (пунктирная линия на рис. 11, *а*). Исследователь ограничивается рассмотрением последнего явления, которое формулируется так: верхняя точка A (у глазка) нити как бы неподвижна, а нижняя (у бегунка) испытывает внезапный тангенциальный рывок T_1 вследствие усиленного наматывания нити на веретено. Условия на концах баллонной кривой в данном случае таковы: натяжение у бегунка равно ударному импульсу (рывку), а продольная относительная скорость v_1 нити в глазке отсутствует, т. е. $T_B = T_1$, а $(v_1)_A = 0$.

2. Нить внезапно застревает в бегунке, переставая пробегать сквозь него. В данном случае имеется следующая картина относительного движения нити (рис. 11, *б*): в точке B нить как бы закреплена, но в точке A подача нити продолжается, и баллон поэтому раздувается (показан пунктиром на рисунке 11, *б*). Условия на концах нити теперь таковы: $T_A = 0$ и $(v_1)_B = 0$.

Решая данную задачу, Минаков получает следующее: 1) рывок со стороны бегунка распределяется вдоль баллонного участка нити по закону гиперболического косинуса; 2) влияние рывка тем меньше, чем: а) больше угол θ_1 полного искривления баллонной кривой, т. е. угол между касательными на ее концах, б) больше статическое натяжение. Таким образом, при больших искривлениях баллонной кривой и при больших скоростях рывки сказываются, по-видимому, меньше (при прочих равных условиях). Этот вывод объясняется увеличением силы инерции нити.

Второй раздел своей работы, озаглавленный «Стационарные движения гибкой нерастяжимой нити», Минаков начинает, как всегда, с определений.

Пусть гибкая нерастяжимая нить, свободная на всем своем протяжении (за исключением концов или отдельных точек, или участков, где нить находится в соприкосновении с движущими или направляющими приспособлениями), скользит вдоль себя в некотором силовом поле, все время сохраняя форму некоторой неизменной кривой C (плоской или двоякой кривизны), которая, в свою очередь, перемещается в пространстве относительно неподвижной системы координат $0xyz$.

1. Если нить, скользя продольно, все время сохраняет форму некоторой неподвижной кривой, то движение нити называется кажущимся покоем (repos apparent по Резалю и Леотэ), а кривая C — фигурой кажущегося покоя.

2. Если кривая C, форму которой все время сохраняет бегущая нить, перемещается относительно неподвижного пространства поступательно, то движение нити назовем стационарным.

3. Если, наконец, кривая C движется как угодно, то такой процесс назовем обобщенным стационарным.

Далее А. П. Минаков дает общий метод исследования стационарных движений нити или цепочки.

Пусть в точке 0_1 (рис. 12) геометрической кривой, вдоль которой скользит цепочка или нить, находится начало отсчета криволинейной координаты σ точек движущейся нити; пусть σ_0 — координата подвижного начала 0, взятого в произвольной точке самой нити, а s — относительная координата точек нити. Тогда $\sigma(t, s) = \sigma_0(t) + s$. Отсюда

$$d\sigma = \frac{\partial\sigma}{\partial t}\,dt + \frac{\partial\sigma}{\partial s}\,ds = \left(\frac{\partial\sigma_0}{\partial t} + \frac{\partial s}{\partial t}\right)dt + \partial s. \qquad (13)$$

Если нить нерастяжима, то $\partial s/\partial t = 0$ и

$$d\sigma = \frac{\partial\sigma_0}{\partial t}\,dt + ds = v\,dt + ds, \qquad \sigma = s = \int v\,dt.$$

Напишем естественные уравнения первого порядка (уравнения 6 из первой части работы):

$$T^*/\rho = -m_0Q_2, \qquad \partial T^*/\partial\sigma = -m_0Q_1 + m_0b. \qquad (14)$$

Здесь $T^* = T - m_0v^2$; $\mathbf{Q} = \mathbf{F} - \mathbf{a}$; $b = \dot{v} = \ddot{\sigma}$; $\rho = \partial\sigma/\partial\varphi = \partial s/\partial\varphi$.

Введя обозначение $(Q_1 - b)/Q_2 = \Phi$ и разделив первое уравнение (14) на второе, получим

$$T^* = C \exp \int \Phi d\varphi. \tag{15}$$

Теперь можно найти радиус кривизны из первого уравнения (14):

$$\rho = -\frac{C}{m_0 Q_2} \exp \int \Phi\, d\varphi. \tag{16}$$

Затем Минаков преобразует это выражение, играющее центральную роль в его исследовании.

Прежде всего: $\frac{1}{Q_2} = \exp(-\ln Q_2) = \exp\left(-\int \frac{Q_2'}{Q_2}\, d\varphi\right)$, где штрихом обозначена производная Q_2 по φ.

Следовательно, $\rho = \frac{C}{m_0} \exp \int \frac{Q_1 - Q_2' - b}{Q_2}\, d\varphi$. Обозначив $(Q_1 - Q_2' - b)/Q_2 = \Psi$, окончательно получаем

$$\rho = \frac{C}{m_0} \exp \int \Psi\, d\varphi. \tag{17}$$

В отличие от Августа и Аппеля общим и основным критерием стационарности движения нити Минаков считает условие, что радиус кривизны нити не зависит от времени и является функцией только угла φ. Из этого вытекает, что функция Ψ (Минаков называет ее определяющей функцией) должна быть также только функцией этого же угла φ.

Вводя тангенциальный и нормальный орты, Минаков преобразует определяющую функцию к виду

$$\Psi = \frac{(2Q_x - Q_y') \cos\varphi + (2Q_y + Q_x') \sin\varphi - b}{Q_y \cos\varphi - Q_x \sin\varphi}.$$

Так как переносное движение нити поступательное, то $a_x' = a_y' = 0$, и окончательно получаем

$$\Psi = \frac{[2(F_x - a_x) - F_y'] \cos\varphi + [2(F_y - a_y) + F_x'] \sin\varphi - b}{(F_y - a_y)\cos\varphi - (F_x - a_x)\sin\varphi}. \tag{18}$$

Итак, для существования кажущегося покоя и стационарного движения с поступательным переносным движением необходимо, чтобы функция Ψ (формула 18), где F, a и b являются функциями времени, не зависела от времени t. В этом главный вывод проведенного исследования.

Форма кривой при этом определяется следующим натуральным уравнением:

$$\rho = \frac{C}{m_0\,[(F_y - a_y)\cos\varphi - (F_x - a_x)\sin\varphi]} \exp \int \Phi\, d\varphi, \qquad (19)$$

а натяжение нити — формулой

$$T = m_0 v_0^2 + C \exp \int \Phi d\varphi, \qquad (20)$$

где

$$\Phi = \frac{(F_x - a_x)\cos\varphi + (F_y - a_y)\sin\varphi - b}{(F_y - a_y)\cos\varphi - (F_x - a_x)\sin\varphi}. \qquad (21)$$

Функция Φ получила в литературе по механике нити название функции Минакова.

Анализируя формулы (19) — (21), легко установить, что они симметричны (с точностью до знака при ускорении b) относительно величин **F** и **а**. Отсюда, между прочим, можно сделать следующее заключение.

Если силовое поле отсутствует, а переносное движение равнопеременно, так же как и продольное скольжение нити, то основное условие для функции Ψ выполняется, а форма нити определяется функцией

$$\Phi = \frac{a_x \cos\varphi + a_y \sin\varphi + b}{a_y \cos\varphi - a_x \sin\varphi}, \qquad (22)$$

где a_x, a_y и b — постоянные величины.

Если переносное движение отсутствует или оно равномерно, а нить скользит вдоль себя опять-таки равнопеременно, то в стационарном (не зависящем от времени) силовом поле основное условие выполняется, а функция Φ будет иметь такой вид:

$$\Phi = \frac{F_x \cos\varphi + F_y \sin\varphi - b}{F_y \cos\varphi - F_x \sin\varphi}, \qquad (23)$$

где F_x и F_y — функции от φ, а b — постоянная величина. Если стационарное силовое поле будет, кроме того, параллельно и однородно, то F_x и F_y также будут постоянными величинами, и тогда формула (23) будет совпадать с формулой (22).

Таким образом, исследователь приходит к выводу, что при равнопеременном или равномерном скольжении нити вдоль себя ее форма и натяжение будут одинаковыми при равнопеременном переносном движении в отсутствие сил и при равномерном переносном движении (или в покое) в соответствующем стационарном однородном параллельном силовом поле.

Далее А. П. Минаков показывает, как из выведенных им формул можно получить случаи, изученные Резалем, Леотэ, Августом и Аппелем. Затем он рассматривает всевозможные частные случаи движения нити при различных видах силового поля или отсутствии такового.

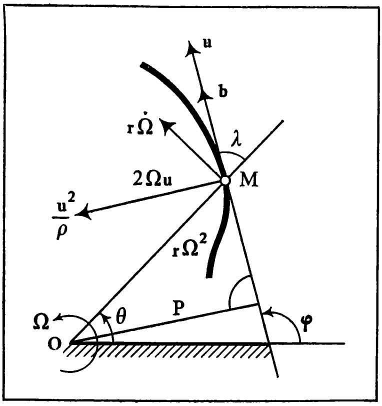


Рис. 13

Работа заканчивается распространением найденного метода исследования на обобщенные стационарные движения нити, когда переносное движение не поступательное, а, например, вращательное. Тогда каждый элемент нити имеет пять ускорений (рис. 13): относительное тангенциальное $b = \dot{u} = \ddot{\sigma}$, относительное нормальное u^2/ρ, переносное тангенциальное $r\dot{\Omega}$, переносное нормальное $r\Omega^2$ и ускорение Кориолиса $2u\Omega$.

Натуральные проекции ускорения a_1 и a_2 элемента нити запишутся так:

$$a_1 = \dot{\Omega} r \sin\lambda - \Omega^2 r \cos\lambda = \dot{\Omega} p - \Omega^2 p',$$

$$a_2 = \dot{\Omega} r \cos\lambda + \Omega^2 r \sin\lambda + 2u\Omega = \\ = \dot{\Omega} p' + \Omega^2 p + 2u\Omega.$$

Здесь r — радиус-вектор элемента нити, проведенный из центра вращения; λ — угол между r и касательной к нити; Ω — угловая скорость переносного вращения; $\dot{\Omega}$ — угловое ускорение; u — относительная скорость, т. е. скорость продольного скольжения нити; p и p' имеют прежнее значение.

Определяющая функция и функция Φ в разбираемом случае имеют вид:

$$\Psi = \frac{a_1 - F_1 - a_2' + F_2' + b}{a_2 - F_2} = \frac{-2\Omega^2 p' + (p - p'')\dot{\Omega} + b - F_1 + F_2'}{\Omega^2 p + \dot{\Omega} p' + 2u\Omega - F_2},$$

$$\Phi = \frac{-\Omega^2 p' + p\dot{\Omega} + b - F_1}{\Omega^2 p + \dot{\Omega} p' + 2u\Omega - F_2}.$$

Заканчивая обзор основного научного труда А. П. Минакова, необходимо отметить, что, несмотря на свой небольшой объем, эта была своеобразная энциклопедия по механике нити. Многим ученым работа А. П. Минакова послужила основой для дальнейших исследований.

В других работах по механике нити А. П. Минаков решил ряд инженерных задач, порожденных требованиями практики.

Глава 3

Педагогические воззрения

Андрей Петрович Минаков опубликовал всего две небольшие статьи, в которых частично сформулировал свое кредо преподавателя. Более подробно о своих взглядах на процесс преподавания А. П. Минаков рассказывал на лекциях по методике, которые он читал студентам университета, и в выступлениях, предназначенных для профессорско-преподавательского состава.

Что же говорил Андрей Петрович? В чем суть его метода преподавания?

Если попытаться кратко охарактеризовать систему преподавания Минакова, то можно сказать, что она представляла собой своеобразное сочетание систем двух великих педагогов: А. С. Макаренко и К. С. Станиславского. У Макаренко Андрей Петрович заимствовал основной принцип — «как можно больше требования к человеку и как можно больше уважения к нему» [1]. Так же как Макаренко, Андрей Петрович стремился видеть в человеке все самое лучшее: прежде всего его положительные качества, задатки и силы. А. П. Минаков говорил: «Если человек не раскрыл вам душу, не сказал всю правду, то это не потому, что он плох, а просто вы не сумели к нему подойти».

Так же как Макаренко, Андрей Петрович считал, что преподаватель «должен работать над собой как личностью, как человеком; он должен воспитывать прежде всего себя — предъявлять к себе строгие требования в отношении собственной дисциплины, честности, бескорыстности и, вообще, всех тех качеств, которыми должен быть наделен гражданин нашей великой Родины. Наконец, он должен любить свой предмет, свою работу и свою аудиторию и гореть перед нею живым пламенем научной страстности» [2].

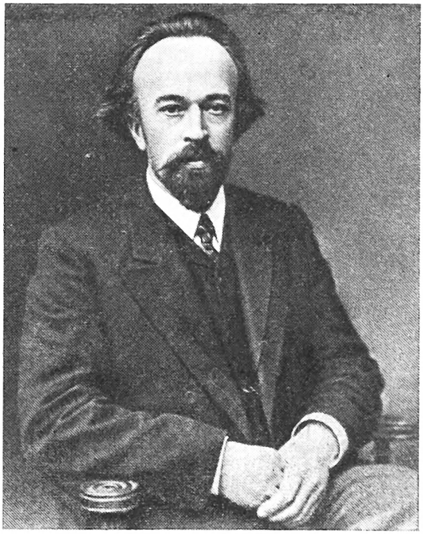
Андрей Петрович Минаков, так же как Макаренко, ратовал за внимание к каждой личности и говорил, что никакое педагогическое действие не может быть одинаково хорошо во всех случаях жизни. Средство воздействия должно быть так же индивидуально, как индивидуален объект воспитания.

Наконец, А. П. Минаков был солидарен с Макаренко в том, что цель воспитательной работы определяется закономерностями общественного развития, задачами борьбы советского народа за коммунизм, политикой Коммунистической партии и Советского государства в области коммунистического воспитания.

Переходя к характеристике второй грани педагогической системы Минакова, надо сказать, что он видел немало общего в работе преподавателя и артиста. Он писал: «Педагог обязан очено много трудиться для совершенствования себя как преподавателя; для этого ему нужно все время изучать не только свой предмет, его историю и философию, но и совершенствовать технику своего преподавания. В этом отношении деятельность педагога очень близка к деятельности артиста» [3].

Развивая эту мысль на лекциях по методике преподавания механики, А. П. Минаков приводил следующие слова К. С. Станиславского, относящиеся к артистам драматических театров: «Пусть объяснят мне, почему скрипач, играющий в оркестре первую или десятую скрипку, должен ежедневно, целыми часами делать экзерсисы? Почему танцор ежедневно работает над каждым мускулом своего тела? Почему художник, скульптор ежедневно пишет и лепит и пропущенный без работы день считает погибшим, а драматическому артисту можно ничего не делать, проводить день в кофейнях, среди милых дам, а по вечерам надеяться на подаяние свыше и протекцию Аполлона?» [4] Так и преподаватель, продолжал Андрей Петрович, не может надеяться на наитие, на то, что он каждый раз будет «в ударе». Надо тренировать себя, оттачивая свое мастерство оратора и артиста. Да, артиста... Потому что совершение лекции — это артистический акт.

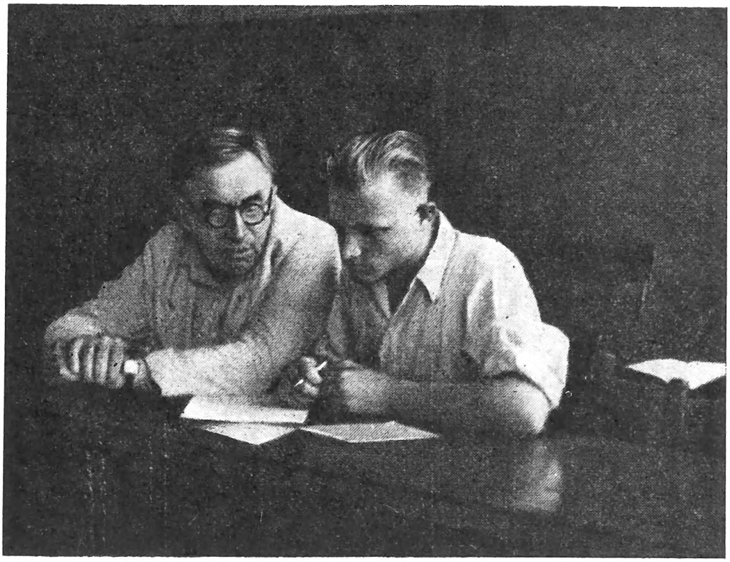
А. П. Минаков указывал на определенную аналогию между лектором, рассказывающим в сотый раз, скажем,



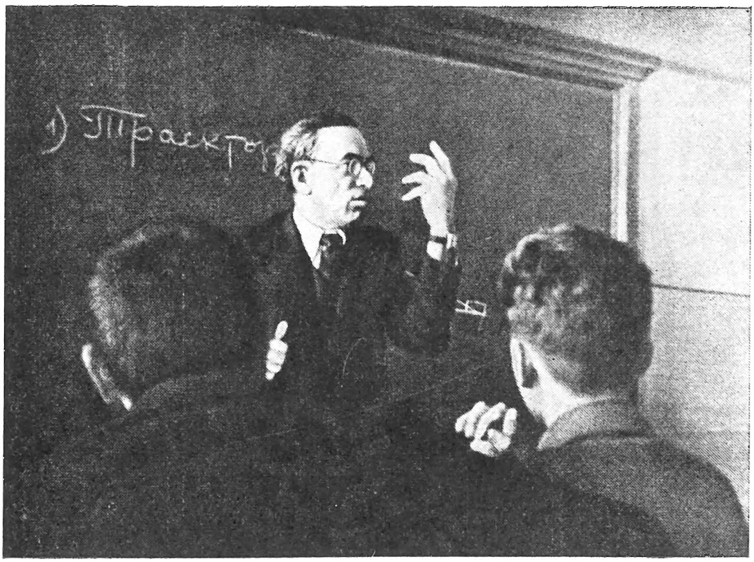
Петр Андреевич Минаков, 1909 (?) г.

Любовь Алексеевна Минакова с сыновьями Андреем и Сергеем, 1902 (?) г.

Группа профессоров, покинувших в 1911 г. Московский университет. Сидят: В. П. Сербский, К. А. Тимирязев, Н. А. Умов, П. А. Минаков, А. А. Мануйлов, М. А. Мензбир, А. Б. Фохт, В. Д. Шервинский, В. К. Цераский, Е. Н. Трубецкой. Стоят: И. П. Алексинский, В. К. Рот, Н. Д. Зелинский, П. Н. Лебедев, А. А. Эйхенвальд. Г. Ф. Шершеневич, М. В. Хвостов, А. С. Алексеев, Ф. Н. Рейн, Д. М. Петрушевский, Б. К. Млодзеевский, В. И. Вернадский, С. А. Чаплыгин, Н. В. Давыдов. Снимок сделан весной 1911 г.



А. П. Минаков принимает экзамен, 1949 г.



А. П. Минаков читает лекцию, 1949 г.

А. П. Минаков на даче, 40-е годы

Дом на Смоленском бульваре в Москве,
в котором жил А. П. Минаков. Публикуется впервые

о трении, и актером, играющим в сотом спектакле. В связи с этим Андрей Петрович опять вспоминал К. С. Станиславского: «Как уберечь роль от перерождения, от духовного омертвения, от самодержавной актерской набитой привычки и внешней приученности? Нужна какая-то духовная подготовка перед началом творчества, каждый раз, при каждом повторении его. Необходим не только телесный, но, главным образом, и духовный туалет перед спектаклем» [5]. О таком «духовном туалете» перед каждой лекцией и напоминал А. П. Минаков.

Андрей Петрович любил цитировать Станиславского. Он говорил о «творческом самочувствии» по Станиславскому, о его «мало таланта — нужна техника» и о его «не верю», когда потерян контакт с аудиторией. И в этом частом цитировании К. С. Станиславского отчетливо прослеживалась связь педагогических воззрений двух замечательных людей.

В лекциях по методике преподавания А. П. Минаков рассказывал о том, как надо читать лекции, решать задачи на упражнениях, вести консультации и т. п. Вот его высказывания.

...Лектор — это дирижер. Он должен уметь управлять аудиторией. Слушатели должны ловить каждое ваше слово, быть внимательными и благодарными. А для этого нужно думать перед каждой лекцией и готовиться к каждой лекции. Необходима режиссура лекции.

При чтении лекции нет мелочей. Все одинаково важно и имеет значение. Как одет лектор, громко или тихо он говорит, суетлив или спокоен. Большое значение имеет культура речи. Если вы делаете грамматические ошибки в общеизвестных словах или неправильно ставите ударение (например, говорите мóлодежь), неуспех лекции предрешен.

При чтении лекций имеет значение: как вы вошли в аудиторию, удалось ли вам установить контакт со слушателями, зрительное воздействие на них (использование доски, жесты, мимика), слуховое воздействие (высота и тембр голоса, дикция, интонация, паузы) и т. д.

На лекцию оказывает влияние: читается ли она летом или зимой, в солнечный или пасмурный день, в большой или маленькой аудитории. Известно, например, что академик А. Н. Крылов специально ездил смотреть помещение, где ему предстояло выступать.

Читая лекцию, необходимо помнить, что вы рассказываете в сотый раз, вам все ясно, но это не значит, что слушателям все ясно.

Каждая лекция должна читаться «на подъеме». Если вам во время лекции скучно, то слушателям в десять раз скучнее.

Лекцию, говорил А. П. Минаков, нужно строить как художественное произведение. В ней обязательно должны быть завязка, развитие сюжета, развязка. И это несмотря на то, что лекцию нельзя рассматривать как законченное произведение, ведь она только часть курса, его кусок. Тем не менее лекцию нужно строить по определенной эмоциональной кривой так, чтобы интерес к излагаемому материалу непрерывно нарастал.

«Что такое эмоция, это понятно. То настроение, которое должно пройти через всю лекцию. Для чтого чтобы быть более понятным, я бы сказал, что во всяком произведении, возьмите, например, драматическое произведение, всегда есть определенная кривая. Вы знаете, что в прошлое время полагалось, чтобы в третьем действии была максимальная эмоция, центральное действие. Так построены драмы Шиллера...

Возьмите известное стихотворение Пушкина «Песнь о вещем Олеге». Какая там эмоция? Где центр этого произведения? Центр, конечно, тот момент, когда Олег наступает на череп. «Гробовая змия шипя между тем выползала, как черная лента, вкруг ног обвилась: и вскрикнул внезапно ужаленный князь». Вот где максимум, и все стихотворение должно читаться с расчетом дать в этом месте максимальную экспрессию... Если продумать каждую лекцию, то в каждой лекции можно найти эмоциональную кривую и, базируясь на этой эмоциональной кривой, строить все чтение данной лекции» [6].

Далее Андрей Петрович рассказывает о том, как можно поступить, если в лекции надо сделать на чем-либо акцент, ударение.

«Приходит человек на зачет. Вы его спрашиваете: «Что такое поступательное движение?» «Поступательным движением называется такое, при котором прямая перемещается параллельно самой себе». «Как вы говорите?» — переспрашиваете. «Такое движение, при котором прямая перемещается параллельно самой себе».

Тогда вы рисуете окружность и говорите: «Это вал. Виден с торца. Прямая мелом начерчена вдоль вала. Вал вращается, прямая перемещается параллельно самой себе. Что это движение поступательное?»

Мгновенная бледность покрывает лицо студента. «Нет, не поступательное». «А какое?» «Вращательное». «А вы сказали, что поступательное движение — такое, при котором прямая перемещается параллельно самой себе».

Кто виноват? Педагог. Не сделал ударение на слове «всякая». Одна прямая может перемещаться параллельно самой себе, а надо — всякая. Надо было, когда читал лекцию, закричать на слове *всякая*. Поступательным движением называется такое, при котором всякая прямая... Но интонация в тетради исчезает. Поэтому надо говорить: «Подчеркните слово». Еще лучше выпустить это слово совсем, а потом сказать, что виноват, я забыл, впишите, пожалуйста. Тогда получается, что это слово написано сверху, над строкой. Значит, оно нужно. Если преподаватель испортил красоту в тетради, значит, это важно.

Обычно так и делаешь. Диктуешь. Написали? Что написали? Прочтите. Виноват, забыл самое важное — «всякая». Запомнят на всю жизнь. И кричал, и пропустил!» [7]

Входя в аудиторию, говорил А. П. Минаков, и зная свое первое слово, вы должны знать и последнее. Конец лекции должен быть так же продуман, как и начало.

Сам Андрей Петрович никогда не начинал лекцию сразу, что называется «от дверей». Вначале он задавал какие-то малозначащие вопросы, шутил, выясняя настроение слушателей, «атмосферу» аудитории, и только потом произносил первую фразу. Часто она бывала очень неожиданной.

Андрей Петрович учил, что никогда не надо занимать перерыв. Его надо «свято» соблюдать. Если по какой-либо причине лекция читается без перерыва, то необходимо делать психологические паузы, рассказывая время от времени занимательные истории, хотя бы косвенно относящиеся к предмету.

А. П. Минаков большое внимание уделял подбору интересных запоминающихся примеров, иллюстрирующих лекцию. С некоторыми из них вы познакомитесь в следующей главе, в которой сделана попытка показать, как практически воплощались в жизнь взгляды Андрея Петровича на лекторское искусство.

К интересному иллюстративному материалу относятся также отрывки из художественных произведений, которые часто приводил на своих лекциях А. П. Минаков.

Так, например, рассказывая об относительности движения, Андрей Петрович обязательно цитировал стихотворения А. С. Пушкина и М. В. Ломоносова.

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.
Другой смолчал и стал пред ним ходить,
Сильнее бы не мог он возразить;
Хвалили все ответ замысловатый.
Но, господа, забавный случай сей
Другой пример на память мне приводит:
Ведь каждый день пред нами солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей[8].

Случились вместе два Астронома в пиру
И спорили весьма между собой в жару.
Один твердил: «Земля вертясь, круг Солнца ходит»;
Другой, что Солнце все с собой планеты водит.
Один Коперник был, другой слыл Птоломей.
Тут повар спор решил усмешкою своей.
Хозяин спрашивал: «Ты звезд теченье знаешь?
Скажи, как ты о сем сомненье разсуждаешь?»
Он дал такой ответ: «Что в том Коперник прав,
Я правду докажу, на Солнце не бывав.
Кто видел простака из поваров такова,
Который бы вертел очаг кругом жаркова?»[9]

Большое значение А. П. Минаков придавал режиссуре лекции и домашней репетиции ее. Вот что он говорил по этому поводу (а также о диктовке и прочем).

Итак, продумано содержание лекции, намечена эмоциональная кривая, разработаны чертежи, подобраны примеры, выбраны доказательства. Что следует за этим? Теперь начинается режиссура формы.

Тут трудно сказать, как это делать. Можно сказать, *что* делать, а *как* делать — нет однозначного решения.

Как только вы заготовили в сыром виде всю лекцию, то прежде всего узнайте, в какой аудитории и на какой доске будете писать. Первое — это режиссура расположения текста на доске. Нужно знать, какого размера доска, где вы начнете писать, где начнете чертить и т. д.

Второе — тоже очень важная вещь — режиссура входа в аудиторию. Как войти в нее, если она очень большая? Сейчас дело идет к тому, чтобы аудитории были на 150—200 человек. Как молодому, неопытному (или даже опытному) преподавателю войти в аудиторию, где сидит масса людей, съехавшихся со всех концов нашего Союза в Москву, в вуз?

Нужно дома обдумать, как вы войдете, как будете держаться, что скажете. Надо также знать, как войти на *данную* лекцию. Это в значительной степени определит ее окраску, тональность. Аудитория — очень точный инструмент, отражающий настроение лектора.

Если преподаватель приходит на лекцию к студентам, которые уже пять-шесть часов занимались, то он должен дать им отдых, какую-то разрядку, не сразу начинать.

Надо все продумать до мельчайших подробностей. Можно войти, например, как Поливанов, который появлялся в аудитории с шумом, ронял книжки; иногда мрачный, злой. Это был настоящий актер!..

Третий важный момент — режиссура жеста. Надо заранее подумать, нельзя ли помочь пониманию жестом? Каждую теорему нужно продумать с точки зрения иллюстрации ее жестом.

Когда жест прорежиссирован, остается решить вопрос об интонации. Она неразрывно связана с изложением. Нужно решить, какую дать интонацию в каждом месте данной лекции, где и какое сделать ударение. Интонация очень важна, ведь при помощи ее можно даже дать слушателям отдохнуть прямо во время лекции.

Теперь о репетиции лекции.

Итак, вы все подготовили. Продумали содержание лекции, интонацию, жест, вход в аудиторию, выход из нее. Остается выучить, когда, что и как делать. Прежде всего нужна чисто формальная репетиция, необходимо проверить: способны ли вы все быстро вспомнить.

После того как прорепетировано содержание лекции, начинается репетиция всего того, что вы выдумали: интонации, жеста и т. д. Затем надо положить часы на стол и еще раз все воспроизвести. Это важно потому, что молодой преподаватель, как правило, не обладает чувством времени. Он напряжен, полчаса ему кажутся за десять минут, и вдруг трах — звонок на самом интересном месте. А у вас на доске громоздкий чертеж. Значит, следующая лекция должна начаться с того, что вы будете вынуждены воспроизвести весь сложный чертеж сначала. Вы чертите на доске, а они (студенты) скучают — ведь у них в тетрадях чертеж уже есть. Вот десять минут и пропало. Репетиция с часами в руках нужна для того, чтобы укладываться в определенное время.

Бывают два казуса с молодыми и неопытными преподавателями. Вы заготовили материал по вашим расчетам на четыре часа. Пришли, начали. Быстро и четко прорабатываете лекцию. Смотрите, все кончено, а еще осталось время. Что делать? Тут, кто заболевает, как вспоминает про срочное заседание... Но это ведь скандал!

А бывает наоборот. Заготовил лекцию на два часа, а оказалось — на четыре. Здесь многое зависит от вашего настроения, от состояния здоровья, других причин (времени года, часа дня и т. п.).

Я вам уже рассказывал о преподавателе Лахтине. Он кончал лекцию словами «что и требовалось доказать», и сразу же звенел звонок. Лахтин никогда не лазил в карман за часами, он точно знал время, он его инстинктивно чувствовал.

Это одно из необходимых лектору качеств — чувствовать время. Другое существенное условие, играющее большую роль в преподавании,— это поведение в аудитории.

Вошел преподаватель, схватил мел и сразу стал что-то писать на доске. Пишет, закрывая своей спиной от студентов то, что он там делает. Правой рукой пишет, а левой стирает. Нет, так преподавать нельзя! Лектор должен дать время себе и слушателям успокоиться, сосредоточиться; создать настроение. Обязательно надо напомнить, о чем была лекция в прошлый раз, сказать, о чем будет речь сегодня.

Если вы начинаете лекцию с чертежа, то надо сказать, куда пойдет чертеж: вверх, вниз, вправо, влево. А то, скажем, у студента в тетради конец страницы. Он начнет рисовать, а затем ему придется переносить чертеж на другую страницу, что создаст для него лишнюю работу. Или студент начнет писать справа от чертежа, а чертеж затем пойдет вправо, на написанное. Поэтому нужно предупредить, куда будет «развиваться» чертеж.

Есть лекторы, которые входят в аудиторию и прямо начинают: «Вводим функцию». Объясни сначала, зачем вводишь. А то бывает так, рассказывают студенты. Сидим полтора часа и не знаем, что это он такое доказывает.

Этим отличался, не в обиду ему будет сказано, Николай Егорович Жуковский. Он так велик как ученый, что задеть его немного как педагога не страшно. Он был настолько погружен в свои мысли, что «врал» на лекциях нещадно. Он никогда не готовился. Часто бывало так, что он начинал читать слушателям совсем не то, что надо было, и только через четверть часа спохватывался: «Это какой курс? Ах, такой-то!»

Следующий вопрос, на котором я хочу остановиться: нужно ли диктовать? Вопрос сложный, и в общем виде ответить на него, по моему мнению, невозможно. Надо всегда помнить: что хорошо для первого и второго курсов, то никуда не годится для пятого. Иначе можно развратить аудиторию. Слушатели отучатся сами думать. Нужна золотая середина. Необходимо учитывать, какой курс, какая подготовка слушателей и т. п.

Можно ли совсем не диктовать? Некоторые говорят, пусть студент, придя домой, конспективно запишет то, что он слышал на лекции. Это можно сделать, если студент слушал всего одну лекцию. Обычно же в день бывает две-три лекции по разным предметам. Можно ли запомнить такой большой объем материала, а затем дома все воспроизвести? Конечно, нет!

Я за диктант, но диктант своеобразный. Нужно все время заботиться об оживлении его, чтобы он не был скучным и ужасным. А это уже дело преподавательской техники.

Могут возразить, что диктант ведет к пассивности слушателей, что он отучает от самостоятельного мышления, лишает студента возможности выработать свой научный язык. Мне кажется, это опасение преувеличено. Когда конспект написан самим человеком, то от этого будет только польза, но никак не вред.

Можно коллективно обсудить, на каких курсах и по каким предметам диктовка допустима, а на каких курсах пора перестать это делать. Я бы предложил поступать следующим образом.

Вначале, на первом курсе, очень подробный диктант. Затем постепенно его можно делать менее подробным, но четкость параграфов, пунктов, нумерация формул должны сохраниться. Вы десять лет один предмет читаете, знаете его, как свои пять пальцев, а слушатели каждый день узнают десятки новых формул, относящихся к различным предметам. Можно ли надеяться, что через месяц они будут помнить все то, что вы им тогда рассказывали?

Вы говорите: «Как известно, формула такая-то». А где она? Слушатель должен перелистать всю тетрадь, чтобы найти эту формулу. Тетрадь рукописная. Студент может два часа ее перелистывать, а формулу не заметить. Нужна строгая нумерация формул, чтобы можно было сказать: «Посмотрите на формулу 117 и сравните ее с формулой 26. Видите?» «Видим». «Тогда пойдем дальше».

В пользу ведения конспектов можно еще сказать следующее.

Зачем у нас хранятся фотографии близких нам людей? Зачем нам портреты наших родных, если мы можем их и так каждый день видеть? А между тем мы фотографируем, чтобы не забыть какие-то прошедшие мгновения.

Так и конспект. Иногда бывает достаточно показать человеку чертеж в тетради, и он вспомнит не только весь данный раздел механики, но и в какой аудитории проходила лекция, читалась ли она утром или вечером, какая была тогда погода и многое другое, хотя прошло после этого десять лет. Открыл тетрадь и сразу все вспомнил.

Диктуя, надо следить за тем, успевают ли слушатели записывать. Делать это можно двояким образом. Во-первых, можно ходить по рядам и смотреть. Это очень оживляет публику. Слушатель собрался заснуть, а тут приближается лектор. Невольно придется пошевелиться.

Второй способ, это просто смотреть на аудиторию. Когда человек пишет, его лицо наклонено. Перестал писать, смотрит на вас. Степень белизны аудитории пропорциональна количеству лиц, глядящих на вас. Чем больше таких светлых пятен, тем больше человек написало. Вот один написал, вот второй, третий, и, наконец, все кончено. Следить за аудиторией надо потому, что не всегда слушатели решаются крикнуть: «Помедленнее диктуйте!»

Теперь вот такой вопрос. Как проводить длинные, скучные выкладки? Первый способ — это честно предупредить слушателей, что сейчас речь пойдет об очень трудных и скучных вещах. Какая будет реакция на такие слова? Студенты заранее подготовятся к тому, что сейчас будет трудное место, они внимательно вас слушают, а потом говорят: «Это действительно скучные вещи, но совсем не трудные». Как видите, получается обратная реакция.

Второй способ такой. Вы говорите: «Давайте просто запишем выкладки, а о результатах вы подумаете дома». Студент механически все запишет, а дома обдумает и проработает. Этот способ тоже хорош. Все зависит от времени, места и характера лекции.

Чтобы дать отдохнуть студентам во время длинных, скучных выкладок, можно применить такой прием. Вы делаете паузу и спрашиваете: «А что вы, между прочим, знаете о Лагранже? Мало знаете? Это был большой человек!» И рассказываете биографию Лагранжа. А потом: «Виноват, мне нужно делать выкладки». И продолжаете лекцию. А студенты за это время отдохнули. Ведь нельзя же, в самом деле, полчаса делать выкладки! Кстати, они узнали биографию Лагранжа, познакомились со временем, в которое он жил.

Бывает так. Читаешь лекцию, и вдруг тебя прерывают вопросом. Что это — разрешается или нет? Конечно, превращать лекцию в ряд диалогов нельзя. Это будет, грубо говоря, балаган. Но если вопросы задаются изредка, они допустимы. А бывают очень ценные вопросы. Десять лет преподаешь предмет, а эта мысль тебе не приходила в голову. Такие вопросы очень хороши. Тогда подобный вопрос нужно осветить так, чтобы он стал достоянием всей аудитории.

Но может случиться так, что слушатели зададут вопрос, а вы не в состоянии на него ответить. В таком случае лучше всего честно сказать: «Я не знаю». Педагог никогда не должен врать. Преподаватель — в известной степени образец в смысле этики. Нужно найти в себе гражданское мужество сознаться, что вы не знаете. Во-первых, вы не соврете, а во-вторых, никто не поверит, что вы не знаете. Слушатели будут думать, что вы знаете, но просто не хотите сказать.

Если вы ошиблись в выкладках, а слушатели этого не видят, надо сказать так: «Нет, тут что-то у меня не то!» Нужно опять-таки иметь гражданское мужество сознаться в том, что «наврал», а затем взять себя в руки и постараться найти ошибку. Станиславский учил актеров быстро входить в роль. Надо не волноваться и искать ошибку. Если она не находится, то нужно сделать следующее: взять себя в руки и начать думать о чем-то постороннем или прочитать про себя стихотворение. Бывает достаточно нескольких секунд, чтобы произошло, так сказать, «размыкание». Конечно, это очень трудно — думать о другом, когда 200 человек на тебя смотрят и ждут, как ты выпутаешься из создавшегося положения. Но вот решение найдено. Тогда можно сказать: «Что же вы не видите, что здесь написано? Эх, вы!» А если решение не находится, то надо просто сказать: «Я ошибся. Я разберусь к следующему разу, а пока давайте пойдем дальше». Так вы времени не потеряете и все честно сделаете. А с кем греха не бывает! [10]

Раскрывая секреты лекторского мастерства, А. П. Минаков обязательно рассказывал о выдающихся лекторах прошлого и настоящего.

«Знаменитый Гаспар Монж был необычайно интересный лектор. У него было небольшое косноязычие. Настолько внимателен был к слушателям, что когда видел, что кто-нибудь не понимает, прекращал лекцию, шел к нему, садился и начинал ему рассказывать. Состарившись, прекратил чтение лекций, хотя был совершенно бодрый. Я, говорит, не могу так жестикулировать, как раньше, я потерял свой жест. (А он читал теорию поверхностей.) Такое огромное значение придавал человек жесту, что даже перестал читать лекции!

Умов, физик. Этот читал необычайно торжественно, был большой барин, с бородой. Начинал необычайно витиевато, но страшно отработанно: «Вот открывается завеса будущего...»

Советую послушать из теперешних лекторов одного из лучших в смысле оформления и содержания лекций — Реформатского, химика. Посмотрите, как он читает лекцию.

Эйхенвальд — теоретическая физика, теория поля. Он приезжал на лекцию за два часа, все опыты проделывал сам. Причем проделывал не так, что удастся или нет, а как встать, как палочку протянуть... Тренируется, как на скрипке играет... Женские курсы были поголовно влюблены в него» [11].

Подводя итог своим взглядам на лектора и лекцию, А. П. Минаков говорил, что «педагог должен чувствовать жизнь аудитории и «совершать лекцию» вместе с нею, а не перед нею, переживая каждый раз при изложении давно известного ему материала всю свежесть и новизну его первого восприятия» [12].

О практических занятиях А. П. Минаков говорил следующее.

Цель упражнений: поставить задачу, привить навыки решения и чистых, аккуратных выкладок.

Многие справедливо считают, что вести практические занятия труднее, чем читать лекции. На лекции активен лектор, а студенты в основном «срисовывают» с доски. Причем с такой пассивностью студентов обычно мирятся. Говоря об упражнениях, всегда подразумевают активную работу студентов, а заставить учащихся работать самостоятельно трудно.

Вести упражнения можно по-разному: 1) только на доске, 2) только на столах, 3) смешанно: и так, и так. Лучше всего, видимо, третий метод. Самый активный способ — ведение упражнений на столах.

Леонард Эйлер говорил: «Когда задачу решает другой, все ясно, когда решаешь сам, ничего не выходит». Это известно всем, поэтому основной упор надо делать на самостоятельное решение задач студентами.

Образцовую задачу надо решать самому. Не гнаться за количеством задач! Главное в том, чтобы заинтересовать студентов, заставить их полюбить предмет. Пусть за час решена всего одна задача, но все будут довольны. При решении задачи — сначала механика, затем математика; сначала алгебраический ответ, а затем число. Некоторые задачи нужно обязательно решать несколькими способами. Обращать внимание на размерность, учить проверять правильность решения по размерности. Практиковать задачи с ответом и без ответа. Учить анализировать ответ задачи.

Один штрих, показывающий, как вел упражнения Андрей Петрович. У доски студент. Долгие трудные выкладки. Все устали. Наконец, получен ответ: $\sin 30°$. Студент смотрит на преподавателя. Андрей Петрович, обхватив подбородок ладонью, задумчиво покачивает головой. Студент растерян. Задача, видимо, решена неверно. «Посмотрите, как в ответе»,— говорит Андрей Петрович. Студент раскрывает задачник. «Здесь 0,5»,— говорит он. «Ну и что?» Пауза. «Так ведь $\sin 30°$ равен 0,5!» — радостно кричит студент. «Гениально!» — восклицает Андрей Петрович. Общий смех снимает усталость лучше десятиминутного перерыва.

Вот что говорил Андрей Петрович.

О консультациях.

Консультации бывают внутрисеместровые и предэкзаменационные. Консультации в середине семестра полезны при условии, если они добровольные, а не принудительные. Предэкзаменационные консультации нервируют студента накануне экзамена, и с этой точки зрения они вредны.

О домашних заданиях.

Студенты очень сильно загружены графической работой, переводом «страничек» по иностранному языку, математикой и т. п. Поэтому удельный вес теоретической механики в домашних заданиях невелик, и вопрос об усилении домашних заданий по механике должен ставиться очень осторожно.

Некоторые преподаватели усиление понимают как увеличение. Задавать на дом много задач нерационально. В течение недели выбрать время для решения домашних задач студент не сможет. Он возьмется за них в день перед упражнениями по механике. Возьмется за одну, попробует и, если задача сразу не получится, бросит. Возьмется за другую, не выходит, бросит и т. д. Задач много, и уделять каждой час он не может — времени нет.

А может быть и так: раскроет студент тетрадь, увидит, что задано много задач, закроет и вообще не станет решать, так как все равно все не сделаешь за один-два часа. Поэтому лучше задать две задачи (даже одну), но типовые и интересные. Если задана одна задача, то каждый попробует ее решить и, заинтересовавшись, просидит над решением час или два, если задача не получилась сразу. Задавая на дом, надо обязательно проверять выполнение.

О требованиях, которые надо предъявлять учащемуся.

В процессе обучения от студента нужно требовать, чтобы он умел: 1) правильно моделировать и пользоваться аналогиями (очень плохо, что теория подобия и теория моделирования почти не преподаются в высшей школе); 2) научно фантазировать; 3) быть работоспособным, последовательным, настойчивым, страстным, самокритичным, точным.

Надо все время подчеркивать необходимость широты знаний. В настоящее время только большой кругозор и хорошее знание многих смежных наук позволят стать настоящим специалистом.

Нужно указывать студентам на необходимость постоянной учебы. «В работе важна ее систематичность и непрерывность, то есть ежедневность, ежечасность... надо работать с первого дня семестра и до его последнего дня. Бывают случаи, когда студенты пытаются изучить какой-либо предмет в несколько предэкзаменационных суток. Предположим даже, что им удастся удачно ответить экзаменатору. Но о чем это говорит? Только о том, что эти студенты обладают хорошей формальной памятью. Освоить же в таких условиях предмет по-настоящему, понять его, продумать, научиться применять, конечно, невозможно. Ведь глубокое, прочное знание появляется лишь тогда, когда достаточно развиты навыки научного мышления. Откуда же быть широкой образованности, обширным знаниям у тех студентов, у которых в течение всего семестра учебная работа идет вяло, бессистемно, урывками, а потом, в период сессии, вдруг наступает не менее вредный, нездоровый «аврал»? Такое распределение своего труда не приносит студенту ничего, кроме поверхностных знаний...

Непрерывность работы как в течение одной недели, так и на протяжении всех лет обучения в вузе является первым признаком правильной, рациональной организации времени.

При малейшем перерыве в работе над книгой при выполнении домашних заданий рвется логическая цепь в изучении науки, нарушается его внутренняя последовательность. Студент обязательно должен, хотя бы бегло, повторить предыдущую лекцию, иначе последующая будет понята им не целиком, а может быть, и совсем не будет понята и воспримется только формально. Мудро говорится в старинном латинском двустишии: «Капля выдалбливает камень не силой, но частотой своего падения; так и человек становится знающим не силой, но непрерывностью своего обучения»» [13].

Студент должен знать историю механики. «История науки раскрывает генезис и эволюцию основных ее понятий, идей и законов, благодаря чему они могут быть поняты и освоены гораздо естественней, глубже и поэтому прочнее» [14].

Необходимо требовать от студента ведения самостоятельной научной работы. Так как преподавание — процесс взаимодействия, то преподаватель обязательно должен сам вести научную работу.

О контроле за работой студента.

Контролировать работу студента можно различными способами: 1) контроль восприятия лекций с помощью просмотра тетрадей и опроса: 2) контроль восприятия упражнений (просмотр тетрадей, вызовы студентов к доске, самостоятельное решение задач на столах, опрос и т. п.); 3) контроль с помощью повышения удельного веса предмета в процессе преподавания, например введение графических работ, и, наконец, 4) итоговый контроль, т. е. зачеты и экзамены.

При оценке ответа на экзамене не надо забывать о большой разнице между знанием предмета и пониманием его.

О контроле преподавателя за своей работой.

Надо просматривать тетради учащихся. Конспект студента — это своего рода зеркало. Правда, это зеркало может быть кривым.

Лектор обязан вести упражнения, хотя бы в одной группе. Это тоже своеобразный контроль.

Стенографирование лекции как метод контроля мало что дает, а взаимное посещение совершенно меняет характер занятий.

Не надо забывать о значении экзаменов в вопросе контроля.

Необходимо вести дневник с критикой собственных занятий. В этом дневнике — краткая запись о том, что пройдено, и подробная критика занятий.

О векторном исчислении.

«Векторы сберегают мел и расходуют мозг», — говорил известный физик Томсон. Понятно, что лучше расходовать мел, чем утомлять мозг.

Возражая против векторного исчисления при первоначальном изложении курса статики, можно привести соображения академика А. Н. Крылова:

1) студенту, приступающему к изучению высшей математики, надо усвоить целый ряд новых для него понятий: предел, функция, переменная величина, бесконечно малые и бесконечно большие величины и т. п., а тут ему еще преподносят векторное исчисление с его причудливыми правилами;

2) в процессе учебы студенту придется одновременно преодолевать две трудности: усваивать векторное исчисление и в то же время пользоваться им;

3) правила векторного исчисления искусственны, и у студента появляется недоверие к результатам, полученным при помощи чисто условного метода;

4) применение векторного исчисления требует гораздо большего внимания при выполнении действий, так как надо следить за порядком, в котором они производятся, ибо свойство переместимости не везде имеет место;

5) ни один инженер, работая с чертежами, не снимает размеры векторно и не наносит точки по векторам. К чему тогда учить тому, чем никто никогда на практике пользоваться не будет?

Надо признать, что это очень сильная аргументация против векторного изложения механики в техническом вузе, к тому же высказанная таким крупным специалистом в области преподавания, как А. Н. Крылов.

Свои выводы в дальнейшем А. Н. Крылов формулирует следующим образом: «Мне представляется, что в технических учебных заведениях надо всю механику излагать координатными методами, вводя векторы лишь постольку, поскольку это сделано в статике Пуансо (ось пары). Затем дать сводку основных результатов и показать вкратце применение векторного метода и те упрощения, которые он вносит, но это сделать не при первоначальном прохождении курса, а как бы в виде сводки, после того как курс усвоен...

Помните, что сэр Вильям Томсон (лорд Кельвин) был не только величайший физик-теоретик, но и выдающийся изобретатель и практический деятель — расходуйте, не жалея, мел и берегите мозг учащихся» [15].

О трудностях при изучении механики.

Студент не всегда откровенен, и степень непонимания им предмета часто остается скрытой от преподавателя.

Непонимание и трудности усвоения отдельных вопросов механики объясняются тем, что студенты, как правило, плохо подготовлены по математике и физике, а также тем, что в отдельных учебниках основные положения механики не излагаются точно и ясно, а в стремлении к краткости и сжатости лишь догматически высказываются.

О трудностях при изучении теоретической механики и о преодолении их А. П. Минаков говорил в небольшой статье, опубликованной в многотиражной газете Московского государственного университета «За пролетарские кадры» (27 февраля 1933 г.).

«Преподавателю теоретической механики, ведущему группу с самого начала прохождения ею этого предмета, приходится пройти вместе с учащимися целый ряд больших испытаний, прежде чем желанная цель будет достигнута.

Дело в том, что первые шаги по теоретической механике даются учащимся в большинстве случаев очень трудно. Это ведет в первое время к чрезвычайно медленному усвоению предмета, к растерянности и слабой успеваемости и требует огромной работы каждого учащегося в отдельности.

Поэтому бывают минуты на первом этапе прохождения курса механики, когда чувствуешь, что группа начинает сомневаться в преодолимости стоящих перед ней трудностей. Да и педагог, особенно если он не имеет за плечами нескольких лет работы, может потерять уверенность и впасть в панику.

Но такое положение дел может смутить только новичка, и горе тому педагогу, который поддается такому настроению.

Пусть все спуталось, замутилось, расползлось, пусть «коэффициент трения» кажется невероятно большим, пусть преподавателю кажется, что он тащит расхлябанную телегу по невероятно ухабистой дороге, он должен помнить, что таково свойство излагаемого предмета, он должен верить в учащихся, в их способности, в их волю и сознательность, он должен знать, что это «болезни роста». Надо на этом этапе спокойно, твердо, неуклонно работать с ребятами, бодрить их и обещать победу.

И наступит момент (учащиеся сознают его только задним числом), когда начинаешь чувствовать, что дело пошло, нечеловеческие усилия не пропали даром, мутное месиво разных понятий, формул, теорем начинает отстаиваться, упорядочиваться: перелом наступил, ухабистая дорога кончается и близко гладкое шоссе. В этот момент чувствуешь, что перед тобой сидят уже не студенты, не придавленные наукой люди, а действительно будущие научные работники, что вопрос «кто — кого» механика — студента решен в пользу последнего. Это момент самый дорогой, самый радостный в работе педагога».

Интересна для понимания педагогических взглядов А. П. Минакова лекция, прочитанная им 20 февраля 1946 г. в Московском Доме ученых. Сокращенная стенограмма этой лекции была опубликована в многотиражной газете «Текстильщик» Ташкентского института текстильной и легкой промышленности (январь-февраль 1969 г.).

Вначале Андрей Петрович описывает еще нередко встречающуюся, к сожалению, картину.

«Ненастное утро в энском институте. Еще не совсем рассвело. Профессор уже вошел и стоит молча перед медленно затихающей аудиторией. То и дело смущенные фигуры опоздавших пробираются в полумраке и вдруг исчезают в массе сидящих. Более смелые, войдя в дверь, останавливаются и спрашивают: «Разрешите войти?» Лектор начинает нервничать и в зависимости от темперамента или сердится и, повысив голос, произносит горькие слова, или просто запирает дверь и взволнованный и расстроенный начинает лекцию. Студенты срисовывают с доски формулы, не задумываясь подчас над их содержанием и даже не очень слушая лектора. Ими владеет такая мысль: «Сейчас только бы записать, а уж потом, перед экзаменом разберусь». Поэтому, когда лектор перестает писать и что-то разъясняет упавшим голосом, многие отворачиваются к окну и начинают точить карандаши, перешептываются.

Перерыв. Потом входит следующий лектор. Еще перерыв, еще лектор. «Как резину жуешь»,— говорят профессора про свои лекции.

Наконец лекции «отсижены», и студенческая масса расползается по аудиторийкам на упражнения. «Покажите ваши домашние задания»,— говорит групповод, подходя к студенту. «Я не делал...» — «Почему?» — тоскливо спрашивает педагог. «Не успел», или «Свет не горел», или «Мать заболела»...

Наконец, семестр подошел к концу. Мучительно вытягивают студенты из преподавателей зачеты, отметки о сданных коллоквиумах. Воцаряется затишье перед грозой. Преподаватели и студенты — это воюющие стороны. Одни изготавливают средства обороны и «глубоко эшелонированные линии укреплений», организуют способы «скорой медицинской помощи» и прочее. Другие... А вот другие, те не очень ясно знают, что им делать: то ли повышать требования, как это требует Министерство высшего образования и как на самом деле следовало бы делать, то ли «не очень налегать», чтобы самому не погибнуть от «неудов» при повторных экзаменах и чтобы не портить деканам и ректору показателей в отчете.

В самом деле, если во время экзамена число плохих отметок подходит к некоторой роковой цифре, то в аудитории, в которой происходит «расправа», появляется фигура двуликого декана. Один лик шепчет: «правильно, повышай требования», а другой — «не порти мне отчета». Еще не кончилась мучительная сессия, а уже суетятся «повторники», всякими правдами и неправдами добиваясь права сдавать вторично и даже в третий раз. Но... Семестр окончен, отчет отослан. И опять, после небольшой паузы начинается новый семестр».

Далее Андрей Петрович говорит о том, каким должен быть педагогический процесс, описывает различные стороны его.

«Педагогический процесс является в первую очередь воспитывающим процессом. Воспитывающие действия на студента оказывают, с одной стороны, метод преподавания, с другой — весь учебный процесс в целом, то есть его внутренняя установка, и, наконец,— личность педагога.

Что касается методики преподавания нашего предмета — теоретической механики, то прежде всего изложение его должно быть пропитано правильной и глубокой философской идеей. Подтверждаются слова Энгельса о том, что «люди, особенно усердно бранящие философию, становятся рабами самых скверных вульгаризованных остатков самых скверных философских систем». Почему, например, приступая к изложению теоремы о кинетической энергии, не рассказать студентам про знаменитый спор «о силе движущегося тела», о характеристиках физических процессов вообще: о мере «данности» (количество движения), о мере «становления» (масса, умноженная на ускорение) и о более глубокой и тонкой мере, объединяющей две предыдущие в единую (дифференциал кинетической энергии)? Почему не предпослать изложению теоремы Кориолиса в кинематике рассуждение о мировом законе взаимодействия явлений и возникновении чего-то третьего, дополнительного, в результате одновременного протекания двух явлений.

Философское обоснование теорем механики требует от педагога знания истории вопроса, а также приводит к необходимости излагать слушателям некоторые исторические (и даже биографические) сведения, без которых генезис некоторой идеи или даже одной теоремы совершенно непонятен, и потому сама теорема производит на слушателя впечатление случайной, искусственно придуманной, формально возникшей.

Почему, например, не рассказать молодежи, что заика Тарталья писал герцогу Урбинскому, когда Сулейман Великий напал на Адриатику и Венецию: «Так как я вижу, что волк подкрадывается к нашему стаду и что все наши пастухи готовятся к защите, то мне представляется предосудительным скрывать далее эти вещи (речь идет о законах движения брошенного тела — снаряда, которые уже были известны в то время Тарталье), и потому я решил ознакомить с ними каждого истинного гражданина, чтобы каждый был лучше вооружен как для нападения, так и для защиты...».

Мы полагаем, что студентам интересно узнать, как зародилась та важная идея, которая привела Галилея к формуле падения тел в пустоте, формуле, которую учащиеся знают, но не понимают как следует, не чувствуют ее глубины, ее волнующего значения. Почему бы не рассказать о зарождении в голове того же Тартальи идеи удельного веса в то время, когда он — пламенный патриот — мучительно искал способ поднять корабли, затонувшие в родной гавани, чтобы не нужно было строить новые?

Почему не рассказать о том, как молодой кандидат медицинских наук Иван Бернулли шел к идее веревочного многоугольника после того, как со свойственным ему темпераментом обрушился на старика Гюйгенса, защищая офицера флота маркиза Рено, а потом, увидев ошибку и неправоту Рено, начал размышлять над формой паруса, надутого ветром?

Почему не рассказать о некоторых способах рассуждений «могучей кучки»: великого Лейбница, обоих Бернулли и других, о нежном, застенчивом и несчастном подкидыше, великом Д'Аламбере и методах его размышлений, о речи Газенфраца (учителя Лавуазье) 5 июня 1793 г. в конвенте, куда он привел Монжа, Лапласа, Лагранжа, Фурье как первых ученых, пожелавших помочь революционной Франции, речи, в которой он прекрасно сформулировал мысль о значении науки для обороны страны? А о железной воле гениального вычислителя Леверье, открывшего новую планету «кончиком пера»?

Мы не одиноки, когда утверждаем необходимость введения элементов историзма в лекционное изложение науки. Энгельс, Пенлеве и другие крупнейшие знатоки механики и ее истории настаивают на такой необходимости. И в самом деле, только после того, как студентам будет хотя бы кратко изложено зарождение, эволюция какого-нибудь понятия, теоремы, принципа и когда, проследив за извилистым путем блуждания человеческой мысли, искавшей истину, они всем существом почувствуют необходимость, важность и увлекающую трудность таких поисков, когда они очаруются виртуозностью и силой мысли классиков науки, только тогда до́лжно приступить к математическому оформлению развернутой перед ними идеи. Это будет естественным завершением всего хода изложенной мысли, его конденсированным и тончайшим изображением. В таком случае математическая сторона изложения не оставит у слушателей впечатления чего-то самодовлеющего, не содержащего ничего, кроме жонглирования математическими символами, каких-то неизвестно почему и для чего предпринимаемых и совершающихся действий, запомнить последовательность которых иначе, как «зубрежкой», невозможно.

Замечательны в этом отношении слова нашего общего учителя Николая Егоровича Жуковского о том, что «математическая истина только тогда считается вполне обработанной, когда она может быть объяснена всякому из публики, желающему ее усвоить»,— слова, произнесенные им в речи на торжественном заседании Московского математического общества в 1894 г. Еще более резко высказывался академик Алексей Николаевич Крылов в книге «Мысли и материалы о преподавании механики».

Нужно правильно понять нашу мысль: мы не умаляем роль математического анализа в преподавании естественных наук, наоборот, хотим предоставить ему роль мастера, завершающего всю подготовительную «лабораторную» работу мысли и отливающего окончательное отображение сложнейшего явления природы в виде изящного, острого и тонкого математического построения из символов.

Процесс преподавания не может быть рассматриваем независимо от процесса воспитания: эти два воздействия на слушателя всегда слиты воедино. Преподавание и сам педагог должны по возможности соответствовать эпохе. Молодежь, которая вместе с нами живет в легендарную по масштабам и напряженную советскую эпоху, не насытишь монотонным журчанием лекций и полусонным «проворачиванием» задачек. Молодежь, давшую Матросовых, не запугаешь «неудами» и деканами, потому что она не боялась кой-чего и пострашнее. Ее не зачаруешь своим званием и степенью, потому что она, уважая и то и другое, прежде всего хочет знать правду о человеке и по-юношески открыто спросит: «А профессор ли и доктор ли ты на самом деле?»

Поэтому всегда нужно помнить, что мы должны выпустить из высшего учебного заведения не только знающего инженера-администратора, но и глубоко и научно мыслящего инженера-творца, гражданина Советского Союза, а не морального калеку, набитого формулами, которых он сам боится, не понимает, не хочет и не может понять, который будет ползти по жизненной дорожке в тусклом полумраке маленьких интересиков и интрижек.

Преподаватель должен верить в силу и правоту своего дела, он обязан быть строгим прежде всего к себе, и не только как к педагогу, но прежде всего как к человеку. Потому что все видит и все знает о нас молодежь, с которой мы общаемся, и за каждый недоброкачественный штрих нашей жизни ответим мы ей и Родине.

Не о «выполнении нормы педнагрузки» должны мы говорить, а о ношении сана и отдании всего себя священной миссии педагога-воспитателя.

А если мне скажут, что не откликнется на твое пламенение, не пойдет за тобой молодежь, то, не давая им кончить, скажу:

— Ложь!

Вспомните Горького, который чудную мысль когда-то подарил нам: «В каждой душе человеческой есть колокольчик. И не звенит он, пока не сумеет кто-нибудь затронуть его».

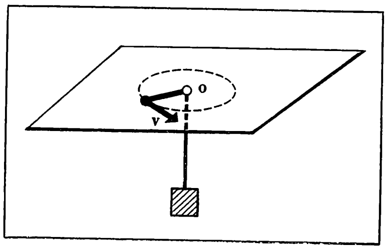


Рис. 14

Так найдите же этот колокольчик, сумейте затронуть его».

Сам Андрей Петрович умело соединял педагогический процесс с воспитательным. Вот один из примеров такого сочетания.

Идет обычная учебная лекция. Андрей Петрович рассказывает о постоянстве момента количества движения в случае отсутствия моментов сил. Делает чертеж (рис. 14) и говорит следующее.

В столе проделано небольшое отверстие и через него пропущена нитка. К одному ее концу прикреплен маленький шарик, а к другому — огромный (в сравнении с шариком) груз. Шарику сообщили скорость в горизонтальной плоскости по перпендикуляру к нити, и он бегает по окружности, а груз опускается вниз. Так как сила, действующая на шарик, не дает момента относительно точки 0, момент количества движения шарика ($r \times mv$) постоянен. Радиус уменьшается, следовательно, скорость возрастает, чтобы произведение $r \times mv$ оставалось постоянным. И это произведение в нуль никогда не обратится. Шарик не остановится.

Если есть толчок, порыв, то никакая сила не сможет его свести к нулю, многозначительно добавлял Андрей Петрович. И всем было ясно, что он имел в виду не только механику.

А. П. Минаков хорошо знал педагогическую литературу, изучал новые произведения, посвященные вопросам воспитания, внимательно, с карандашом в руках, прочитывал газетные статьи на эту тему.

Некоторое представление о педагогических воззрениях Андрея Петровича дают подчеркивания, сделанные им в газетных статьях. Андрей Петрович отмечал места, видимо близкие к его собственным мыслям. Вот, что он подчеркивал.

«...Результаты приемных испытаний и изучение состава вновь принятых студентов указывают на слабое развитие у них навыков к самостоятельной работе.

Изменившиеся условия работы в высшей школе (отмена семинаров и упражнений, отмена текущего учета успеваемости) требуют от руководителей еще большего контроля за самостоятельными занятиями студентов.

Необходимо во время практических занятий (решение задач, производство расчетов, работа в лабораториях, проектирование) вести изучение знаний и приемов работы каждого студента путем наблюдения за ходом самостоятельного выполнения им заданий.

Студент должен *любовно* (подчеркнуто два раза.— *В. Л.*) разбираться во всех деталях изучаемого вопроса с сознанием всей важности данной работы. Воспитывая будущих специалистов, преподаватель, научный работник обязан являться образцовым руководителем и примером.

От преподавателя требуется исчерпывающее, краткое, точное, последовательное и серьезное изложение освещаемых вопросов.

С первых же дней работы необходимо поставить учащихся в известность о цели изучения той или иной дисциплины, рекомендовать им литературу и т. п.».[16]

«...Необходимо решительно устранить имеющиеся еще в высшей школе элементы начетничества, школярства и обеспечить глубокое понимание научных дисциплин, приучить людей успешно применять знания для решения конкретных задач, творчески развивать науку и технику» [17].

«...Задача высшей школы — вооружить студенчество знанием не только специальных дисциплин, но и мощным оружием материалистического мировоззрения... Преподавание всех предметов должно быть направлено к формированию материалистического мировоззрения студента...

Всемерное повышение идейной направленности преподавания, углубление связи теории с практикой, выкорчевывание схоластики и формализма — важнейшая задача, стоящая перед нашей высшей школой... Преподаватель не может замыкаться в формальных рамках своей дисциплины, из года в год давая студентам один и тот же материал...

Одно из важных требований, предъявляемых к нашей высшей школе,— это подготовка будущих специалистов к самостоятельной творческой работе»[18].

«...В советской высшей школе вся учебная работа должна сочетаться с повседневным воспитанием студенческой молодежи в духе животворного советского патриотизма и пролетарского интернационализма, в духе беззаветной преданности великому делу коммунистического строительства...

В ближайшие дни в вузах начнется зимняя экзаменационная сессия. Она должна пройти в спокойной и деловой обстановке. К студентам должна быть предъявлена высокая, но справедливая требовательность, надо глубоко проверить их знания, творческое понимание ими пройденного материала. Послабление, либерализм в оценке знаний студентов неизбежно приводят к серьезному снижению качества подготовки молодых специалистов»[19].

«...С воспитанием учащихся дело обстоит гораздо хуже, чем с обучением... Недостаток — однобокий подход к делу, отсутствие целеустремленности, сочетания обучения и воспитания...

Могут ли обеспечить необходимый уровень воспитания педагогические кадры, которые сами не на высоте по культурному развитию? Ответ напрашивается отрицательный»[20].

«...Для воспитания у выпускников высших учебных заведений навыков к творческому решению современных научных и производственно-технических задач большое значение имеет организация самостоятельной работы студентов...

Высшая школа должна готовить специалистов широкого профиля, которые могли бы перестраиваться в своей практической работе в связи с неизбежными перестройками самого производства при его общем развитии и совершенствовании на базе новых научно-технических открытий... Важно, чтобы студент на основе изучаемого им материала умел делать самостоятельные выводы, чтобы при выполнении данной работы он учился использовать не только сведения, полученные им из лекций, но и научную литературу по избранной теме...»[21]

В приведенных цитатах, как можно заметить, много говорится о необходимости воспитания у студентов навыков самостоятельной работы. Вот что говорил по этому поводу Андрей Петрович Минаков на заседании ученого совета механико-технологических факультетов Московского текстильного института 6 марта 1953 г. Неполная стенограмма этого выступления сохранилась в архиве А. П. Минакова.

Анализируя результаты сессии, я всегда ставлю перед собой вопрос: что показывает наша экзаменационная оценка?

Когда преподаватель определяет знания студента, то он руководствуется, как правило, следующими соображениями. Хорошее формальное знание предмета плюс еще эпсилон — «отлично»; если студент все знает, но без эпсилона — «хорошо»; ничего не знает — «неудовлетворительно». Все эти критерии выработаны и составлены по количественному признаку: все знает, половину знает, 30% знает и т. д., т. е. дают чисто количественную оценку. Меня же в последнее время интересует другое — глубина и прочность знаний.

Вот сопроматчики смотрят в зачетку, видят по механике «отлично» и меня «кроют»: «Они у вас параллелограмма сил не знают, в прикладной механике не разбираются!» Кто виноват? Мы? Что, мы им зря оценку ставим? Нет, просто они очень быстро забывают. Студент на три дня запомнил, сдал экзамен, тряхнул головой, все из нее выбросил и сел готовиться к следующему экзамену.

Говорят, не посещал лекции, не выполнял домашние задания, отсюда — непрочность знаний. Но посещение или непосещение лекций как факт мне мало что дает. Студент может чрезвычайно регулярно посещать лекции, сидеть на первой скамейке, одобрительно качать головой, а на экзамене ни на что не ответить. Тогда начинается самобичевание: значит, я плохо читаю лекции. Ведь человек все время сидел в первом ряду, внимательно слушал, а в результате — даже азов не знает. Что это: пассивное восприятие или плохое чтение лекций? Такой анализ я сделать не могу.

О чем говорит выполнение домашних заданий? Домашняя и лабораторная работы выполняются в одну ночь перед тем днем, когда они нужны. А еще бывает так: «Ваня, дай списать». Перепишет и кое-как разберется. Так что тетрадь с решенными задачами мне также ни о чем не говорит.

Вот сидит группа, в которой 38 человек. Я даже обойти всех слушателей не успеваю, а если даже успею? Что я смогу уловить из небрежно написанной тетради?

Видимо, если отбросить вопрос о качестве лекций и упражнений, все дело в самостоятельной работе студента. Точного определения, что такое «самостоятельная работа», я лично дать не в состоянии. Является ли посещение лекций такой работой? Оно может быть самостоятельной работой при виртуозном мастерстве лектора и соответствующем настроении слушателей.

В этой связи говорят о домашней проработке лекций. Но это нереально. Не в состоянии студент, прослушав четыре или шесть часов лекций, прийти домой и все снова внимательно изучить.

Говорят, что студенты самостоятельно работают в кружках. Но кружки при такой загруженности неживучи. Создать кружок, наметить темы, порекомендовать литературу — все это можно сделать. Но затем доклад откладывается с недели на неделю, и кружок постепенно «умирает». В кружке самостоятельная работа реальна для единиц, а речь идет о массе, о всем уровне преподавания.

Самостоятельно работать можно заставить административными мерами, а можно и по-другому: увлекая слушателей. Это ведь тоже мера. Я ставлю на первый план качество лекций. Надо читать их хорошо, интересно и увлекательно.

Самостоятельная работа — это прежде всего самостоятельная мысль. Надо учить самостоятельно мыслить на лекциях и при решении задач. Творчески работать может только тот, кто мыслит. Поэтому задача лектора — разбудить мысль.

О задачах. Критерием правильности решения служит ответ в задачнике или слово «верно», сказанное Иваном Ивановичем. (Я пробовал два раза в жизни давать задачу с заведомо неправильным ответом, и студенты подгоняли под него решение.) Выпустим мы такого инженера, он решает промышленную задачу и не знает, верно решил или нет. Что делать? Он ни одной задачи не решил без ответа и без указания на то, что дано и что спрашивается. Его вызывает директор и говорит: «Поставьте задачу». Часто — это 90% дела — правильно поставить задачу. Иногда спрашиваешь студента: «Что нужно знать, чтобы это найти?» Молчит.

Резюмируя, скажу. Чтобы разбудить самостоятельное мышление, надо заинтересовать слушателей, углубить чтение лекций, насытить их философией, историческими сведениями. История науки нужна для того, чтобы показать, что ученые такие же люди, как и мы «грешные», а то студенты говорят: «Это гении, а с нас не спрашивайте».

Итак, необходимо интересное глубокое философское чтение лекций. Нашу кафедру упрекали за эстрадность. Тут дело не в приклеивании порочащего эпитета. Никакой эстрадности не было, а просто хотелось оживить занятия — ведь скучно шесть часов подряд слушать лекции. Конечно, нельзя рассказывать неприличные вещи, конечно, нельзя фиглярничать, но преподавать живо и интересно надо. И называть это «эстрадностью» я считаю неправильным.

Надо заботиться об активности студентов на лекциях и упражнениях, развивать самостоятельное мышление студентов, которое автоматически вызовет желание самостоятельно работать. Важно, чтобы учащиеся научились самостоятельно трудиться без всякого указания со стороны преподавателя, консультанта или лектора».

У А. П. Минакова была тетрадь «Цитаты», в которую он записывал понравившиеся ему изречения известных философов, ученых, политических деятелей. Эти высказывания были созвучны мыслям Андрея Петровича и, по его мнению, непосредственно относились к преподавательской и воспитательной деятельности педагога. Вот несколько извлечений из тетради «Цитаты».

«Напрасно думают, что она (фантазия) нужна только поэту. Это глупый предрассудок! Даже в математике она нужна, даже открытие дифференциального и интегрального исчисления невозможно было бы без фантазии. Фантазия есть качество величайшей ценности...» (В. И. Ленин).

«Если хочешь владеть массами, так нужно гореть, если подошел к аудитории и ты сам не волнуешься, тебе самому хочется спать, несомненно, и аудитория будет соответствовать твоему настроению. Прямо вам скажу, нет ничего более чувствительного, это самый чувствительный барометр — аудитория. Вы можете самым заплетающимся языком говорить с трибуны, но, если вы волнуетесь, если вопросы, которые вы подняли, имеют значение, если вы на трибуне решаете вопрос, масса будет увлечена вместе с вами. О чем это говорит? Это говорит о том, что для того, чтобы вести за собой массу, надо вместе с массой гореть» (М. И. Калинин).

«Надо дать возможность учащимся прикоснуться к самым истокам экспериментальных методов и тех искуснейших приемов, которые изобрели великие исследователи, решая труднейшие проблемы,— приемов и методов чрезвычайно конкретных и гораздо более убедительных и плодотворных, нежели все теоремы и правила, имеющиеся в наших руководствах. В классических мемуарах, в которых глубина мысли и безупречность рассуждений облечены в замечательно прозрачные и ясные формы, мы находим секрет того, как ясно и точно следует излагать открытия и научные истины» (П. Пенлеве).

Андрей Петрович Минаков, к сожалению, не оставил после себя стройного изложения своей педагогической системы. Именно поэтому приходится реконструировать его взгляды на педагогический и воспитательный процессы по стенограммам лекций, статьям, разрозненным запискам и газетным вырезкам, сохранившимся в его личном архиве.

Эта реконструкция, безусловно, не полная. Вне ее остались многие мысли Андрея Петровича, которые так или иначе не нашли своего отражения в записках, подчеркиваниях, высказываниях на лекциях по методике преподавания теоретической механики и других выступлениях, но то немногое, что сохранилось, к счастью, дает некоторое представление о его педагогических воззрениях, о его credo преподавателя. Это немногое и приведено в настоящей главе.

Глава 4

Лекторское мастерство

В своей статье «О творческом методе в преподавании» Андрей Петрович Минаков приводит слова известного французского врача Ф. Видаля [1]: «Книга бездушна, и на ее страницах мысль заключена в тесное, неизменное выражение. Лекция же — это жизнь, она похожа на совершающееся перед вами действие, и лектор должен пользоваться всеми данными, пока он не почувствует, что в мысли слушателей проникла та идея, которую он хотел в них запечатлеть».

Как передать «лекцию-жизнь» на бумаге? Задача трудная и, видимо, полностью не выполнимая. Ведь невозможно дать исчерпывающее представление о спектакле или кинокартине человеку, который их не видел. В лучшем случае можно рассказать содержание поразившей вас театральной постановки и передать свое впечатление о ней общими словами: замечательно, прекрасно и т. д. Но как создать у слушателя эффект присутствия? Еще труднее это сделать для читателя.

Здесь приведены три стенограммы лекций Андрея Петровича Минакова. Первая прочитана им в курсе «Методика преподавания механики». Она посвящена тому, как читать первую лекцию. Вторая — обычная учебная лекция из курса теоретической механики, в которой Андрей Петрович рассказывает о хорошо всем известном явлении — трении. Наконец, третью лекцию «Как работали великие ученые» он прочитал как-то вечером в студенческом общежитии.

Конечно, все эти три стенограммы не дают полного представления о том, как «совершал» лекцию Андрей Петрович Минаков. «За бортом» записей остаются жест, интонация, паузы, наконец улыбка Андрея Петровича. Но все-таки некоторое представление о его лекторском мастерстве они дают.

И последнее, что необходимо отметить в этом небольшом предисловии. Приведенные стенограммы самим Андреем Петровичем не правились. Можно предположить, что при подготовке к печати он внес бы в них какие-то коррективы.

Первая лекция

Как читать первую лекцию? Этот вопрос волнует всех преподавателей, а особенно тех, кто читает курс впервые. От первой лекции зависит очень многое. На нее студенты идут со своеобразным чувством, его очень трудно передать. Это и желание познакомиться с новым предметом, которого слушатель совершенно не знает или знает плохо, т. е. стремление к новизне, и простое любопытство: кто читает и как читает.

И вот вы пришли в аудиторию. Перед вами студенты, которые хотят как можно скорее познакомиться и с новым предметом и с новым преподавателем. Понравится ли студентам механика, заинтересует ли она их, полюбят ли они то, что вы любите уже давно,— все это в значительной мере зависит от первой лекции. Если после нее студенты разойдутся спокойные, не взволнованные, то это на долгое время определит их отношение к механике, и вам в дальнейшем будет гораздо труднее заинтересовать своих слушателей, заставить их полюбить ваш предмет.

Некоторые педагоги на первой лекции начинают рассказывать историю механики. Имена великих людей так и сыплются из их уст: Галилей, Ньютон, Эйлер, Лагранж, Ковалевская и т. д. и т. п. Такие преподаватели забывают, что человеку, не знакомому с механикой, тяжело оценить тот вклад, который внесли эти великие ученые в науку. Студенты ждут сути, желают получить ответ на вопрос, что же такое теоретическая механика, а им называют имена и пытаются объяснить то, что понять без подготовки трудно, а иногда и невозможно.

Поэтому лучше на первой лекции не рассказывать историю развития механики, а делать это по ходу изложения курса. Пойдет в динамике речь о законах Ньютона, и вот тогда можно поговорить о жизни великого английского ученого. Рассказываете аналитическую механику, и вот здесь очень уместно сказать о Лагранже, Гауссе, Остроградском. Так история механики и биографии великих людей органически будут связаны с читаемым вами курсом.

В начале лекции надо дать определение механики как науки. Указать, что теоретическая механика — это теоретическая база всей техники, а с философской точки зрения механика изучает низшие формы движения материи. Затем вы говорите о делении механики на три больших раздела: статику, кинематику и динамику. Последнее в этом «введении» — это рекомендация учебников и задачников по курсу. После такого краткого вступления можно сразу же переходить к изложению конкретного материала по статике.

Прежде всего надо дать определение статики как науки о приведении систем сил к простейшему виду и о равновесии. Несколько слов можно сказать о том, что наука возникла очень давно: уже древний Вавилон, Египет имели простейшие машины и различные сооружения.

Далее даются различные определения: что называется равнодействующей силой (обязательно указать, что не всякая система сил имеет равнодействующую, и как пример привести пару сил); что мы называем совершенно твердым телом; что называется уравновешивающей силой; связью; реакцией связи и т. п.

Веселая шутка или интересный рассказ, связанные с излагаемым материалом, оживляют лекцию, дают возможность студентам отдохнуть прямо во время лекции, а затем со свежими силами работать дальше. На первой лекции такой отдых можно дать при разговоре о векторах.

Понятие вектора очень важное в механике, но многие студенты не знают точно, какую математическую величину называют вектором. Если вы спросите, что такое вектор, то, как правило, вам скажут, что эта такая математическая величина, которая имеет размеры и направление.

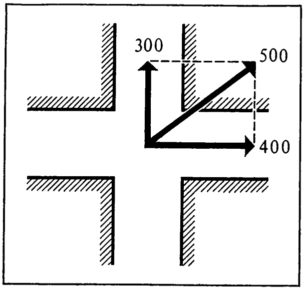


Рис. 15

После этого вы можете нарисовать на доске и рассказать следующее (рис. 15). Потоки автомобилей характеризуются величиной и направлением. Ведь мало сказать, что по данной улице проезжает 300 автомашин в час, нужно еще сказать, в каком направлении (речь идет об улице с односторонним движением). Следовательно, по вашему определению, потоки автомобилей — векторы.

Теперь представьте себе перекресток двух «односторонних» улиц. По одной улице проезжает 300 автомашин в час, по другой — 400. Векторы, как известно, складываются по правилу параллелограмма. Следовательно, каждый час $\sqrt{300^2+400^2}=500$ автомобилей врезаются в здание, стоящее на углу перекрестка. То есть из 700 автомобилей (300+400), выезжающих на перекресток, только 200 минуют его без аварий, а остальные 500 образуют груду лома на тротуаре. Так? Конечно, нет. Почему? Да потому, что сложение векторов по правилу параллелограмма — это не свойство их, а элемент определения. Вектор — это такая математическая величина, которая: 1) имеет размеры, 2) характеризуется направлением и 3) складывается с себе подобной величиной по правилу параллелограмма. Последнее в определении вектора — самое важное. Потоки автомобилей характеризуются величиной и направлением, но не складываются между собой по правилу параллелограмма и поэтому не являются векторами.

Другое дело, если два автомобиля столкнутся. Тогда они будут двигаться по диагонали параллелограмма, потому что в этом случает складываются количества движения автомобилей, а количество движения (mv) — векторная величина.

И еще один пример, подчеркивающий, что́ является главным в определении вектора.

Представьте себе, что все векторы образовали сообщество векторных величин. Каждый член этого общества носит определенную форму и имеет при себе удостоверение. Вы сидите дома, и к вам приходят две математические величины в форме векторов и говорят: «Мы векторы». Им нужно сказать: «Сложитесь». Если они сложатся по правилу параллелограмма, значит, они векторы, в противном случае — нет. То есть величина и направление — это форма вектора. А ее может надеть и не вектор. А вот сложение по правилу параллелограмма — это удостоверение, которое говорит о том, что данная математическая величина действительно вектор.

После двух таких примеров каждый студент запомнит на всю жизнь, что такое вектор.

* * *

А вот как сам Андрей Петрович Минаков начинал свою первую лекцию по теоретической механике.

«Вы ждете от меня вводной лекции?... Но лучше будет, если я объясню вам, как я понимаю, как я чувствую, зачем я пришел к вам.

...Я пришел к вам, чтобы развернуть перед вами перспективы огромной радости, внутреннего света и тепла творческого научного труда, чтобы воспитать из вас настоящих людей, патриотов — строителей честной трудовой жизни человечества... Я хочу раскачать вас на огненный размах и оградить вас от болота низменных тревог, забот и разъедающей плесени... Я хочу ориентировать вас на интересы и тревоги — волнения высшего ранга, на великие идеи коммунизма, честности, труда.

...Я пришел и буду ходить к вам, чтобы отдать вам все, что есть самого лучшего, самого прекрасного в моей науке, и все, что есть самого хорошего, самого честного и святого во мне самом» [2].

Трение

Полезно или вредно трение? Многие, не задумываясь, отвечают: «Конечно, вредно!» Но ведь, если бы не было трения, мы не могли бы ходить по земле (вспомните, как скользят ноги на льду), нельзя было бы ездить на велосипеде, автомобиле, мотоцикле (колеса вертелись бы на месте), нам нечего было бы носить (нитки в ткани держатся силами трения). Если не было бы трения, вся мебель в комнате сбилась бы в один угол, тарелки, стаканы и блюдца соскальзывали бы со стола, гвозди и шурупы не держались бы в стене, ни одной вещи нельзя было бы удержать в руках и т. д. и т. п. К этому можно добавить, что, если бы не было трения, неизвестно, как пошло бы развитие цивилизации на Земле — ведь наши предки добывали огонь трением.

Перечень подобных «ужасов» можно продолжать до бесконечности, но и так ясно, что трение — явление отнюдь не вредное. Оно вредно только в машинах, и инженеры борются там с ним, применяя шарикоподшипники, смазку и т. п.

Что же такое трение?

При перемещении одного тела по поверхности другого всегда возникает сила, препятствующая движению. Она-то и называется силой трения.

Трение — следствие многих причин, но основными из них являются две. Во-первых, поверхности тел всегда неровны, и зазубрины одной поверхности цепляются за шероховатости другой. Это так называемое геометрическое трение. (Даже самые гладкие на глаз поверхности оказываются под микроскопом шероховатыми, с впадинами и выступами.) Во-вторых, трущиеся тела очень близко соприкасаются друг с другом, и на их движении сказывается взаимодействие молекул (молекулярное трение). Поэтому формулу для силы трения можно написать так:

$$F = \alpha N + \beta S.$$

В этой формуле α и β — постоянные коэффициенты, N — сила нормального давления, а S — площадь контакта трущихся тел. Так как площадь контакта не очень мала, деформации соприкасающихся тел ничтожны.

Приведенная формула сложна, и поэтому инженеры в своих расчетах пользуются более простой формулой: $F = kN$. Она читается так: сила трения пропорциональна силе нормального давления. Коэффициент пропорциональности k называется коэффициентом трения.

Формулу $F = kN$ можно вывести следующим образом. Пусть есть пластическое тело, т. е. такое, которое растекается под действием собственного веса, как, например, вар. Для такого тела площадь контакта прямо пропорциональна силе нормального давления: $S = \gamma N$. Поэтому для пластических тел первоначально написанную формулу силы трения можно переписать так: $F = \alpha N + \beta S = \alpha N + \beta\gamma N = (\alpha + \beta\gamma) = kN$. Следовательно, формула $F = kN$ справедлива для пластических тел. Но ее обычно применяют для любых тел, так как степень отражения ею реальной действительности весьма высокая.

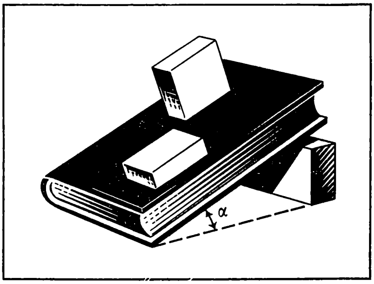


Рис. 16

Закон $F = kN$ становится неверным тогда, когда сила нормального давления или скорость движения велики. В этом случае выделяется слишком много тепла, что сказывается на трении.

Можно проверить на опыте, что сила трения зависит только от качества трущихся поверхностей и силы нормального давления, а от площади соприкосновения не зависит. Если положить деревянный брусок на линейку (или книгу) сначала плашмя, а затем ребром (узкой стороной) и поднимать один конец линейки, то брусок начинает скользить вниз всегда при одном и том же значении угла α (рис. 16). Это говорит о том, что сила трения не зависит от площади контакта поверхностей.

Вместо бруска можно взять спичечный коробок, в который для тяжести насыпан песок. Только спичечный коробок надо вначале обязательно обклеить бумагой, чтобы все стороны коробка были одинаковы в смысле трения.

Коэффициент трения определяют так. Замеряют динамометром силу, необходимую для перемещения одного тела по поверхности другого, и делят полученное значение силы на вес тела. Найденные коэффициенты вносятся в справочники по физике. Если вам для решения той или иной практической задачи понадобится величина коэффициента трения, ее можно взять из таблицы. Нужно только помнить, что приведенные там значения коэффициентов трения приблизительные. Ведь трущиеся поверхности, как правило, загрязнены. На них бывает ржавчина, окислы и другие посторонние включения, что, естественно, влияет на величину трения. Так как степень загрязнения поверхностей при опытном определении коэффициента трения точно неизвестна, то, строго говоря, нам неизвестно, что же за коэффициент трения мы получили. Скажем, указанный в справочнике коэффициент трения меди по меди на самом деле не коэффициент трения между двумя медными поверхностями, а коэффициент трения между какими-то загрязнениями, имеющимися на меди.

Получить значение коэффициента трения для абсолютно чистых поверхностей невозможно. Допустим, мы вычистили и отполировали два медных бруска, удалили с них жир, дегазировали в вакууме и т. д. Если теперь сложить два куска меди вместе, то они слипнутся и образуют один кусок металла — ведь атомы на границе раздела, образно говоря, не могут знать, какому бруску они принадлежат.

Это явление можно проиллюстрировать так.

Привяжите к ножке бокала нитку и поставьте его на стол, накрытый стеклом. Если потянуть за нитку, бокал легко заскользит по стеклу. Теперь смочите стекло водой. Перемещать бокал станет значительно труднее. Если вы присмотритесь к стеклу, то заметите даже царапины. Дело в том, что вода удалила жир и прочие вещества, загрязнявшие трущиеся поверхности. Образовался чистый контакт стекло—стекло. Он настолько хорош, что вырвать кусочки стекла (сделать царапины) оказывается легче, чем нарушить контакт.

Пусть на негладкой поверхности лежит некоторое тело (рис. 17). Его сила тяжести P уравновешивается нормальной реакцией N. Мы прикладываем небольшую силу Q_1, но тело не движется. Это значит, что его держит сила трения F_1, которая равна силе Q_1. Увеличим немного силу Q_1 до величины Q_2. Тело продолжает оставаться в покое. Это говорит о том, что его не пускает сила трения F_2, равная Q_2. И так далее. Но силу Q можно увеличивать беспредельно, а сила трения не может быть больше своего максимально возможного значения $F = kN$. Когда Q становится равной максимальной силе трения, то этот момент называется порогом покоя или порогом срыва. В следующее мгновение начинается движение.

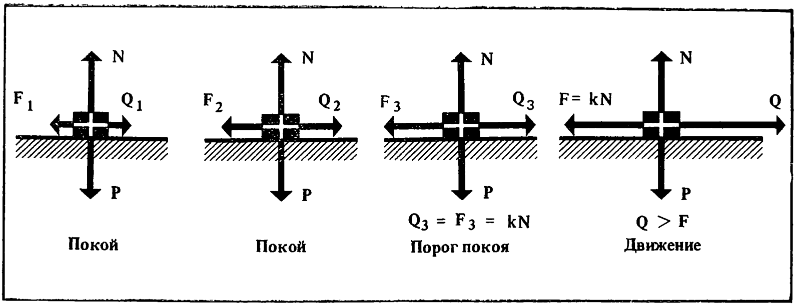


Рис. 17

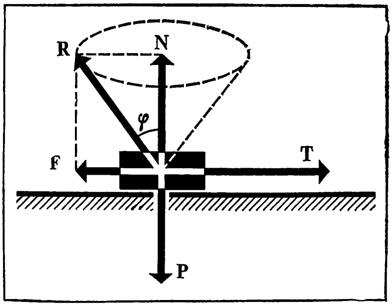


Рис. 18

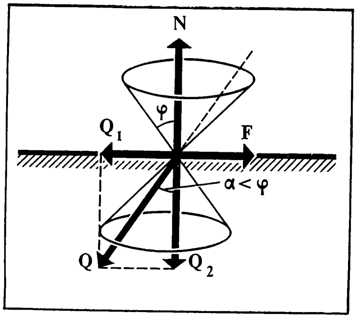


Рис. 19

Следовательно, сила трения изменяется от нуля до некоторого максимального значения, равного kN. Когда нет тянущей силы, нет и силы трения. При наличии движущей силы появляется сила трения.

Несколько слов о конусе трения.

Пусть тело веса P движется под действием силы T по шероховатой поверхности (рис. 18). С одной стороны, поверхность не позволяет телу падать вниз под действием силы тяжести P. С другой стороны, поверхность мешает свободному перемещению тела под действием силы T. Таким образом, сила трения F, так же как и нормальная реакция, вызвана к жизни поверхностью, т. е. сила трения — это тоже реакция. Нормальная реакция и сила трения складываются в полную реакцию R, которая отклонена от нормали на угол φ. Этот угол называется углом трения. С помощью рис. 18 легко вычислить, чему равен тангенс угла трения:

$$\operatorname{tg} \varphi = F/N = kN/N = k,$$

т. е. тангенс угла трения численно равен коэффициенту трения.

Теперь представьте себе, что вы вращаете полную реакцию вокруг нормали к поверхности. В этом случае сила R описывает конус, который называется конусом трения. Он интересен тем, что область, ограниченная конусом трения, определяет область равновесия для тела: если сила действует на тело внутри конуса трения, она не сдвинет тело, как бы велика ни была.

Давайте посмотрим, почему так происходит.

Если сила Q действует внутри конуса трения, то сдвигающая сила $Q_1 = Q \sin \alpha$ (рис. 19). Вычислим силу трения: $F = kN = kQ \cos \alpha = Q \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi$. Запас прочности $F - Q_1 = Q (\cos \alpha \operatorname{tg} \varphi - \sin \alpha) = Q \sin (\varphi - \alpha)/ / \cos \varphi$. Таким образом, запас прочности пропорционален Q, так как $\sin (\varphi - \alpha)/\cos \varphi$ — постоянная величина. Чем больше сила Q, тем больше удерживающая сила $F - Q_1$.

Конус трения построить очень просто. Пусть, например, нам надо построить конус трения для стального стержня, опирающегося на чугунную плиту. Смотрим в справочник и находим коэффициент трения для стали по чугуну. Он равен 0,16. Следовательно, надо построить конус, в котором образующая была бы наклонена к нормали под углом 9°, так как тангенс 9° примерно равен 0,16 ($\sin 9° = 0{,}1584$). Понятно, что чем больше коэффициент трения, тем больше угол в конусе трения и наоборот.

Уметь строить конус трения нужно по разным причинам. Например, вот почему.

Однажды в Мюнхене рухнул мост, и виноват в этом был не ураганный ветер, не полк идущих в ногу солдат, а... конус трения.

Этот мост одним своим концом был закреплен при помощи шарнира, а другим — положен на катки. Мост всегда крепят таким образом, чтобы он не покривился при колебаниях температуры. Шарнир был заполнен пастой, предохранявшей его от коррозии. В жаркий летний день паста растопилась, и вязкость ее стала меньше. Характер трения изменился — оно также уменьшилось. Конус трения сузился, и сила давления на опору вышла за пределы конуса (рис. 20). Равновесие нарушилось, и мюнхенский мост рухнул.

Инженерам часто приходится строить конус трения, чтобы определить, будет ли находиться в равновесии данная конструкция или нет. Но с конусом трения имеют дело не одни только инженеры. Каждый из нас ежедневно сталкивается с этим физическим явлением.

Чтобы пробраться к выходу в переполненном автобусе или троллейбусе, приходится извиваться ужом. Делаем мы это бессознательно, не задумываясь, что таким образом мы выходим из конусов трения в местах касания с другими пассажирами.

Катаемся ли мы на коньках, идем ли на работу, переворачиваем ли страницу в книге — всюду мы сталкиваемся с трением и, в частности, с конусом трения.

Рассмотрим еще один практический пример, связанный с трением. Под каким углом выгоднее всего тянуть веревку, чтобы перемещать тяжелый груз P по горизонтальной плоскости?

Спроектируем все силы, действующие на груз P (рис. 21), на горизонтальное и вертикальное направления. Получим два уравнения: $Q\cos\alpha - kN = 0$ и $Q\sin\alpha + N - P = 0$, из которых найдем силу Q : $Q = P\sin\varphi / \cos(\alpha - \varphi)$. Мы видим, что Q минимальна, если $\alpha = \varphi$, т. е. выгоднее всего тянуть под углом, равным углу трения. Чем плоскость более гладкая, тем более длинную веревку надо брать.

Теперь поговорим о формуле Эйлера.

Видели ли вы, как сдерживают ход корабля, подошедшего к пристани? С парохода на пристань бросают канат, на конце которого сделана широкая петля. Человек, стоящий на пристани, надевает петлю на причальную тумбу, а матрос на корабле быстро укладывает канат между кнехтами — так называются небольшие тумбы, укрепленные на борту судна. Сила трения между канатами и кнехтами останавливает движение судна.

Неужели сила трения в этом случае так велика?

Представьте себе, что вы поднимаете из шахты груз при помощи веревки, переброшенной через неподвижный блок (рис. 22). Если бы трение отсутствовало, то, поднимая груз, пришлось бы прикладывать силу, в точности равную весу груза. Но так как между веревкой и блоком существует трение, то, чтобы поднять груз P, придется приложить силу $T > P$. Сила T, необходимая для поднятия груза P, вычисляется по формуле Эйлера: $T = Pe^{k\varphi}$. Здесь e — основание натуральных логарифмов, k — коэффициент трения, а φ — угол охвата блока веревкой, выраженный в радианах.

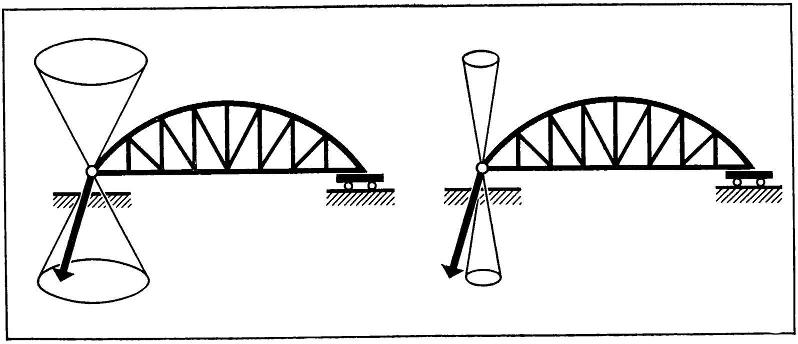


Рис. 20

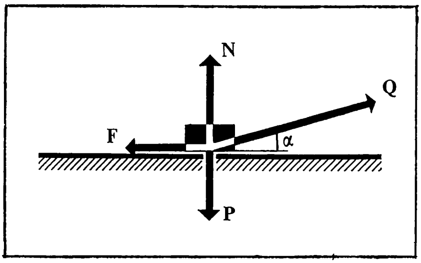


Рис. 21

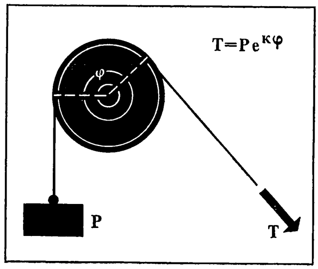


Рис. 22

Давайте подсчитаем, какую силу надо приложить, чтобы удержать корабль у пристани. Пусть движущийся корабль тянет канат с силой в 10 т. Коэффициент трения каната о железную тумбу известен. Он равен 0,35. Предположим, что матрос обернул канат вокруг тумбы три раза. Тогда угол охвата тумбы канатом $\varphi = 6\pi$. Подставив значения T, k и φ в формулу Эйлера, получим уравнение $10\,000 = P \cdot 2{,}72^{6\pi \cdot 0{,}35}$, из которого найдем силу P. Она равняется примерно 15 кг. Следовательно, чтобы сдержать бег судна, матрос должен удерживать канат всего с силой в 15 кг. Обычно матрос, обернув канат несколько раз вокруг кнехтов, просто придерживает свободный конец каната ногой, прижимая его к палубе.

Итак, если корабль тянет с силой в 10 т, матросу достаточно приложить силу в 15 кг, чтобы остановить движущееся судно (при условии, что канат три раза обернут вокруг тумбы). Остальные 9985 кг гасятся силой трения.

Приведенный расчет показывает, что при швартовке развиваются довольно-таки значительные силы трения. Раньше, когда причальные тумбы делались из дерева, они, нагреваясь, иногда даже начинали дымиться. В очерке Д. Н. Мамина-Сибиряка «Бойцы» (о сплаве на реке Чусовой) говорится, что по этой причине сплавщики называли причальные тумбы огнивами. Чтобы во время швартовки огнива не загорались, их обливали холодной водой.

В романе Жюля Верна «Матиас Шандор» выведен силач Матифу. Он совершает много подвигов, среди которых есть такой.

Готовился спуск на воду трабаколо — небольшого судна с двумя мачтами и двумя парусами трапециевидной формы. Плотники начали выбивать из-под киля судна клинья, удерживавшие трабаколо на спусковой дорожке. В этот момент в гавань влетела нарядная яхта. Плотники прекратили свою работу, чтобы дать возможность яхте без помех пройти мимо места спуска трабаколо. Но вдруг трабаколо заскользило по спусковой дорожке в воду. Оно неминуемо должно было врезаться в борт плывущей мимо верфи яхты.

«Вдруг из толпы зрителей выскакивает какой-то человек. Он хватает трос, висящий на носу трабаколо. Но тщетно старается он, упираясь в землю ногами, удержать трос в руках. Его не страшит мысль, что трабаколо может увлечь его за собою. Поблизости врыта в землю швартовая пушка. В мгновение ока неизвестный набрасывает на нее трос, который начинает медленно разматываться, а храбрец, рискуя попасть под него и быть раздавленным, сдерживает его со сверхчеловеческой силой. Это длится секунд десять.

Наконец трос лопнул. Но этих десяти секунд оказалось достаточно. Трабаколо... прошло за кормой яхты на расстоянии не более фута...

Яхта была спасена.

А неизвестный, которому никто не успел помочь,— до того неожиданным оказался его поступок,— был не кто иной, как Матифу» [3].

Жюль Верн, видимо, не был знаком с формулой Эйлера. Иначе он понял бы, что эпизод с трабаколо не может свидетельствовать о силе Матифу. Ведь если канат был обернут несколько раз вокруг швартовой пушки, то удержать трабаколо мог даже ребенок.

Каждый из нас по крайней мере раз в день пользуется формулой Эйлера. Происходит это тогда, когда мы завязываем шнурки на ботинках. Ведь что такое узел, как не веревка, обвитая вокруг другой части той же веревки? И крепость узла тем больше, чем больше изгибов делает шнурок в узле.

В заключение лекции несколько слов о трении качения. Так называется сопротивление, которое испытывает катящееся колесо. Трение качения обусловлено тем, что колесу приходится все время взбираться на небольшой бугорок, образующийся перед движущимся колесом

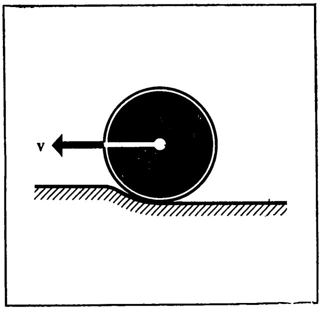


Рис. 23

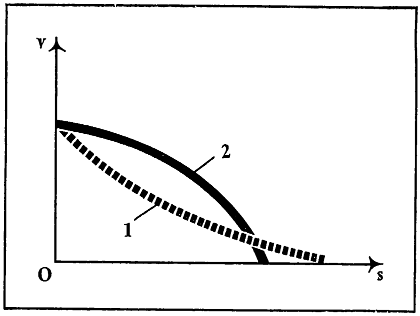


Рис. 24

(рис. 23). Чем дорога тверже, тем сопротивление качению меньше. Поэтому автомобильные и мотоциклетные заезды на побитие рекордов скорости проводят обычно по дну высохших соленых озер, которые обладают очень твердой поверхностью.

В гонках участвует далеко не каждый, а вот ездить на автомобиле, мотоцикле, велосипеде приходится очень многим. Как лучше тормозить, если перед вами возникает препятствие?

На поставленный вопрос отвечает вот такой график (рис. 24). Если вы тормозите скольжением, намертво зажимая колеса (так называемый юз), то тормозной путь будет длиннее, чем при торможении качением (колеса заторможены, но проворачиваются), зато скорость вначале падает более резко. Поэтому при опасности наезда надо всегда тормозить юзом. Лучше ударить с меньшей скоростью, так как энергия удара пропорциональна квадрату скорости. Во всех остальных случаях надо тормозить качением: и тормозной путь будет короче, и шины меньше изнашиваются.

Как работали великие ученые

Я расскажу вам сегодня о том, как жили и работали великие ученые прошлого, как живут и работают ученые-современники. Это и само по себе очень интересно, но мне еще хочется это сделать по другой причине.

Иногда приходится слышать, как студенты говорят: «Нам трудно, нам тяжело учиться». Так ли это? Мне кажется — нет. Некоторые трудности вы выдумываете сами, а многое вам кажется трудным, потому что вы не знаете, что такое настоящий труд. Вы привыкли, что все вам дается готовым, а ведь надо немного и самим поработать. Я расскажу вам сегодня о настоящих трудностях и о настоящем труде.

Вы знаете, как тяжело было жить и работать в средние века. В то время быть ученым и рисковать своей жизнью было одно и то же. Вспомните Джордано Бруно, сожженного на костре!

Я не буду говорить вам об известных ученых того времени, таких, как, например, Коперник и Галилей. Биографии их вы хорошо знаете. Я расскажу вам о Никколо Тарталье, хромом заике, сыне бедняка.

Когда великий Сулейман хочет разрушить свободную Венецию, Никколо пишет герцогу Урбинскому, правителю Венеции: «Я не могу молчать. Я знаю, что дальность полета стрелы наилучшая при 45°».

Когда затонули корабли и надо было их поднять, так как не было времени строить новые, Никколо Тарталья садится ночью за книги и изучает, как плавают тела. Он производит необходимые расчеты, и корабли были подняты.

Когда испанский посол заявляет венецианцам: «Ваше отечество в опасности, ваши купцы грабят народ», то ко двору вызывают Никколо, который производит проверку весов.

Тарталья борется со схоластической наукой. Он борется с теми университетами, которые решали проблему, куда пойдет осел, если перед ним справа и слева стоят одинаковые ведра, но в одном овес, а в другом вода. Вот какие проблемы занимали тогда некоторых ученых.

Никколо создает многотомную энциклопедию на итальянском языке. Он создает также физико-математическую книгу. И все это делается ночью после дневной погони за заработком.

После того как наука уже установилась и нельзя было изгнать из нее ни систему Коперника, ни механику Галилея, занимаются травлей ученых. За занятия наукой теперь уже не бросают в тюрьмы, не пытают, не сжигают на кострах. Ученые больше не опасаются за свою жизнь, но им по-прежнему приходится работать в неимоверно трудных условиях. Пример работы в исключительно тяжелых условиях показывает Иоганн Кеплер.

За стойкой кабачка только что оправившийся от оспы мальчик. Это Иоганн Кеплер. Мать — истеричная злая женщина, полубезумная. Отец — солдат, сражается против бельгийцев. Один брат — тоже солдат, другой — оловянщик.

Тяжелая изнурительная работа за стойкой в кабачке, а по ночам Евклид. По ночам все книги доступны мальчику. Мать его за это бьет. Есть нечего, но мальчик читает, учится.

Отец погибает на войне. Кабачок закрывается, и бледного мальчика на тонюсеньких ножках посылают в поле пахать. Но Иоганн все продолжает учиться. Наконец, он получает должность репетитора.

Потом Кеплер встречается с великим астрономом Тихо Браге, который приглашает его работать к себе. Но Тихо не платит ему за работу ни копейки.

Кеплер вместе с Тихо приближены ко двору императора Рудольфа II. Тихо умирает, и придворным астрономом остается Кеплер. А денег ему все не платят. Император заставляет Иоганна составлять гороскопы, а денег не платит.

Жена Кеплера сходит с ума. Двое детей заболевают падучей болезнью и умирают. А по ночам Кеплер разбирает громадную библиотеку, комбинирует цифры, ищет законы движения планет. Денег же ему все не платят.

Кеплера выгоняют из страны за религиозную ересь. Его мать обвиняют в колдовстве. Кеплер пишет всем, доказывает, что его мать не ведьма, но потом сам начинает сомневаться: а может быть, ведьма? Человека довели до такого состояния, что он уже совершенно потерял голову! Сомневается в собственной матери! А по ночам все ищет законы движения планет. И находит эти законы.

Денег по-прежнему не платят. Сплошное мытарство. Мечется по всей Австрии. Стоит у дверей казначейства и просит, как милостыню, свой собственный заработок. Ни минуты свободной, чтобы сесть за стол.

Результат двойной. После покойника остается 22 экю, одно изношенное платье, две рубашки, 57 вычислительных таблиц, 30 колоссальных многотомных научных работ и неуплаченное жалованье — 29 тысяч экю.

Когда же ты написал эти 30 многотомных научных работ? Не понимаю!

Для того чтобы найти свой знаменитый закон «квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний от Солнца», Кеплер проделывает вычисления. Одно вычисление — 10 страниц. Делается одно вычисление 70 раз для проверки его правильности. Таких вычислений семь томов.

Из работ Кеплера видно, что прочитано им все, что только можно было тогда прочитать. В его работах вы увидите ссылки на такое количество авторов, что даже трудно себе представить. И все эти авторы им действительно прочитаны.

Если в современной работе сделана ссылка на литературу, то нельзя с уверенностью сказать, что эта работа автором прочитана. На законы Кулона ссылались 90 — 100 лет, а когда кто-то хорошенько просмотрел работы Кулона, то никаких таких «законов Кулона» не нашел.

Несколько слов о Леонарде Эйлере. Он оставил в наследство 850 научных работ. Не таких работ, какие иногда, к сожалению, еще бывают у нас, а эйлеровских научных работ!

Молодой Эйлер в Петербургской академии наук берется за составление таблиц для вычислений. Спрашивает: «Сколько времени вы можете мне дать?» Ему отвечают: «Три месяца», а Эйлер сделал все за три дня.

Задолго до смерти ослеп Эйлер. Наизусть все диктует родным. Слепой диктует сложнейшие выкладки. Какая техника мышления, какая память!

Маленький штрих, показывающий, в каких условиях ему приходилось работать.

Эйлер вернулся из России в Пруссию. Дочь императора встретила его очень ласково:

— Очень рада, что вы приехали.

Эйлер молчит.

— Как поживаете?

Опять молчит.

— Что с вами, господин Эйлер?

— Вы знаете, откуда я приехал? От Анны Ивановны приехал. Там, если скажешь слово, повесят!

Эйлер интересен тем, что всегда откровенно пишет о своей работе. Возьмите вопрос о нитке, который так интересовал его. Он думал над ним 43 года. Это не значит, конечно, что Эйлер 43 года занимался одной только ниткой. За это время он работал над сотнями других проблем, а к вопросу о нитке периодически возвращался и снова вел исследования.

Написал он одну работу, посвященную нитке. Не понравилась ему самому эта работа. Через 15 лет выпускает Эйлер новую работу по нитке и заявляет: «Никуда не годится моя предыдущая работа, я все переделал заново и нашел более красивое решение». Опять проходит 15 лет, и он получает новые, более изящные результаты, которыми мы пользуемся сейчас.

Я не буду рассказывать вам о Кориолисе, который был настолько болен, что каждое утро решал задачу: как бы прожить хотя бы еще один день? Это была для него самая трудная задача. Несмотря на это, он оставил громадное количество открытий, громадное количество теорий.

Урбен Жан Жозеф Леверье был настолько болезненный человек, что во время приступов раковой болезни выбегал во двор обсерватории, стонал и корчился от боли. Но только утихала боль, он сейчас же брался за свои расчеты и кончиком пера нашел новую планету.

Когда, пользуясь указаниями Леверье, берлинский астроном Иоганн Галле 23 сентября 1846 г. направил телескоп на небо, то он действительно обнаружил новую планету, которая была найдена Леверье за письменным столом. Эта планета была впоследствии названа Нептуном.

Выкладки Леверье настолько сложны, что до сих пор редко найдется человек, который смог бы их воспроизвести.

Если человек искренне увлечен наукой, то его не остановят никакие трудности, ему не помешают никакие препятствия. Возьмите, например, Араго, бессменного секретаря Парижской академии наук эпохи Французской революции.

Он был послан измерить меридиан земного шара. Чего только с ним за это время не происходило! Его брали в плен, продавали в рабство, его выкупали за пару львов.

Разбойники чуть-чуть не зажарили его живьем. Араго сажали в разные тюрьмы. Он плыл через Средиземное море в течение трех месяцев. Пережил много бурь. Опять попал в плен...

Он прибыл во Францию без сапог и из-за рубашки вытащил сохраненные им вычисления меридиана. На другой день он уже докладывал их Академии наук.

Когда читаешь биографию Араго, то думаешь, что он не совсем нормальный человек: его ведут на расстрел, а он прячет за пазуху вычисления меридиана.

Можно было бы долго рассказывать о Ползунове, Кулибине, которые добивались многого в неимоверно тяжелых условиях. Их работа — это чудовищные эпопеи в смысле затраты энергии и времени. Все это грандиозно и красиво!

Я хочу перейти к тому, как работали классики марксизма-ленинизма.

19-летний Маркс пишет отчетное письмо отцу. Я, пишет Маркс, занимаюсь философией права. Я проработал 300 печатных листов. Написал конспект. И я заметил фальшь во всей системе. Мне не нравится, как строится философия права. Мне надо это как-то все заново сделать, изучив философию.

Вот 19-летний юноша изучил 300 печатных листов. 300, умноженное на 16,— 4800 страниц. Юноша чувствует, что здесь что-то не так. 19-летний Маркс сознательно определяет свою дальнейшую 40-летнюю работу над «Капиталом».

Читает на всех европейских языках, безукоризненно пишет на французском и английском языках, а родной язык — немецкий. 50 лет от роду Маркс садится за изучение русского языка и через шесть месяцев читает без словаря Пушкина и Гоголя.

Зачем ему понадобилось знание русского языка? Вышла книга «О положении рабочего класса в России». Маркс должен с ней познакомиться, а достать перевод этой книги невозможно. В России вышла работа, которая его интересует, и он изучает русский язык, чтобы прочитать эту книгу!

Третий том «Капитала» остается написанным Марксом в четырех-пяти вариантах. Вся оставшаяся жизнь Энгельса тратится на то, чтобы привести в порядок неоконченный труд Маркса.

Несколько штрихов из жизни Энгельса. Энгельс, как говорил Лафарг, заикался на 20 языках. Заикался он не потому, что плохо знал эти 20 языков, а просто потому, что он от природы был заикой.

«Диалектику природы» Энгельс писал 13 лет. Им прочитано около 90 книг по естествознанию, процитировано 260 авторов. Все это сделано для того, чтобы написать эту одну книгу.

Я не знаю, насколько он был силен в химии и в других науках, но то, что написано им по теоретической механике, меня поражает. То, к чему приходишь через 20 лет работы, оказывается уже написанным у Энгельса. Глава «Работа» лично для меня сыграла громадную роль. Меня поражает, как не механик, не математик мог уловить самую суть теоремы о живых силах и провозгласить ее в таком аспекте, в котором мы ее видим сейчас, когда открыт принцип относительности и атомная механика.

Мальчик Володя Ульянов... Сочинение, заданное в гимназии на дом, он не откладывает до последнего дня. 20 раз перепишет, 30 раз поменяет план и напишет безукоризненно.

Полюбил кататься на коньках.

— Брошу, мешают работать.

Увлекся шахматами.

— Брошу, мешают работать.

Латынью увлекся.

— Хорошая вещь латынь, но мешает работать, брошу.

Возьмите его колоссальное конспектирование, напоминающее Маркса, а порой даже превосходящее его. Для того чтобы написать «Развитие капитализма в России», Ленин прочитал свыше 500 книг и статей на русском и иностранных языках.

Для того чтобы написать свою книгу об империализме, Ленин прочитал 148 книг, 222 журнальные статьи, составил конспект на 20 тетрадях. Объем конспектов — 43 печатных листа.

Ленин сидит в тюрьме, пишет, цитируя наизусть всех авторов. Приходят родные, говорят:

— Володя, тебя скоро выпустят!

— Жаль, не успею дописать. А в тюрьме хорошо работать, никто не мешает.

Рассказывает один рабочий: «Владимир Ильич держит в руках немецкую книгу, а читает ее нам по-русски».

Вот как он знал языки! И таких примеров можно привести тысячу.

Лев Семенович Понтрягин. Геометр.

Идет лекция профессора Николая Николаевича Бухгольца. Все слушают не очень внимательно. И вдруг голос:

— Профессор, вы ошиблись... На чертеже.

Кто делает это замечание? Оказывается, слепой Понтрягин. Он слепой и поэтому очень внимателен. Он слушает расстановку букв на чертеже и слышит, что там что-то не все в порядке. Его изумительная работоспособность позволила ему стать академиком, известнейшим ученым, лауреатом.

Геолог Синюков пять лет вел разведку нефти. Прошел 16 тысяч километров в ужаснейших условиях, 8 тысяч километров пройдено пешком, 8 тысяч — на лошадях, плотах, оленях. Все анализы проделаны там же, где он шел.

Можно было бы еще привести 1 275 642 примера, но чтобы вас не утомлять далее, я сформулирую кратко, что же из всего сказанного мною вытекает. В чем секрет успеха в науке?

Главное здесь — колоссальная трудоспособность. Таланта 10 процентов, 90 процентов — не в таланте, а в колоссальной, легендарной трудоспособности.

Я хочу пожелать вам быть самокритичными, скромными, добросовестными.

Иногда слышишь от аспиранта: «Я собираюсь к осени написать диссертацию». А сейчас весна! Что же, на диссертацию у тебя остается четыре месяца? Нет, так не годится!

Заканчивая, я хочу сказать: не бойтесь труда, не бойтесь трудностей, воспитывайте в себе железную волю, дисциплину труда, научную добросовестность и главное — любовь к труду. Помните слова Эдисона, что талант — это один процент вдохновения и девяносто девять процентов пота.

* * *

Лекция окончилась. Но еще долго студенты не расходились — Андрей Петрович отвечал на вопросы.

На следующее утро я наблюдал, как даже наши признанные ленивцы старательно записывали лекции. Это может показаться наивным, но это так. Сила воздействия А. П. Минакова на слушателей была потрясающей, а вот удалось ли мне это передать, не знаю.

Глава 5

Методические разработки

Как преподавать теоретическую механику? Как сделать ее ясной и понятной для слушателей? Как донести до них всю красоту этой древней, но вечно молодой науки? Подобные вопросы волнуют любого преподавателя: и начинающего, и умудренного многолетним опытом. Волновали они и Андрея Петровича Минакова. Он без преувеличения думал над ними постоянно, а затем делился своими мыслями в курсе «Методика преподавания механики», который читал в Московском университете. В этом курсе Андрей Петрович не только рассказывал о том, как, по его мнению, надо преподавать студентам различные разделы механики, но и говорил о своих сомнениях в правильности общепринятых методов преподавания, честно признавался в непонимании им отдельных положений. Он говорил: «Если ваш авторитет установился, если студенты не сомневаются в вашем интеллекте, показать им, что вы чего-то не знаете, не страшно. Когда репутация высока, раскрывать свое невежество даже полезно». Поэтому лекции по методике механики часто превращались у Андрея Петровича в показ неясных и непонятных моментов в курсе механики.

А. П. Минаков придавал большое значение методическим разработкам. Он говорил: «В методике недопустим эксперимент. Студенты — не кролики». И добавлял: «Преподавая, надо помнить, что готовишь инженера, а не читаешь курс».

Методика механики в изложении А. П. Минакова — это был не какой-то раз навсегда установившийся курс, читаемый из года в год по одному и тому же шаблону, а скорее избранные главы из курса «Преподавание механики», с которыми в данный момент почему-то хочет поделиться автор. Аналогично построена и эта глава книги. В ней освещены лишь некоторые вопросы методики преподавания механики в трактовке Андрея Петровича Минакова, а не весь его курс методики.

Вот что он говорил.

Сила

Статику надо начинать с аксиоматики, а перед нею — дать определения. Самое трудное из них — понятие силы. Ведь нет такого определения силы, которое ни у кого не вызывало бы возражений. В школе силами обычно называют причины, порождающие или изменяющие движение.

Что же делать? Ждать, пока из курса механики станет ясно, что такое сила, нельзя, надо преподавать. Поэтому мудрить не нужно, а, надеясь на то, что каждый имеет интуитивное представление о том, что такое сила, стараться углубить это представление.

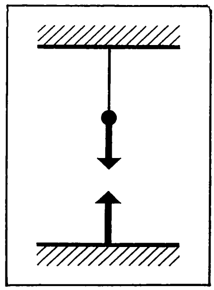


Рис. 25

Изложение всего курса механики есть раскрытие понятия силы. Поэтому вначале делайте вид, что термин «сила» так же ясен, как слова «пространство» и «время».

С самого начала студенты должны усвоить то, что сила — понятие дуальное. Такие понятия нам известны из литературы. Мы говорим одно слово: дуэль, переписка, дружба, беседа, любовь и т. д., а предполагаем участие двух людей. Так и у студентов при слове «сила» всегда должно возникать представление о двух силах. Сила никогда не бывает одна, а только в паре с другой силой. Действию всегда есть равное и противоположно направленное противодействие. Раз есть действие, то есть и противодействие, т. е. силы всегда выступают взаимно уравновешивающимися «двойками».

И рисовать надо не одну силу, а две. Например, на веревке висит тело, на которое действует сила притяжения к Земле. Сразу же нарисуйте поверхность Земли и вторую стрелку — взаимодействие (рис. 25). Не рисуйте силу в одиночку! Тогда вам в дальнейшем легче будет разъяснять некоторые положения механики, скажем принцип Д'Аламбера.

Пара сил

После сходящегося пучка сил идет раздел, посвященный параллельным и антипараллельным силам (рис. 26):

$$P : a = Q : b = R : l, \quad R = P \pm Q, \quad l = a \pm b.$$

Эти формулы относятся к обоим чертежам.

Рассмотрим случай $P = Q$ для двух антипараллельных сил. В этом случае равнодействующая $R = 0$, а линия действия ее уходит в бесконечность ($b = \infty$). Опыт показывает, что, когда $R = 0$, тело вращается. Так мы приходим к понятию пары.

Парой называется совокупность двух одинаковых антипараллельных сил, линии действия которых не совпадают. Расстояние между линиями действия пары называется плечом пары. Для пары равнодействующая равна нулю и лежит в бесконечности.

Далее надо показать, что пара вращает вокруг центра масс, а не середины плеча. Как пример можно рассказать (или показать) два следующих опыта. На столе лежит плоская фигура (рис. 27), к двум точкам которой привязаны веревки. Эти веревки переброшены через блоки, а на концах укреплены одинаковые грузы P. Фигура будет поворачиваться вокруг точки C — центра тяжести фигуры, а не середины плеча.

Привяжем теперь одну из веревок в точке C (в центре тяжести) плоской фигуры. Так же как и в предыдущем случае, фигура будет вращаться вокруг точки C. Следовательно, точка C будет неподвижна, и создается впечатление, что один груз как бы не играет никакой роли. Кажется, будто бы в точку C фигуры вбит гвоздь, и фигура вращается вокруг этого гвоздя под действием только другого груза.

Почему пару измеряют произведением силы на плечо? Рассмотрим пару, состоящую из сил *1* и *2* (рис. 28). Перенесем силу *2* по линии действия, получим, что пара вращает вокруг другой точки, т. е. пара не вращает вокруг середины плеча. Но при переносе силы площадь параллелограмма, построенного на силах, сохраняется. Площади параллелограммов *а* и *б* на рис. 28 равны. Поэтому пара (эффективность ее действия) измеряется моментом (произведением силы на плечо).

Первую теорему о парах необходимо формулировать и доказывать как «неразрушимость площади пары» (слова «эквивалентность моментов» надо выкинуть). Пуансо на-

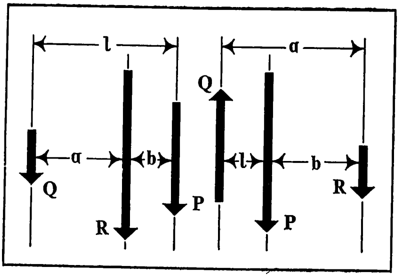


Рис. 26

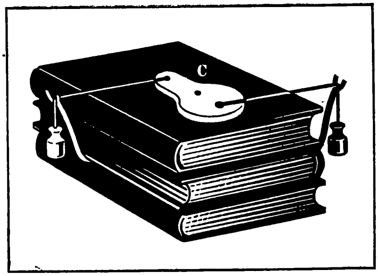


Рис. 27

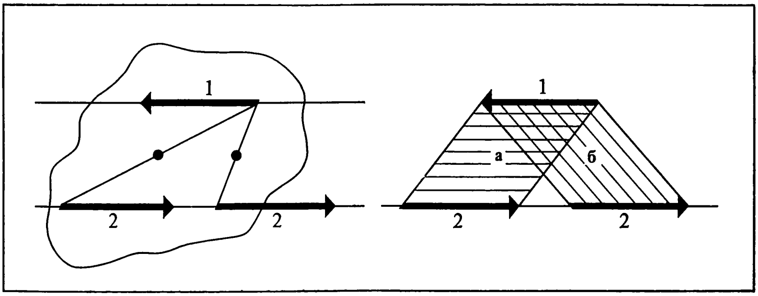


Рис. 28

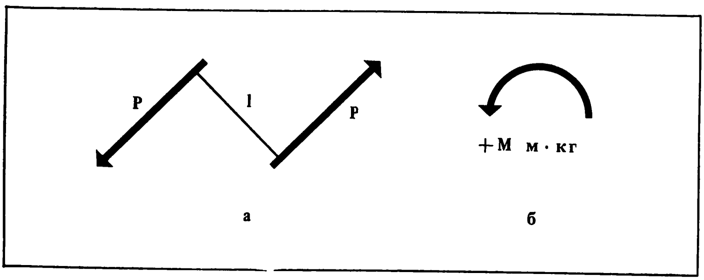


Рис. 29

зывал пару «купль», что в переводе означает чета, супруги, связка.

Не нужно, чтобы студенты представляли себе пару так, как нарисовано на рис. 29*а*. А надо так, как показано на рис. 29*б*.

Сила — усилие, разлитое по бесконечной прямой. Пара — вращательное усилие, разлитое по всей плоскости (пару можно как угодно переносить и поворачивать в плоскости ее действия).

Указывая размерность, лучше писать мкГ, а не кГм, так как это наталкивает на работу. Здесь, действительно, работа в кГм как угловая работа, но работа здесь не основное, поэтому лучше мкГ, чем кГм. Рассказывая о паре как о векторе, надо подчеркнуть, что момент пары — свободный вектор.

Центральная теорема статики

Центральная теорема статики — это теорема о переносе силы параллельно самой себе. Обычно ее формулируют так: силу можно переносить куда угодно параллельно самой себе, добавляя при этом соответствующую пару сил или момент. Здесь очень нехорошо говорится о переносе. Ведь сила не переносится в сторону, она остается и входит в пару.

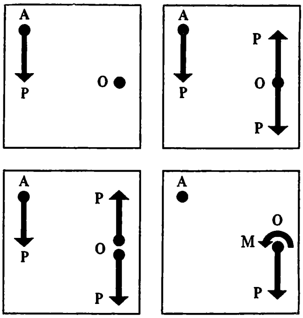


Рис. 30

Центральная теорема статики говорит о действии силы на точку твердого тела, не лежащую на линии действия силы. Поэтому эту теорему, видимо, лучше формулировать так: в любой точке пространства можно обнаружить точно такую же силу плюс момент. Или: всякая сила, действующая на твердое тело, эквивалентна равной силе, имеющей другую линию действия, и паре, момент которой равен произведению любой из сил, образующих пару, на расстояние между линиями действия сил.

Доказывается центральная теорема статики очень просто, на одних только рисунках, к которым можно давать небольшие пояснения (рис. 30). Эти пояснения могут быть строго научными, нейтральными, а могут иметь «бытовую» окраску. Например, можно сказать:

Жила-была одинокая сила... В отдалении от нее поселились две силы... Затем между этими двумя силами образовалась трещинка, отчуждение... И теперь уже справа живет одинокая сила, а две другие образовали пару.

Центральная теорема статики приводит к интересным соображениям: на линии действия сила только действует, а на другой линии — и действует, и поворачивает, т. е. действие силы меньше всего на линии ее действия.

Равновесие плоской произвольной системы сил

После главы о паре и обоснованной основной теоремы статики идет глава «Равновесие плоской системы сил».

В плоской статике лучше не рассматривать момент силы как вектор.

Рассказывая о приведении сил к центру, вместо «главный вектор» и «главный момент» С. А. Чаплыгин предлагает говорить «результирующий вектор» и «результирующий момент», так как точка приведения произвольная. Если мы говорим «главный вектор» и «главный момент» при приведении плоской системы сил к произвольной точке, то отсюда следует, что все векторы главные. Особенно это плохо для момента, который не инвариантен.

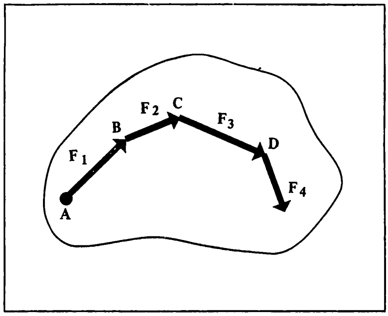


Рис. 31

Когда о приведении плоской системы сил к произвольно выбранной точке рассказано, можно попробовать дать студентам такой пример. Имеется твердое тело, в точках которого A, B, C и D действуют силы F_1, F_2, F_3 и F_4 (рис. 31). К чему можно привести такую систему сил?

Я неоднократно задавал своим слушателям такой вопрос на зачетах, экзаменах и, как правило, получал следующий ответ. Большинство студентов «замыкало» многоугольник, а не приводило его к точке. Вот почему надо всегда говорить «векторный», а не «силовой» многоугольник. Многоугольники первых глав образованы не силами, а векторами, их изображающими, т. е. силы не трогают, а изображающие их векторы можно переносить и строить где угодно, и результирующий вектор — это не силовой, а векторный многоугольник.

Говоря об особенностях приведения, надо указать четыре частных случая приведения: 1) $П \neq 0$, $M \neq 0$; 2) $П \neq 0$, $M = 0$; 3) $П = 0$, $M \neq 0$; 4) $П = 0$, $M = 0$.

Только во втором случае результирующий вектор является равнодействующей. Подчеркнуть, что эти четыре случая получаются, если точка приведения произвольная, а к чему можно свести — это другое дело. Поэтому нельзя ставить вопрос: к чему приводится система сил? Если ставится такой вопрос, то надо оговаривать: при произвольной точке — или иначе ставить вопрос: к чему можно привести систему сил для определенно выбранной точки?

Показать, что первый частный случай всегда можно свести ко второму.

Основная идея при рассказе об уравнениях равновесия для плоской произвольной системы сил в том, что, так как Π (сила) не может уравновесить пару (M), то для равновесия плоской произвольной системы сил необходимо, чтобы $\Pi = 0$ и $M = 0$, т. е.

$$\sum F_{ix} = 0,$$
$$\sum F_{iy} = 0,$$
$$\sum m_0(F_i) = 0.$$

Для равновесия плоской произвольной системы сил необходимо и достаточно, чтобы выполнялись эти три уравнения.

Дать намек, что первые два уравнения накладывают запрет на сдвиг по осям x и y, а последнее — запрет поворота. O — произвольная точка, относительно которой берутся моменты всех сил, а не начало координат, как иногда представляется студентам.

Подробно остановиться затем на необходимости и достаточности уравнений равновесия. Опыт экзаменов показывает, что многие студенты плохо представляют себе, в чем необходимость и в чем заключается достаточность этих трех уравнений как условий равновесия плоской произвольной системы сил.

Существуют различные виды систем трех уравнений равновесия:

$$\begin{array}{lll} \sum F_{ix} = 0, & \sum F_{ix} = 0, & \sum m_A(F_i) = 0, \\ \sum F_{iy} = 0, & \sim \sum m_A(F_i) = 0, & \sim \sum m_B(F_i) = 0, \\ \sum m_0(F_i) = 0. & \sum m_B(F_i) = 0. & \sum m_C(F_i) = 0. \end{array}$$

Относительно двух последних систем уравнений равновесия ставятся определенные условия, например, точки A, B и C не должны лежать на одной прямой.

Здесь может возникнуть вопрос: что «главнее» — момент или сила? Ведь есть такая система уравнений, в которую входят одни моменты, но нет такой системы, где бы не было по крайней мере одного уравнения моментов. Некоторые студенты, опираясь на это, приходят к выводу, что момент «важнее» силы. Другие говорят, что сила «важнее» момента, так как без силы нет и не может быть момента.

Сама постановка вопроса о том, что́ «важнее» — момент или сила, неправомерна. Сила и момент — это характеристики различных механических явлений. Сравнивать их нельзя, как нельзя сравнивать такие различные вещи, как яблоки и автомобили. В механике момент заведует вращением, а сила — «тащением» тела.

Объясняя студентам впервые понятие момента силы относительно точки, можно развлечь их следующим образным сравнением. Галилей называл величину момента силы греческим слово ропэ́ (ρωπη — вес, значение человека в обществе). Затем можно нарисовать небольшую силу с большим плечом и сказать: «Кро-о-шечная сила, а вращает, как большая. Вот что значит иметь большое плечо (или «большую руку»)».

После рассказа о равновесии плоской произвольной системы сил можно познакомить слушателей с теоремой Вариньона (о моменте равнодействующей как алгебраической сумме моментов сил, составляющих данную плоскую систему сил), ранее не нужно. Разбирая равновесие системы тел, сначала обязательно надо рассмотреть равновесие в целом, а потом уже части.

Графические условия равновесия плоской системы сил. Диаграмма Кремона—Максвелла

Вначале надо напомнить, каковы обычные условия равновесия. Это: $\Pi = 0$ и $M = 0$. Чему соответствуют эти условия графически?

Условие $\Pi = 0$ равносильно требованию: силовой многоугольник должен быть замкнутым. У пары этот многоугольник замкнут, но существует момент. Если нет силы, то крайние лучи будут параллельны и обратны. Как сделать, чтобы не было ни силы, ни пары?

Если лучи параллельны, то не будет силы, но будет пара, а если не параллельны, то существует точка пересечения и, следовательно, есть сила. Кажется, что нет выхода.

Будем сдвигать силы *1* и *2* (рис. 32), не изменяя их величины, т. е. будем уменьшать момент пары. Лучи *01* и *20* сдвигаются друг к другу. Параллельность между ними не нарушается. Когда эти лучи становятся одной прямой, то пара исчезает. Следовательно, для равновесия, кроме замкнутого силового многоугольника, должен быть еще замкнут и веревочный многоугольник.

Как рассказать диаграмму Кремона—Максвелла так, чтобы любой студент мог самостоятельно рассчитать любую конструкцию типа фермы? Рассмотрим это на примере.

Пусть дана ферма, изображенная на рис. 33, на которую действуют внешние силы P, Q и T. Рассчитаем реакции X_1, Y_1, Y_2, принимая во внимание характер опор (шарнир, гладкие катки и т. п.). Области между внешними силами обозначим большими буквами русского алфавита *А*, *Б*, *В*, *Г*, *Д* и *Е*, обходя ферму в определенном направлении, например по часовой стрелке (выбор начала обхода не имеет значения). Внутренние области, т. е. области между стержнями, обозначим любыми другими буквами русского алфавита в любом порядке, например *Ж*, *И*, *К*. (Латинский алфавит употребляем только для обозначения внешних сил.) Затем нумеруем стержни по порядку арабскими цифрами *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, *7* в любой последовательности. Строим в некотором масштабе план сил, обходя области между внешними силами по часовой стрелке. Многоугольник сил должен получиться замкнутым (рис. 34*а*).

Расчет начинаем вести с такого узла, в котором сходятся не более чем два стержня. Обозначим этот узел римской цифрой *I*.

Для облегчения расчета составим следующую таблицу:

№ узла	Какие стержни сходятся в узле	Между какими областями лежат стержни	Общая буква	Как проводить линии	Величина и знак усилия
I	*1*	*ДЖ*	*Ж*	из *Д* ‖ *1*	— число
	2	*ВЖ*		из *В* ‖ *2*	— число

Эта таблица заполняется так. Расчет начинаем вести с узла номер *I*; в нем сходятся стержни *1* и *2*; стержень *1*

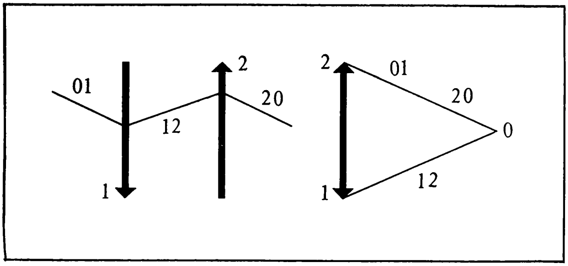


Рис. 32

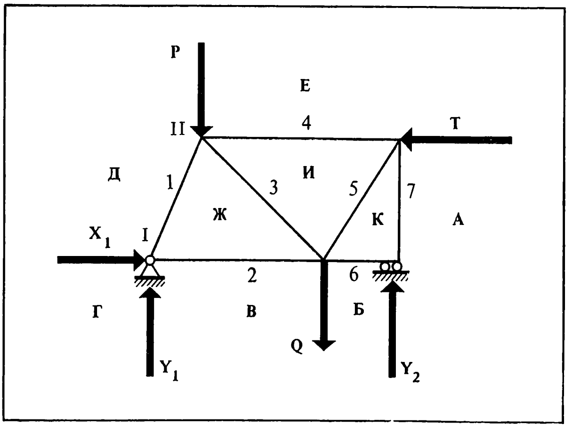


Рис. 33

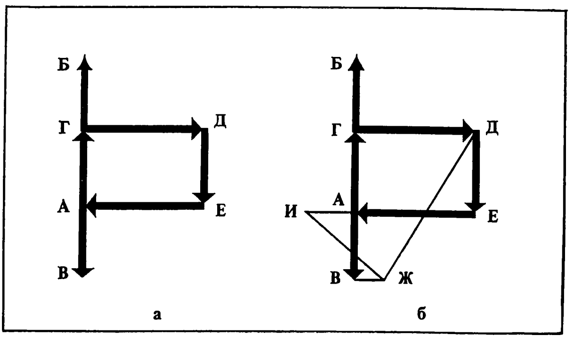


Рис. 34

лежит между областями *Д* и *Ж*, а стержень *2* — между областями *Ж* и *В*; общая буква — *Ж*; поэтому на плане сил (рис. 34*б*) надо из точки *Д* провести прямую, параллельную первому стержню, а из точки *В* провести линию, параллельную второму стержню; на пересечении этих линий ставится буква *Ж*.

Длина отрезка *ДЖ* будет изображать в некотором масштабе усилие, действующее в первом стержне, а длина отрезка *ВЖ* — усилие во втором стержне. Для определения знака усилий в стержнях осуществляем обход узла по часовой стрелке, так же, как совершали обход областей между внешними силами вокруг фермы. Обходя узел *I* по часовой стрелке, мы видим, что стержень *1* лежит на переходе из области *Д* в область *Ж* (рис. 33). Следовательно, на плане сил (рис. 34*б*) усилие направлено от точки *Д* к *Ж*. Направление от *Д* к *Ж* соответствует на ферме (рис. 33) силе, действующей к узлу *I*. Такое усилие считается сжимающим, и ему приписывается знак минус.

Стержень *2* лежит на переходе из области *Ж* в область *В*. Сопоставляя рис. 34*б* и рис. 33, видим, что сила направлена к узлу, т. е. во втором стержне тоже сжатие.

Рассчитаем еще один узел, обозначив его номером *II*. Для него тоже заполним таблицу. Продолжение таблицы с расчетом *II* узла будет выглядеть так:

II	*3*	*ЖИ*	*И*	из *Ж* ∥ *3*	+ число
	4	*ЕИ*		из *Е* ∥ *4*	— число

После этого на плане сил (рис. 34*б*) проводим линии: из точки *Ж* — параллельно третьему стержню, а из точки *Е* — параллельно четвертому стержню. На пересечении прямых ставим букву *И*.

Затем совершаем обход узла *II* по часовой стрелке. Стержень *4* лежит на переходе из области *Е* в область *И*, а стержень *3* — на переходе из области *И* в область *Ж*. Затем по рис. 33 и рис. 34*б* определяем, что сила в четвертом стержне направлена к узлу, т. е. он работает на сжатие, а сила в третьем стержне направлена от узла, т. е. третий стержень работает на растяжение.

Последний узел является контрольным.

Такой метод расчета по таблице очень прост, легко запоминается и совершенно автоматичен. Чтобы не ошибиться при расчете, надо только помнить, что раз выбрав обход, например по часовой стрелке, затем всегда надо совершать обход по часовой стрелке, и если сила в стержне действует по направлению к узлу, то имеем сжатие, а если от узла, то — растяжение.

Момент силы относительно оси

Начинать пространственную статику надо не с формальных определений, а с физической сущности. Рис. 35 наглядно показывает вращение тела вокруг оси под действи-

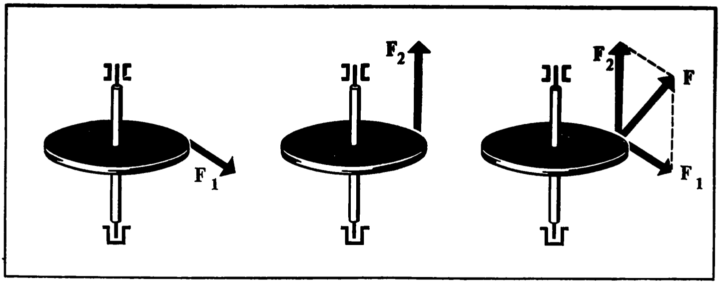


Рис. 35

ем силы. Вращает лишь сила F_1, следовательно, осевой момент — это момент силы F_1.

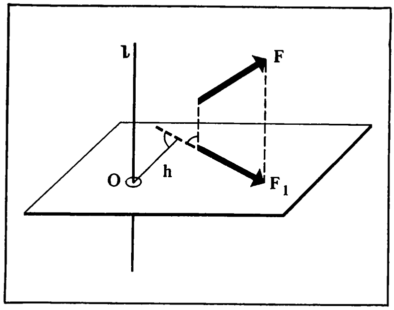


Рис. 36

Дана некоторая ось l и сила F. Надо ли разложить силу F на силы F_1 и F_2, чтобы затем вычислить момент силы F относительно оси l? Нет, не нужно, так как сила F_2 нас не интересует. Достаточно взять проекцию силы на плоскость, перпендикулярную оси l, а F_2 даже не надо рисовать (рис. 36).

Определение лучше строить так: «Чтобы взять момент силы относительно оси, надо: 1) спроектировать силу на плоскость, перпендикулярную оси, 2) взять в плоскости момент силы F_1 относительно точки пересечения оси с плоскостью».

Равновесие тела с одной или двумя закрепленными точками

Необходимо все время подчеркивать, что все то, что рассказывается в курсе статики, справедливо для абсолютно твердого тела. При рассмотрении различных систем сил: сходящейся, плоской, пространственной и т. д. надо каждый раз напоминать, что речь идет о различных системах сил, приложенных к абсолютно твердому телу. Иначе раздел, посвященный равновесию тела с одной и с двумя закрепленными точками, выглядит как искусственная вставка в курс. Речь шла о приведении к простейшему виду и о равновесии различных систем сил, а затем вдруг речь почему-то пошла о равновесии тела.

Когда на экзамене просишь студента написать уравнения равновесия для совершенно свободного твердого тела, то он, как правило, ничего не пишет. Если вы попросите написать уравнения равновесия для произвольной пространственной системы сил, то вам сразу напишут шесть уравнений равновесия. Это говорит о том, что студенты забывают, что в статике речь идет о приведении к простейшему виду и о равновесии различных систем сил, действующих на абсолютно твердое тело. Следовательно, тем чаще надо это повторять, чтобы студенты правильно все усвоили.

Очень много неприятностей на экзаменах бывает с разделом «Равновесие тела с одной и с двумя закрепленными точками». Этот простой раздел понимается и усваивается студентами плохо. Причина указана выше. Видимо, лучше всего его рассказывать, опираясь на понятие степеней свободы.

Совершенно свободное тело имеет шесть степеней свободы. Оно может как угодно двигаться поступательно и как угодно вращаться. Это произвольное поступательное движение можно разложить на перемещения по осям координат x, y, z (три степени свободы), а произвольное вращение можно разложить на вращения вокруг тех же координатных осей (еще три степени свободы).

Вот почему для равновесия совершенно свободного тела, на которое действует пространственная произвольная система сил, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись шесть уравнений равновесия.

Если тело закреплено в одной точке, то оно имеет три степени свободы. Двигаться поступательно такое тело не может, а может только вращаться вокруг любой оси, например осей координат. Для того чтобы такое тело находилось в равновесии, нужно, чтобы оно не вращалось, а для этого достаточно потребовать равенства нулю трех уравнений моментов:

$$\sum m_x(F_i) = 0,$$

$$\sum m_y(F_i) = 0,$$
$$\sum m_z(F_i) = 0.$$

Итак, для того чтобы абсолютно твердое тело с одной закрепленной точкой, на которое действует произвольная пространственная система сил, находилось в равновесии, необходимо и достаточно, чтобы суммы моментов всех сил относительно трех взаимно перпендикулярных осей равнялись нулю.

Будут ли выполняться три других уравнения? Конечно. Они служат для определения составляющих реакции шарнира в точке крепления N_x, N_y, N_z (рис. 37). Эти уравнения записываются так:

$$\sum F_{ix} + N_x = 0,$$
$$\sum F_{iy} + N_y = 0,$$
$$\sum F_{iz} + N_z = 0.$$

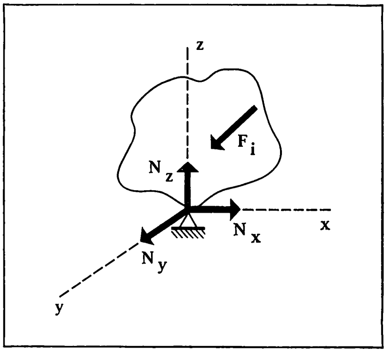


Рис. 37

Тело, имеющее две закрепленные точки, имеет одну степень свободы. Оно может вращаться только вокруг оси, проходящей через эти две закрепленные точки. Равновесие будет в том случае, если тело не будет вращаться вокруг этой оси. Поэтому для равновесия достаточно потребовать, чтобы сумма моментов всех сил, действующих на тело, относительно оси, проходящей через две закрепленные точки, равнялась нулю: $\Sigma m_{xx}(F_i) = 0$. Пять остальных уравнений служат для определения реакций в опорах. Здесь сразу же очень удобно переходить к понятию статически неопределенных задач в теоретической механике.

Вначале студенты очень плохо представляют себе задачи по пространственной статике. Поэтому первое время можно рисовать пространственную задачу в трех проекциях.

Аналогии в механике

Между поступательным и вращательным движениями существует аналогия, которая позволяет легко запоминать формулы, относящиеся к вращательному движению.

Основные характеристики поступательного движения: путь S, скорость v, ускорение a и время t. При вращении им соответствуют: угол поворота φ, угловая скорость ω, угловое ускорение ε и время t.

Пусть нам нужно написать уравнение равномерного вращательного движения. Вспоминаем формулу $S = vt$, справедливую для равномерного поступательного движения, и по аналогии пишем уравнение равномерного вращательного движения: $\varphi = \omega t$. Для равномерно ускоренного (или замедленного) вращения справедливы формулы: угол поворота $\varphi = \omega_0 t \pm \varepsilon t^2/2$ и угловая скорость $\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$ (по аналогии с $S = v_0 t \pm at^2/2$ и $v = v_0 \pm \pm at$). В этих формулах знак «плюс» относится к случаю равномерно ускоренного движения, знак «минус» — равномерно замедленного.

Эта аналогия справедлива не только в кинематике, но распространяется и на динамику. Роль массы m при вращении играет момент инерции I, а роль силы F — момент силы L. Основное уравнение динамики вращательного движения $I\varepsilon = L$ записывается по аналогии с уравнением $ma = F$, кинетическая энергия вращения $I\omega^2/2$ — по аналогии с кинетической энергией поступательного движения $mv^2/2$ и т. д.

Помимо аналогии между поступательным и вращательным движениями, в механике еще можно указать на существующую аналогию между приведением системы сил в статике и приведением системы угловых скоростей в кинематике (сила — скользящий вектор и угловая скорость — скользящий вектор; момент пары сил — свободный вектор и момент пары угловых скоростей — свободный вектор).

В механике существует также связь между движением материальной точки и равновесием гибкой нити (ее установил Н. Е. Жуковский). Эта связь заключается в том, что дифференциальные уравнения движения точки, масса которой принята за единицу, под действием силы, имеющей силовую функцию, и уравнение равновесия нити под действием сил, имеющих силовую функцию, записываются аналогично. «Изменяя надлежащим образом силовую функцию, можно переходить от задачи о движении материальной точки к задаче о равновесии гибкой нити, и наоборот, сохраняя для траектории и для нити одну и ту же кривую, а для скорости и натяжения — одну и ту же величину».

Меры движения

Чем мерить механическое движение? Этот вопрос волновал многих ученых. Над ним думали Галилей, Декарт, Лейбниц, Гюйгенс, Кант, Д'Аламбер и многие другие. Это не такой простой вопрос. Доказательством может служить тот факт, что спор между последователями Декарта — картезианцами — и Лейбницем о мерах движения продолжался более 40 лет.

Декарт предлагал мерить движение произведением массы движущегося тела на его скорость: mv. Лейбниц первым заметил, что декартова мера движения не применима к закону падения. Поэтому предложил разделить движущие силы на «мертвые» и «живые». К первым Лейбниц относил «давления» или «тягу» покоящихся тел. За меру их движения он принимал произведение массы m на скорость v, с которой тело двигалось бы, если бы оно перешло из состояния покоя в состояние движения; за меру же живой силы — действительного движения тела — он принимал произведение массы на квадрат скорости, mv^2 — мера движения, введенная Лейбницем.

Очень хорошо о мерах движения сказано у Ф. Энгельса в его «Диалектике природы». Там есть специальная глава, посвященная мерам движения. Разобрав вначале несколько примеров механического движения тел, Ф. Энгельс заключает: «Таким образом, мы находим, что механическое движение действительно обладает двоякой мерой, но убеждаемся также, что каждая из этих мер имеет силу для весьма определенного ограниченного круга явлений. Если имеющееся уже налицо механическое движение переносится таким образом, что оно сохраняется в качестве механического движения, то оно передается согласно формуле о произведении массы на скорость. Если же оно передается таким образом, что оно исчезает в качестве механического движения, воскресая снова в форме потенциальной энергии, теплоты, электричества и т. д., если, одним словом, оно превращается в какую-нибудь другую форму движения, то количество этой новой формы движения пропорционально произведению первоначально двигавшейся массы на квадрат скорости. Одним словом: mv — это механическое движение, измеряемое механическим же движением; $mv^2/2$ — это механическое движение, измеряемое его способностью превращаться в определенное количество другой формы движения. И мы видели, что обе эти меры тем не менее не противоречат друг другу, так как они различного характера» [1].

Итак, движение материального тела (или точки) можно мерить двояким образом: количеством движения — произведением массы тела на его скорость (mv) и кинетической энергией — полупроизведением массы тела на квадрат его скорости ($mv^2/2$). Первая мера движения векторная (в результате произведения скалярной величины — массы на векторную — скорость получается векторная величина), вторая мера движения скалярная (квадрат вектора скорости, т. е. произведение вектора самого на себя есть скалярная величина).

Аналогично двум мерам движения существуют две меры действия сил. Действие силы на тело (или точку) можно измерять или импульсом силы или работой. Импульс — векторная мера действия силы, работа — скалярная.

В динамике точки (а следовательно, и в динамике поступательного движения твердого тела) есть две важные теоремы. Это — теорема об изменении количества движения

$$mv - mv_0 = \int F\, dt,$$

которая гласит: «Изменение количества движения материального тела за некоторый промежуток времени равняется импульсу всех сил, действующих на тело за тот же промежуток времени», и теорема об изменении кинетической энергии:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \int (\bar{F}\,\overline{ds}),$$

которая читается так: «Изменение кинетической энергии тела на некотором участке пути равняется работе всех сил, действующих на тело, на том же участке пути».

Рассказывая об этих теоремах, надо все время подчеркивать, что они не формальные математические записи, а физические законы, устанавливающие соотношения между мерами механического движения и мерами действия сил.

Принцип Д'Аламбера

Принцип Д'Аламбера формально легко вывести из второго закона Ньютона: $ma = F$, $F - ma = 0$, $F + (-ma) = 0$. Это и есть принцип Д'Аламбера для свободной материальной точки. Для несвободной точки добавляется еще реакция: $F + N + (-ma) = 0$. То, что стоит в скобках,— сила инерции.

Можно дать несколько формулировок принципа Д'Аламбера.

«Во все время движения сумма всех сил, действующих на материальную точку, включая силу инерции, равна нулю».

«Силы, действующие на материальную точку, и сила инерции всегда взаимно уравновешиваются».

«Если к движущейся под действием сил материальной точке приложить еще силу инерции, то дальше точка будет двигаться равномерно и прямолинейно».

«Если движущуюся материальную точку остановить, приложить к ней все силы, действующие на нее до остановки, и еще силу инерции, то точка больше двигаться не будет».

Все эти различные формулировки принципа Д'Аламбера выражают одну и ту же мысль: добавление силы инерции к силам, действующим на движущуюся точку, дает взаимно уравновешивающуюся систему сил, т. е. такое добавление превращает любую динамическую задачу в статическую, и для решения ее можно применять или три уравнения равновесия (для плоской системы сил) или шесть уравнений равновесия (для пространственной задачи). Ценность принципа Д'Аламбера и состоит в том, что с его помощью динамические задачи можно решать статическими методами.

Если вы с самого начала привили своим слушателям мысль о дуальности силы, то им очень легко будет понять принцип Д'Аламбера.

Силы всегда выступают взаимно уравновешивающимися «двойками». Есть сила F, действующая на материальную точку, и есть сила инерции $(-ma)$, которая приложена к какому-то другому телу. Если теперь взять эту силу инерции и приложить к движущейся точке, то по-

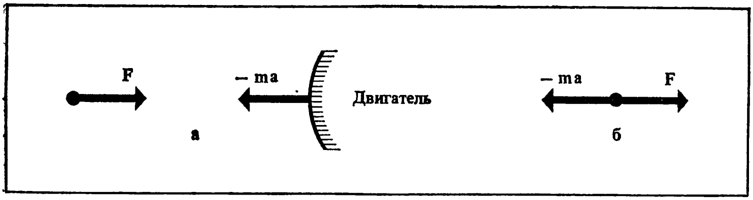


Рис. 38

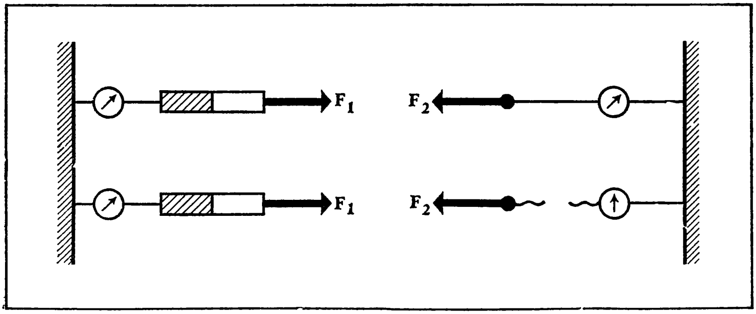


Рис. 39

лучится, что на точку действует взаимно уравновешивающаяся система сил (рис. 38).

Сила инерции движущейся точки приложена к двигателю. Это надо внушить.

Обязательно подчеркните, что, пока вы пишете уравнение Ньютона, силы приложены к разным телам. А когда перенесли силу с двигателя на точку, то уже нельзя считать силы приложенными к разным телам. Теперь — равновесие за счет того, что обе силы находятся на одном теле.

Приведите пример. Магнит притягивает шарик (рис. 39). Все происходит в горизонтальной плоскости на гладком стекле. В основу кладется основной закон противодействия $F_1 + F_2 = 0$.

Дальше самое трудное и страшное. Нить перерезают. Шарик движется, чтобы прилипнуть к магниту. Динамометр на магните показывает прежнюю цифру. Это центральный факт. Все мучались над этим. Значит, на шарик действует то же самое? Что такое F_1? Сила F_1 приложена к движущему телу, а не к шарику, т. е. сила инерции движущейся точки приложена к двигателю.

Другой пример. Два человека стоят на тележках. Первый перебирает веревку и подтягивает к себе второго. Что чувствует при этом первый человек? Материальность второго ощущается не им самим, а тем, кто его тащит.

Когда рассказывать принцип Д'Аламбера? По-моему, это надо делать в самом начале курса, вместе с уравнениями Ньютона.

Н. Н. Бухгольц различает у Д'Аламбера два рода сил инерции. Одни — силы инерции, а другие — силы инерции по Д'Аламберу. В абсолютном и относительном движении это разные вещи. У Д'Аламбера никакого принципа нет. Недоразумение объясняется нехорошим знанием языка. У него есть термин «сила инерции». Но понимает под этим Д'Аламбер другое. Сила инерции, по Д'Аламберу,— свойство, которое имеют тела; свойство, благодаря которому они «коснеют» в своем состоянии покоя или движения. Неаккуратно употребил слово «сила». В другом месте есть выражение «в силу свойства инерции». Сам принцип Д'Аламбер дает без всякого упоминания силы. Он дает его для движения системы точек, а под движением Д'Аламбер понимает вектор скорости. Сделано это довольно-таки туманно.

Можно рассказать принцип Д'Аламбера начиная с Галилея. У него в беседах есть многократные высказывания о законе действия и противодействия, принципе эквивалентности инерционной и гравитационной масс.

Прежде чем рассказывать принцип, надо предварительно хорошо изучить биографию и научное творчество Д'Аламбера. Есть неплохая книга Бертрана. Она помогает понять, как Д'Аламбер пришел к своему принципу.

Принцип возможных перемещений

Как известно, принцип виртуальных (пробных) перемещений гласит: «Для равновесия системы с идеальными и неподвижными связями необходимо и достаточно, чтобы сумма работ одних только активных сил на всяком виртуальном перемещении равнялась нулю». Или математически: $\Sigma\ (\bar{F}\delta\bar{r}) = 0$.

В статике мы учим студентов, что для равновесия необходимо и достаточно, чтобы сумма всех сил равнялась нулю, а Лагранж говорит о сумме работ. Почему?

Если точка свободная, то для нее нет смысла писать принцип возможных перемещений. Если точка несвободная, то появляются реакции, и, следовательно, в статике надо учитывать все силы: и активные, и пассивные. А Лагранж говорит: «Моему принципу все равно — свободная точка или несвободная. Реакции на идеальных связях не работают».

Понимать принцип Лагранжа надо так. Точка находится в покое, если окрестности ее одинаковы и ей все равно, куда двигаться. Одинаково двигаться — значит одинаково работать. Именно поэтому Лагранж сформулировал свой принцип, как принцип работ. Точка лежит на поверхности и как бы мысленно выпускает щупальца и пробует окрестности вокруг себя. Если окрестности одинаковы и ей все равно, куда двигаться, она остается на месте. Пробы надо делать малые. Иначе возможно нарушение равновесия (рис. 40).

Представьте себе, что вы сброшены ночью на парашюте в незнакомой местности. Приземлились и стоите в абсолютной темноте. Ничего не видно. Решитесь ли вы сразу пойти? Нет, конечно. Будете бояться. В таком положении вы как слепой. Вы начнете делать «виртуальные перемещения». Вы их не делаете сами, а палкой пробуете окрестности вокруг себя. Вот это и есть δr.

Несколько слов о термине «принцип возможных перемещений». Его можно объяснить, но сбивает с толку слово «возможные». Если точка «сидит» на освобождающей связи, то покидание связи тоже возможно. Надо объяснить, что термин «возможные перемещения» означает бесконечно малые перемещения, согласные со связями (без их покидания). Чтобы не создавать превратного представления, говорят «виртуальные перемещения». Но тогда слушателей поражает иностранное слово. Его надо перевести на русский язык. По-латыни «виртус» — добродетель, «вир»— мужчина. Как эти значения связать с принципом Лагранжа? Непонятно. Поэтому лучше говорить «пробные перемещения».

Рассказывать ли самую суть механики Лагранжа? Говорить ли о том, что он первый догадался написать уравнение связей. Ведь принцип-то не его, а Бернулли. В письме к Вариньону Бернулли пишет: «Я заметил, что задача решается так...». Но как он это заметил?

Введение связей — существенный момент. По-видимому, Лагранж старается оценить состояние покоя не столько изучая силы, сколько окрестности точки равновесия.

Материальная точка на горизонтальной плоскости на-

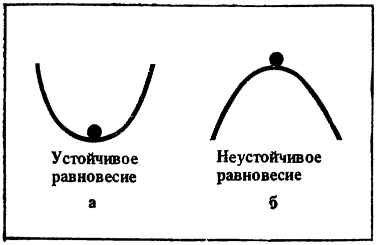


Рис. 40

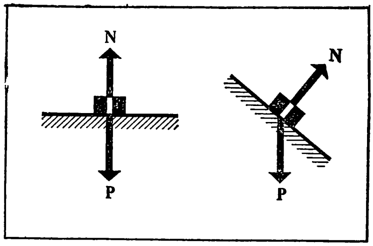


Рис. 41

ходится в равновесии, а на наклонной — нет (рис. 41). В чем дело? В уравновешивании или в том, что окрестности разные? В первом случае окрестность перпендикулярна к P, а во втором — нет. По Лагранжу, все дело в том, как окрестность расположена по отношению к силе. Механика Лагранжа исследует окрестность, отодвигая на задний план изучение сил. Это и надо показать. Идея сравнения — вот в чем суть механики Лагранжа. Точка не сдвигается не потому, что действует такая сила, а потому, что имеется такая окрестность. Покой, по Лагранжу,— это не покой, а страшная нерешительность. Представьте себе, что перед вами фея рассыпала билеты во все театры Москвы, и все в первый ряд. Куда вы пойдете? Наверное, никуда. Одинаково хочется пойти по разным направлениям, и остается покой. По Буридану: осел и перед ним два ведра. Куда пойдет осел? Никуда, и умирает от голода и жажды.

Чтобы вдохнуть физическое содержание в принцип возможных перемещений, надо рассказать о той эпохе и общественно-исторических предпосылках, которые позволили Лагранжу создать свою аналитическую механику. Изложить это за короткое время трудно. Да и студенты неохотно выслушивают философско-исторические отступления. Но делать это надо.

Появление аналитической механики Лагранжа не случайно, и надо хотя бы немного представлять себе, как это происходило. Лагранж создает свою книгу в эпоху, характерную новыми открытиями в разных областях науки. В астрономии назрела необходимость вычислить либрацию Луны, но это плохо удается при помощи ньютоновской механики. Начинают сомневаться в справедливости механики Ньютона. Состояние отчаяния заставляет

Берлинскую академию наук объявить конкурс на сочинение «Истины необходимые и ненеобходимые». Рациональные истины считают неопровержимыми. А не чисто рациональные? Взятые из опыта? Наука это или нет?

В то время стала укореняться мысль, что основы механики Ньютона случайны. Они эмпиричны, и, может быть, поэтому ньютоновская механика перестала удовлетворять ученых, так как не могла объяснить вновь обнаруженные явления природы. Одни ученые пошли по пути создания новых экстравагантных аксиом. Другие стали искать чисто рациональные принципы построения механики, так как считали, что рассудок безупречен и дает абсолютные истины. К этим последним принадлежал Лагранж. Он понимал, что для решения новых практических задач требуется создание новой, более мощной механики.

Лагранж изучает историю механики, конструирует одним рассудком безупречные истины и, боясь всякого нечистого вмешательства, изгоняет из своей аналитической механики даже чертежи. В письме к Д'Аламберу Лагранж пишет, что математика скоро будет напоминать арабский язык. Д'Аламбер ополчился на понятие силы. Его трактат направлен против нечистой опытной силы. Она ему непонятна. Лагранж «засекретил» силу, введя ее в работу.

Прав Пуассон, утверждая, что возникают две школы: Ньютона и Лагранжа. Сам примыкает к Лапласу и Ньютону, а Лагранжа упрекает в том, что в его построениях нет физики. В этом он видит главную вину Лагранжа. Действительно, физики нет. Заменил ее уравнениями. В этом главная заслуга Лагранжа!

Параллелограмм сил

Казалось бы, простая вещь параллелограмм сил. Но вот посмотрите...

Представьте себе, что на горизонтальной плоскости лежит шар, касающийся наклонной плоскости. Разложим силу веса этого шара P по двум направлениям: одно выберем параллельно горизонтальной плоскости, другое — перпендикулярно к наклонной (рис. 42). Получим две силы F_1 и F_2. Сила F_1 — сила давления шара на наклонную плоскость — по третьему закону Ньютона уравновешивается реакцией N (давлением плоскости на шар). Остается одна сила F_2. Под действием этой силы шар

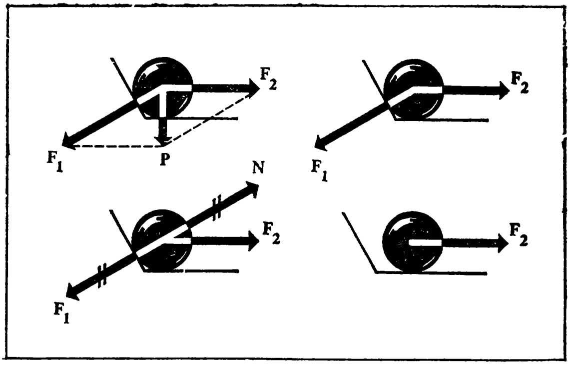


Рис. 42

должен двигаться, катиться по горизонтальной плоскости.

Итак, мы изобрели игрушку: стоит только положить шар в какой-нибудь угол, как он выскакивает оттуда!

Так ли это на самом деле? Конечно, нет. В чем же ошибка? Дело в том, что теоретически силу можно разложить по любым направлениям, но в задачах, на практике, в жизни силу можно раскладывать только по таким направлениям, по которым действуют другие силы или могут развиться реакции.

Одно направление, перпендикулярное наклонной плоскости, выбрано правильно. В этом направлении может развиться реакция, а вот второе, параллельное горизонтальной плоскости, выбрано неверно. В этом направлении никакие силы не действуют и реакции развиться не могут.

Как можно разложить вес шара в данной конкретной задаче? Да никак нельзя. Шар просто лежит на горизонтальной плоскости, и его вес уравновешивается нормальной реакцией. Вот и все. Ведь шар не давит на наклонную плоскость. Если прижать шар к наклонной плоскости, например пальцем, то часть веса «снимется» и разложится на две силы. Можно так сильно нажать на шар, что весь вес «исчезнет» и можно будет убрать горизонтальную плоскость. Шар будет висеть в воздухе, поддерживаемый двумя силами: давлением пальца и давлением наклонной плоскости.

Теперь давайте решим такую задачу.

Уличный фонарь подвешен в точке B к середине троса ABC, прикрепленного концами к столбам в точках A и

C, которые находятся на одной горизонтали (рис. 43). Вес фонаря равен 15 кг. Длина всего троса ABC равна 20 м, а отклонение точки подвеса фонаря от горизонтали BK составляет 10 см. Определите натяжение троса, пренебрегая его весом.

Обозначим вес фонаря буквой P, а натяжение троса буквой T. Висящий фонарь растягивает трос Строим параллелограмм сил. Из подобия заштрихованных треугольников следует, что

$$T = \frac{P \cdot AB}{2AK} = \frac{15 \cdot 10}{2 \cdot 0{,}1} = 750 \text{ кг},$$

т. е. натяжение троса в 50 раз больше веса фонаря! Понятно, что чем меньше будет провис BK, тем больше будет натяжение троса.

На этом основано то, что ни один трос, провод, веревку нельзя натянуть строго горизонтально — всегда будет некоторый провис. Пусть даже на тросе ничего не висит, но ведь он имеет собственный вес, который можно условно приложить в середине. Получается тот же самый параллелограмм сил. Если натягивать трос, то его провис уменьшается, и, следовательно, натяжение возрастает. Для того чтобы трос занял строго горизонтальное положение, нужно приложить бесконечно большие силы. Таких сил нет в нашем распоряжении, но если бы мы даже умели их получать, все равно ни один трос не выдержал бы очень большого натяжения. Он лопнул бы прежде, чем стал горизонтальным.

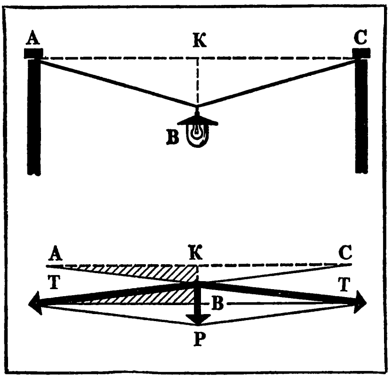


Рис. 43

То, что провод нельзя натянуть строго горизонтально,— вредное явление. Представьте себе, что строится высоковольтная линия для передачи электроэнергии из одного города в другой. Работа эта очень трудоемкая. Надо расчистить просеку, подготовить фундаменты для опор, установить ажурные металлические вышки, подвесить «гирлянды» изоляторов, а к ним провода. Все это требует больших затрат, поэтому всегда хочется по-

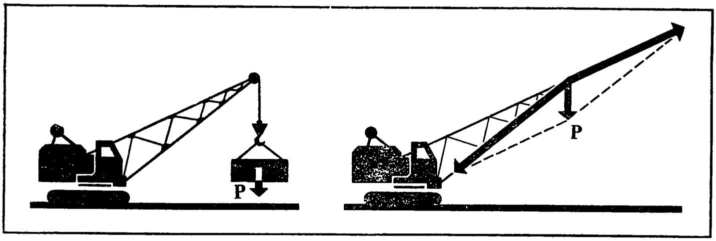


Рис. 44

ставить как можно меньше опор. Но, увеличивая расстояние между опорами, мы тем самым увеличиваем провис проводов, при этом возрастает вероятность их схлестывания под действием ветра, что ведет к аварии. Вот инженерам и приходится думать: с одной стороны, надо поставить как можно меньше опор, чтобы не выбрасывать деньги на ветер, а, с другой стороны, если опор будет мало, тот же ветер может столкнуть два провода и вызвать короткое замыкание. Пока авария будет ликвидирована, пройдет несколько часов, в течение которых целые промышленные районы будут отключены от подачи электроэнергии. Это нанесет значительный ущерб народному хозяйству.

Как было бы хорошо, если провод был бы невесомым. Тогда его можно было бы натянуть строго горизонтально при значительном расстоянии между опорами. (Очень далеко друг от друга опоры невозможно поставить из-за кривизны Земли.) Но, к сожалению, этого нельзя сделать, и проектировщикам приходится в каждом конкретном случае рассчитывать оптимальное расстояние между опорами.

После того как мы решили задачу о фонаре, висящем на тросе, легко ответить на такой вопрос: можно ли из одной силы в 1 кг сделать две силы по 10 кг, по 100 кг, по 1000 кг и т. д.?

Можно. Для этого надо через начало силы провести два направления под одинаковыми углами α к силе и разложить ее по этим двум направлениям. Увеличивая угол α, мы будем получать все бо́льшие и бо́льшие силы, т. е. из одной силы в 1 кг можно получить две какие угодно большие силы.

Этим можно воспользоваться, например, вытаскивая автомобиль из грязи. Вы привязываете веревку к автомобилю и к ближайшему дереву. Затем становитесь примерно посредине веревки и оттягиваете ее вбок. Развивающаяся при этом значительная сила несколько продвигает автомобиль вперед. Вы снова натягиваете веревку, убирая провис, и снова оттягиваете ее вбок. Через несколько минут автомобиль будет стоять на сухом месте.

Это же явление используют моряки при буксировке корабля во время шторма. Буксировка во время волнения — сложное дело. Отбросит волной судно, туго натянется трос, и он может лопнуть. Чтобы этого не случилось, на трос вешают различный груз: якоря, тяжелые металлические болванки и т. д. Груз увеличивает провис троса, уменьшая его натяжение, и не позволяет тросу резко уменьшать свой провис при ударах волн. Это предохраняет трос от обрыва.

Этих немногих примеров достаточно, чтобы понять, что параллелограмм сил — не такая простая вещь, как кажется с первого взгляда. А уметь строить параллелограмм сил должен каждый инженер. Как, например, нужно крепить стрелу подъемного крана? Построив параллелограмм сил, конструктор сразу видит, что нижнюю часть стрелы подъемного крана надо крепить на упор, а верхнюю — на вырыв (рис. 44).

Заключение

Андрей Петрович Минаков был крупным ученым. Основополагающее значение его работ по механике нити отмечают многие исследователи. Но, может быть, не меньшее значение имеет его педагогическая деятельность. Молодежь — будущее страны. От того, кто придет сегодня в науку, зависит завтрашний научный потенциал государства, от того, кто будет работать в промышленности и сельском хозяйстве, зависит экономическое могущество и т. д. Отсюда ясна важность образования и воспитания будущих инженеров, ученых, врачей, учителей, представителей всех других специальностей.

Система преподавания А. П. Минакова требует серьезного и вдумчивого изучения и пропаганды. Это необходимо, и это будет сделано. Здесь предпринята попытка дать краткий обзор идей и методов его педагогической системы. И хотя со дня смерти Андрея Петровича прошло уже почти три десятилетия, его мысли о преподавательском труде, его педагогические воззрения и методические разработки по-прежнему современны в самом лучшем значении этого слова. Если посмотреть любые последние материалы, посвященные воспитанию молодого поколения нашей страны, то там можно найти много такого, что прямо перекликается с высказываниями А. П. Минакова.

Андрей Петрович всегда подчеркивал, в какое замечательное время мы живем, старался в своих лекциях показать связь теории с практикой, старался привить студентам коммунистическое отношение к учебе (вспомните его лекцию о том, как работали великие ученые), развить у них чувство гордости за свою страну, воспитать в молодых специалистах внутреннюю зрелость, высокую нравственность, способность к творчеству, самостоятельность в решении различных задач, добросовестное отношение к труду и ответственность за порученное дело.

Интересны в этом отношении слова, сказанные Андреем Петровичем на студенческом вечере накануне Нового, 1950 г. В отличие от широко известных обращений к молодежи академиков Ивана Петровича Павлова и Николая Дмитриевича Зелинского выступление А. П. Минакова не было опубликовано, но оно, безусловно, имеет общественное значение, и его стоит здесь привести. Вот что говорил тогда Андрей Петрович Минаков.

«Мне хочется, во-первых, пожелать вам радости в главном вашем деле: в учебе. Это зависит, конечно, во многом от нас, преподавателей, но все-таки, должен сказать, что многое находится и в ваших собственных руках. Надо прежде всего постараться работать систематически, не спеша, настойчиво, на протяжении всего семестра. Надо вовремя выполнять все задания, посещать лекции и упражнения. Надо выработать в себе дисциплинированность, трудовые навыки: вовремя вставать, работать, отдыхать, танцевать, ходить в кино, театры и т. п. Все можно успеть, больше, чем вы думаете, если следить за собой, если выработать в себе внутреннюю направленность, целеустремленность, напор. Пусть житейские обстоятельства и отклоняют вас иногда от прямого пути, никогда не забывайте его, выходите на него всеми силами. Читайте побольше книг по философии и истории науки: русской, советской, мировой; учитесь думать, мыслить — дело не только в знаниях. Без этого нельзя творить, а вы должны стать творцами в технике. Если хоть десять строк в день вы прочтете необязательных, не «из-под палки», то почувствуете, увидите, что наука интересна, прекрасна, потому что ее можно направить и применить так, как это делается в нашей великой стране. И вы увидите, что тогда и учеба — это преддверие науки — предстанет перед вашими глазами в другом свете: интересной, радостной, перспективной.

Во-вторых, мне хочется пожелать вам также радости сознания того, что все мы творцы большой и прекрасной жизни. Для этого надо постараться отойти немного от заботы об одном себе, только о своем, о личном; надо приглядеться к заботам и нуждам окружающих вас людей и помочь им жить; жить честно, красиво, по-советски. И тогда, все расширяя круг своих интересов, вы расширите свое сознание до масштабов всей нашей прекрасной Родины с ее хорошими, простыми, трудовыми советскими людьми, а затем — до масштаба той всемирной цели всего честного человечества, за которую мы боремся в первых рядах. И тогда вы не будете чувствовать себя одинокими, узкими, впадающими в отчаяние от *лично своих* обстоятельств, но будете жить радостно, бодро, плодотворно для коллектива. Повторяю: надо уметь хоть немного забывать о себе, думая, болея за других, за общее дело. И будет это большой радостью для вас.

В-третьих, мне хочется еще пожелать вам радости и в вашей личной жизни. Вы молоды и поэтому склонны, будучи предоставлены самим себе, слепо подчиняться тем стремлениям, которые вспыхивают, бродят и, порой, мучают вас. Будьте честны и строги к себе в любви. Не опошляйте одно из величайших и интимнейших человеческих чувств, не грязните свое сердце — не очистите его потом... Юноша и девушка должны подходить друг к другу, уважая в себе и своем друге прежде всего человека. Если подружитесь, полюбите друг друга, то прежде всего начинайте заботиться, помогать один другому. Побольше тепла, внутренней ласки. Не начинайте с конца, иначе безрадостной, краткой, пустой и пошлой будет ваша любовь, и мучительно скоро постареет ваша душа. А ведь нет ничего страшнее, чем преждевременная душевная старость. Берегите, щадите, цените, уважайте один другого, когда полюбите. И будет вам светло и радостно.

И еще скажу: вам предстоит стать отцами, матерями, воспитывать ваших детей. Им вы должны будете показать не дрязги, не пошлость быта, ссоры, измены, но хорошую, светлую, ласковую и радостную семейную жизнь: семья — ячейка государства. Так воспитайте же самих себя такими, как я говорю; вы это обязаны сделать во имя себя, во имя детей и во имя Родины прежде всего.

С Новым радостным годом, милые молодые товарищи!» [1]

Академик П. С. Александров в своей статье «Мир ученого» высказывает очень интересные мысли о преподавательском труде, о его роли в воспитании будущих творцов науки, рисует образ идеального педагога.

«Много видов человеческой деятельности,— пишет П. С. Александров,— имеет непосредственное отношение к человеку, но среди них профессии врача, юриста и педагога бывают связаны с судьбой с а м о г о человека...

Вот почему каждая из этих профессий должна быть не только профессией, но и призванием человека, а выбор ее должен восприниматься тем, кто его делает, как осуществление некоего жизненного предназначения.

Эти профессии связаны с высшими человеческими ценностями, образующими классическую триаду истины, добра и красоты...

...Эта педагогическая, учительская деятельность ученого не ограничивается научной дисциплиной, которую он преподает в университете или во втузе, она неизбежно превращается в воспитательную деятельность».

Эти слова как нельзя лучше характеризуют преподавательскую деятельность крупного ученого и замечательного Человека — Андрея Петровича Минакова.

Его имя вошло в историю науки как имя одного из основоположников механики нити. Но он был также замечательным преподавателем. Именно поэтому столько внимания в книге уделено его педагогическим воззрениям, лекторскому мастерству, методическим разработкам.

Андрей Петрович Минаков был ученым и педагогом-воспитателем, вся жизнь которого — благороднейший пример служения научной истине, справедливости и доброте.

Основные даты жизни и деятельности А. П. Минакова

1893, 31 января — родился А. П. Минаков

1911 — окончил с золотой медалью 9-ю Московскую гимназию

1911, октябрь—декабрь — учился на медицинском факультете Парижского университета

1912 — поступил на технологическое отделение Московского коммерческого института

1915 — вышла в свет первая научная работа, написанная совместно с А. З. Талем

1914—1917 — работал рентгенологом в различных госпиталях Москвы и Киева

1917 — поступил на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета

1922 — окончил университет и был оставлен ассистентом на кафедре теоретической механики физико-математического факультета

1923 — начал преподавать теоретическую механику в Московском текстильном институте

1925 — вышел в свет задачник по теоретической механике, написанный совместно с Н. Н. Бухгольцем и И. М. Воронковым

1926 — начало работы над задачами механики нити

1930 — утвержден Наркомтяжпромом в звании профессора

1936 — возглавил кафедру теоретической механики Московского текстильного института

1939—1941 — профессор теоретической механики ВВА им. Н. Е. Жуковского

1941, 30 июня — защитил докторскую диссертацию на тему «Основы механики нити»

1942, 28 ноября — утвержден ВАК в звании доктора технических наук

1946, 21 января — награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.»

1951, 16 октября — награжден орденом Ленина за долголетнюю и плодотворную работу в высшей школе

1954, 26 марта — день смерти А. П. Минакова

Труды А. П. Минакова

1. О форме интерференционных максимумов рентгеновских лучей.— Журн. Рус. физ.-хим. о-ва. Физ. отд., 1915, т. 47, вып. 9, с. 1—8. В соавт. с А. Талем.
2. К вопросу о ранней диагностике газовой гангрены.— Врачеб.-сан. изв. упр. главноуполномоченного Красного Креста Юго-Западного фронта, 1917, 25 июля, № 14, с. 33—48. В соавт. с С. Новицким.
3. Сборник задач по теоретической механике. 1-е изд. М., 1925; 2-е изд. М., 1938; 3-е изд. М., 1949. 276 с. В соавт. с Н. Н. Бухгольцем и И. М. Воронковым.
4. К вопросу о форме баллона и натяжении нити в шелко-крутильных машинах американских и итальянских систем.— Изв. Моск. текстил. ин-та, 1927, т. 1, с. 1—4.
5. О форме баллона и натяжении нити в крутильных машинах.— Там же, 1929, т. 2, с. 3—35.
6. Натяжение цепи, перекинутой через неподвижный круглый шероховатый цилиндр.— Бюл. НИТИ, 1934, № 1, с. 24—29.
7. Анализ движения бегунка на кольце в кольцепрядильных машинах.— Сб. работ н.-и. сектора Всесоюз. пром. акад. лег. индустрии, 1937, т. 1, с. 113—128.
8. Баллон.— В кн.: Техническая энциклопедия. 2-е изд. М., 1937, с. 312.
9. Бегунок.— Там же, с. 438.
10. Передача вращения между круглыми шероховатыми цилиндром и конусом, касающимися вдоль общей образующей.— Н-и. тр. Моск. текстил. ин-та, 1938, т. 6, с. 225—236.
11. Основы механики нити.— Н.-и. тр. Моск. текстил. ин-та, 1941, т. 9, с. 1—88.
12. Равновесие идеально-гибкой нерастяжимой нити на шероховатой поверхности.— Текстил. пром-сть, 1944, № 2/3, с. 5.
13. Основы теории наматывания и сматывания нити.— Там же, № 10, с. 11—16; № 11/12, с. 10—18.
14. Теория равновесия идеально-гибкой нерастяжимой нити, перекинутой через шероховатую поверхность: (Статическая теория наматывания и сматывания).— В кн.: Научно-исследовательские работы за 1943—1944 гг. Московского текстильного института. М., 1945.
15. О творческом методе в преподавании.— Вестн. высш. шк., 1946, № 5/6, с. 19—22.
16. Цена времени.— Сов. студенчество, 1947, № 4, с. 5—6.

17. О центрах в механике и о приведении систем сил инерции в твердом теле к простейшему виду.— Н.-и. тр. Моск. текстил. ин-та, 1948, т. 10, с. 210—222.
18. К вопросу о равновесии идеально-гибкой нити на шероховатой поверхности. Основы теории наматывания и сматывания нити.— Учен. зап. МГУ, 1951, т. 4, вып. 154, с. 241—266.
19. О некоторых особенностях бессилового контурного движения идеально-гибкой нерастяжимой нити (цепочки) в неподвижной плоскости.— Вестн. МГУ, 1954, № 3, с. 57—64.
20. Реактивное влияние изменения длины баллонирующего участка нити на ее натяжение при осевом сматывании с поверхности вращения. — Н.-и. тр. Моск. текстил. и-та, 1955, т. 15, с. 5—16.

Примечания

К главе «Страницы жизни»

1. Судеб.-мед. экспертиза, 1926, № 4, с. 3—6.
2. *Минаков С.* Противосияние и зодиакальный свет в сентябре 1911 года.— Изв. Рус. астрон. о-ва, 1913, № 2.
3. Арх. МГУ, ф. О/К, д. 213.
4. *Ленин В. И.* Полн. собр. соч., т. 23, с. 135.
5. *Космодемьянский А. А.* Теоретическая механика и современная техника. М.: Просвещение, 1969, с. 98.
6. Русские ведомости, 1913, 16 и 17 окт.
7. Русское слово, 1914, 11 сент.
8. Русские ведомости, 1914, 16 сент.
9. *Минаков А., Таль А.* О форме интерференционных максимумов рентгеновских лучей.— ЖРФХО. Физ. отд., 1915, т. 47, вып. 9.
10. Арх. А. П. Минакова.
11. Арх. МГУ, ф. О/К, д. 85.
12. Арх. Моск. текстил. и-та, ф. 1, оп. 5, ед. хр. 2050.
13. Там же.
14. Диплом доктора наук ТН № 000610 выдан 3 марта 1946 г. Решение от 28 ноября 1942 г. (протокол № 25/М). Аттестат профессора ПР № 002246 выдан 5 марта 1946 г. Решение от 5 февраля 1935 г. (протокол № 4/70).
15. *Космодемьянский А. А.* Теоретическая механика и современная техника, с. 95.
16. Студент-текстильщик, 1941, 12 апр.
17. Цит. по кн.: *Космодемьянский А. А.* Теоретическая механика и современная техника, с. 151.
18. Арх. А. П. Минакова.

К главе «Механика нити»

1. *Тумский К. И.* Канительная промышленность в России и за границей. М., 1901, с. 1.
2. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд., т. 20, с. 500.
3. Там же, с. 501.
4. *Леонардо да Винчи.* Избр. произведения. М.; Л., 1935, т. 1, с. 111, 133.
5. *Гуковский М. А.* Механика Леонардо да Винчи. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947, с. 649.
6. *Галилей Г.* Избр. тр.: В 2-х т. М.: Наука, 1964, т. 2, с. 342—343.
7. Acta eruditorum. Leipzig, 1690, N 5.
8. Ibid., 1691, N 6, p. 274—277.
9. *Тюлина И. А.* Геометрическая статика П. Вариньона.— ВИЕТ, 1977, вып. 3/4 (56/57), с. 41.
10. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд., т. 1, с. 599.

11. *Д'Аламбер Ж. Л.* Динамика. М.: ОНТИ, 1950, с. 263.
12. *Лагранж Ж. Л.* Аналитическая механика. М.; Л.: ОНТИ, 1950, т. 1, с. 184—233.
13. *Poisson S. J.* de l'Ecole Polytechnique. P., 1807, N 7; Edem: Memoire de l'Academie des Scienses. Paris, 1829, N 8; Edem: Traite de Mecanique. Paris, 1833.
14. *Пуансо Л.* Начала статики. Пг., 1920.
15. *Destrem J. A. M.* Traité de Mécanique à lúsage des èléves l'institut des ingénenieurs des voies dé communication. St.-Pétersbourg, 1820.
16. *Остроградский М. В.* Общие соображения относительно моментов сил.— Полн. собр. тр. Киев, 1961, т. 2, с. 13—21.
17. *Остроградский М. В.* О равновесии веревочного многоугольника и гибкой нерастяжимой нити.— Там же, с. 60—69.
18. *Routh E. J.* A treatise on dynamics of a particle, with numerous examples. Cambridge, 1898.
19. *Kelvin, Tait.* Treatise on natural Phylosophy. Cambridge, 1923, vol. 1.
20. *Resal H.*— Comptes rendus. P., 1872, 75; 1874, 79.
21. *Aitken J.* An Account of some Experiments on Rigidity produced by centrifugal Force.— Phylos. Mag., 1878.
22. *Radinger G.* Dampfmaschinen. Wien, 1892.
23. *Leaute H.*— Comptes rendus. P., 1879, 89; 1880, 90.
24. *August F.* Über die Bewegung von Ketten in curven.— Zeitschr. Mat. und Phys., 1888, 33.
25. *Appel P.* Sur le monvement d'un fie dans un plan fixe.— Acta math., 1889, 2. Edem: Traite de mecanique rationalle. P., 1904—1928, 1—5.
26. *Floquet G.*— Comptes rendus. P., 1889, 108; 1892, 115; 1900, 130; 1900, 131.
27. *Жуковский Н. Е.* Связь между вопросами о движении материальной точки и о равновесии гибкой нити.— Полн. собр. соч. М.; Л.: ОНТИ, 1937, т. I, с. 86—89.
28. *Имшенецкий В. Г.* Канонические дифференциальные уравнения гибкой, нерастяжимой нити и брахистохроны в случае потенциальных сил. Харьков, 1880.
29. *Петров Н. П.* Влияние трения при передаче работы упругим ремнем.— Изв. СПб. технол. ин-та, 1893, с. 1.
30. *Демьянов М. Н.* О значении упругости ремня при передаче им работы.— Изв. СПб. технол. ин-та, 1892—1894, вып. 1/3, с. 2.
31. *Жуковский Н. Е.* О скольжении ремня на шкивах.— Собр. соч. М.; Л.: ОНТИ, 1949, т. III, с. 508—509.
32. *Heun K.* Kinematische problems der wissenschaft Technik. Leipzig, 1900; Edem: Zeitschrift für Mathematik und Physik, 1908, 56; Edem: Jahresber. der deutschen Mathematik Verein, 1909, 9.
33. *Hamel G.* Elementarische Mechanik. Leipzig, 1922.
34. *Lorentz H.* Technische Mechanik starrer Gebilde. B., 1924, Bd. 1.
35. *Müller W.* Dynamik. B., 1925, Bd. 2.
36. *Love A. E. H.* Theoretische Mechanik. B., 1920.
37. *Бухгольц Н. Н.* Основной курс теоретической механики. М.: Наука, 1972.

К главе «Педагогические воззрения»

1. *Макаренко А. С.* Собр. соч.: В 7-ми т. М.: Изд-во АПН РСФСР, 1958, т. 5, с. 148.
2. *Минаков А. П.* О творческом методе в преподавании.— Вестн. высш. шк., 1946, № 5/6, с. 22.
3. Там же.
4. *Станиславский К. С.* Собр. соч.: В 3-х т. М., 1954, с. 403.
5. Там же, с. 297.
6. Стенограмма лекции по методике преподавания механики, прочитанная А. П. Минаковым 5 января 1935 г.— Арх. МГУ, ф. О/К, д. 85.
7. Там же.
8. *Пушкин А. С.* Собр. соч.: В 10-ти т. М.: Изд-во АН СССР, 1956, т. 2, с. 279.
9. *Ломоносов М. В.* Полн. собр. соч.: В 10-ти т. М.: Изд-во АН СССР, 1959, т. 8, с. 695.
10. Стенограмма лекции по методике преподавания механики, прочитанной А. П. Минаковым 11 января 1935 г.— Арх. А. П. Минакова.
11. Стенограмма лекции, прочитанной А. П. Минаковым 5 января 1935 г.
12. *Минаков А. П.* О творческом методе в преподавании, с. 22.
13. *Минаков А. П.* Цена времени.— Сов. студенчество, 1947, № 4, с. 5.
14. *Минаков А. П.* О творческом методе в преподавании, с. 21.
15. *Крылов А. Н.* Мысли и материалы о преподавании механики. М.: Изд-во АН СССР, 1943, с. 62.
16. *Канарский Н.* Больше заботы о воспитании студентов.— Студент-текстильщик, 1936, 8 сент.
17. *Кафтанов С.* Высшая школа и наука.— Правда, 1946, 25 марта.
18. Повышать качество обучения студентов: Передовая.— Правда, 1948, 22 окт.
19. Повышать качество обучения и воспитания студентов: Передовая.— Правда, 1953, 24 дек.
20. *Коваленко И.* Учить и воспитывать.— Сов. культура, 1954, 30 янв.
21. *Елютин В.* О самостоятельной работе студентов.— Сов. культура, 1954, 18 февр.

К главе «Лекторское мастерство»

1. Ф. Видаль (1862—1929) открыл реакцию агглютинации, применяемую для диагностики брюшного тифа.
2. *Космодемьянский А. А.* Теоретическая механика и современная техника, с. 110.
3. *Верн Ж.* Собр. соч.: В 12-ти т. М.: Худож. лит., 1957, т. 12, с. 147.

К главе «Методические разработки»

1. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд., т. 20, с. 418.

К «Заключению»

1. Арх. А. П. Минакова.
2. *Александров П. С.* Мир ученого. — Наука и жизнь, 1974, № 8.

Именной указатель

Содержание

Володар Петрович Лишевский

Андрей Петрович Минаков
(1893 — 1954)

Утверждено к печати
редколлегией
научно-биографической серии
Академии наук СССР

Редактор издательства **Р. Х. Цорионов**
Художественный редактор **Н. А. Фильчагина**
Технический редактор **Л. И. Куприянова**
Корректоры **Е. Н. Белоусова, М. С. Бочарова**

ИБ № 27582

Сдано в набор 11.11.82
Подписано к печати 14.03.83
Т-00059. Формат $84 \times 108^1/_{32}$
Бумага для глубокой печати
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 7,35 Усл. кр. отт. 7,56
Уч.-изд. л. 8,2 Тираж 7300 экз. Тип. зак. 2322
Цена 55 коп.

Издательство «Наука»
117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

В. П. Лишевский

Андрей Петрович МИНАКОВ

Цена 55 коп.