Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»

В. С. КУРАСОВ, Е. О. В. ВОЛКОВА

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Курс лекций

Краснодар
2014

К 93 **Курасов В. С.** История науки и техники: курс лекций / В. С. Курасов, Е. О. Волкова. - Краснодар: КубГАУ, 2014. – 100 с.

Курс лекций предназначен для обучающихся по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по следующим направлениям подготовки: 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве; 08.06.01 Техника и технологии строительства; 19.06.01 Промышленная экология и биотехнологии; 09.06.01 Информатика и вычислительная техника.

© Курасов В. С., Волкова Е.О.
© ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2014

1. Различие тэхнэ и эпистеме в античности: техника без науки и наука без техники

В древнем мире техника, техническое знание и техническое действие были тесно связаны с магическим действием и мифологическим миропониманием. Один из первых философов техники Альфред Эспинас в своей книге "Возникновение технологии", опубликованной в конце XIX века, писал: "Живописец литейщик и скульптор являются работниками, искусство которых оценивается прежде всего как необходимая принадлежность культа. ...Египтяне, например, ненамного отстали в механике от греков эпохи Гомера, но они не вышли из религиозного миросозерцания. Более того, первые машины, по-видимому, приносились в дар богам и посвящались культу, прежде чем стали употребляться для полезных целей. Бурав с ремнем был, по-видимому, изобретен индусами для возжигания священного огня — операция, производившаяся чрезвычайно быстро, потому что она и теперь совершается в известные праздники до 360 раз в день. Колесо было великим изобретением; весьма вероятно, что оно было прежде посвящено богам. Гейгер полагает, что надо считать самыми древними молитвенные колеса, употребляемые и теперь в буддийских храмах Японии и Тибета, которые отчасти являются ветряными, а отчасти гидравлическими колесами... Итак, вся техника этой эпохи, — заключает автор, — имела один и тот же характер. Она была религиозной, традиционной и местной". Наука древнего мира была еще не только неспециализированной и недисциплинарной, но и неотделимой от практики и техники. Важнейшим шагом на пути развития западной цивилизации была античная революция в науке, которая выделила теоретическую форму познания и освоения мира в самостоятельную сферу человеческой деятельности.

Античная наука была комплексной по самому своему стремлению максимально полного охвата осмысляемого теоретически и обсуждаемого философски предмета научного исследования. Специализация еще только намечалась и во всяком случае не принимала организованных форм дисциплинарности. Понятие техники также было существенно отлично от современного. В античности понятие "тэхнэ" обнимает и технику, и техническое знание, и искусство. Но оно не включает теорию. Поэтому у древнегреческих философов, например, Аристотеля, нет специальных трудов о "тэхнэ". Более того, в античной культуре наука и техника рассматривались как принципиально различные виды деятельности. "В античном мышлении существовало четкое различение *эпистеме,* на постижении которого основывается наука, и *тэхнэ,* практического знания, которое необходимо для дела и связано с ним, — писал один известный исследователь. — Тэхнэ не имело никакого теоретического фундамента, античная техника всегда была склонна к рутине, сноровке, навыку; технический опыт передавался от отца к сыну, от матери к дочери, от мастера к ученику. Древние греки проводили четкое различение теоретического знания и практического ремесла".

2. Развитие механических знаний в Александрийском Мусейоне

Мусейон в Александрии Египетской

Сподвижник Александра Македонского талантливый полководец и умный правитель Птолемей 1 Сотер создал в Александрии Египетской Мусейон. Создание в начале III веке до н.э. Мусейона – величайшая заслуга перед человечеством Птолемея.

Это учреждение больше всего напоминало научно-исследовательский институт, где ученые работа, освобожденные от повседневных забот. Царь постарался привлечь в Александрию многих выдающихся поэтов и ученых того времени. Здесь собрался цвет науки всего древнего мира.

Александрийский мусейон был и исследовательским центром, и величайшим музеем древности (от слова «мусейон и возникло слово «музей»), с парком, ботаническим садом, зверинцем. При нем была обсерватория, оборудованная астролябиями, глобусами, телескопами. Быстрому развитию научных исследований способствовало щедрое финансирование. Средств не жалели, и это создавало чрезвычайно благоприятные условия для творческой деятельности. Занимаясь исследованиями, ученые имели возможность ежедневно встречаться за совместными трапезами и на прогулках в прекрасных садах дома муз. У них была исключительная возможность обмениваться опытом, советоваться, находить истину в споре и комплексно решать научные проблемы.

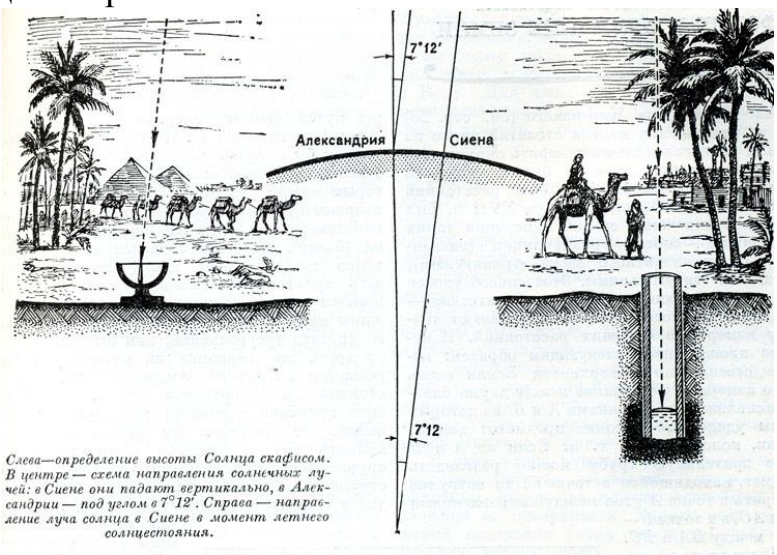
Эратосфен проводит наблюдения для определения размеров Земли.

Потомки основателя Мусейона поддерживали созданные им традиции. Царская казна продолжала снабжать ученых средствами на конструирование научных приборов, организацию экспедиций, покупку необходимых материалов и созданию библиотеки.

Александрийская библиотека стала крупнейшим книгохранилищем древнего мира. Здесь было собрано около 500 тысяч свитков.

Библиотека сильно выросла и получила широкую известность при Птолемее 2, который обманным путем и за большие деньги, получившим самые ценные рукописи афинского собрания.

В числе знаменитых ученых, возглавлявших библиотеку, следует упомянуть замечательного географа и математика Эратосфена, сумевшего с большой точностью вычислить диаметр Земли.



Слева—определение высоты Солнца скафисом. В центре — схема направления солнечных лучей: в Сиене они падают вертикально, в Александрии — под углом в 7°12'. Справа — направление луча солнца в Сиене в момент летнего солнцестояния.

В Музейоне работали поэты Феокрит и Калллимах; изобретатель механических автоматов Герон Александрийский: Евклид, написавший тридцать томов «начал» геометрии, Архимед, астроном Аристарх Самосский, который почти за две тысячи лет до Коперника понял, что Земля –шар; вращающийся вокруг Солнца. Математик Дионисий – изобретатель скоростной катапульты. Теофраст, заложивший основы ботаники, архитектор Сострат Книдский – строитель Форосского маяка и т.д.

В те далекие времена зарождались многие отрасли биологии и медицины.

Самой важной и самой захватывающей биологической проблемой является познание человеком самого себя, строения и функции органов собственного тела. Мусейон в то время был единственным местом, обладающим подходящими условиями для анатомических исследований, где можно было решиться на вскрытие трупов. Вероятно, такая терпимость объясняется тем, что в Египте издавна практиковалось бальзамирование тел усопших. В процессе этой процедуры извлекались все внутренние органы в человека, и через левую ноздрю удалялся его мозг. Так что вскрытие тел умерших людей для египтян не было чем-то чрезвычайным.

При Мусейоне была создана анатомическая школа, снабженная всем необходимым. Неудивительно, что он стал местом, где родилась анатомия, а её творцом является александрийский ученый и личный врач Птолемея 2 Герофил. Он написал «Анатомию», книгу о строении человеческого тела, значительно опередившую уровень знаний той эпохи и поэтому и не получившую признания у современников. Возможно, Герофил был первым, кто вскрывал человеческие трупы в чисто научных целях. Птолемей и тут оказался достаточно щедрым. Как утверждает молва, Герофил получил до 600 тел казненных преступников, и надо ду-

мать, что для создания монографии располагал вполне достаточным материалом. Герофил получил прозвище – Герофил-мясник.

Герофилу принадлежит множество анатомических открытий. Он первым заметил наличие артерий и вен, первый детально описал устройство глаза, изучил строение внутренних органов и описал взаимоотношения их друг с другом. Герофил определил, что мозг является местом обитания нашей психики и обнаружил его связь с периферическими нервами…

В Александрии работал и лейб-медик римских император Клавдий Гелен (130-200 гг н.э.), создавший свыше четырехсот трактатов по физиологии, фармакологии, диагностики и терапии. В своих работах Гален обобщил опыт многих поколений медиков и мыслителей древности, начиная с Гиппократа и Аристотеля, и создал собственную систему медицинских взглядов.

Главным трудом Кладия Гелена является «О назначении частей человеческого тела».

3. Влияние арабских источников и техники средневекового Востока на европейскую цивилизацию

Достижения науки средневекового Востока

Западная Европа в эпоху раннего средневековья представляла унылую картину. Редкие деревушки и еще более редкие помещичьи усадьбы были отдельными мирками, слабо связанными между собой, феодал получал все необходимое от своих крепостных, съестные припасы, одежду, обувь, оружие. Не было городов, подобных древнему Риму, Афинам, Александрии, оживленных гаваней, шумных рынков, театров и цирков. Мир средневекового человека ограничивался узкими рамками его деревушки и усадьбы. Немудрено, что и мировоззрение этого человека было столь же ограниченным и сильно уступало мировоззрению образованного афинянина или александрийца Вся духовная жизнь средневековья, просвещение, искусство, наука — была подчинена церкви.

Средневековый Восток был богаче и культурнее. Столица арабского халифата—Багдад—была украшена роскошными дворцами халифа и его визирей, шумные базары заполняла пестрая разноязычная толпа. Арабские купцы снаряжали караваны и морские суда, в городах выделывались богатые ткани, ковалось замечательное оружие, изготовлялись золотые и серебряные украшения. Восток славился пряностями и сладостями, ароматическими веществами. Это был совсем другой мир, мир роскоши и богатства, построенный на труде рабов и крепостных. В этом мире могла найти приют и дать толчок новым знаниям гонимая христианской церковью наука древности.

Широкая торговля давала богатый материал для математических задач, дальние путешествия стимулировали развитие астрономических и географических знаний, развитие ремесла способствовало развитию экспериментального искусства. Поэтому новая математика, удобная для решения вычислительных задач, берет начало на Востоке. Хорезмиец Абу Абдалла Мухаммед ибн Муса аль-Хорезми (ок 780 —ок. 850), работавший в эпоху просвещенного халифа аль-

Мамуна, был автором арифметики и трактата по алгебре. Из арифметического трактата Европа познакомилась с индийской позиционной системой чисел и употреблением нуля, арабскими цифрами, арифметическими действиями с целыми числами и дробями. Алгебраический трактат Хорезми дал имя новому разделу математики — алгебре («Аль-Джабар») В трактате Хорезми решаются линейные и квадратные уравнения.

Последующие за Хорезми ученые развили новые идеи, заимствовав их, в свою очередь, у индийских математиков, и в XII в. в Европе уже появляются переводы трактатов Хорезми и других восточных авторов. К началу научной революции Коперника — Галилея новая нумерация, алгебра и тригонометрия были не только освоены, но и развиты европейскими учеными.

Труды Аристотеля и Птолемея пришли на кафедры средневековых университетов также в арабских пере водах.

Однако задолго до арабов достижения античной науки стали известными в странах Закавказья. Армения и Грузия еще в IV в. установили тесные экономические и культурные связи с Византией. Христианство проникло в эти страны задолго до крещения Руси Уже в 301 г. христианство стало в Армении государственной религией, идеологической опорой раннего феодализма. В V—VII вв. на армянский язык были переведены труды Аристотеля, Платона и христианских богословов.

Знаменитый армянский ученый начала VII в. Анания Ширакаци путешествовал в Византию, изучал математику и философию и, вернувшись на родину, основал школу, в которой преподавал математику, астрономию, географию Им был составлен армянский учебник арифметики, выпущен трактат по космографии. Этот трактат свидетельствует о глубоком знании Ширакаци трудов греческого ученого Аристотеля. В своем сочинении Ширакаци рассматривает и чисто астрономические вопросы: пытается оценить расстояние до Солнца и Луны, составляет календарь, свидетельствующий об основательном знании им движений Солнца и Луны и трудов древних ученых по этому вопросу.

Ширакаци был разносторонним ученым, связавшим молодую армянскую науку с античным наследием. К сожалению, роль закавказских ученых в развитии естественнонаучных знаний и освоении античного наследия не исследована в достаточной мере. Пример Ширакаци показывает, что Закавказье знало античную науку непосредственно из первоисточника, от самих греков.

Арабы начали культивировать и экспериментальную науку. Мухаммед ибн Ахмед аль-Бируни (Бируни) производил точные определения плотностей металлов и других веществ с помощью изготовленного им «конического прибора». «Конический прибор» Бируни представлял собой сосуд, суживающийся кверху и оканчивающийся Цилиндрической шейкой. Посредине шейки было проделано небольшое круглое отверстие, к которому была припаяна изогнутая трубка соответствующего размера. В сосуд наливали воду. Куски металла, плотность которого определялась, опускали в сосуд, из которого через изогнутую трубку выливалась вода в объеме, равном объему исследуемого металла. Шейка была достаточно узкой («шириной с мизинец»), чтобы «подъем воды был заметен и при опускании того, что по объему равно зерну проса». Сама же трубка после ряда опытов

была заменена желобком, чтобы вода по нему стекала без задержки. По измерениям Бируни плотность золота, переведенная на современные единицы измерения, равна 19,5, ртути -13,56.

При сравнении с современными данными результаты Бируни оказываются весьма точными. К сожалению, они стали известны в Европе очень поздно. Русский консул в Америке Н.Ханыков в 1857 г. нашел рукопись аль-Хазини под названием «Книга о весах мудрости» В этой книге приведены извлечения из книги Бируни «Об отношениях между металлами и драгоценными камнями в объеме», содержащие описание прибора Бируни и полученные им результаты.

Сам аль-Хазини продолжал исследования, начатые Бируни, с помощью специально сконструированных им весов, которые он назвал «весами мудрости».

Замечательны практические указания, приведенные Бируни о воде, применяемой при определениях плотности. Он указывает на необходимость пользоваться водой из одного и того же источника, в одних и тех же условиях «в связи с воздействием на ее свойства четырех времен года и зависимостью ее от состояния воздуха». Таким образом, Бируни знал, что плотность воды зависит от содержания в ней примесей и от температуры.

Бируни производил также точные астрономические и географические измерения. Он определил угол наклона эклиптики к экватору и установил его вековые изменения. Для 1020 г. его измерения дали значение 23°34'0" Современные вычисления дают для 1020 г. значение 23°34'45". Во время путешествия в Индию Бируни разработал метод определения радиуса Земли По его измерениям, радиус Земли оказался равным 1081,66 фарсаха, т. е. около 6490 км.

Бируни наблюдал и описал изменение цвета Луны при лунных затмениях, явление солнечной короны при полных затмениях Солнца. Он высказал мысль о движении Земли вокруг Солнца и считал геоцентрическую теорию весьма уязвимой. Им было написано обширное сочинение об Индии и переведены на санскритский язык «Начала» Евклида и «Альмагест» Птолемея.

Приведем краткие биографические сведения об этом выдающемся ученом средневекового Востока. Бируни родился 4 сентября 973 г. в главном городе Хорезма Кяте и вырос в среде ремесленников, к которой, возможно, принадлежали и его родители. Тяга к знаниям у него появилась весьма рано, и он уже в юности был тесно связан с научными кругами древнего Хорезма. По его собственному свидетельству, в возрасте 21-22 лет он «производил астрономические измерения при помощи круга, имевшего в диаметре 15 локтей, и других необходимых для этого инструментов». В это время в Хорезме произошел государственный переворот, плохо отразившийся на судьбе Бируни, который вынужден был уехать из Хорезма, проведя на чужбине около десяти лет. По возвращении Бируни становится одним из государственных деятелей Хорезма. Вероятно, в эти годы он проводил измерения плотностей металлов и драгоценных камней. Тогда же он начинает обширную переписку со знаменитым ученым древнего Хорезма Ибн Синой (Авиценной, 980—1037), с которым он обсуждает ряд естественнонаучных вопросов и физику Аристотеля. Бируни резко критикует многие утверждения Аристотеля, тогда как Ибн Сина выступает в роли защитника Аристотеля.

В 1017 г. властитель Хорасана и Афганистана Махмуд завоевал Хорезм, и Бируни вместе с другими пленными был отправлен в Газни, где прожил 13 лет. Несмотря на тяжелые условия, Бируни продолжал научную работу, написав ряд трудов по географии и астрономии, в том числе и знаменитую «Индию».

К моменту окончания «Индии» положение Бируни изменилось. На прес тол взошел сын Махмуда Масуд. Он благосклонно относился к Бируни и покровительствовал ему. Ученый по святил Масуду большое сочинение по астрономии и сферической триго нометрии, известное под название «Канон Масуда». Им были написаны также «Минералогия», «Книга о лечебных веществах». Умер Бируни 13 декабря 1048 г. (по другим сведе ниям, в 1050 или 1051 г.). По словам известного советского востоковед И.Ю.Крачковского, Бируни был энциклопедистом, охватившим весь круг современных ему наук, в первую очередь математико-физических и почти в такой же мере естественноисторических.

Крупным физиком был современник Бируни египтянин Ибн аль-Хайсам (965—1039), известный в Европе под именем Алхазена. Его основные исследования относятся к оптике. Алхазен развивает научное наследие древних, производя собственные эксперименты и конструируя для них приборы. Он разработал теорию зрения, описал анатомическое строение глаза и высказал предположение, что приемником изображения является хрусталик. Точка зрения Алхазена господствовала до XVII в., когда было выяснено, что изображение появляется на сетчатке.

Отметим, что Алхазен был первым ученым, знавшим действие камер-обскуры, которую он использовал как астрономический прибор для получения изображения Солнца и Луны. Алхазен рассматривал действие, плоских, сферических, цилиндрических и конических зеркал. Он поставил задачу определения положения отражающей точки цилиндрического зеркала по данным положениям источника света и глаза Математически задача Алхазена формулируется так: по данным двум внешним точкам и окружности, расположенным в одной плоскости определить такую точку окружности, чтобы прямые, соединяющие ее с заданными точками, образовывали равные углы с радиусом, проведенным к искомой точке.

Задача сводится к уравнению четвертой степени. Алхазен решил ее геометрически. В дальнейшем задачу Алхазена решали такие крупные ученые XVII в., как Гюйгенс и учитель Ньютона Барроу.

Алхазен занимался исследованием преломления света. Он разработал метод измерения углов преломления и показал экспериментально, что угол преломления не пропорционален углу падения. Хотя Алхазен не нашел точной формулировки закона преломления, он существенно дополнил результаты Птолемея, показав, что падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным из точки падения луча. Алхазену было известно увеличивающее действие плоско-выпуклой линзы, понятие угла зрения, его зависимость от расстояния до предмета. По продолжительности сумерек он определил высоту атмосферы, считая ее однородной.

В этих предположениях результат получается неточным (до Алхазену, высота атмосферы 52 000 шагов), но сам принцип определения является большим достижением средневековой оптики.

«Книга оптики» Алхазена была переведена на латинский язык в XII в. Однако считалось, что это сочинение — копия труда Птолемея. Только после того как было найдено и опубликовано сочинение Птолемея, стало ясно, что оптика Алхазена — это оригинальный труд, развивающий достижения древних ученых. То, что Алхазен есть не кто иной, как арабский ученый Ибн аль-Хайсам, выяснилось только в XIX в.

На примере Бируни и Алхазена мы видим, как развивалось экспериментальное естествознание на Востоке. Вместе с такими изобретениями, как механические часы, компас, порох, бумага, перенесенными в Европу арабами, и античным наследием оно сыграло огромную роль в развитии европейской цивилизации.

Отметим, что у арабов дальнейшее развитие получила астрономия. Сооружались обсерватории, велись наблюдения за небесными светилами Мы говорили об астрономических и геодезических измерениях Бируни Крупным астрономом был внук знаменитого завоевателя Тимура Улугбек (1394—1449). Он построил в Самарканде обсерваторию, снабдил ее первоклассными по тому времени инструментами. Им были составлены точный каталог звезд и таблица движения планет. Результаты наблюдений, выполненных Улугбеком, характеризуют высокий уровень арабской астрономии.

Астрономические исследования средневековых арабских ученых вместе с другими достижениями арабской науки и техники становились позднее известными в Европе и стимулировали развитие европейской астрономии.

4. Повышение социального статуса архитектора и инженера в эпоху Возрождения

Независимо от того, с какого момента отсчитывать начало науки, о технике можно сказать определённо, что она возникла вместе с возникновением *Homo sapiens* и долгое время развивалась независимо от всякой науки. Это, конечно, не означает, что ранее в технике не применялись научные знания. Но, во-первых, сама наука не имела долгое время особой дисциплинарной организации, и, во-вторых, она не была ориентирована на сознательное применение создаваемых ею знаний в технической сфере. Рецептурно-техническое знание достаточно долго противопоставлялось научному знанию, об особом научно-техническом знании вообще вопрос не ставился. «Научное» и «техническое» принадлежали фактически к различным культурным ареалам. В более ранний период развития человеческой цивилизации и научное, и техническое знание были органично вплетены в религиозно-мифологическое мировосприятие и ещё не отделялись от практической деятельности.

В древнем мире техника, техническое знание и техническое действие были тесно связаны с магическим действием и мифологическим миропониманием. Один из первых философов техники Альфред Эспинас в своей книге «Возникно-

вение технологии», опубликованной в конце XIX века, писал: «Живописец, литейщик и скульптор являются работниками, искусство которых оценивается прежде всего как необходимая принадлежность культа. ...Египтяне, например, не намного отстали в механике от греков эпохи Гомера, но они не вышли из религиозного миросозерцания. Более того, первые машины, по-видимому, приносились в дар богам и посвящались культу, прежде чем стали употребляться для полезных целей. Бурав с ремнем был, по-видимому, изобретён индусами для возжигания священного огня – операция, производившаяся чрезвычайно быстро, потому что она и теперь совершается в известные праздники до 360 раз в день. Колесо было великим изобретением; весьма вероятно, что оно было прежде посвящено богам. Гейгер полагает, что надо считать самыми древними молитвенные колеса, употребляемые и теперь в буддийских храмах Японии и Тибета, которые отчасти являются ветряными, а отчасти гидравлическими колёсами... Итак, вся техника этой эпохи, – заключает автор, – имела один и тот же характер. Она была религиозной, традиционной и местной». Наука древнего мира была ещё не только неспециализированной и недисциплинарной, но и неотделимой от практики и техники. Важнейшим шагом на пути развития западной цивилизации была античная революция в науке, которая выделила теоретическую форму познания и освоения мира в самостоятельную сферу человеческой деятельности.

Античная наука была комплексной по самому своему стремлению максимально полного охвата осмысляемого теоретически и обсуждаемого философски предмета научного исследования. Специализация ещё только намечалась и во всяком случае не принимала организованных форм дисциплинарности. Понятие техники также было существенно отлично от современного. В античности понятие «тэхнэ» обнимает и технику, и техническое знание, и искусство. Но оно не включает теорию. Поэтому у древнегреческих философов, например, Аристотеля, нет специальных трудов о «тэхнэ». Более того, в античной культуре наука и техника рассматривались как принципиально различные виды деятельности. "В античном мышлении существовало чёткое различение *эпистеме*, на постижении которого основывается наука, и *тэхнэ*, практического знания, которое необходимо для дела и связано с ним, – писал один известный исследователь. – Тэхнэ не имело никакого теоретического фундамента, античная техника всегда была склонна к рутине, сноровке, навыку; технический опыт передавался от отца к сыну, от матери к дочери, от мастера к ученику. Древние греки проводили чёткое различение теоретического знания и практического ремесла".

В средние века архитекторы и ремесленники полагались в основном на традиционное знание, которое держалось в секрете и которое со временем изменялось лишь незначительно. Вопрос соотношения между теорией и практикой решался в моральном аспекте – например, какой стиль в архитектуре является более предпочтительным с божественной точки зрения. Именно инженеры, художники и практические математики эпохи Возрождения сыграли решающую роль в принятии нового типа практически ориентированной теории. Изменился и сам социальный статус ремесленников, которые в своей деятельности достигли высших уровней ренессансной культуры. В эпоху Возрождения наметившаяся уже в раннем Средневековье тенденция к всеохватывающему рассмотрению и изучению

предмета выразилась, в частности, в формировании идеала энциклопедически развитой личности учёного и инженера, равным образом хорошо *знающего* и *умеющего* – в самых различных областях науки и техники.

В науке Нового времени можно наблюдать иную тенденцию – стремление к специализации и вычленению отдельных аспектов и сторон предмета как подлежащих систематическому исследованию экспериментальными и математическими средствами. Одновременно выдвигается идеал новой науки, способной решать теоретическими средствами инженерные задачи, и новой, основанной на науке, техники. Именно этот идеал привёл в конечном итоге к дисциплинарной организации науки и техники. В социальном плане это было связано со становлением профессий учёного и инженера, повышением их статуса в обществе. Сначала наука многое взяла у мастеров-инженеров эпохи Возрождения, затем в XIXXX веках профессиональная организация инженерной деятельности стала строиться по образцам действия научного сообщества. Специализация и профессионализация науки и техники с одновременной технизацией науки и сциентификацией техники имели результатом появление множества научных и технических дисциплин, сложившихся в XIXXX веках в более или менее стройное здание дисциплинарно организованных науки и техники. Этот процесс был также тесно связан со становлением и развитием специально-научного и основанного на науке *инженерного образования*.

Итак, можно видеть, что в ходе исторического развития техническое действие и техническое знание постепенно отделяются от мифа и магического действия, но первоначально опираются ещё не на научное, а лишь на обыденное сознание и практику. Это хорошо видно из описания технической рецептуры в многочисленных пособиях по ремесленной технике, направленных на закрепление и передачу технических знаний новому поколению мастеров. В рецептах уже нет ничего мистически-мифологического, хотя перед нами ещё не научное описание, да и техническая терминология ещё не устоялась.

В Новое время возникает настоятельная необходимость подготовки инженеров в специальных школах. Это уже не просто передача накопленных предыдущими поколениями навыков от мастера к ученику, от отца к сыну, но налаженная и социально закреплённая система передачи технических знаний и опыта через систему профессионального образования.

5. Развитие артиллерии и создание начал баллистики в эпоху Возрождения

Важнейшим условием масштабности и революционности достижений науки Возрождения было гуманистическое мировоззрение, в котором деятельность по освоению мира понималась как составляющая земного предназначения человека. К этому нужно добавить возрождение античной науки. Немалую роль в развитии сыграли нужды мореплавания, применения артиллерии, создания гидросооружений и т.п. Распространение научных знаний, обмен ими между учеными были бы невозможны без изобретения книгопечатания ок. 1445.

Первые достижения в области математики и астрономии относятся к середине 15 в. и связаны во многом с именами Г.Пейербаха (Пурбах) и И.Мюллера (Региомонтан). Мюллером были созданы новые более совершенные астрономические таблицы (взамен альфонсианских таблиц 13 в.) – «Эфемериды» (изданы в 1492), которыми пользовались в своих путешествиях Колумб, Васко да Гама и другие мореплаватели. Существенный вклад в развитие алгебры, геометрии внес итальянский математик рубежа веков Л.Пачоли. В 16 в. Итальянцы Н.Тарталья и Дж. Кардано открыли новые способы решения уравнений третьей и четвертой степени.

Важнейшим научным событием 16 в. стала коперниковская революция в астрономии. Польский астроном Николай Коперник в трактате *Об обращении небесных сфер* (1543) отверг господствовавшую геоцентрическую птолемеевско-аристотелевскую картину мира и не только постулировал вращение небесных тел вокруг Солнца, а Земли еще вокруг своей оси, но и впервые подробно показал (геоцентризм как догадка родился еще в Древней Греции), как исходя из такой системы можно объяснить – гораздо лучше, чем ранее – все данные астрономических наблюдений. В 16 в. новая система мира, в целом, не получила поддержки в научном сообществе. Убедительные доказательства истинности теории Коперника привел только Галилей.

Опираясь на опыт, некоторые ученые 16 в. (среди них Леонардо, Б.Варки) высказывали сомнение относительно законов аристотелевской механики, безраздельно господствовавшей до того времени, но своего решения проблем не предложили (позже это сделает Галилей). Практика применения артиллерии способствовала постановке и решению новых научных проблем: Тарталья в трактате *Новая наука* рассмотрел вопросы баллистики. Теорией рычагов и весов занимался Кардано. Леонардо да Винчи стал основоположником гидравлики. Его теоретические изыскания были связаны с устройством им гидросооружений, проведением мелиоративных работ, строительством каналов, усовершенствованием шлюзов. Английский врач У.Гилберт положил начало изучению электромагнитных явлений, опубликовав сочинение *О магните* (1600), где описал его свойства.

Критическое отношение к авторитетам и опора на опыт ярко проявились в медицине и анатомии. Фламандец А.Везалий в своем знаменитом труде *О строении человеческого тела* (1543) подробнейше описал тело человека, опираясь при этом на свои многочисленные наблюдения при анатомировании трупов, подвергнув критике Галена и других авторитетов. В начале 16 в. наряду с алхимией возникает ятрохимия – врачебная химия, разрабатывавшая новые лечебные препараты. Одним из ее родоначальников был Ф. фон Гогенгейм (Парацельс). Отвергая достижения предшественников, он, по сути, не ушел далеко от них в теории, но как практик ввел ряд новых лекарственных препаратов.

В 16 в. получили развитие минералогия, ботаника, зоология (Георг Бауэр Агрикола, К. Геснер, Чезальпино, Ронделэ, Белона), которые в эпоху Возрождения были на стадии собирания фактов. Большую роль в развитии этих наук играли отчеты исследователей новых стран, содержавшие описания флоры и фауны.

В 15 в. активно развивалась картография и география, исправлялись ошибки Птолемея, на основе средневековых и современных данных. В 1490 М.Бехайм со-

здает первый глобус. В конце 15 – начале 16 вв. поиски европейцев морского пути Индию и Китай, успехи в картографии и географии, астрономии и судостроении увенчались открытием побережья Центральной Америки Колумбом, который полагал, что достиг Индии (впервые континент под названием Америка появился на карте Вальдземюллера в 1507). В 1498 португалец Васко да Гама достиг Индии, обогнув Африку. Идея достичь Индии и Китая западным путем была реализована испанской экспедицией Магеллана – Эль-Кано (1519–1522), обогнувшей Южную Америку и совершившей первое кругосветное путешествие (на практике была доказана шарообразность Земли!). В 16 в. европейцы были уверены, что «мир сегодня полностью открыт и весь человеческий род познан». Великие открытия преобразили географию, стимулировали развитие картографии.

Наука эпохи Возрождения слабо затронула производительные силы, развивавшиеся по пути постепенного совершенствования традиции. В то же время успехи астрономии, географии, картографии послужили важнейшей предпосылкой Великих географических открытий, приведших к коренным изменениям в мировой торговле, к колониальной экспансии и революции цен в Европе. Достижения науки эпохи Возрождения стали необходимым условием для генезиса классической науки Нового времени

6. Экспериментальное естествознание XVII века

В XV-XVI веках в Европе начался период быстрого роста торговли и материального производства. К XVI веку техника в Европе вышла на уровень заметно более высокий, чем в период расцвета Античного мира. При этом изменения в технических приемах опережали их теоретическое осмысление. Технические изобретения XVI века и блестящие успехи мореплавания (разрешившие, кстати, длившийся столетиями финансовый кризис, связанный с нехваткой драгоценных металлов) одновременно ставили перед наукой новые проблемы, которые существовавшая ранее наука разрешить не могла. Дальнейшее усовершенствование техники упиралось в главное противоречие эпохи – противоречие между сравнительно высоким уровнем достигнутых к этому времени технологических знаний и резким отставанием теоретического естествознания.

Развитие философии и естествознания в эпоху Возрождения привело к глубокому кризису аристотелевской картины мира и поставило задачу выработки отражающей реальные свойства действительности физической концепции, а потребности технического прогресса привели к созданию основ научного эксперимента. Быстрому развитию в Европе новых философских систем способствовала также и Реформация, начавшаяся в XVI веке.

Сочетание социально-экономических и технических факторов вызвало сдвиг в общественном сознании, усилило потребность в выработке новой философии, отрицавшей роль авторитета (как религиозных доктрин, так и античных учений) и утверждавшей приоритет научного доказательства. В начале XVII века появились крупные философские произведения, оказавшие существенное влияние на развитие естествознания. Английский философ Френсис Бэкон выдвинул тезис о том,

что решающим доводом в научной дискуссии должен являться эксперимент. Вместо принятого с античных времён дедуктивного метода Бэкон предложил новую логику науки – индукцию, основанную на умозаключении от частного к общему (весьма символичными являются названия сочинений Бэкона – "Новый органон" (1620) и "Новая Атлантида", прямо противопоставляемые "Органону" и "Атлантиде" Аристотеля).

Семнадцатый век в философии ознаменовался также возрождением атомистических представлений. Математик (основатель аналитической геометрии) и философ Рене Декарт, известный также как Картезий, утверждал, что все тела состоят из корпускул различной формы и размеров; форма корпускул связана со свойствами вещества. В то же время Декарт считал, что корпускулы делимы и состоят из единой материи. Декарт отрицал представления Демокрита о неделимых атомах, движущихся в пустоте, не решаясь допустить существование пустоты. Корпускулярные идеи, весьма близкие к античным представлениям Эпикура, высказывал и французский философ Пьер Гассенди. Группы атомов, образующие соединения, Гассенди называл молекулами (от лат. *moles* – кучка). Корпускулярные представления Гассенди завоевали довольно широкое признание среди естествоиспытателей.

Инструментом разрешения противоречия между высоким уровнем технологии и крайне низким уровнем знаний о природе стало в XVII веке новое экспериментальное естествознание.

Огромные успехи в XVII веке были достигнуты в области физики, механики, математики и астрономии. Галилео Галилей не только основал классическую механику, но и ввёл в физику новый образ мышления, в полной мере использующий экспериментальный метод. Немецкий астроном Иоганн Кеплер в 1609 г. привёл в соответствие с астрономическими данными гелиоцентрическую систему, которую предложил в 1543 г. Николай Коперник, и которая в первоначальном виде содержала множество неточностей. Эванджелиста Торричелли, Блез Паскаль и Отто фон Герике провели в середине XVII в. свои знаменитые опыты по изучению вакуума и атмосферного давления. Герике начал также исследования в области электростатики; Христиан Гюйгенс создал волновую теорию света и разработал основные законы оптики. Исаак Ньютон открыл законы классической механики и закон всемирного тяготения. Его капитальный труд "Математические начала натуральной философии" (1687) обобщил не только собственные исследования автора, но и опыт предшественников, результатом чего явилось создание единой механической картины мира, господствовавшей вплоть до рубежа XIX и XX столетий. Все эти и многие другие блестящие открытия ознаменовали собой первую *научную революцию*, результатом которой стало становление нового естествознания, целиком основанного на экспериментальных данных. Основой естествознания становится принцип количественного измерения в экспериментальных исследованиях. Это находит свое выражение в изобретении разнообразных измерительных приборов – хронометров, термометров, ареометров, барометров, весов и т.д.

Новое естествознание породило и новые организационные формы – были созданы научные общества и академии наук. Ещё в 1560 г. итальянский естествоис-

пытатель Джиованни Баттиста делла Порта начал проводить в своём доме регулярные собрания, называемые Академией тайн природы. В XVII в. появились официально учреждённые академии с соответствующими органами и статутом: Академия естествоиспытателей (Леопольдина) в Германии (1652), Академия опыта во Флоренции (1657), Королевское общество (1662) в Лондоне, Парижская Академия точных наук (1663).

Одним из следствий произошедшей во второй половине XVII века научной революции явилось создание новой – научной – химии. Создателем научной химии традиционно считается Роберт Бойль.

7. Промышленная революция конца XVIII - X1X веков

Последняя треть XVIII в. представляет собой переломный период в истории производительных сил человеческого общества и носит название эпохи промышленного переворота. До этого производство было основано исключительно на ручном труде и находилось в непосредственной зависимости от навыков, силы и искусства самого рабочего. Воздействуя ручными орудиями и инструментами на обрабатываемый предмет, рабочий целесообразно изменял его форму (изгибал, вытачивал, опиливал и т. п.), превращая материал или заготовку в готовый предмет, в часть или деталь готового предмета или в полуфабрикат для дальнейшей обработки. Если при этом и применялись машины (мельничные жернова, дутьевые мехи, дробильные ступы и пр.), приводимые в движение энергией, получаемой от водяного или ветряного двигателя, то они не заменяли рук человека и не требовали от рабочего умения и навыков.

После промышленного переворота создается и развивается капиталистическая машинная индустрия, опирающаяся на рабочую машину как основу производства и на труд пролетариата, покупаемый капиталистом — владельцем предприятия. В.И. Ленин в своей работе «Развитие капитализма в России», подчеркивая, что различным укладам техники соответствуют и различные стадии капитализма, указывает: «Мелкое товарное производство характеризуется совершенно примитивной, ручной техникой, которая оставалась неизменной чуть ли не с незапамятных времен. Промышленник остается крестьянином, перенимающим по традиции приемы обработки сырья. Мануфактура вводит разделение труда, вносящее существенное преобразование техники, превращающее крестьянина в мастерового, в «детального рабочего».

Промышленный переворот – революционные изменения в орудиях и в организации производства, которые привели к переходу от доиндустриального к индустриальному обществу. Классическим и наиболее ранним примером промышленной революции считается Англия конца 18 – начала 19 вв.

Современная историко-экономическая наука выделяет в истории человечества три крупных качественных скачка – три революции в производительных силах общества и в структурах самого общества. Неолитическая революция создала производящую экономику; промышленная революция привела к переходу от аграрного общества к промышленному; продолжающаяся научно-техническая рево-

люция ведет к переходу от промышленного общества к сервисному. Все эти процессы происходили асинхронно в разных странах и регионах, однако имели глобальный характер.

Термин «промышленная революция» (или «промышленный переворот») подчеркивает быстрый и взрывообразный характер изменений, который произошли на рубеже 18–19 вв. сначала в Англии, а затем и в других странах европейской цивилизации. Впервые это понятие начал использовать в 1830-е французский экономист Адольф Бланки. С 1840-х оно стало широко использоваться марксистами: в первом томе Капитала Карл Маркс дал развернутый анализ революционных изменений средств производства, которые стали фундаментом капиталистического строя. Среди историков-немарксистов понятие «промышленная революция» получило всеобщее признание в конце 19 в. под влиянием Лекций о промышленной революции известного английского историка Арнольда Тойнби.

Наряду с узкой трактовкой промышленной революции как события, связанного только с генезисом капитализма, среди обществоведов распространены и более широкие ее трактовки, когда промышленной революцией называют любые глубокие качественные сдвиги в промышленной сфере. Сторонники такого подхода выделяют не одну промышленную революцию, а три или еще больше. Однако такое более широкое толкование не считается общепринятой.

Среди обществоведов и в наши дни продолжаются дискуссии о том, что же именно следует считать главным содержанием промышленной революции 18–19 вв. Важнейшими изменениями эпохи промышленного переворота называют:

появление принципиально новых средств труда – машин (т.е. механизация производства);

формирование нового типа экономического роста – переход от медленного и нестабильного к высокому самоподдерживающемуся росту;

завершение формирования новой социальной структуры – превращение предпринимателей и наемных работников в основные общественные классы.

Промышленная революция как механизация производства. В ходе промышленной революции возникает новый элемент производительных сил общества – машина, которая состоит из трех основных частей: машины-двигателя, передаточного механизма и рабочей машины. Важнейшими из них являются рабочая машина, которая обрабатывает материал труда, заменяя «умелые руки» работника, и двигатель, дающий рабочей машине энергию, намного превосходящую силу человека. Именно в зависимости от того, как происходило формирование этих механических устройств, выделяют три этапа промышленной революции:

1-й этап – появление рабочих машин (первоначально в текстильном производстве, а затем и в других отраслях);

2-й этап – изобретение паровой машины как двигателя для рабочих машин;

3-й этап – создание рабочих машин для производства других рабочих машин.

В эпоху нового времени первым промышленным товаром массового потребления стала одежда. Поэтому промышленный переворот начался в ткацком производстве. Первым центром промышленной революции стала Англия – страна, которая еще в 16–17 вв. была главным центром овцеводства в Европе, чья шерсть

шла на изготовление тканей, используемых не только в самой Англии, но и экспортируемых за рубеж.

Началом промышленной революции считают изобретение в 1764–1765 английским ткачом Джеймсом Харгривсом механической прялки, которую он назвал в честь своей дочери «Дженни». Эта прялка резко (примерно в 20 раз) увеличивала производительность труда прядильщика. Несмотря на сопротивление боящихся конкуренции цеховых ткачей, уже через несколько лет «Дженни» стала использоваться прядильщиками Англии практически повсеместно. Коэффициент полезной деятельности прялки «Дженни» был ограничен тем, что она использовала мускульную силу ткача.

Следующий важный шаг сделал в 1769 цирюльник Ричард Аркрайт, запатентовав прядильную машину непрерывного действия, рассчитанную на водяной привод. Наконец, в 1775 ткач Самуэл Кромптон сконструировал прядильную мюль-машину, выпускавшую высококачественную ткань. Если «Дженни» давала тонкую, но некрепкую нить, а ватермашина Аркрайта – крепкую, но грубую, то мюль-машина Кромптона давала пряжу и крепкую, и одновременно тонкую. После этих изобретений текстильная промышленность Англии поставила себя вне конкуренции, снабжая тканями все развитые страны мира.

Машинное производство первоначально возникло на ремесленном базисе – машины производились вручную и приводились в движение силой работника. Однако затем в ходе промышленной революции возникли двигатели для машин и началось производство машин машинами.

Первые двигатели, используемые для питания рабочих машин, использовали силу известного еще в древности водяного колеса. Однако такие двигатели можно было использовать только около рек. Бурное развитие машинного производства потребовало изобретения универсальных двигателей, которые можно было бы использовать в любой месте.

Если рабочие машины пришли из ткацкой индустрии, то машинные двигатели – из горной промышленности. При эксплуатации горных шахт всегда одной из основных проблем была откачка воды. Еще в 1711 Томас Ньюкомен изобрел паровой насос с цилиндром и поршнем. Поскольку машины Ньюкомена имели неравномерный ход, то они часто ломались.

В 1763 к работе по усовершенствованию машины Ньюкомена приступил Джеймс Уатт, лаборант университета в Глазго. Разобравшись в недостатках традиционной модели, Уатт разработал проект принципиально новой машины. В 1769, одновременно с изобретением прядильной машины Аркрайта, Уатт взял патент на свой паровой двигатель, но его доработка до массового практического внедрения потребовала еще многих усилий. Лишь в 1775 на заводе в Бирмингеме было налажено производство паровых машин, и только еще через десять лет это производство стало давать ощутимую прибыль. Наконец, в 1784 Уатт запатентовал паровую машину двойного действия, которая стала символом «века пара».

Изобретение нового двигателя не только ускорило развитие старых отраслей промышленности (например, текстильной), но и вызвало появление принципиально новых. В частности, произошел переворот в организации транспорта. Со-

здание и распространение механических транспортных средств историки-экономисты называют транспортной революцией.

Объяснение «запоздалого» массового внедрения технических изобретений кроется в том, что оно требовало осуществить сначала некоторые социальные инновации. Для внедрения машин, в частности, было необходимо сначала ликвидировать средневековую цеховую систему, которая запрещала конкуренцию, и создать систему правовой защиты прав изобретателя. В средние же века технические изобретения оставались уникальными образцами: внедрение техники наталкивалось на противодействие цеховых ремесленников, которые боялись потерять работу, а изобретатели, боясь лишиться дохода от использования своих открытий, всячески их скрывали и часто уносили их тайну с собой в могилу.

Феодальная регламентация создавала для технических новинок не стимулы, а контрстимулы. Известно много примеров репрессий против изобретателей новых технических инноваций. Так, в 1579 в Данциге был казнен механик, создавший лентоткацкий станок. Когда в 1733 английский ткач Джон Кей изобрел «летающий челнок», то он подвергся преследованиям собратьев по профессии – его дом был разгромлен, и он был вынужден бежать во Францию. Последним отголоском средневекового страха перед машинами стало движение луддитов в Великобритании рубежа 18–19 вв., когда восставшие рабочие разбивали машины, «отнимающие хлеб у людей».

Эпоха промышленной революции качественно изменила темпы экономического роста. В доиндустриальных обществах экономический рост был неустойчив и невысок: периоды экономического роста перемежались с периодами спада, в результате чего средний темп прироста колебался около нуля. Новый взгляд на эпоху промышленной революции, концепцию перехода к самоподдерживающемуся росту, сформулировал в 1956 американский экономист Уолт Ростоу.

У.Ростоу выделил пять стадий роста:

1. традиционное общество (the traditional society);
2. период создания предпосылок для взлета (the preconditions for take-off);
3. взлет (the take-off);
4. движение к зрелости (the drive to maturity);
5. эпоха высокого массового потребления (the age of high mass consumption).

Массовое внедрение машин внесло принципиальные изменения в организацию труда, а тем самым и в социальную структуру общества.

Особенности промышленной революции в разных странах. Промышленная революция происходила в различных странах неравномерно. После промышленной революции в Англии промышленный переворот начинается в 1830–1860 во Франции, в 1850–1890-е – в США и Германии, в 1870-е – в скандинавских странах, в 1880-е – в Японии

Промышленная революция в странах догоняющего развития, как правило, имеет ряд принципиальных отличий от того, как она протекала в передовых странах. Во-первых, в отстающих странах промышленная революция вызвана не только и не столько потребностями внутреннего развития, сколько давлением

извне – необходимостью давать экономический и военный отпор более передовым странам. Как следствие, промышленный переворот в отстающих странах протекает не спонтанно, а под опекой государства, которое целенаправленно «выращивает» те технические и социальные инновации, которые оно считает наиболее необходимыми.

Во-вторых, хотя сам процесс промышленного переворота при догоняющем развитии протекает более ускоренно, но он, как правило, остается отчасти незавершенным. Ярким примером тому является советская индустриализация: хотя в СССР удалось в 1930–1950-е сделать промышленное производство основой экономического развития, однако даже в наши дни слабы механизмы самоподдерживающегося роста, автоматического обновления производства. Возникнув во многом в результате государственной поддержки, промышленное производство в отстающих странах не приучается расти без помощи правительства.

8. Становление технического и инженерного образования в XVIII веке. Учреждение средних технических школ в России

XVIII век в России принес изменения в процесс обучения: появились новые подходы к образованию.

Богословие стали преподавать только в епархиальных школах, где обучались дети духовенства. К 1727 г. в России насчитывалось 46 епархиальных школ с 3056 учащимися.

В 1701 г. в Москве в здании бывшей Сухаревской башни была основана Школа математических и навигационных наук. В том же 1701 г. была открыта Артиллерийская школа; в 1708 г. — Медицинское училище; в 1712 г. — Инженерная школа. В 1715 г. старшие классы Школы математических и навигационных наук были переведены в Петербург и преобразована в Морскую академию (ныне Высшая военно-морская академия).

К концу первой четверти XVIII в. по указу 1714 г. в губерниях были открыты 42 цифирные школы с 2000 учащимися (к середине века многие цифирные школы были присоединены к духовным училищам, а другие закрылись).

При Анне Иоанновне (1730—1741) дети солдат учились в гарнизонных школах.

При металлургических заводах на Урале и в Олонецком крае правительство организовало первые горные школы, готовивших специалистов горного дела.

Закладывались основы для развития системы замкнутых сословных школ, сложившейся к середине XVIII в.

В 1732 г. учрежден Корпус кадетов или *Сухопутный шляхетский (дворянский) корпус*. После окончания этого учебного заведения дворянские дети получали офицерские чины.

С 1730-х гг. широкое применение получила практика записывать в полк малолетних детей, так что к совершеннолетию они получали по выслуге лет офицерский чин.

При Анне Иоанновне были учреждены Морской, Артиллерийский и Пажеский корпуса.

При Елизавете (1741—1762) военно-учебные заведения были реорганизованы. В 1744 г. вышел указ о расширении сети начальных школ. Открыты первые гимназии: в Москве (1755 г.) и в Казани (1758 г.). В 1755 г. по инициативе фаворита императрицы И. И. Шувалова основан Московский университет, а в 1760 г. — Академия художеств.

Во второй половине XVIII века прослеживаются две тенденции в образовании: расширение сети учебных заведений и усиление принципа сословности. В 1782—1786 годах была осуществлена школьная реформа. В 1782 году был утвержден Устав народных училищ. В каждом городе учреждались главные училища с 4 классами, а в уездных городах — малые народные училища с 2 классами. Было введено предметное преподавание, единые сроки начала и окончания занятий, классная урочная система; разрабатывались методики преподавания, единые учебные планы. В проведении этой реформы большую роль сыграл сербский педагог Ф. И. Янкович де Мириево. К концу века насчитывалось 550 учебных заведений с 60-70 тыс. учеников. Система закрытых учебных заведений разработана Екатериной II совместно с президентом Академии художеств и шефом Сухопутного шляхетского корпуса И. И. Бецким.

К средним учебным заведениям в это время относились народные училища, шляхетские корпуса, благородные пансионы и гимназии.

Возникновение инженерной деятельности как одного из важнейших видов трудовой деятельности связано с появлением мануфактурного и машинного производства. В средние века ещё не существовала инженерная деятельность в современном понимании, а была, скорее, техническая деятельность, органически связанная с ремесленной организацией производства.

Инженерная деятельность как профессия связана с регулярным применением научных знаний в технической практике. Она формируется, начиная с эпохи Возрождения. На первых порах ценностные ориентации этой деятельности ещё тесно связаны с ценностями ремесленной технической практики (например, непосредственный контакт с потребителем, ученичество в процессе осуществления самой этой деятельности и т. п.). В эту эпоху ориентация на применение науки, хотя и выдвигается на первый план в явном виде, но выступает пока лишь как предельная установка.

Первые импровизированные инженеры появляются именно в эпоху Возрождения. Они формируются в среде учёных, обратившихся к технике, или ремесленников-самоучек, приобщившихся к науке. Решая технические задачи, первые инженеры и изобретатели обратились за помощью к математике и механике, из которых они заимствовали знания и методы для проведения инженерных расчётов. Первые инженеры – это одновременно художники-архитекторы, консультанты-инженеры по фортификационным сооружениям, артиллерии и гражданскому строительству, алхимики и врачи, математики, естествоиспытатели и изобретатели. Таковы, например, Леон Батиста Альберти, Леонард да Винчи, Никколо Тарталья, Джироламо Кардано, Джон Непер и др.

Знание в это время рассматривалось как вполне реальная сила, а инженер – как обладатель этого знания. Насколько высоко ценилось такое знание видно на примере истории жизни рядового флорентийского инженера Чеки. Выходец из ремесленной среды (цеха столяров, изготовлявших для архитекторов деревянные модели сооружений, строительные леса и подъёмные сооружения), он был взят флорентийской коммуной на постоянный оклад в качестве городского инженера. В мирное время он ремонтировал крепости, занимался изобретением приспособлений для развлекательных аппаратов. В военное время он помог устроить искусный подкоп, с помощью которого была взята вражеская крепость. Во время выполнения одной из инженерных работ Чеки был убит из арбалета: для врага его изобретения были страшнее, чем наступление целого войска. Он был характерной фигурой для того времени, хотя и не был выдающимся инженером.

В этот период инженеры были, как писал известный историк науки М. А. Гуковский, «выходцами из цехового ремесла, но все тянулись к науке, ощущая абсолютную необходимость её для надлежащей постановки своих технических работ». Можно сказать, что они уже ориентировались на научную картину мира, хотя ещё недостаточно опирались на науку в своей повседневной практике. «Вместо анонимных ремесленников все в большем количестве появляются техники-профессионалы, крупные технические индивидуальности, знаменитые далеко за пределами непосредственного места своей деятельности. Но быстрое и принципиально новое развитие техники требует и коренного изменения её структуры. Техника доходит до состояния, в котором дальнейшее продвижение её оказывается невозможным без насыщения её наукой. Повсеместно начинает ощущаться потребность в создании новой технической теории, в кодификации технических знаний и в подведении под них некоего общего теоретического базиса. Техника требует привлечения науки».

Именно такая двойственная ориентация инженера – с одной стороны, на научные исследования естественных, природных явлений, а с другой, – на производство, или воспроизведение, своего замысла целенаправленной деятельностью человека-творца – заставляет его взглянуть на своё изделие иначе, чем это делают и ремесленник, и учёный-естествоиспытатель. Если цель технической деятельности – непосредственно задать и организовать изготовление системы, то цель инженерной деятельности – сначала определить материальные условия и искусственные средства, влияющие на природу в нужном направлении, заставляющие её функционировать так, как это нужно для человека, и лишь потом на основе полученных знаний задать требования к этим условиям и средствам, а также указать способы и последовательность их обеспечения и изготовления. Инженер, таким образом, как и учёный-экспериментатор, оперирует с идеализированными представлениями о природных объектах. Однако первый из них использует эти знания и представления для создания технических систем, а второй создаёт экспериментальные устройства для обоснования и подтверждения данных представлений.

С развитием экспериментального естествознания, превращением инженерной профессии в массовую в XVIII-XIX веках возникает необходимость и систематического научного образования инженеров. Именно появление высших технических школ знаменует следующий важный этап в развитии инженерной деятельно-

сти. Одной из первых таких школ, как уже говорилось в предыдущих главах этой книги, была Парижская политехническая школа, основанная в 1794 г., где сознательно ставился вопрос систематической научной подготовки будущих инженеров. Она стала образцом для организации высших технических учебных заведений, в том числе и в России. С самого начала эти учреждения начали выполнять не только учебные, но и исследовательские функции в сфере инженерной деятельности, чем способствовали развитию технических наук. Инженерное образование с тех пор стало играть существенную роль в развитии техники.

К началу XX столетия инженерная деятельность представляет собой сложный комплекс различных видов деятельности (изобретательская, конструкторская, проектировочная, технологическая и т. п.), и она обслуживает разнообразные сферы техники (машиностроение, электротехнику, химическую технологию и т. д.). Сегодня один человек просто не сможет выполнить все разнообразные работы, необходимые для выпуска какого-либо сложного изделия, как это делал, например, в начале XIX века на одном из первых машиностроительных заводов его владелец Генри Модсли. Сам он был механиком-самоучкой, одновременно и изобретателем. Он изобрёл, в частности, суппорт токарного станка, причём сам же разрабатывал новую конструкцию изделия, и технологическое оборудование, и технологию его изготовления. В конце прошлого века в Лейпциге ещё существовал завод, на котором все инженерные работы (от замысла до рабочих чертежей) выполнял один человек – его владелец Р. Зак. Там не было ни технического бюро, ни чертёжников. Уже в те времена его «многосторонняя» деятельность представлялась курьёзом.

Для современной инженерной деятельности характерна глубокая дифференциация по различным отраслям и функциям, которая привела к разделению её на целый ряд взаимосвязанных видов деятельности и выполняющих их кооперантов. Такая дифференциация стала возможной, однако, далеко не сразу. Сложная кооперация различных видов инженерной деятельности складывалась постепенно. На первых этапах своего профессионального развития инженерная деятельность была ориентирована на применение знаний естественных наук (главным образом, физики), а также математики, и включала в себя *изобретательство*, *конструирование* опытного образца и *разработку технологии* изготовления новой технической системы.

Инженерная деятельность, первоначально выполняемая изобретателями, конструкторами и технологами, тесно связана с технической деятельностью (её выполняют на производстве техники, мастера и рабочие), которая становится исполнительской по отношению к инженерной деятельности. Связь между этими двумя видами деятельности осуществляется с помощью чертежей. Изготовлявшие их чертёжники назывались в России «учёными рисовальщиками». Для подготовки этих специалистов для заводов и предназначалось основанное в 1825 г. «Строгановское училище технического рисования».

Однако с течением времени структура инженерной деятельности усложняется. Классическая инженерная деятельность включала в себя изобретательство, конструирование и организацию изготовления (производства) технических систем, а также инженерные исследования и проектирование.

9. Высшие технические школы в XVIII веке как центры формирования технических наук

Технические науки в орбиту философского внимания включены по сравнению с другими отраслями науки недавно. Обычно когда речь шла о науке, имели ввиду физику, химию, биологию и другие естественные науки. Иногда определенное внимание уделялось общественным наукам. Что касается наук технического цикла, то они удосуживались методологического или социально-философского исследования намного реже. Совершенно справедливо замечание Б.И. Козлова что "до сих пор издается немало серьезных теоретических работ о науке, в которых вопросам возникновения и развития технических наук не уделяется никакого внимания" (19,6). Более того, в относительно немногочисленных работах о технических науках высказываются различные точки зрения на рассматриваемые проблемы в связи с чем возникла парадоксальная ситуация: " с одной стороны, концепция технических наук явно необходима практике и усиленно разрабатывается, с другой - многие ее компоненты, развиваемые разными авторами, не всегда сопоставимы, а потому не могут использоваться при теоретическом анализе науки" (19,6).

Однако какие бы разногласия не существовали при философском анализе технических наук явным является то обстоятельство, что технические науки возникли на определенных этапах развития научно-технического знания и технического прогресса, они имеют как теоретические, так и практические предпосылки своего генезиса.

Практическими предпосылками формирования технических наук является появление крупного машинного производства которое требовало для своего развития и функционирования сознательного применения научных знаний. Исторические факты показывают, что технические науки сформировались в связи с усложнением технических средств производства в период становления машин и явились своего рода инструментом, существенным образом изменившим способ конструирования машин.

Теоретическими же предпосылками формирования технических наук являются как развитие научно-технического знания о котором у нас уже шла речь, так и развитие естественных наук и математики в 19 веке, особенно механики И. Ньютона.

Процесс формирования технических наук начался с формирования на рубеже 18-19 веков технических наук механического цикла - теории машин и механизмов, деталей машин, баллистики, теплотехники и других. Машина стала пониматься как реализация естественного процесса, технические средства отныне могли быть использованы как особая форма овеществления явлений и процессов природы.

Несомненная заслуга в становлении технических наук принадлежит Сади Карно - создателю термодинамики, который абстрагировался от конкретных конструкций паровых двигателей, создал идеальную паровую машину или теоретиче-

скую модель этой машины и рассмотрел принцип получения движения из тепла. Реальные паровые машины сводились к системе физических величин, взаимодействие узлов и деталей машин - к протекающим в них физическим процессам. Эти физические величины и процессы мог использовать инженер в своей конструкторской и технологической деятельности, что дало огромный толчок развитию крупного машинного производства в горниле которого выкристаллизовалась новая система научно-технического знания - технические науки, включающие ряд наук механического цикла, теоретические основы конструирования. Возникает технология как научно-техническая дисциплина и ряд отраслевых технологических дисциплин.

Начало изложения технических наук и их преподавания в высших технических учебных заведениях относится к 18 веку. В 1777 году И. Бекман опубликовал работу "Введение в технологию". Знания, заимствованные И. Бекманом из французских и английских источников и использованные им в работе свидетельствуют о притягательной силе автора к новым отношениям между теорией и практикой. Его "научная" технология многое объясняет путем классификации, хотя классическая система машин, порожденная промышленной революцией, находится еще вне поля его зрения. Бекмановское понимание технологии предполагало необходимость кооперирования и комбинирования специальных знаний и умений как более высокой ступени развития производительных сил. Технология определялась как наука обучающая переработке природных веществ или знанию ремесел. Бекман писал, что если в мастерских только указывают что для изготовления товара нужно сделать, то технология в систематизированном виде дает основательное руководство как достичь этой конечной цели исходя из определенных принципов и опыта, как находить средства, объяснять и использовать их при работе с теми или иными предметами.

Следуя своим политическим целям, французская буржуазия начала реформу системы технического образования. В сентябре 1794 года в Париже была основана Политехническая школа, что говорило о стремлении найти новые, более содержательные формы подготовки инженеров, дать специальному техническому образованию теоретическую основу. Относительно высокое развитое во Франции техническое образование и богатые традициями школы французских математиков и механиков создали прочную основу для того, чтобы Политехническая школа в короткий срок стала центром математики, а также теоретической и прикладной механики.

Другое положение было в Германии. Феодальная раздробленность и экономическая отсталость привели к тому, что здесь французскому примеру последовали, не без колебаний, лишь спустя три десятилетия. В двадцатых годах 19 века в ряде германских земель возникли технические учебные заведения, в документах об образовании которых подчеркивалась необходимость математического и естественнонаучного образования будущих инженеров, однако уровень преподавания в них был намного ниже, чем в Политехнической школе. После снятия континентальной блокады в 1813 году промышленность Германии оказалась под сильным давлением английской конкуренции что заставило прибегнуть к самому простому решению: готовить специалистов, которые могли бы копировать английские ма-

шины, проводить некоторые улучшения и, в лучшем случае, давать новые комбинации основных известных типов машин. Однако в 30-40-х годах в Германии появляются зачатки технического образования нового типа. В учебных программах доля физики и химии неуклонно возрастала. Машиноведение, бывшее вначале почти только эмпирическим собранием рекомендаций, приобрело черты научности.

Строительство и химическая техника нуждались в советах, которые намного должны были превосходить опыт обычной для того времени практики. Стремительно развивающееся строительство железных дорог требовало научных исследований как для прокладки трасс, так и для расчета соответствующих железнодорожных объектов.

В России специальные учебные заведения были созданы в самом начале 18 века. В инженерной школе, основанной в 1700 году, и в школе "математических и навигацких наук", учрежденной в 1701 году, преподавались прикладные дисциплины. Специалистов по горнозаводскому делу подготавливали в специальных школах при заводах. Основанный в 1755 году Московский университет выпускал специалистов, обладавших серьезными знаниями по теоретической и прикладной механике.

Учебные институты технического профиля в Англии возникли в первой половине 19 века (Эдинбург - 1821 г., Лондон, Глазго -1823 г.). В 1841 году в Лондонском университетском колледже были организованы три технических кафедры: гражданского строительства, механики и машиностроения. В 1824 году основан первый в США

Политехнический институт, который через 10 лет полностью перешел на выпуск инженеров.

Конец 18 - середина 19 веков является, таким образом, периодом возникновения технических наук, установления эмпирических законов, ориентацией исключительно на решение практических конкретных задач.

Накопление технического знания и дифференциация его на отдельные технические науки и переход последних на теоретический уровень приходится на середину 19 - середину 20 веков. Вторая половина 19 века характеризовалась возникновением дисциплин, основанных на гораздо более широкой платформе различных отраслей физики и химии. Особую важность для строительства тепловых машин имела теплотехника, основанная на законах термодинамики, сформулированных в 1850 году Р. Клаузиусом. Продолжали развиваться отрасли наук, связанные с материаловедением. В итоге соответственно целям машинного производства формируется целостная система специализированных технических наук. Их специализация происходит не только по предметам, но и по этапам создания новой техники: выделяются науки, обслуживающие научно-исследовательскую деятельность и экспериментальные разработки, конструирование и технологическую подготовку и, наконец, сам производственный процесс.

Если в первые десятилетия 19 века представители технических наук должны были довольствоваться изучением механических процессов в эмпирически созданных технических системах, то во второй половине 19 века уровень технических наук все более предполагает применения технических наук для получения

новых конструктивных и технологических решений. Начались фундаментальные исследования в области кинематики и динамики. Если в первой половине 19 века рядом с огромной массой техников с ремесленной подготовкой инженеры со специальным техническим образованием являлись еще исключением и в этот период лишь были заложены основы подготовки инженеров с высшим образованием, то теперь уже происходило реальное наполнение содержания высшего образования технических учебных заведений. Важным событием для Западной Европы явилось основание в 1854 году Политехникума в Цюрихе где одновременно проводились фундаментальные естественнонаучные исследования и научно-технические разработки. Их взаимовлияние создало почву для плодотворного развития технических наук. Стали развиваться деловые связи политехнических школ с университетами.

Это выражалось в дополнительных занятиях видных ученых-техников в университетах и в привлечении университетских профессоров к чтению фундаментальных естественнонаучных циклов в политехнических школах, что особенно было характерно для Германии. Весьма сильной эта тенденция стала после начала преподавания электротехники в учебных заведениях.

Если в машиностроении научные знания дополняли практические, то электротехника явилась одной из первых научных дисциплин, образовавшихся на теоретической основе. Электротехническая наука и смежные с ней дисциплины формировались во время широкого технологического применения физики и химии. Вместе с тем электротехнические науки возникали и под воздействием производственных запросов: переход от паровых машин к электрическим совершался в тесной связи с научными данными об электричестве и магнетизме. Конечно, какое-то знание в этой области было накоплено еще в 17 веке, однако вследствие перехода физики к электромагнитной картине мира применение этих данных, включая накопленный при этом практический опыт, привело к созданию электротехники как первой технической науке, основанной преимущественно на теоретических положениях. Выделение электротехники как относительно независимой от физики науки характеризуется тем, что она обладает собственным объектом и собственным предметом изучения, собственными целями и особыми методами. Первоначально она была ориентирована на изучение машин и создала их теорию: теорию трансформаторов, изоляторов, генераторов, токов, источников тока и т.д.

В период становления электротехники выделялись работы по созданию электрического двигателя.

Цикл электротехнических наук оказал огромное влияние как на производство, так и на дальнейшее развитие всех технических наук. В середине 20 века возникают качественно новые технические проблемы, стимулирующие совершенно новый этап в развитии науки. Этот этап приходится уже на научно-техническую революцию, которая обусловила переход к теоретическому исследованию автоматических технических систем, появление новых областей техники и технических теорий, основанных на теоретических открытиях в естественных науках. Так, с открытием лазера связано появление лазерной техники, с делением атома - ядерной техники. В принципе совершенно аналогично идет развитие космонавтики и технической кибернетики. Правда, теоретические основы киберне-

тики позволили создать информационные системы. Изучением и совершенствованием этих систем заняты такие технические науки как техническая кибернетика, информатика и др.

Научно-техническая революция оказывает все большее воздействие на особенности и результаты развития и функционирования современной системы технических наук. Меняется значимость технических наук в общей сумме научного знания. Если лидер современного естествознания - физика. то лидер современных наук - технические науки. Меняется их соотношение с естественными и общественными науками. Выступая в качестве связующего звена между наукой и производством, технические науки имеют большую вероятность получения положительного результата и непосредственный экономический эффект, способствуют созданию материально-технической базы общества, активно воздействуют на формирование главной производительной силы общества - человека.

Увеличение значимости социальных функций технических наук обусловило повышение интереса к изучению методологических и социальных проблем их функционирования и развития. Повышение такого интереса вызвано и тем, что в самих технических науках происходят серьезные изменения, требующие своего осмысления. Изменяется содержание и структура этих наук. Теперь уже в технических науках различаются фундаментальные и прикладные исследования, причем удельный вес фундаментальных исследований постоянно возрастает. Организуются самостоятельные специфические теоретические основы отдельных наук с возникновением новых понятий и формированием новых законов науки, качественно меняются их методы исследования. Происходит теоретизация технических наук, их формализация и математизация. Технические науки имеют собственный предмет, собственную методологию и специальную терминологию.

Правда, технические науки подчас понимаются как науки более низкого уровня, как прикладные, в отличие от теоретических, "чистых наук". В подобных случаях техническое знание лишается статуса научности и, более того, противопоставляется научному знанию, как знанию об искусной, эффективной деятельности. Так, Дж. Циман и Х. Сколимовски, обосновывая "ненаучный" характер технического знания, пишут, что не следует смешивать "чистое знание", получаемое в целях удовлетворения интеллектуальных потребностей, с техническим знанием, необходимым для достижения человеческих потребностей. Технические науки в данном случае рассматриваются как прикладные в отличие от теоретических.

В действительности нет теоретических и прикладных наук, а есть теоретические и прикладные наручные исследования и любая наука в том или ином соотношении имеет теоретические и прикладные разделы. К техническим наукам можно полностью отнести мнение С.Л. Рубенштейна, который писал, что "мышление не может быть сведено к функционированию уже готовых знаний; оно должно быть раскрыто прежде всего как продуктивный процесс, способный приводить к новым знаниям". Технические науки выполняют познавательные функции. Более того, современные технические науки часто опережают развитие естествознания и приобретают знания, которые не могут быть обоснованы с помощью уже познанных законов природы. В этом случае технические науки стимулируют усилия естественных наук в их стремлении познать неизвестные еще законы при-

роды. При исследовании техники и технологии могут быть открыты неизвестные ранее законы объективного мира. Так, в связи с решением проблемы непосредственного превращения теплоты в электричество и созданием МГД-генераторов в рамках технических наук были разработаны основы теории плазмы.

Новые научно-технические направления часто появляются на стыке технических и естественных наук. В 1916 году А. Эйнштейном было предсказано явление индуцированного излучения. В 1927 году Дирак дал его строгое обоснование . Все это послужило основой для открытия принципиально нового метода генерации и усиления электромагнитных волн. В 1952 - 1954 годах независимо в нашей стране и в США была выдвинута идея молекулярного генератора. В 1954 - 1955 годах появилась первая теория лазера. На стыке квантовой механики (квантовой теории излучения) и радиофизики (радиоспектроскопии) было сделано фундаментальное открытие и создан первый квантовый прибор - молекулярный генератор на аммиаке.

Это положило начало новому научно-техническому направлению - квантовой электроники.

Особенно быстро развиваются те технические науки, которые доводят уже имеющееся знание до технико-технологического применения, как, например, электроника или научное приборостроение. Усложнение научных экспериментов привело к необходимости автоматизировать сбор и обработку больших массивов информации.

Появились измерительно-вычислительные системы (ИВС) в модульном исполнении. Они создаются на основе серийных измерительно-вычислительных комплексов в которых ЭВМ управляет функционированием измерительных датчиков и ходом самого эксперимента в зависимости от получаемых результатов. Исследователь с помощью ЭВМ получает нужную ему информацию и имеет возможность влиять на ход эксперимента.

В условиях происходящей в мире научно-технической революции происходят качественные изменения в технических науках и четко определяется их предмет. Если раньше технические науки рассматривались как прикладные отрасли естествознания, то теперь общепризнанно, что технические дисциплины обладают своей собственной отличной от естественных наук предметной областью. Технические науки открывают и изучают законы, явления и процессы технических устройств и способы реализации законов природы в процессе технического творчества. "Технические науки,- пишет В.А. Веников,- есть специфическая система знания о целенаправленном преобразовании природных тел и процессов в технические объекты, о методах конструктивно-технической деятельности, а также о способах функционирования технических объектов в системе общественного производства". Каково же взаимоотношение технических наук с другими, их специфика и структура? Для места и значимости технических наук в системе современного научного знания характерны два параметра.

Во-первых, технические науки занимают лидирующее положение в системе наук. Это лидерство подтверждается не только тем, что большинство ученых развитых стран заняты в области технических наук, но и тем, что они поглощают

большую часть расходов этих стран на науку и, в свою очередь, дают наибольший и непосредственный экономический эффект.

Второе обстоятельство, характеризующее положение технических наук в научном мире связано с тем, что эти науки выполняют роль своеобразного интегратора всех других областей научного знания и об этом следует сказать особо.

Связи, которые возникли между техническими и другими науками, имеют не случайный, а вполне обоснованный характер.

Объективной основой этих взаимосвязей является существование единого материального мира. В этом отношении содержит зерно истины замечание М. Планка о том, что "наука представляет собой внутреннее единое целое. Ее разделение на отдельные области обусловлено не столько природой вещей, сколько ограниченными способностями человеческого познания".

Технические науки занимают ключевое положение между естественными и общественными. Это обстоятельство Б.М. Кедров охарактеризовал следующим образом: "Техническая наука - двусторонняя, ибо одной своей частью она ориентирована на определенные отрасли человеческой деятельности, а другой - на особый тип природных форм движения, используемых технически. В одном случае накладывает большой отпечаток отрасли естествознания, а в другом - определенная отрасль человеческой деятельности, например, конкретная экономика. Поэтому-то технические науки и выступают как связующее звено между естественными и общественными науками, и сами они носят на себе определенный теоретический отпечаток". Следовательно, технические науки в системе наук не теряют своей относительной самостоятельности, а дополнительно приобретают функцию связующего звена.

Интегрирующая роль технических наук в совокупности наук обусловлена спецификой технических объектов, которые имеют различные характеристики. В случае технической характеристики артефакты рассматриваются как искусственно созданные средства деятельности людей, конструктивное создание структур, не встречающихся в природе. Естественнонаучная характеристика понимает технику как естественный объект, как частный случай реализации законов природы, входящих в компетенцию естественных наук. Общественно научная характеристика рассматривает технику как особое явление, выполняющее определенные экономические и социальные функции.

Таким образом, под техническими структурами понимаются объекты технических, естественных и общественных наук, несмотря на то, что предметы их изучения различны. Следовательно, технические науки воплощают непосредственно адекватный практике результат единства науки. В связи с этим возникает необходимость изучить все каналы, по которым осуществляются взаимосвязи между естественными, техническими и общественными науками. Эти каналы взаимосвязи могут быть представлены следующей схемой.

Рассмотрим сначала отношения между естественными и техническими науками.

Без сомнения, технические науки с самого начала развивались в тесных взаимосвязях с естественными науками. Однако уже первые проявления технических наук были не только творческим переложением естественнонаучных данных. Они

раскрывали также научное содержание технических проблем и указывали на необходимость их естественнонаучного изучения. Таким образом, уже ранняя техническая мысль стимулировала развитие естественных наук. Термодинамика, возникшая в первой половине 19 века, является типичным примером сказанному. Необходимо также учесть и то, что естественные науки не могли и не могут обходиться без арсенала технико-экспериментальных средств, постоянно расширяемых техническими науками.

В условиях научно-технической революции эти традиционные связи между естественными и техническими науками приобретают существенно новые черты. Раньше проблема познания законов была прерогативой фундаментальных наук, а выявление возможностей конструирования артефактов - предметом технических наук. В новых научных направлениях эти два ряда исследований находятся в тесной связи. Это, к примеру, характерно для бионики где процесс познания биологических систем непосредственно детерминирован инженерными задачами. Развитие в области полупроводников и микроэлектроники, лазерной и ядерной техники, криофизики, космонавтики или фармацевтики также выявляет зависимость естествоиспытателей от технических наук и технических условий их научной деятельности.

С тех пор как искусственные технические условия дали естествоиспытателю новые возможности изучения объективных законов, явлений и процессов природы возник вопрос о присутствии технических законов в естественнонаучном исследовании. По мере того как углубляются теории естественнонаучных дисциплин инженерная мысль и здесь обретает прочные позиции. Теперь уже становится относительным такое определение предмета естественных наук, которое, исходя из традиционных представлений, видит свою задачу только в отражении нетронутой человеком природы и исследовании "спонтанно" открываемых объективных законов природы. Если быть точным, то вероятно кроме упрощенных описаний элементарных основ естествознания, ни в современной физике, ни в химии, ни в биологии такого положения сегодня не встретишь. Когда физик работает над основами лазерной техники или же химик занимается технологическими условиями модификации твердого, жидкого и газообразного горючего, то его объектом ни в коем случае не является "девственная" природа.

По мере углубления естественнонаучного обоснования своих выводов и целенаправленного использования законов природы в технических структурах и технологических процессах технические науки усиливают свое влияние на естественнонаучные исследования.

Они все чаще ставят перед естествоиспытателями новые проблемы ждущие теоретического решения, помогают естествоиспытателям в обнаружении новых и углублении исследований традиционных объектов. Так, многочисленные исследования привели к выводу, что применение литых и металлопорошковых деталей в машиностроении можно существенно расширить после того, как физика ответит на вопрос как происходят образование центров кристаллизации и рост кристаллов в технологическом процессе литья. Потребности технических наук стимулируют построение теории нелинейного анализа, технической математики, решающих сложные теоретические математические проблемы.

Взаимосвязь естественных и технических наук становится столь органичной, что во многих случаях оказывается затруднительным, а иногда и просто бессмысленным попытаться ответить на вопрос, к каким наукам отнести данное исследование - естественным или техническим. Это видно хотя бы из того, что в некоторых странах лазерную технику по традиции причисляют к физике, а в других странах - к техническим наукам.

Для современного развития взаимосвязи естественных и технических наук большое значение имеет естественнонаучная и математическая обработка технических проблем. Объем и содержание этой обработки приобретают новое качество. Технические науки в ходе своего развития наряду с исторически первоначально преобладавшими данными эмпирико-описательного характера стали давать выводы теоретико- поясняющего свойства. Теоретическое объяснение существующей или возможной техники все сильнее превращается в условие конструктивных и технологических решений, позволяющих создавать как комплексные технологические процессы, так и соответствующие машины и оборудование. Естественнонаучное и математическое обоснование технических наук вносит существенный вклад в создание теоретических предпосылок. Этот процесс осуществляется разными путями и на разных уровнях. Он предъявляет новые требования как к естественным и техническим наукам, так и к их взаимосвязи. Некоторые моменты этого процесса, столь важного для развития науки и находящегося во многих сферах исследования еще в начальной стадии, следует подчеркнуть особо.

Прежде всего, нужно назвать задачу теоретического объяснения структурных и функциональных связей имеющихся в практически используемых технических средствах и процессах.

В давно известных машинах, оборудовании, приборах и способах есть еще очень много явлений, которые, будучи эмпирически описанными, не имеют теоретического обоснования. Если учесть, что в технических средствах и процессах всегда присутствуют связи и взаимодействия, не объясненные теоретически, то значительное сокращение их сегодня еще сравнительно большего числа стала насущной задачей технических наук. Естественнонаучное и математическое обоснование технических связей, размаривающихся до сих пор в основном феноменологически, может дать для известных в принципе конструкций и технологий значительный выигрыш в скорости и точности, надежности, долговечности, удобстве обслуживания, экологичности. Чем шире удается распознавать и математически описывать действующие в технологических процессах законы природы, тем лучшие условия для их оценки и использования.

В качестве примера рассмотрим технологию металлообрабатывающей промышленности. Вряд ли можно ожидать что в ближайшие десятилетия ведущие технологии этой отрасли будут потеснены новыми функциональными принципами. Однако автоматизация главных, вспомогательных и второстепенных процессов на базе микроэлектроники позволяет получить существенный рост производительности прежде всего за счет дальнейшего сокращения времени обработки и повышения загрузки технологических систем. Это, в свою очередь, требует для многих отраслей конструирования и технологии научно-технических данных, по-

лучивших естественнонаучное и математическое обоснование. Это относится к теоретическим решениям по сокращению стадий технологических процессов, автоматизации процессов сборки, изготовлению деталей, к динамическим и статистическим характеристикам машин. Данные физики, химии и математики в своей совокупности начинают играть здесь все большую роль.

Например, без математического моделирования вряд ли можно было бы изучить сложные технологические процессы с их взаимосвязями.

Целью подобных исследований является путем теоретически обоснованного усовершенствования до конца использовать все конструктивные и технологические возможности существующей техники.

Естественнонаучное и математическое обоснование технических наук вносит вклад в совершенствование технических средств и процессов путем использования новых принципов, которые сейчас, как правило, основываются на целесообразном применении современных данных естественных наук и математики.

Примером этому могут служить способы электрохимической и электроэрозионной обработки металлов, современные способы сварки (электродуговая сварка плавлением, сварка давлением, сварка в вакууме, электронно-лучевая сварка), развитие гидравлических средств для обработки металлов, новые способы термообработки, манипуляторы, тонкослойное улучшение поверхностей. Все эти факты свидетельствуют о трансформации естественнонаучных данных техническими науками.

Естественнонаучное и математическое обоснование технических наук продвигается вперед также за счет того, что немало современных технических средств и технологий берут свое начало непосредственно в познании и технологическом применении физических, химических либо биологических эффектов. В этом отношении показательна продукция микроэлектроники, интегральные схемы и технология их изготовления и применение в блоках управления и мини-ЭВМ, которые в значительной мере основаны на последних достижениях естественных наук и математики. Аналогичный характер имеют исследования способов получения и применения тонких пленок, которые уже используются в микроэлектронике, информационной технике и для улучшения металлических поверхностей.

Эти и другие области тесного взаимодействия естественнонаучных, математических и научно-технических исследований оказывают сильное влияние на процесс теоретического обоснования технических наук в целом. Результаты этих исследований ускоряют разработку научно-технических теорий и одновременно позволяют вводить технологические изменения во многие области техники. Действительно, рациональное и широкое применение таких новых принципов как, например, микроэлектроника, требуют также совершенствования конструктивных и технологических решений в области их применения.

Большое значение этих технически созданных эффектов для прогресса техники и технических наук в их совокупности не должно однако приводить к выводу о том, что научно значимое должно осуществляться только в этих областях. Без интенсивных исследований почти во всех конструктивных, технологических и металловедческих отраслях системы технических наук было бы нельзя использовать широкие возможности, которые дают техническому прогрессу микроэлек-

троника, физика пограничных и тонких слоев, математика, цифровые вычислительные устройства и т.д. Опережающее развитие теории во всех технических дисциплинах и углубление их интегративных отношений в этом процессе являются, следовательно, не только результатом, но и обязательной предпосылкой качественно новой ступени развития взаимосвязи технических наук с математикой и естественными науками

В качестве другого уровня естественнонаучного и математического обоснования технических наук можно назвать целенаправленный и длительный поиск возможностей технического применения природных процессов, которые до настоящего времени почти или вообще не использовались. Речь идет о фундаментальных исследованиях, объединяющих методы естественных, математических и технических наук с целью выработки новых функциональных принципов путем технически направляемого освоения явлений природы. Исследования в этих направлениях весьма разнообразны. Мысли о бионизации производства и создании биологической технологии быстро наполняются реальным содержанием. Изучение органических, проводящих и изолированных пленок, оптоэлектроники, термодинамики необратимых процессов в определенной мере уже реализованы в технической действительности.

Углубление взаимосвязи технических наук с естественными науками и с математикой не является преходящим явлением в развитии науки, призванным лишь восполнять теоретическое отставание технических наук. Это взаимовлияние и взаимообогащение будет развиваться и далее. Ныне уже видны тенденции этого развития. Прогрессирующее естественнонаучное и математическое обоснование и связанное с этим усиление комплексности и технологической привязанности научно-технических систем повышает технический уровень и интегративные моменты в технических науках.

Обмен веществ между человеком и природой нельзя сводить к естественному процессу, это - социально-экономический процесс. Средства труда, включающие в себя технические средства и процессы, выступают показателем тех общественных отношений, при которых совершается труд. Поскольку техника является социальным феноменом и выполняет определенные социальные функции, входит в систему социальных связей и отношений, происходит "социологизация" технических наук, все усиливающаяся связь и взаимодействие технических наук с общественными.

Хотя взаимосвязь технических наук с общественными имеет объективную основу, она не устанавливается автоматически, осуществляется через деятельность ученых, ищущих контакты друг с другом при решении междисциплинарных и комплексных проблем.

Для этого должен существовать ряд условий.

Признание социально-экономической обусловленности технических наук является первым решающим шагом, выводящим инженера из изолированности узкоспециального мышления. В научно инженерном мышлении происходит качественный переворот, открывается путь способу мышления на основе единства технических наук с общественными.

Важной предпосылкой и основой углубления взаимосвязей между техническими и общественными науками является более глубокое понимание диалектики теории и практики в научно-технической деятельности. Хотя в технических науках единство теории и практики в элементарном виде присутствует всегда, это не исключает очень узкого взгляда на это отношение. Зачастую связь с практикой сводится в основном к техническим потребителям производства и к некоторым первичным производственно-экономическим параметрам, которые следует учитывать в результате исследования. Общественная практика в широком смысле во внимание не принималась.

Вследствие этого, поскольку удовлетворялись лишь частные, эмпирически воспринимаемые требования практики, творческий труд оставался лишь частным трудом. Знание социальных предпосылок научно-технической деятельности открывает новый ход мысли в направлении широко понимаемой практики, ориентированной на социальные критерии.

Чем глубже ученые, работающие в области технических наук, познают закономерности и явления, тенденции и процессы общественной жизни, тем более они осознают социальную ответственность за свою деятельность, ее социальный смысл, ее гуманистическую ценность.

Взаимосвязи между техническими и общественными науками сегодня определяются также и вненаучными, практическими соображениями. Эти области научного знания объединяются не столько на почве своей логической общности, сколько на почве ожидаемого практического эффекта. Целью такой практической интеграции является выработка рекомендаций и практических правил поведения (например, в градостроительстве, при формировании окружающей среды, в стратегии развития транспорта, при оценке отдельных географических регионов и т.д.).

Следовательно социальные условия и знание общественных наук являются факторами, необходимыми для перевода взаимосвязи технических наук с общественными из области объективно необходимого в область реально возможного.

Взаимосвязь технических наук с естественными и общественными нисколько не отменяет их специфики. Специфические черты технических наук лежат в русле специфики технического знания вообще, о котором уже шла речь. Однако здесь имеются определенные особенности, определяемые своеобразием технических наук как одним из видов технического знания.

Часто, особенно среди представителей теоретической или если хотите "академической" науки технические науки понимаются как науки низшего ранга или как прикладные отрасли естественных наук. Если лет 200 тому назад это мнение имело некоторые свои основания, то теперь такая точка зрения является не только неправильной, но и вредной. Ныне технические науки совершенно неправомерно представлять прикладным естествознанием, поскольку технические науки обладают собственной, отличной от естественных наук предметной областью, которая является вторая форма объективной реальности - искусственное создание предметов и процессов. Естественные и технические науки имеют свои специфические задачи. Для естественных наук основные задачи сводятся к познанию еще не раскрытых явлений и процессов природы, к овладению их законов. Основные задачи

технических наук заключаются в приспособлении новых открытий естественных наук для создания техники и технологии, изучении законов, процессов и явлений не в том виде, в каком они даются природой, а в том, как они проявляются в практико-пребразующей природу деятельности людей. Естествознание открывает, что может быть использовано человеком в процессе его практической деятельности, технические науки - как естественнонаучные знания могут быть использованы в интересах людей. Конечно, естественные науки не оставляют без своего внимания мир техники. Но они отражают физические, химические или биологические процессы, происходящие в технических устройствах, безотносительно к функционированию этих устройств, в то время как технические науки отражают функционирование технических устройств в их связях со строением, структурой этих устройств. В этом плане естественнонаучное знание выступает не целью, а теоретическим средством технического знания и технической практики.

В последнее время технические науки стали объектом внимания науковедов, экономистов, философов и социологов в работах которых намечены основные аспекты анализа этих наук - организационный, экономический, мировоззренческий, методологический. Наука при этом рассматривается как сложная динамическая система знаний, форма общественного сознания, информационная система, производительная сила. Мы выделяем три основных аспекта науки, понимая ее как особую сферу человеческой деятельности, как систему знаний им как духовную потенцию материального производства (см.24,49-64). Выделение этих аспектов анализа вполне применимо при исследовании технических наук.

Как особая сфера человеческой деятельности технические науки представляют собой область труда ученых, где ведутся преимущественно прикладные научные исследования, направленные непосредственно на разрешение проблем, возникающих в ходе технической практики людей. Технические науки, с одной стороны, аккумулируют опыт производства, изобретательства, творческой смекалки а, с другой - конкретизируют данные теоретического естествознания, переводят их на инженерный язык для определенной технической или технологической задачи. "Иначе говоря, принадлежа к науке и материальному производству, технические науки обеспечивают "перевод" достижений общественных и естественных наук на язык технических теорий и методов, непосредственно применяемых в сфере производства,- пишет Б.И. Козлов,- и наоборот, обобщают и теоретически осмысливают эмпирические знания и практические задачи, возникающие в процессе производства, для последующей передачи их в сферу фундаментальных исследований" (19,8).

Человеческая деятельность происходит по законам объективной действительности. Но законы естественных и общественных наук не являются правилами этой деятельности. Для материализации знаний этих законов необходима их дополнительная подготовка, при которой должны учитываться особенности и требования практического отношения к действительности. Это предполагает, что эти знания должны быть приспособлены к конкретной практической цели и задаче, что они получают своеобразный нормативный характер для выбора оптимального варианта решения этой задачи. Короче говоря, подготовка знаний для их материа-

лизации требует того, чтобы они были соотнесены с особенностями объекта на который надо воздействовать в конкретной обстановке.

Теоретические знания вырабатываются на основе практики, производственного опыта, но вне его и представляют собой обобщенный образ, не совпадающий во всех деталях с прообразом. Потому эти знания в "чистом" виде на практике не могут быть использованы и не используются. Выработанные в сфере теоретического мышления знания подчиняются законам науки. Их надо подчинить законам производственной деятельности, превратить из образа объективной действительности в прообраз практического действия. Являясь теоретической основой для выработки правил практического действия, законы теоретического знания из абстрактного знания трансформируются в нормативные правила практического действия. Эта трансформация и является задачей научной деятельности в области технических наук.

Как духовная потенция материального производства технические науки выступают в качестве элемента производительных сил общества. Именно через технические науки "финиширует" процесс превращения науки в производительную силу общества. Связь естественных наук с практикой не является прямой и непосредственной, она опосредована техническими науками.

Наконец, как определенная система знаний технические науки представляют собой теоретическое знание, хотя в его составе наличествует большая доля эмпирического материала. Более того, это определенная система знаний, элементами которой являются научные факты, научные понятия, законы науки, принципы науки, научные теории и другие средства фиксации выработанного знания, гипотезы, рекомендации к практическим приложениям, эмпирический материал.

Все элементы технических наук как системы знаний имеют свою специфику. В технических науках основным источником знания служит эксперимент, непосредственное наблюдение, сбор опытных данных. Главную роль здесь играют методы со значительным преобладанием содержательных средств исследования над формальными.

Если в естественных науках образование новых понятий определяется успехами аналитического исследования и обобщением их в теории, то в технических науках новое понятие образуется на основе опыта, результатов естественных наук и использования математического аппарата. В первом случае мысль движется от анализа объективно существующего предмета к понятию, во втором - от знания законов природы к понятию а затем уже к материальному предмету. В последнем случае понятие формируется как образ будущего, еще не существующего предмета.

Специфичны и технические теории. Они используют понятие теоретического естествознания и вырабатываю свои собственные, являются эмпирически проверяемыми и представляют собой идеализированные модели действительности. Поскольку технические теории призваны описывать связи между характеристиками элементов структуры артефактов и их функционированием, они используют особую идеальную модель объекта - модель структуры объекта. Создается конструкция объекта, составленная из идеальных элементов, которые реализуют идеальный физический процесс. Здесь содержание модели фиксирует существенные

черты артефакта и служит основанием теории для определенного типа технического устройства. Задача конструктора сводится к реализации в наибольшей степени свойств идеального объекта в конструктивных элементах. концептуальном плане технические теории беднее, чем теории "чистой" науки, поскольку менее глубоки так как нацелены главным образом на конкретные конечные результаты.

Что касается законов технических наук, то они также имеют свою специфику. По своей сущности технические законы фиксируют устойчивые, необходимые, существенные и повторяющиеся при наличии определенных условий связи материальных образований технической области человеческой деятельности. В них реализуются строго заданные параметры материальных процессов, позволяющие создавать технические устройства. Законы технических наук являются феноменологическими и динамическими законами, выражающими количественные отношения технических объектов. Базируясь на экспериментальных данных, эти законы не столь точны как законы фундаментальных наук, отражают реальные связи объективного мира лишь приблизительно. Наконец, технические законы имеют ограниченный характер, они не универсальны и всегда имеются причины, ограничивающие сферу их действия.

Следует сказать и о специфике результатов технических наук, которые выступают не только в логических формах фиксации полученного знания, но и в виде конструктивных и технологических решений, практических рекомендаций, инженерно-справочного материала. То, что в других науках проходит идеализацию, в технических науках реализуется путем моделирования. Но постепенно (и довольно быстрыми темпами) технические науки из эмпирически сложившихся наук превращаются в систему теоретического знания.

Технические науки - это сложный комплекс наук, который классифицируется по различным основаниям. Так, технические науки выделяются по отраслям знания, производства, техники. В этом случае речь идет о прикладных исследованиях, опытно-конструкторских разработках и научном обслуживании производственных процессов.

Иногда технические науки делятся по предмету знания на науки о материалах, энергии и технических устройствах. Технические науки расчленяются также на науки изучающие структуры, функции и процессные признаки технических объектов. Наконец, выделяются науки, исследующие законы и принципы построения новых технических устройств и представляющие собой теорию использования природных закономерностей в технических устройствах удовлетворяющих общественную практическую потребность, и науки изучающие технологические принципы массового производства и использования технических устройств.

Однако в большинстве случаев обычно выделяют общетехнические науки, дающие общую теорию технических систем (теоретическая механика, электротехника, сопротивление материалов, теплотехника, гидравлика, теория механизмов и машин, технология машиностроения и др.) и частные технические науки (технология сварочного производства, станки и инструменты, автоматизация производственных процессов, приборы точной механики, технология литейного производства, робототехника, мехатроника, информатика и др.). Эту структуру технических наук можно считать общепринятой.

Таким образом, как специфическая область технического знания технические науки представляют собой определенную систему научных знаний, отличную от других областей человеческого знания. Основная ее особенность - нацеленность на практику, на технику. Именно через технические науки осуществляется связь всего корпуса научных знаний с техникой на протяжении всей истории науки и техники. Эта взаимосвязь науки и техники имеет свои определенные этапы и закономерности, о которых дальше и пойдет речь.

10. Парижская политехническая школа и научные основы машиностроения в начале XIX века

Развитие материального производства вызвало необходимость подготовки кадров, способных совершенствовать прежде всего техническую базу промышленных предприятий. Для этого нужны были люди, обладавшие совокупными знаниями - естественнонаучными и технико-технологическими.

Первые технические школы были военно-инженерными и горными. В начале XVIII в. подготовка военных инженеров (артиллеристов и строителей) была наиболее широко представлена во Франции. В России специальные учебные заведения были созданы в самом начале XVIII в. В инженерной школе, основанной в 1700 г., и в школе «математических и навигацких» наук, учрежденной в 1701 г., преподавались прикладные дисциплины. Специалистов по горнозаводскому делу подготавливали в специальных школах при заводах. Первая такая школа была организована в 1709 г. при Невьянском заводе, в 1715 г. была создана горнометаллургическая школа при Олонецких заводах в Петрозаводске. В 1715 г. открылась важнейшая специальная школа страны - Петербургская Морская академия.

С середины XVIII в. технические школы учреждались в разных странах Западной Европы. В 1745 г. была открыта горная школа в Брауншвейге, в 1747 г. - Национальная школа мостов и дорог в Париже, в 1748 г. - школа Королевского инженерного корпуса в Мезьере. Эту школу, в которой техническое образование было поставлено лучше, чем в других, закончили Г. Монж, Ш. Кулон, Л. Карпо, Ж. В. Пон-селе.

Во второй половине XVIII в. был основан ряд горных школ мировой известности-горные школы в Баньской Штевнице (Словакия, 1764 г.), во Фрайберге (1765 г.), в Клаустале (Германия, 1775 г.), Горное училище в Петербурге (1773 г.), Национальная горная школа в Париже (1778 г.).

Реформа технического образования, вызванная необходимостью подготовки достаточного числа образованных инженеров, фактически началась с конца XVIII в. Высшая техническая школа постепенно выделялась из системы общего технического образования, в ней повышался уровень подготовки специалистов. На развитие технического образования, как и на расширение прикладных научных исследований, большое влияние оказала французская буржуазная революция. Она явилась переломным этапом не только в социально-экономической и политической истории общества, но и способствовала пересмотру вопросов культуры,

науки, образования. С первых дней своего существования Французская республика занялась подготовкой военных и инженерных кадров.

В 1794 г. в Париже было основано высшее техническое заведение, названное Центральной школой общественных работ, которую через год переименовали в Политехническую школу. Она должна была готовить артиллеристов, морских, военных и гражданских инженеров, гидрографов, технологов. В этой школе наряду с преподаванием естественных наукг в первую очередь математического и физико-химического цикла, обучали прикладным наукам. Главное место среди всех дисциплин занимала механика, являвшаяся теоретической основой техники того периода. В школе преподавали такие выдающиеся профессора и преподаватели, как Ж. Л. Лагранж, П. С. Лаплас, С. Д. Пуассон, Г. Монж и др. Выпускники школы получали общее физико-математическое и техническое образование. Дальнейшую специализацию часть выпускников проходила в Артиллерийской школе, Военной школе в Мезьере, в Школе мостов и дорог, Школе постройки кораблей и морских сооружений, Топографической школе.

Большая научно-методическая и литературная работа профессоров и преподавателей Парижской политехнической школы оказала решающее влияние на весь ход истории технического образования. Руководства по теоретической механике, подготовленные Л. Пуансо, С. Д. Пуассоном и М. Прони для Парижской политехнической школы, стали позднее общепризнанными учебниками в университетах и технических учебных заведениях Европы. Труды профессоров Парижской политехнической школы заложили основы разработки вопросов прикладной механики. В начале XIX в. по инициативе Г. Монжа была введена новая учебная дисциплина - наука о построении машин. Ж. Н. Ашетт разработал программу преподавания этого предмета, которая, по существу, представляла собой программу ряда машиностроительных дисциплин. Ж. Кристиан, Дж. Борньи и Ж. В. Понселе создали руководства для инженеров и мастеров, в которых положения механики излагались таким образом, чтобы их можно было использовать для решения задач техники. К середине XIX в. наиболее разработанными были вопросы динамики машин. Парижская политехническая школа заложила основы для формирования ряда технических дисциплин и подготовки в Европе инженеров, сочетающих знания физико-математических и технических наук.

Парижская политехническая школа сильно повлияла на постановку преподавания технических наук не только во многих странах Европы, но и в Соединенных Штатах Америки.

Значительную роль в развитии технического образования во Франции сыграла Консерватория искусств и ремесел. В ней крупные французские-ученые читали лекции по новейшей производственной технике, по усовершенствованию различного рода машин. Слушателями этих лекций были фабриканты, управляющие, инженеры, мастера и даже рабочие.

Образцом высшего технического заведения в середине XIX в. считалась Центральная школа искусств и мануфактур, учрежденная в Париже в 1829 г. Предназначенная, как писали учредители, «для образования гражданских инженеров, директоров фабрик и заводов, преподавателей прикладных наук и пр., она должна доставлять промышленности людей, способных вносить свет наук физических и

естественных в управленце этими заведениями и большими общественными работами».

В Школе были четыре факультета: металлургии, строительного искусства, механики, химии. На первом году обучения все слушатели изучали естественно-научные и общетехнические дисциплины: механику, физику, химию, начертательную и аналитическую геометрию, архитектурное черчение п др. Со второго года обучения начиналась специализация. Второй и третий годы слушатели посвящали изучению прикладной механики, построения и установки машин, прикладной физики, аналитической химии, химической технологии, металлургии, механической технологии, паровых машин, железных дорог и др.

Бурное развитие промышленности, транспорта, торговли было постоянным стимулом улучшения образования и учреждения специальные учебных заведений для подготовки необходимых кадров.

В России специалистов в области теоретической механики п инженеров готовили соответственно в университетах и в высших технических учебных заведениях. Основанный в 1755 г. Московский университет выпускал специалистов, обладавших серьезными знаниями по теоретической и прикладной механике. Теоретическую механику и ее технические приложения преподавали в университетах, открытых в начале XIX в. в Казани (1804 г.), в Харькове (1805 г.), в Петербурге (1819 г.). Большую роль в подготовке инженеров и в пропаганде теоретических знаний о машинах среди техников и инженеров-практиков сыграло Петербургское горное училище.

На протяжении XIX в. в России были учреждены такие высшие технические учебные заведения, как Лесной институт (1803 г.), Институт корпуса инженеров путей сообщения (1810 г.), Практический технологический институт (1828 г.), Институт гражданских инженеров (1842 г.), Артиллерийская академия (1855г.), Военно-инженерная академия (1855 г.), Высшее техническое училище (1868 г.) и др. К началу XX в. в России насчитывалось 15 высших технических учебных заведений.

В высших технических учебных заведениях России преподавание механики шло в аспекте ее приложения к решению технических задач, механика рассматривалась как средство расчета инженерных сооружений и машин (на первых этапах - преимущественно двигателей).

Специальные работы, имевшие отношение к механике, начали публиковать в России еще в XVIII в. Отечественные книги и руководства (И. А. Вельяшева-Волынцева, Я. П. Козельского, М. Е. Головина, С. К. Котелышкова, С. Е. Гурьева, В. И. Висковатова), а также русские переводы наиболее значительных работ западноевропейских ученых (Дж. Фергюсона, Г. Монжа, Ш. Боссю и др.) способствовали распространению достижений механики. Позже были изданы руководства (Д. С. Чижов, Н. Д. Брашман), предназначавшиеся для преподавания механики в университетах.

В середине XIX в. в промышленности России ощущался острый недостаток в квалифицированных инженерах. Сознавая это, крупнейшие инженеры и ученые страны (М. В. Остроградский, И. А. Вышнеградский, Н. П. Петров и др.) ратовали за перестройку системы технического образования, за углубление научной подго-

товки инженеров по математике, механике, физике, химии. Основание кружков, семинаров, усиление экспериментальной базы институтов (прежде всего для определения механических свойств материалов и изучения работы узлов машин и частей конструкций), организация лаборатории для испытания материалов и лабораторий для обучения студентов приемам и методам экспериментальных исследований, введение углубленных курсов по аналитической механике, по теории упругости и др. - все это было направлено на подготовку квалифицированных кадров для промышленности.

В Германии большинство высших технических учебных заведений образовалось на базе средних технических заведений и ремесленных училищ. В XIX в. в Германии высшее техническое образование получило значительное развитие. В 1825 г. была основана Политехническая школа в Карлсруэ, в 1827 г. - высшие технические школы в Мюнхене и Нюрнберге, а также Промышленный институт при Королевской строительной академии, основанной в 1799 г. В середине XIX в. в Германии функционировало много средних и высших учебных заведений, в том числе Техническое учебное заведение в Дрездене (с 1828 г.), Высшее ремесленное училище в Ганновере (с 1831 г.), Политехническая школа в Штутгарте (с 1840 г.) и др. Во многих университетах читалась прикладная механика и были созданы кафедры технологии.

Технические учебные заведения Германии в середине XIX в. выпускали главным образом специалистов горного дела, строительного дела и инженеров путей сообщения. В течение второй половины XIX в. техническое образование в этой стране непрерывно совершенствовалось. Почти во всех высших технических школах Германии функционировали лаборатории и технические кабинеты, был введен практикум, приобщающий студентов к производству, студентов знакомили с экономикой предприятий.

Система технического образования в Англии отличалась от системы подготовки технических кадров континентальной Европы. Английские инженеры получали образование в результате практической деятельности. Лишь в 1841 г. в Лондонском университетском колледже были организованы три технические кафедры: гражданского строительства, механики и машиностроения.

До середины XIX в. в Англии преобладала система ученичества, т. е. подготовка инженеров в процессе их работы на заводах. В частности, для машиностроителей главной школой был завод фирмы «Модели и Фильд», на котором получило профессиональную подготовку большинство английских инженеров-механиков первой половины века. Только в последней четверти XIX в. специальные государственные комиссии стали изучать вопрос о создании высших и средних технических учебных заведений, так как Парижская всемирная выставка 1867 г. наглядно показала отставание Англии в подготовке инженерных кадров.

Более быстро от системы индивидуального ученичества к систематическому образованию перешли в Соединенных Штатах Америки. В конце XVIII в. единственным техническим учебным заведением Северной Америки была Военная академия в Вест-Пойнте, выпускавшая военных инженеров, которых использовали и на гражданской службе. В конце первой половины XIX в. там стали создавать высшие технические учебные заведения и политехнические школы - техни-

ческие колледжи при Гавардском, Иельском и Мичиганском университетах, Ринселеровский политехнический институт в штате Нью-Йорк, Бруклинский и Массачусетский политехнические институты.

В 1862 г. в Соединенных Штатах был подготовлен специальный эдикт о реформе технического образования. Это привело к увеличению числа технических колледжей и школ с 6 в 1866 до 21 в 1870 г. [7, с. 120].

Техническое образование во всех странах развивалось в соответствии с задачами и потребностями материального производства. В первой половине XIX в. готовили в основном инженеров-механиков. В середине века возник вопрос о подготовке инженеров по химическим специальностям. В 80-х годах XIX в. начало развиваться электротехническое образование

Господство капиталистических производственных отношений привело к бурному развитию производительных сил общества. В период капитализма укрепляются взаимосвязи науки и производства. Становление капиталистического машинно-фабричного производства способствовало формированию науки как производительной силы. Рост общественных потребностей, обобществления производства, дальнейшее разделение и комбинирование труда, высокий уровень развития науки, характеризуемый большими достижениями не только в области познания природы, но и в области разработки практически применимых положений и выводов, развитие технических наук и технического образования определили возрастание роли науки в материальном производстве, ее производственно-практических функций.

11. Формирование классических технических наук: технические науки механического цикла, система теплотехнических дисциплин, система электротехнических дисциплин

Технические науки появились в исторически определенное время и в конкретно-исторических условиях. В мануфактурный период уже складываются необходимые предпосылки становления отдельных технических наук. Необходимость использования достижений науки в практике приводит к формированию технических наук.

Характеризуя рассматриваемый период, Ф. Энгельс писал: «Восемнадцатый век собрал воедино результаты прошлой истории, которые до того выступали лишь разрозненно к в форме случайности, и показал их необходимость и внутреннее сцепление. Бесчисленные хаотичные 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» (*Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 1, с. 599*).

Характерной особенностью этого периода являлось то, что поток технических знаний, идущих от техники, явно превышал поток, идущий в противополож-

ном направлении. Говоря о взаимодействии и взаимовлиянии техники и науки, Ф. Энгельс писал: «Если... техника в значительной степени зависит от состояния науки, то в гораздо большей мере наука зависит от состояния и потребностей техники. Если у общества появляется техническая потребность, то это продвигает науку вперед больше, чем десяток университетов. Вся гидростатика (Торричелли и т. д.) была вызвана к жизни потребностью регулировать горные потоки в Италии в XVI и XVII веках. Об электричестве мы узнали кое-что разумное только с тех пор, как была открыта его техническая применимость» (*Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 39, с. 174*).

К началу XVIII в. был накоплен большой практический опыт по созданию и эксплуатации разнообразных технических средств, в основном на базе использования механической формы движения материи. Это привело к тому, что технические науки механического цикла (теория механизмов и машин и др.) появились раньше других наук.

В разработке начал технической механики ведущая роль принадлежит действительному члену Петербургской Академии наук Л. Эйлеру, написавшему около сорока трудов в этой области. В 1736 г. в Петербурге появился классический двухтомный труд Л. Эйлера «Механика, или наука о движении, аналитически изложенная». Отличительной чертой этой работы было широкое использование нового математического аппарата - дифференциального и интегрального исчисления. Тринадцать лет спустя, в 1749 г., в Петербурге была опубликована наиболее важная работа Эйлера по механике «Диссертация о принципе наименьшего действия» [20]. В период 1739-1742 гг. в академических «Примечаниях на Ведомости» печаталась серия статей Л. Эйлера «Краткое описание разных машин».

Первый русский учебник по технической механике, содержавший начальные сведения о простейших машинах и механизмах, вышел в 1722 г. Для преподавания этой дисциплины в учебных заведениях многое сделал Г. В. Крафт. В 1738 г. в Петербурге вышло его «Краткое введение в изучение простых машин и их устройств».

Научный подход к проектированию машин был изложен также французским инженером и ученым Б. Белидором в 1737 г. в соответствующем разделе его книги «Гидравлическая архитектура». Здесь Белидор обращал особое внимание на расчет силовых узлов машин и на тщательное составление чертежей конструируемых механизмов.

Главным источником энергии в XVII п в начале XVIII в. служили водяные мельницы. «На примере мельницы, - писал К. Маркс, - было создано учение о трении, а вместе с тем были проведены исследования о математических формах зубчатой передачи, зубьев и т. д. На ее же примере впервые было разработано учение об измерении величины двигательной силы, о лучших способах ее применения и т. д.» (*Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 30, с. 263*) Для изучения действия механической части водяных колес Белидор привлек гидростатику и гидродинамику. Серьезное внимание ученый уделял установлению величины сил трения, а также экспериментальному и теоретическому определению усилий для подъема воды [21].

Начавшиеся работы по изучению коэффициента трения, а затем и самих сил трения способствовали применению законов статики к изучению действия машин. Учет сил трения позволил приблизиться при рассмотрении действия машин к условиям, близким к реальным.

В 1765 г. Леонард Эйлер вывел знаменитую формулу, позволяющую по коэффициенту трения определить основные конструктивные элементы механизмов с гибкими звеньями (ременные передачи, блоки, ленточные транспортеры и конвейеры, ленточные тормоза и др.).

Разработка науки о сопротивлении материалов началась во второй половине XVII в. с развития положений Г. Галилея [22], изложенных им в «Беседах и математических доказательствах, касающихся двух новых наук» (1638 г.). Галилею принадлежит постановка задачи о прочности, которую он изучал в предельном состоянии тела - в момент его разрушения. Этот подход к вопросам прочности разделяли многие ученые XVII-XVIII вв. Более законченную форму он приобрел в работах Ш. О. Кулона.

Первые научные основы теории упругости были заложены в работах английского физика Р. Гука, установившего в 1678 г. основной закон линейной зависимости между силой и деформацией при растяжении пружин, струн и тонких стержней. Большое значение в становлении науки о сопротивлении материалов имели также эксперименты, проведенные французским физиком Э. Мариоттом п приведшие в конечном итоге к принципиально важным результатам в области механики. Исследования Мариотта вызывались запросами техники, их целью было устройство водоснабжения Версальского дворца. Для определения надежности изготовления применяемых стержней, балок и труб, их размеров, ученый должен был прибегнуть к эксперименту [23, с. 223], в результате которого он высказал гипотезу о распределении напряжений в поперечном сечении балки, подверженной изгибу. Согласно учению Мариотта, в балке прямоугольного сечения имеется нейтральная линия, выше которой волокна растягиваются, а ниже - сжимаются.

Если Э. Мариотта интересовала прочность нагруженной балки, то Якоба Бернулли занимал вопрос о форме изгиба ее нейтральной линии. Окончательный вариант этого исследования был опубликован Бернулли в 1701 г. Им было выведено дифференциальное уравнение изгиба упругой линии и доказано, что кривизна линии изгиба пропорциональна изгибающему моменту. Спустя почти пятьдесят лет этим вопросом занялся Леонард Эйлер. Он исследовал форму кривых, которую принимает тонкий упругий стержень при различной нагрузке, рассмотрел продольный изгиб колонны под действием осевой сжимающей силы и получил выражения для предельной нагрузки, превышение которой приводит к изгибу. Эта формула включена теперь во все учебники сопротивления материалов и технические справочники.

Наука о сопротивлении материалов послужила во второй половине XVII и начале XVIII в. тем связующим звеном, которое сближало статику с техникой. В годы, непосредственно предшествовавшие технической революции, развитие науки о сопротивлении материалов в ее практическом приложении оказалось особенно необходимым.

Начало XVIII столетия отличалось значительными достижениями в области гидростатики и гидродинамики.

Со времен античности центральной проблемой гидростатики был вопрос о принципиальной возможности существования пустоты. Шахтерам и строителям колодцев часто приходилось наблюдать, что насос не может поднять воду на высоту больше 12 футов (около 4 м). Этот факт вплоть до середины XVIII в. не привлек к себе серьезного внимания ученых. И только синтез двух положений - обоснование возможности существования пустоты и установление предельной высоты подъема воды насосом - привел к новым принципиальным результатам гидростатики. Одновременно это создало теоретические основы для работы над тепловой машиной и паровым двигателем.

Важнейшим стимулом для прогресса гидродинамики и гидростатики в конце XVII и начале XVIII в. явилась задача использования горных потоков, рек и каналов в качестве источника энергии для приведения в действие водяных колес. К середине XVIII столетия эта проблема повлекла за собой и разработку соответствующей теории. Чисто практические вопросы гидравлики и гидротехники требовали изучения движения жидкостей, приложенных к ней сил, а также и скорости движения жидкости в трубах, исследования законов их истечения из отверстия сосудов и т. д. Использование потоков воды в практических целях в XVI-XVIII вв. позволило эмпирически обнаружить многие из соответствующих закономерностей, нашедших непосредственное выражение к середине XVIII в. в сочинениях по гидротехнике.

Наиболее важных результатов в развитии гидродинамики достиг Даниил Бернулли. Он вывел основную теорему гидродинамики, употребляющуюся для исследования течения жидкостей в каналах, трубах и гидравлических двигателях. Им были введены такие понятия, как «работа», «мощность», а также понятия «движущей силы» и «коэффициента полезного действия». Бернулли было также получено уравнение, основанное на законе сохранения энергии и носящее теперь его имя. Уравнение Бернулли послужило основой теории такой технической науки, как гидравлика. Серия мемуаров по гидродинамике была написана также Л. Эйлером в середине XVIII столетия. Им было введено понятие давления, а также установлены общие уравнения гидродинамики и уравнения неразрывности. В 1749 г. Эйлер внес существенные усовершенствования в изобретенную Я. Сегнером гидравлическую машину («Сегнерово колесо»). Теоретической основой расчета гидравлических турбин явилась работа Эйлера «Более полная теория машин, приводимых в движение реакцией воды» (1754г.).

Труды Сегнера и Эйлера оказались исключительно важными для конструирования и расчета турбин и не потеряли своего значения вплоть до наших дней. Эйлером была решена также задача расчета производительности гидравлической машины, соответствующей данному падению уровней и данному расходу жидкости. На конкретных примерах он показал, как следует рассчитывать максимальную эффективность турбины при заданных начальных условиях. Три другие работы Эйлера: «Общие начала состояния равновесия жидкостей», «Общие начала движения жидкостей» и «Продолжение исследований по теории движения жидко-

стей», вышедшие в записках Берлинской академии (1755-1757 гг.), заложили теоретическую основу гидродинамики как науки.

Большое значение для развития технических наук имела разработка во второй половине XVIII в. научно обоснованного экспериментального анализа работы машин и различных технических устройств. Особенно важных результатов в этой области достиг известный английский инженер Джон Смитон. Им были построены и изучены в действии лабораторные модели водяных колес и ветряков. В 1759 г. на заседании Лондонского Королевского общества он сделал доклад «Экспериментальное исследование природной мощи воды и ветра». Задача проведенного исследования состояла в подборе нагрузки машины и скорости движения воды и ветра, при которых эффект был бы максимальным. Эффект измерялся работой, совершенной водой (или ветром) за один и тот же промежуток времени. Исследования Д. Смитона позволили внести ясность в важные практические вопросы машиностроения, по которым в то время существовали большие разногласия и рекомендации различных авторов расходились между собой.

В рассматриваемый период в связи с растущими запросами артиллерии получает развитие баллистика. В 20-х годах XVIII в. оригинальные эксперименты в этой области были проведены Д. Бер-нулли, изучавшим движение сферического снаряда, выпущенного в вертикальном направлении. Эти опыты привлекли к занятиям баллистикой Л. Эйлера, рассмотревшего в своей «Механике» вопрос о движении тела в среде, сопротивление которой пропорционально той или иной степени скорости.

Во время своего пребывания в Берлине Эйлер перевел с английского на немецкий язык вышедшую в 1742 г. книгу Б. Робинса «Новые принципы артиллерии». При переводе эта книга была дополнена собственными исследованиями Эйлера, которые по значению и объему существенно превосходили труд Робинса.

Таким образом, технические науки, представляющие собой различные разделы механики, складывались в этот период (конец XVII - середина XVIII в.) под влия-шем запросов техники; например, баллистика удовлетворяла запросы артиллерии; сопротивление материалов появилось в результате развития машиностроения и строительного дела; гидравлика раз-шала проблемы, возникающие в процессе развития строительного дела. При этом выявились два пути формирования технических наук идин путь вел к последующему отделению той или иной прикладной дисциплины, примером чего может служить внешняя баллистика. Другой путь приводил к постепенному^ формированию соответствующей теоретической области механики, например, науки о сопротивлении материалов и теории упругости [23].

Начиная примерно с середины XVII в. получает развитие теплотехника. Зарождение теплотехнических знаний тесно связано с развитием учения о теплоте. В уже упомянутом нами капитальном труде Б Бели-дора «Гидравлическая архитектура», вышедшем в 1737 г., делается попытка установить связь работы тепловых машин с соответствующей теорией - законами, характеризующими упругие свойства воздуха и пара. Кинетическая теория тепла возникла не сразу [24]. Наиболее глубокое и последовательное объяснение ряда тепловых процессов было сделано М. В. Ломоносовым. В его работе «Размышления о причине теплоты и

холода» (1745 г.) правильно определена природа тепловых явлений. В сочинении 1748 г. «Опыт теории упругости воздуха» Ломоносов развивает теорию теплоты и дает основы молекулярно-кинетической теории газов. Исследования М. В. Ломоносова по теории теплоты были высоко оценены Л. Эйлером, который писал: «Все сии сочинения не токмо хороши, но и превосходны, ибо изъясняют физические и химические материи самые нужные и трудные, кои совсем неизвестны и невозможны были к истолкованию» [25].

Экспериментальные исследования, необходимые для дальнейшего развития теплотехники, нашли отражение в трудах Блека (1764 г.), Дж. Уатта (1766-1767 гг.), Бетанкура (1792 г.), М. Прони (1796 г.) и др.

Таким образом, в первой половине XVIII в. в итоге все возрастающих запросов техники (появление насосов и тепловых двигателей) создается теоретическая основа, позволяющая работать над созданием нового типа двигателя - паровой машины. Начиная примерно с середины XVIII в. получают развитие исследования по электричеству. В 30-х годах XVIII в. французский физик Шарль Франсуа Дюфе сконструировал прибор для обнаружения и измерения электричества - прототип электроскопа. Многих выдающихся ученых второй половины XVIII века (М. В. Ломоносов, Ш. О. Кулон, В. Франклин, Г. Кавендиш, П. Лаплас, А. Вольта, Д. Пристли, Г. В. Рихман и др.) занимал вопрос о природе электричества и его свойствах.

После того как в 1752 г. Далибаром и Франклином была доказана электрическая природа грозы, изучение электричества получило новый практический стимул в связи с поисками наилучших систем грозозащиты. 25 ноября 1753 г. М. В. Ломоносов от имени Петербургской Академии наук поставил перед учеными всего мира такую задачу: «Сыскать подлинную электрической силы причину и составить точную ее теорию». В том же году М. В. Ломоносов и Г. В. Рихман продолжили опыты по изучению атмосферного электричества, в результате которых ими были созданы разнообразные «громовые машины» - специальные стационарные установки, представляющие собой металлический шест, укрепленный на дереве или крыше и соединенный с приборами, находящимися в доме, с помощью проволоки, подвешенной на шелковых шнурках. Во время одного из опытов с «громовой машиной» Рихман зарядил лейденскую анку атмосферным электричеством. Это послужило еще одним доказательством тождества атмосферного и «лабораторного» электричества.

Важнейшим итогом развития науки об электрических и магнитных явлениях в XVIII в. было открытие количественного закона электрических и магнитных взаимодействий. Этот закон был открыт английским физиком Г. Кавендишем и независимо от него французским ученым и инженером Ш. О. Кулоном.

Накопленный опыт создания и применения электростатических машин, лейденских банок (конденсаторов), «электрических указателей», «молниеотводов» и других устройств и приборов не только обусловил переход от простых наблюдений к установлению количественных соотношений, связей, но и стимулировал зарождение первых научных технических знаний в этой области. Как техническая дисциплина электротехника сформировалась лишь к концу XIX в.

Значительное развитие в XVIII в. получила техническая оптика, и особенно теория ошибок (аберраций) оптических систем. Возникнув как наука еще в начале XVII в. [26], оптика, по словам Ф. Энгельса, достигла «исключительных успехов благодаря практическим потребностям астрономии...» (*Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 348*).

Первые оптические приборы и инструменты (зрительные трубы, телескопы, микроскопы и другие) получают широкое распространение уже в XVII в. Для удовлетворения растущих требований астрономии и военного дела разрабатывают и строят многочисленные конструкции. Это, в свою очередь, приводит к разработке теории расчета и конструирования оптических приборов. Зарождается техническая оптика как наука. В отличие от естественной науки - физической оптики, объектом исследований которой служит свет, его природа и свойства, объектом исследований технической оптики являются оптические приборы и системы.

Первые попытки создания теории оптических систем встречаются в трудах И. Кеплера, Р. Декарта, Я. Гевелия и других ученых XVII в. Умы многих выдающихся деятелей XVII и XVIII вв. занимал вопрос о повышении качества изображения, даваемого телескопом. Если сферическую аберрацию умели исправлять еще во времена Р. Декарта, то с хроматической аберрацией дело обстояло значительно сложнее. Это объяснялось тем, что И. Ньютон считал ахроматизацию оптических систем вообще невозможной. Его непререкаемый авторитет почти на столетие отодвинул вопрос о возможности исправления хроматических аберраций. Леонард Эйлер был в числе первых ученых, резко выступавших против утверждения Ньютона о невозможности построения ахроматических линз. В 1747 г. он впервые высказал идею о возможности создания ахроматического объектива.

Как известно, открытие ахроматических систем почти всегда связывают с именами Ч. Холла и Д. Доллонда и при этом очень часто забывают громадную заслугу Л. Эйлера. Сам Эйлер излагал историю ахроматических систем следующим образом: «Наше мнение вскоре же подверглось яростным нападкам со стороны покойного Доллонда, который еще долгое время считал, что доказательство великого Ньюдона обосновано настолько прочно, что не может быть ошибочным. Для подкрепления своего мнения он приступил к опытам над преломлением различных прозрачных веществ, в особенности разных сортов стекла. Эти опыты вполне подтвердили мое мнение, и Доллонд принужден был признать свою ошибку. Без сомнения, именно это важное открытие заставило искусного мастера с жаром приняться за усовершенствование обычных линз» [27].

Воспользовавшись идеей Эйлера, английский оптик Джон Доллонд применил для ее реализации два сорта стекла с различной относительной дисперсией - кронглас и флинтглас и создал практическую конструкцию ахроматического объектива.

Учитывая важность создания ахроматических оптических инструментов для многих наук, Петербургская Академия поставила в 1762 г. задачу экспериментально и теоретически исследовать оптические системы, свободные от сферических и хроматических аберраций. Была премирована работа шведского ученого С. Клингенстиерны. Его труд был напечатан, по решению Академии, в одной книге со статьей Эйлера. В этих двух работах были даны расчеты ахроматических объ-

ективов телескопов. Наряду с теоретической стороной вопроса создания ахроматических систем в середине XVIII в. была и другая, не менее важная практическая проблема: изготовление различных сортов стекол для ахроматических объективов. Монополия Д. Доллонда в производстве оптического стекла вызывала среди ученых и стекловаров разных стран стремление самостоятельно изготовить оптическое стекло и раскрыть его химический состав. В России над этим упорно работали М. В. Ломоносов и академик И. Э. Цейгер. Наиболее успешными оказались исследования Цейгера, который обнаружил среди стекол, изготовлявшихся на стекольных заводах под Шлиссельбургом, два стекла, «а именно белое и зеленоватое, которые в рассуждении различного свойства рассеяния цветов с английским флинтгласом и кронгласом совершенно сходствовали» [28].

Независимо от Цейгера разработкой рецептуры приготовления флинта занимался М. В. Ломоносов. Проведя большое число опытов, он установил, что «стекло с суриком много больше делает рефракцию, нежели другое» [29] и что именно его должно употреблять для изготовления эйлеровских ахроматических линз. К сожалению, эти исследования М. В. Ломоносова не были в свое время опубликованы и стали известны лишь в наше время.

Эйлером были произведены расчеты сложных ахроматических систем, состоящих из большого числа стекол (до 10 линз). Эти работы нашли свое завершение в фундаментальной трехтомной «Диоптрике» Эйлера [30], вышедшей в 1769-1771 гг.

Оптические системы Л. Эйлера а - зрительная труба с трехлинзовым ахроматическим объективом; б - неахроматический дублет; в - трехлинзовый ахроматический объектив. На графиках аберраций h - высота падения луча; δS' - величина сферической аберрации

Благодаря трудам русских ученых во главе с М. В. Ломоносовым и Л. Эйлером Россия оказалась на передовом рубеже оптической науки и техники XVIII в. Создание Л. Эйлером теории аберраций оптических систем послужило основанием для дальнейшего развития технической оптики в XIX в. во всем мире.

Расширение торговых связей в мануфактурный период увеличивало спрос на драгоценные металлы - золото и серебро, добыча которых в связи с этим значительно возросла. Это привело к развитию горной техники и возникновению горной науки.

В XVII и начале XVIII в. в России было открыто большое число месторождений медных, серебряных, железных и других руд. Придавая горному делу большое значение, Петербургская Академия наук направляла за границу наиболее способных студентов. Среди них был в 1736 г. и М. В. Ломоносов. В письме к В. Н. Татищеву от 27 января 1749 г. Ломоносов писал: «Главное мое дело есть горная наука, для которой я был нарочно в Саксонию посылай...» [31].

Уже в 1742 г. Ломоносов систематизировал собранные им материалы по горному делу и приступил к составлению труда «Первые основания горной науки». На страницах этого произведения им было дано замечательное для своего времени определение «горной науки». «Наука, - писал М. В. Ломоносов,- которая учит минералы знать, приискивать и приводить в такое состояние, чтобы они в обществе человеческом были угодны, называется горная наука» [32]. Материалы руко-

писи «Первые основания горной науки» вошли в переработанном виде в знаменитую книгу М. В. Ломоносова «Первые основания металлургии, или рудных дел» (1763 г.).

Уже в самом начале этой книги Ломоносов определяет области знаний, входящие в состав науки о рудном деле. Это описательная минералогия и геология рудных залежей, разведка и разработка рудных месторождений, опробование руд и их металлургическая переработка [33, с. 4].

Огромное научно-историческое значение труда Ломоносова «Первыя основания металлургии, или рудных дел», определяется присущими ему особыми чертами, которые в дальнейшем стали характерными для всей русской горной науки: стремление дать научное объяснение явлений и технических процессов, чтобы на научной основе наметить способы управления этими явлениями [34]. М. В. Ломоносов был убежден в необходимости тесного контакта горной науки с различными областями естествознания и техники и прежде всего с математикой, механикой, химией, геологией и т. п. [34].

В книге «Первыя основания металлургии...» М. В. Ломоносов, кроме того, обобщил научные знания в области металлургии. Так, начиная свой труд с описания металлов и полуметаллов, Ломоносов особо останавливается на «пробирном искусстве», знание которого было необходимо каждому металлургу для проведения анализов рудного сырья и выплавляемых металлов. Приемы пробирного искусства, приведенные в указанном произведении, долгое время оставались в научном обиходе металлургов, а многие из них используются и сейчас. Ломоносов рассматривает также некоторые способы обогащения руд, учит, как надо отделять бедные руды от богатых.

Касаясь развития металлургии как науки в первой половине XVIII в., нельзя не остановиться на трудах Р. А. Реомюра, одного из виднейших деятелей этой эпохи. В его произведениях, вышедших в начале XVIII в., рассмотрены вопросы цементации и закалки стали, а также получения ковкого чугуна. Реомюр весьма близко подошел к ряду вопросов, связанных с природой железа и стали, и в частности с явлением закалки.

Кроме Реомюра важное по своему практическому содержанию сочинение по металлургии было написано Эмануэлем Сведенборгом. С введением доменной плавки и получением чугуна для широких промышленных нужд перед металлургией возникли новые задачи.

Мы рассмотрели становление технических знаний в различных областях человеческой деятельности. Это позволяет нам сделать вывод, что в период второй половины XVII-XVIII в. зародились технические науки. Этот период характеризуется тем, что для решения практических задач начинает привлекаться научное знание.

12. Математизация технических наук в XX веке

Математизация науки — применение математики для теоретического представления научного знания. И само научное знание, и математика, и матема-

тизация научного знания зародились в античности. Первую математическую концепцию природы создали пифагорейцы («все вещи суть числа»). Платон продолжил пифагорейскую традицию, выдвинув на первый план геометрию («Бог всегда является геометром»). Теория материи Платона — это теория правильных многогранников. Аристотель не отрицал значения математики в познании природы, но полагал научные понятия извлеченными из реального мира абстракциями, которые могут быть полезными при описании явлений. Позже, в эллинистический период, Евклид создал первую аксиоматико-дедуктивную систему геометрии, ставшую основой математизации античных оптики и статики (Евклид и Архимед) и астрономии (Птолемей). Античное наследие было сохранено и преумножено (в плане математизации научного знания) арабскими учеными и средневековыми мыслителями. Р. Бэкон, напр., считал, что в основе всех наук должна лежать математика. В эпоху Возрождения математичность природы так же, как в античное и в средневековое время, обожествлялась. Наиболее впечатляющим достижением математического подхода к астрономии стала гелиоцентрическая система Н. Коперника. В Новое время и корифеи точного естествознания (И. Кеплер, Г. Галилей, Х. Гюйгенс, И. Ньютон), и философы (Ф. Бэкон, Р. Декарт, Г. Лейбниц) считали математику (геометрию) «прообразом мира» (напр., лейбницевское: «Cum Deus calculat, fit Mundus», т.е. «Как Бог вычисляет, так мир и делает»).

Ньютон в «Математических началах натуральной философии» говорил о «подчинении явлений законам математики», и хотя он использовал язык геометрии, для формулировки законов механики ему пришлось создать дифференциальное и интегральное исчисление. Впервые был осуществлен прорыв за пределы евклидовой геометрии как математической структуры физики: благодаря усилиям Ньютона, Лейбница, К. Маклорена, Л. Эйлера классическая механика предстала как теория обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го порядка. При этом важнейшую стимулирующую роль в возникновении и развитии математического анализа и теории дифференциальных уравнений сыграли задачи классической механики.

В дальнейшем были выявлены и др. математические представления механики, положившие начало феномену аналитической механики (Ж.Л. Лагранж), нацеленному на изучение математических структур классической механики. Оказалось, что ее можно сформулировать как вариационное исчисление (Эйлер, Лагранж, У Р. Гамильтон, К.Г. Якоби, М.В. Остроградский), как теорию дифференциальных уравнений с частными производными 1-го порядка (Гамильтон, Якоби, С. Ли), как риманову геометрию (Якоби, Р. Липшиц, Г. Дарбу, Г. Герц), как симплектическую геометрию (Лагранж, Гамильтон, Остроградский, Ли). Эти отождествления оказали решающее воздействие на развитие математики в 19 в. и выявили структурно-математическую мощь классической механики (в соответствии с «математическим» критерием эффективности исследовательской программы И. Лакатоса, мощь программы определяется степенью ее влияния на развитие математики; этот критерий имеет родство с критерием «хорошей» теории Р. Фейнмана, согласно которому качество теории определяется возможностью ее представления на языке различных математических формализмов). Лагранжев, Гамильто-

нов и др. формализмы аналитической механики обнаружили удивительную живучесть, сыграв важную роль в создании квантовых и релятивистских теорий 20 в.

Классико-механическая программа (и соответствующая картина мира) открыла описанный выше способ математизации точного естествознания, который, несмотря на значительное количество приверженцев от П.С. Лапласа до Г. Гельмгольца и Дж. Максвелла, оказался весьма ограниченным. Физика (как наука о свете, теплоте, электричестве и магнетизме), которая, за небольшим исключением, до начала 19 в. не имела теоретического оформления, подобного классической механике, потребовала привлечения нового типа математизации. Решающим поворотом стало интенсивное использование математического анализа для представления элементарных феноменологических соотношений в теоретической форме, не сводящейся к классической механике. На этом пути в первой четверти 19 в. были созданы (в основном, усилиями франц. ученых С.Д. Пуассона, Ж.Б. Фурье, А.М. Ампера, О. Френеля, С. Карно и др.) математическая электростатика, теория теплопроводности, элементы термодинамики, электродинамика, волновая оптика.

В 1860—1870-е создание классической физики, сопряженное с ее математизацией, в основном, было завершено (теория электромагнитного поля Максвелла, термодинамика В. Томсона и Р. Клаузиуса, основы статистической механики Максвелла и Л. Больцмана). Математический анализ и, прежде всего, теория дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка, оставались основной математической структурой классической физики. Но, вместе с тем, важными дополнительными инструментами ее математизации стали векторное исчисление и теория вероятностей. В кристаллографии получила применение теория групп. К концу 19 в. выявилась фундаментальная особенность основных дифференциальных уравнений классической физики — их вариационная структура, т.е. возможность их получения на основе вариационного исчисления (из вариационных принципов, прежде всего принципа Гамильтона).

Математизация др. естественных наук осуществлялась через посредство физики и классической механики (небесная механика, астрофизика, некоторые разделы химии и др.). А. Пуанкаре на рубеже 19 и 20 вв. связал математико-аналитическую (т.е. опирающуюся на математический анализ и дифференциальные уравнения) природу классической физики с ее локальностью и однородностью. В результате знание элементарного факта позволяло получить описание процесса посредством дифференциальных уравнений, интегрирование которых вело к описанию множества наблюдаемых явлений. Отсутствие в биологии характерных для физики локальности, однородности, простых элементарных соотношений препятствовало согласно Пуанкаре, математизации биологических наук.

Научная революция, произошедшая в физике в первой трети 20 в., существенно изменила взаимоотношения физики и математики. Кроме того, математика сыграла существенную роль в самой этой революции. Прежде всего, при построении теории относительности, особенно общей, и квантовой механики в полной мере проявилась опережающая роль математики. В отличие от классики, в которой математике (дифференциальным уравнениям) предшествовало установление связи физических понятий с математическими величинами, при разработке релятивистских и квантовых теорий отыскание адекватной математической

структуры опережало ее физическое осмысление. Так, при создании общей теории относительности сначала была найдена риманова структура пространства—времени и тензорно-геометрическая концепция гравитации и только после этого была прояснена собственно физическая сторона дела. При создании квантовой механики также сначала были установлены математические основы теории (напр., уравнение Шредингера для волновой функции, физический смысл которой оставался неясным), и только после этого была развита физическая интерпретация теории (вероятностная трактовка волновой функции, принципы неопределенности и дополнительности). Именно эти достижения теоретической физики позволили говорить о «предустановленной гармонии» между математикой и физикой (Г. Минковский, Ф. Клейн, Д. Гильберт, А. Эйнштейн и др.), или о «непостижимой эффективности математики в естественных науках» (Е. Вигнер). В какой-то степени это выглядело как возрождение пифагорейско-платоновской концепции математизации научного знания или его более современного варианта в духе Кеплера, Ньютона и Лейбница.

Если классическая физика выглядела, с математической точки зрения, прежде всего, как теория дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка и, соответственно, математико-аналитическая структура была определяющей, то в неклассической науке на передний план выдвинулись теория групп преобразований и их инвариантов, дифференциально-геометрические структуры и функциональный анализ. Большое значение сохраняли также теория дифференциальных уравнений и вариационное исчисление, с помощью которых формулировались законы движения, а также теория вероятностей, позволяющая корректно сформулировать понятие состояния в статистической и квантовой механике. Теоретико-инвариантный подход, ставший после создания специальной теории относительности мощным и универсальным средством построения теории, означал распространение «Эрлангенской программы» Ф. Клейна на физику; иначе говоря, вел к пониманию научных теорий, прежде всего, как теорий инвариантов некоторых лежащих в их основе фундаментальных групп симметрии. Общая теория относительности привела впервые к геометризации физического взаимодействия (а именно — гравитации) на языке теории римановых искривленных пространств. Переход от классики к квантам соответствовал переходу к бесконечномерному гильбертову пространству состояний и самосопряженным операторам, т.е. переходу от обычного анализа к функциональному. Дальнейшее развитие во второй половине 20 в. вводило в оборот такие разделы, как геометрию расслоенных пространств, топологию, бесконечномерные алгебры Ли и т.д.

Триумфы интенсивной математизации в создании неклассической физики привели к такому пониманию роли математики, когда она рассматривается не только как средство количественного описания явлений, но и как «главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории» (Ф. Дайсон). Вплоть до настоящего времени надежды на прорыв в фундаментальной физике теоретики связывают с поиском математических структур, математических образов, ранее не связывавшихся с реальностью (Ю.И. Мании). По существу, это близко к методу математической гипотезы, важность которого в неклассической физике подчеркивал еще СИ. Вавилов.

Несмотря на устойчивую традицию считать упомянутую выше «предустановленную гармонию» символом веры теоретиков, либо ключевым «эмпирическим законом эпистемологии», и поэтому избегать поиска оснований этой гармонии, есть несколько перспективных подходов к ее объяснению (истолкованию).

Первый — историко-научный — опирается на эстафетную модель развития физики (естествознания) и математики Д. Гильберта. Согласно этой модели, эффективность математики в отношении физики основана «на... повторяющейся и сменяющейся игре между мышлением и опытом»; на том, что математические концепции в своих истоках восходят к внешнему миру, к физической реальности, развиваясь затем относительно автономно до мощных абстрактных теорий, которые, в свою очередь, оказываются удивительно подходящими для описания новых пластов естествознания, как бы возвращая ему долг. Существует подход, основанный на резонном замечании об определенном родстве (или даже совпадении) некоторых основных методологических принципов физики и математики (Н.Ф. Овчинников и др.). Таковыми, напр., являются принципы симметрии (инвариантности), сохранения, соответствия и др. В «предустановленной гармонии» между физикой и математикой, конечно, присутствует эстетический момент. Иногда даже полагают, что целесообразно ввести понятие «математической красоты» физических теорий и что именно с ним связана эта гармония (П. Дирак, С. Вайнберг). В процессе математизации происходит, своего рода, «естественный отбор» эффективных структур, и именно с ними ассоциируется понятие математической красоты. С этим отбором может быть связано стремление теоретиков отдавать предпочтение задачам, имеющим «красивые решения». Само понятие, или чувство, «математической красоты» эволюционировало от закономерностей целых чисел и правильных многогранников к евклидовой геометрии и от нее — к математическому анализу и к дифференциальным уравнениям, а затем от них — к теории групп, дифференциально-геометрическим структурам и к функциональному анализу. Известны также попытки связать «предустановленную гармонию» между физикой и математикой с устройством нашего мозга, с физико-математической природой нашего мышления (сознания) (Р. Пенроуз, Ж.П. Шанже).

Конечно, возможна переоценка математического начала при разработке научных теорий, когда надежды на «математическое решение» научных проблем не оправдываются. Так произошло, напр., при попытках построения единой теории поля, основанных на использовании более общих геометрий, чем риманова. Несмотря на элегантные и мощные геометрические методы, из-за отсутствия физических оснований для геометризации электромагнитного поля эти попытки оказались безуспешными.

При этом едва ли следует опасаться так называемого «пифагорейского синдрома» (выражение Р. А. Аронова), истолковываемого как неоправданное отождествление математических форм и теоретических структур с формами и структурами объективного мира. Оправданием такого отождествления является успех теории (так было при создании общей теории относительности и квантовой механики). Если отождествление не ведет к успеху, соответствующая математическая гипотеза отбрасывается. Однако не оправдавшиеся на данном этапе математиче-

ские структуры могут быть не только ценными для математики, но и оказаться полезными при последующем развитии физической теории. Таковыми, напр., оказались геометрия Вейля и пятимерное обобщение римановой геометрии, не приведшие к успешному решению проблемы единой теории поля, но ставшие источниками таких важных физических концепций, как калибровочная трактовка поля и идея многомерного пространства.

Научно-техническая революция 1940—1960-х, связанная с освоением ядерной энергии и космического пространства, с созданием компьютеров, лазеров и т.п., привела к новой волне математизации естественных и технических наук, внесшей, в свою очередь, значительный вклад в эту революцию. Ключевым достижением здесь было создание электронных цифровых машин и концепции вычислительного эксперимента, радикально расширивших масштабы математизации, включив в ее сферу не только задачи управления и экономики, но отчасти и гуманитарные науки.

На стыке различных наук во второй половине 20 в. сформировалось новое синтетическое направление математизации науки, получившее название синергетики, или нелинейной динамики, в котором центральное место заняли нелинейные задачи, процессы самоорганизации и стохастизации динамики. С одной стороны, в рамках этого направления удалось решить ряд важных задач физики и техники, а также математизировать важные разделы химии, биологии и социальных наук. А с другой—привело к новым импульсам для развития математики (нелинейные дифференциальные уравнения, фрактальная геометрия, теория особенностей дифференцируемых отображений и т.д.).

Математизации физики сопутствует нередко обратный процесс — физикализация математики. Это выражается, с одной стороны, в содержательности и плодотворности математических концепций, порожденных физикой (В.И. Арнольд). С др. стороны, теоретическая физика иногда побуждает математиков к преобразованию даже оснований математики (Дж. Неструев, А.М. Виноградов).

Спорным является вопрос о том, считать ли математизацию одним из методологических принципов физики (Н.Ф. Овчинников, И.А. Акчурин) наряду с принципами симметрии, соответствия и др., или рассматривать ее как отдельную общую черту теоретизации научного знания. Независимо от ответа на этот вопрос, следует признать, что математизация всегда была, и продолжает оставаться, главным и эффективнейшим средством теоретизации научного знания, развитие которого оказывает мощное воздействие на саму математику. При этом приходится констатировать, что проблема математизации науки относится к числу важнейших проблем методологии науки, требующих дальнейшего исследования.

13. Формирование системы «фундаментальные исследования - прикладные исследования - разработки»

На первый взгляд отличие между фундаментальными и прикладными исследованиями и соответствующими науками весьма просто. Фундаментальные исследования связаны с изучением новых явлений, эффектов и процессов, а также

с открытием новых законов, управляющих этими явлениями. Прикладные же исследования используют результаты фундаментальных исследований в интересах общества. Первые заняты чисто теоретическими и абстрактными исследованиями и нисколько не озабочены тем, насколько полезными могут быть их результаты для практики. Вторые заинтересованы только в практическом применении открытых фундаментальными отраслями наук законов, принципов и эффектов и не ставят перед собой каких-либо теоретических проблем. Такое резкое противопоставление фундаментальных исследований прикладным совершенно несостоятельно, ибо оно основывается па чисто внешнем их сопоставлении и выделяет только то, что чаще всего бросается в глаза. Подобная точка зрения вовсе не безобидна, так как она может породить представление о том, что, с одной стороны, фундаментальные исследования поискового характера являются совершенно непродуктивными ц практически бесполезными, с другой стороны, прикладные исследования не заслуживают внимания науки, так как ограничиваются чисто прагматическими целями.

Нетрудно понять, что как чисто утилитарный и прагматический подход к научной деятельности, при котором все внимание сосредоточивается на получении сиюминутных практических результатов, так и подход, сводящий цель науки к разрешению интеллектуальных загадок о мире [3], к получению чистого знания, являются одинаково неприемлемыми с точки зрения интересов развития самой науки. Эти две стороны научной деятельности не только предполагают, но и дополняют друг друга. Познание глубоких законов объективного мира служит исходной основой для применения науки в практической деятельности, фундаментом научно-технического прогресса. В свою очередь, исследования в прикладных областях способствуют выдвижению фундаментальных проблем, а нередко и приводят к открытиям фундаментального характера. Учитывая это обстоятельство, следует скорее говорить о фундаментальных и прикладных исследованиях в рамках соответствующей науки, чем о различии самих наук по их фундаментальному и прикладному характеру. По-видимому, реальный смысл такого противопоставления сводится к констатации того факта, что разные науки по-разному связаны с практикой и производством: одни связаны с ней ближе, другие — более отдаленно, причем эта связь не остается неизменной в ходе развития познания и общественной практики. Само разделение исследований на фундаментальные и прикладные возникло с расширением масштабов научной деятельности и все возрастающим применением ее результатов на практике. Оно является неизбежным следствием разделения труда в сфере науки, когда углубляющийся процесс ее дифференциации и сложный, опосредованный характер связи теории с практикой постепенно привели ученых к концентрации своих усилий либо на фундаментальных исследованиях поискового характера, либо на выявлении принципов и методов применения новых научных идей на практике.

В конечном итоге такой процесс является необходимым и прогрессивным в ходе развития науки, способствуя лучшему осуществлению ее функций. Наука как специфическая форма общественного сознания и общественный институт возникает и развивается для познания объективных законов реального мира

и его целенаправленного изменения, овладения стихийными силами природы и подчинения их воле человека. Конечно, человек стал использовать и подчинять вещества и силы природы задолго до возникновения науки. Но масштабы его воздействия были крайне ограниченными, ибо в своих действиях он опирался на простые обобщения, наблюдения, традиции и рецепты. С возникновением науки практическая деятельность приобретает все более рациональный характер, ибо она начинает основываться не на голой эмпирии, а на знании объективных законов природы. Таким образом, с самого появления науки познание и действие, теория и ее практические приложения взаимно предполагают и дополняют друг друга. Но прогресс науки неизбежно приводит ко все большей специализации и разделению труда в сфере исследовательской деятельности: даже в рамках фундаментальных исследований теоретическая деятельность начинает отделяться от экспериментальной и возникают профессии теоретика и экспериментатора. Более того, сама экспериментальная деятельность в наиболее развитых науках, таких, как физика, все больше приобретает промышленный характер. Достаточно напомнить, что современные ускорители элементарных частиц или установки для термоядерных исследований, по сути дела, мало чем отличаются от заводов. Поскольку основная цель эксперимента состоит в проверке тех или иных гипотез или теорий, то иногда экспериментальные исследования считают чем-то второстепенным по отношению к теоретической деятельности, хотя в опытных науках никакой прогресс невозможен без эксперимента.

Отделение чисто теоретической деятельности от экспериментальной и прикладной находит свое проявление также в том, что в целом ряде ведущих отраслей современного естествознания постепенно происходит отпочковывание таких их разделов и дисциплин, которые ближе связаны с техникой (техническая физика, прикладная химия и так далее). Все увеличивающиеся масштабы применения достижений этих наук приводят также к появлению совершенно новых отраслей технического знания (космическая техника, атомная энергетика, радиоэлектроника и так далее). Примечательно, что в самом техническом знании происходит аналогичный процесс выделения таких направлений и областей исследования, которые с полным правом можно назвать фундаментальными. Многие результаты основополагающих технических наук, таких, как прикладная механика, сопротивление материалов, электротехника, радиоэлектроника и другие, не могут использоваться непосредственно на практике, ибо они оперируют идеальными объектами и теоретическими схемами. Стало быть, теперь нельзя уже рассматривать технические науки просто как связывающее звено между естествознанием и производством.

Решение сложных и комплексных технических проблем также способствует постановке новых задач для теоретического исследования и стимулирует появление ряда новых отраслей и целых направлений фундаментального исследования. Достаточно напомнить хотя бы о кибернетике и близких к ней теориях информации, алгоритмов, моделирования и другие. Все это показывает, что между фундаментальными и прикладными исследованиями существует тесная взаимосвязь и взаимодействие. Поэтому сами ученые обычно подчеркивают относительный и условный характер этого деления. П. Л. Капица, например, признает, что деле-

ние науки на базисную (познавательную) и прикладную «во многом следует считать искусственным, и трудно указать точку, где кончается базисная и начинается прикладная наука». А. Ю. Ишлинский подчеркивает, что «часто самые отвлеченные науки вносят крупный вклад в развитие общества… и наоборот, используя науку в различных областях знания, мы сталкиваемся с явлениями, которые приводят к важным открытиям фундаментального характера».

Г. Н. Флеров и В. С. Барашенков считают «более целесообразным относить к фундаментальным такие исследования, которые посвящены изучению законов природы, лежащих в основе других известных нам закономерностей». Такой подход действительно дает возможность понять, какие исследования в данный период времени являются фундаментальными. С другой стороны, рассматриваемые в исторической перспективе, они с развитием и углублением познания в соответствующей отрасли науки неизбежно утрачивают фундаментальный характер, ибо то, что считалось фундаментальным законом раньше, становится производным впоследствии. Это, конечно, вовсе но означает того, что всякое нефундаментальное исследование автоматически превращается в прикладное. Прикладные исследования, будучи нефундаментальными по своему характеру, преследуют решение совершенно определенных практических целей. Поэтому они не могут опираться на слишком абстрактные понятия и идеальные модели. Хотя технические науки значительно ближе связаны с производством, тем не менее многие их положения и результаты находят применение не непосредственно, а через инженерные разработки и проектирование. Вследствие этого взаимосвязь между наукой и производством приобретает весьма сложный, опосредованный характер.

Если представить эту связь схематически, то на самом высоком уровне абстрактности следует поместить базисные отрасли теоретического естествознания, которые заняты поисковыми исследованиями фундаментального характера. Законы, принципы и теории этих наук отличаются наибольшей общностью в изучаемой области реального мира. В механике, например, такими законами будут известные законы движения точечных масс Ньютона, в электродинамике — уравнения Максвелла, в классической генетике — законы Менделя и так далее. Ниже располагаются теории и научные дисциплины, исследующие специфические формы проявления общих законов, скажем, теория колебаний или удара в механике, теория цепей или волноводов в электродинамике и так далее. Еще ниже располагаются такие теории и дисциплины, которые принято относить к прикладным отраслям соответствующих наук, например техническая физика, прикладная механика, прикладная химия и технология, и так далее.

В структуре технического знания можно выделить, в свою очередь, такие общетехнические дисциплины и теории, которые по уровню абстрактности понятийного аппарата и используемых моделей мало чем отличаются от частных теорий и дисциплин соответствующей базисной науки. Так, например, теоретические основы электротехники, электроники или радиотехники, хотя и опираются на законы и принципы электродинамики, по отношению к другим техническим дисциплинам, таким, как теория электропривода или электрических машин, теория антенн и передающих устройств, и так далее, выступают как фундаментальные отрасли технического знания. Соответственно этому

мы можем выделить в технической науке поисковые, фундаментальные исследования, прикладные исследования и собственно инженерные и проектные разработки, в которых научно-техническая мысль получает свою реализацию в виде чертежей, проектов, моделей, схем, расчетов.

14. О критериях различия фундаментальных и прикладных исследований

Очень часто фундаментальные исследования, а нередко и науки характеризуют как теоретические, а прикладные — как практические исследования. Иногда тот же взгляд выражают в несколько видоизмененной форме: фундаментальные исследования ставят своей целью открытие объективных законов реального мира, а прикладные ищут способы их использования на практике. Но что означает такое использование? Очевидно, что абстрактные теоретические законы, относящиеся к ненаблюдаемым на опыте свойствам и величинам, нельзя непосредственно использовать на практике. С другой стороны, прикладные исследования в рамках науки не могут быть простым описанием эмпирических действий, совершаемых в сфере производства и общественной жизни, ибо в таком случае они лишаются своего научного статуса. В самом деле, если наука не ставит своей задачей открытие закономерностей в своей специфической области исследования и не стремится к построению теорий, то она не может считаться подлинной наукой [6]. Конечно, в развитии науки существуют этапы, когда она вынуждена заниматься преимущественно накоплением и систематизацией эмпирического материала. Но даже на этой стадии ученые стремятся обобщить имеющийся материал и установить простейшие эмпирические законы. Очевидно, что когда речь идет о противопоставлении фундаментальных наук прикладным, то не имеют в виду их сравнение по уровню развития. Это совершенно особый аспект рассмотрения, который характеризует степень теоретической зрелости науки, глубину раскрытия ей сущности исследуемых явлений. Каждая наука неизбежно проходит разные этапы своего развития.

Если же теоретический характер присущ только фундаментальным исследованиям, то прикладные исследования и науки превращаются в простое орудие для обслуживания запросов производства и экономики, своего рода описание рациональных действий с вещами и явлениями, встречающимися на практике. Разумеется, мы не отрицаем возможности научного подхода и к таким явлениям, и, по-видимому, праксеология Т. Котарбиньского была задумана именно для этой цели. Нам хотелось только подчеркнуть, что любая наука, на каком бы уровне развития она ни находилась и какие бы задачи ни ставила перед собой, всегда имеет дело с определенной системой понятий, законов и теоретических представлений.

Таким образом, отличие между фундаментальными и прикладными исследованиями следует искать в характере тех понятий, законов и теорий, которые они стремятся установить. Конечно, гносеологический критерий при всей его важности недостаточен для выявления их специфики. Фундаментальность нельзя сводить к одному критерию, ибо она определяется и целями познания, и социальной обусловленностью проблем, и возможностью использования знаний на практике, и воздействием науки на культуру и мировоззрение. Мы, однако,

ограничимся здесь рассмотрением социальных и гносеологических критериев, поскольку они представляются нам решающими.

Нередко коренное отличие прикладных исследований и наук от фундаментальных видят в том, что первые связаны с интересами людей, тогда как вторые изучают объективные законы, существующие независимо от воли, желания и целей человека. Поскольку же целенаправленная деятельность связана с субъектом, то прикладные науки иногда характеризуют как науки, в которых существенную роль играет именно субъективный фактор. Б. М. Кедров подробно анализирует различные толкования терминов «фундаментальные» и «прикладные науки» и приходит к следующему выводу. «Прикладные науки как раз ставят своей задачей нахождение средств для достижения намечаемых человеком целей. Субъективный момент поэтому играет в них существенную, можно сказать, первостепенную роль» [7]. В фундаментальных науках субъективный момент, напротив, «элиминируется в той степени, в какой естествознание и общественные науки ставят перед собой задачу познать законы внешнего мира совершенно независимо от того, какими бы их хотел видеть человек и как бы он хотел их использовать в своих интересах» [8].

Такое противопоставление прикладных наук фундаментальным может создать впечатление, что законы и теории прикладных наук в значительной мере субъективны, так как они существенно связаны с целями человека. С другой стороны, может показаться, что в фундаментальных науках исследователь не преследует никакой цели. Очевидно, автор имел в виду совершенно другое. Поскольку наука есть одна из развитых форм целесообразной деятельности, то цели и в первом, и во втором случае всегда существуют. Но характер этих целей совершенно различный. Если цель прикладных исследований состоит в том, чтобы найти конкретные законы, опираясь на которые можно было бы эффективно решать практические задачи, то фундаментальные исследования предпринимаются для решения теоретических проблем. Эти проблемы могут возникать, например, в результате обнаружения несоответствия старой теории вновь открытым экспериментальным фактам или выявления противоречий в рамках самой теории, свидетельством чему могут служить парадоксы или формально-логические противоречия.

Какие бы, однако, проблемы ни решали различные науки, все они стремятся объяснить факты и явления известные и предсказать неизвестные. Именно объяснительная и прогностическая функции науки дают возможность использовать ее для руководства практической деятельностью, преобразования природной и социальной среды. В этой общности основных функций проявляется связь между фундаментальными и прикладными исследованиями. С другой стороны, здесь же можно установить различие между ними.

Фундаментальные законы и теории раскрывают наиболее глубокие, существенные связи между явлениями, внутренний механизм происходящих при этом процессов. Именно поэтому они служат основой или фундаментом для прикладных исследований. По этой причине глубина объяснения и точность предсказания, осуществляемые с помощью законов и теорий фундаментальных наук, значительно превосходят возможности прикладных наук. Нередко поэтому законы

прикладных наук рассматривают как феноменологические [9], а фундаментальных — как теоретические. В то время как первые описывают законы функционирования предметов и явлений, вторые вскрывают внутренний механизм происходящих при этом процессов. Так, например, закон теплового расширения тел устанавливает необходимую связь между нагреванием тела и увеличением его размеров, а закон Бойля — Мариотта — зависимость объема газа от давления. Но эти законы не объясняют, почему и как происходит увеличение размеров тела с его нагреванием или уменьшение объема газа с увеличением давления. Такое объяснение, как известно, было достигнуто с помощью законов, которые лежат в основе молекулярно-кинетической теории.

Феноменологические законы имеют дело со свойствами и величинами, непосредственно наблюдаемыми на опыте. Очень часто эти величины удается измерить и сами законы выразить на точном языке математики. Но это не значит, что такие законы сводятся к чистому описанию явлений. В них также используются абстракции и идеализации. Следует напомнить, что закон Бойля — Мариотта выполняется для так называемых идеальных газов. И все же уровень абстрагирования и идеализации в феноменологических законах значительно ниже, чем в теоретических. Именно поэтому феноменологические законы и теории преобладают в прикладных науках, которые стоят ближе к конкретной действительности. Но это не исключает существования таких законов в науках фундаментальных, в особенности если рассматривать их в процессе развития. Хорошо известно, что основные законы термодинамики, по существу, являются феноменологическими законами, хотя в эпоху паровых машин они служили фундаментом всех прикладных исследований в своей области. Однако стремление к более полному и глубокому раскрытию сущности изучаемых наукой процессов приводит к открытию теоретических законов, с помощью которых и достигается объяснение феноменологических законов. Понятия и законы статистической механики в рассмотренном нами примере послужили основой для более глубокого понимания и обоснования термодинамических законов.

По точности предсказания феноменологические и теоретические законы также сильно отличаются друг от друга. Эта точность, в свою очередь, определяется глубиной раскрытия существенных связей исследуемых явлений. Если, например, сравнить закон всемирного тяготения и теорию гравитации Ньютона с феноменологическими законами движения планет Кеплера, то станет ясным приближенный характер последних. В свою очередь, теория тяготения Эйнштейна установила границы применимости теории Ньютона [10]. Поскольку каждая из последующих теорий будет содержать в качестве предельного случая предыдущую, то и точность предсказаний первых, выше, чем вторых. На практике обычно интересуются лишь приближенными результатами и поэтому чаще обращаются к феноменологическим законам, чем к теоретическим. Вот почему в большинстве технических наук и инженерных расчетов пользуются геометрией Евклида и классической механикой Ньютона и не применяют ни неевклидову геометрию, ни теорию относительности Эйнштейна. Впрочем, когда возникает в этом практическая необходимость, например при конструировании ускорителей

для элементарных частиц, обязательно учитываются также релятивистские эффекты и в связи с этим используются результаты теории относительности.

Отличие фундаментальных наук от прикладных находит свое выражение не только в глубине раскрытия сущности исследуемых явлений, но и в широте применения их законов и теорий. Законы, используемые в прикладных науках, по необходимости носят ограниченный характер, так как они устанавливают связи между свойствами и величинами, измеряемыми на практике. В отличие от этого теоретические законы содержат величины, которые могут быть определены косвенным путем, а именно через сложную цепь логических выводов, вытекающих из теории.

Всякий теоретический закон, по сути дела, представляет обобщение феноменологического закона, хотя такое обобщение и нельзя получить чисто логическим путем. Для этого обычно прибегают к помощи гипотезы. Если из этой гипотезы в качестве следствия вытекают более частные законы, в том числе хорошо проверенные на опыте феноменологические, тогда существуют веские основания считать ее теоретическим законом. В конечном итоге область применения закона и теории зависит от глубины их содержания. Чем глубже закон или теория, тем шире сфера их применения. Таким образом, с гносеологической точки зрения отличие фундаментальных наук от прикладных выражается в разной степени проникновения в сущность изучаемых ими явлений. Если прикладные науки раскрывают сущность первого порядка, то фундаментальные науки выражают более глубокую сущность второго порядка.

Это гносеологическое отличие находит свое проявление в характере и уровне абстракций, используемых в фундаментальных и прикладных науках. Б. М. Кедров, отмечая указанное обстоятельство, считает возможным привлечь для решения вопроса о соотношении этих наук метод восхождения от абстрактного к конкретному, развитый К. Марксом. «Переход от *чисто* научного, фундаментального исследования к выяснению возможности практического приложения полученных теоретических знаний, — пишет он, — есть переход от абстрактного к конкретному». Здесь неясно, однако, что имеет в виду автор, когда говорит о конкретном. Маркс, характеризуя свой метод восхождения от абстрактного к конкретному, различает, во-первых, конкретную действительность как исходный пункт созерцания и представления и, во-вторых, конкретное знание, представляющее воспроизведение конкретной действительности в мышлении.

«Конкретное, — подчеркивал он, — потому конкретно, что оно есть синтез многих определений, следовательно, единство многообразного. В мышлении оно поэтому выступает как процесс синтеза, как результат, а не как исходный пункт, хотя оно представляет собой действительный исходный пункт созерцания и представления. На первом пути полное представление испаряется до степени абстрактного определения, на втором пути абстрактные определения ведут к воспроизведению конкретного посредством мышления».

Первый путь, который Маркс называет аналитической стадией исследования, приводит к образованию различных отдельных абстракций. На втором пути осуществляется синтез этих абстракций и происходит восхождение от абстрактного к конкретному знанию. С точки зрения этого метода фундаментальные науки ма-

ло чем отличаются от прикладных. Любая наука представляет определенную систему понятий, законов, теорий и поэтому дает нам конкретное знание об изучаемой области действительности.

Однако абстракции, встречающиеся в фундаментальных и прикладных исследованиях, значительно отличаются друг от друга как по своему уровню, так и по сфере применения. Раскрывая более глубокую сущность явлений, фундаментальные науки должны использовать более сильные абстракции, чем прикладные. Поэтому первые гораздо труднее применить на практике, чем вторые. Можно даже сказать, что прикладные науки есть тот канал, через который главным образом осуществляется связь фундаментальных наук с практикой.

Любой процесс применения или проверки теории на практике связан с заменой абстрактных объектов их конкретными представителями. С. А. Яновская называет такую замену исключением абстракций, так как «научный смысл имеют только абстракции, которые отражают какое-либо существо дела и поэтому заведомо приложимы к чему-нибудь, то есть которые можно исключать». В самом деле, нельзя производить никаких реальных экспериментов ни с геометрическими точками, ни с материальными точками физики и подобными им идеальными объектами, поскольку таких тел нет в природе. Именно поэтому применение теории требует конкретизации и спецификации ее абстракций.

Решение вопроса о том, как исключить те или иные абстракции, зависит от конкретных условий и целей практического применения теории. При этом вовсе нет необходимости, чтобы вместо абстрактных объектов рассматривались те или иные физические предметы, свойства которых приближенно отображаются в этих абстракциях. Чаще всего абстрактные объекты более высокого порядка и соответствующие им теории находят интерпретацию через абстракции и теории более низкого порядка. Скажем, для практического применения геометрии Евклида мы должны дать некоторую физическую интерпретацию ее исходным абстрактным понятиям: точке, прямой и плоскости. Но в результате такой интерпретации геометрия из части математики превращается в часть физики.

Аналогичным образом обстоит дело с отношением понятий фундаментального характера к прикладным. Более абстрактные понятия следует связывать с менее абстрактными и конкретными понятиями. Соответственно этому общие законы, характеризующие поведение абстрактных объектов, станут специфическими законами функционирования более конкретных объектов, которые служат предметом прикладных исследований. Конечно, фундаментальная наука при этом не превращается в прикладную. Речь идет об их взаимосвязи, об использовании законов и теорий фундаментального характера в прикладных исследованиях посредством их интерпретации и спецификации.

Таким образом, когда заходит речь о переходе от абстрактного к конкретному при сопоставлении фундаментальных и прикладных исследований, то фактически имеют в виду спецификацию и конкретизацию абстракций, переход от абстрактных объектов более высокого уровня к объектам более низкого уровня. Для того чтобы познать явления, мы должны ввести абстрактные объекты более высокого уровня, но чтобы применить теории на практике мы обязаны ис-

ключить абстракции более высокого уровня. Конечно, в прикладных исследованиях имеют дело не только с понятиями, которые конкретизируют абстрактные понятия фундаментального характера, но и со своими специфическими понятиями, так же как и законами и принципами.

Сравнивая различные теории, научные дисциплины и целые отрасли научного знания, мы должны, во-первых, выявить объекты их исследования (онтологический аспект), во-вторых, — глубину постижения ими сущности изучаемых явлений (гносеологический аспект), в-третьих, — возможность использования одной теории для разработки и проверки другой (методологический аспект) и, наконец, в-четвертых, — пути практического использования более абстрактных теорий и дисциплин через менее абстрактные, стоящие ближе к действительности (прагматический аспект).

С этой общей точки зрения фундаментальные исследования будут отличаться от прикладных по своему объекту тем, что они охватывают более широкий круг явлений, независимо от того, могут ли эти явления быть использованы в практических целях или нет. Ясно, что такая широта охвата требует и более глубокого раскрытия сущности явлений, использования более сильных абстракций и идеализации. Преимущество законов и теорий фундаментального характера состоит именно в их общности и глубине, но связанная с этим абстрактность препятствует непосредственному применению их на практике. Вот почему становятся необходимыми прикладные исследования и теории, которые через инженерные разработки и проекты способствуют внедрению новых научных идей в производство.

15. Место технических наук в системе научного знания

Связь между фундаментальными и прикладными исследованиями, с одной стороны, и практикой и производством — с другой, имеет, как мы видели, довольно сложный и зачастую опосредованный характер. Прежде всего прикладные исследования существуют в каждой базисной науке. Такие приложения имеются не только в физике, химии, биологии и других отраслях естествознания, но и в социальных и гуманитарных науках. Так, например, наряду с политической экономией, изучающей общие законы экономического развития общества, есть целый ряд прикладных наук, исследующих специфические экономические закономерности, относящиеся к организации производства в целом и отдельных его отраслей, размещению производительных сил, распределению ресурсов и так далее. Инженерная психология может служить примером прикладной дисциплины в области гуманитарных наук. Даже в такой абстрактной науке, как математика, стало общепринятым говорить о чисто теоретических и прикладных исследованиях. Все это показывает, что теоретический и прикладной аспекты присущи каждой достаточно развитой отрасли естественных или общественных наук. Есть веские основания говорить также о прикладных исследованиях в науках, изучающих мышление, свидетельством

чего могут служить некоторые разделы психологии, связанные с обучением и педагогикой.

Фундаментальные отрасли наук могут связываться с практикой не только и не столько через прикладные исследования в собственной области, сколько через особые группы наук, наиболее близко связанных с запросами производства, экономики и других отраслей народного хозяйства и культуры. К числу таких наук относятся прежде всего технические и инженерные дисциплины, опирающиеся на результаты фундаментальных и прикладных исследований в области математики, механики, физики, химии, геологии и других наук. Сельскохозяйственные и медицинские науки связывают биологию с производством и здравоохранением. Политическая экономия связана с народным хозяйством через прикладные экономические дисциплины, изучающие конкретные стороны и особенности функционирования экономического базиса общества.

Обращаясь теперь к определению места и специфики технических наук в рамках научного знания, мы должны с самого начала подчеркнуть, что правильное представление об этом можно получить только тогда, когда эти науки рассматриваются, во-первых, в общей системе, связывающей фундаментальные отрасли знания с. производством. Во-вторых, в самом техническом знании следует различать поисковые, фундаментальные исследования и общетехнические науки, а также науки, разрабатывающие более частные и конкретные проблемы, на результаты которых непосредственно опираются инженерное проектирование и расчеты. Конечно, технические науки являются прикладными по своим целям и методам исследования, ценностной ориентации и назначению. Хотя они, как и любые другие науки, непосредственно работают не с техническими объектами и устройствами, а с идеализированными моделями, тем не менее эти модели строятся с учетом специфических особенностей инженерных объектов. Мы уже не говорим о том, что большинство технических дисциплин содержит методы расчета и проектирования технических устройств и конструкций. Первоначально технические науки возникают для решения чисто прикладных задач на основе применения результатов таких фундаментальных наук, как механика, гидравлика, физика, химия и так далее. Впоследствии процесс развития усложняется. С одной стороны, в рамках самих фундаментальных наук все больше обособляются специальные прикладные исследования, с другой — в системе технического знания выделяются теоретические исследования и дисциплины, имеющие фундаментальный характер для различных отраслей технических наук.

В настоящее время связь между техническими науками и фундаментальными отраслями естествознания опосредуется через прикладные исследования в самом естествознании. Именно поэтому можно говорить о прикладных науках в более широком смысле, то есть включающем не только техническое знание, но и те отрасли естественных и общественных наук, которые ориентируются на практическое использование результатов фундаментальных исследований.

В чем же тогда состоит различие между техническими науками и прикладными отраслями фундаментальных наук? Как нетрудно понять из предыдущего изложения, такое отличие касается прежде всего характера теорий, принципов и закономерностей, с которыми имеют дело эти науки. Конечно,

определяющим здесь является различие целей, ориентации и методов. В то время как прикладные отрасли естествознания стремятся найти общие принципы и методы использования результатов фундаментальных исследований, технические науки нацелены на изучение конкретных способов применения этих принципов для конструирования машин, механизмов и других технических устройств, а также усовершенствования и создания новой технологии производства. Разумеется, технические науки сами по себе не занимаются проектированием, конструированием и расчетом машин и технических устройств. Этим занимаются инженеры, но они делают это, опираясь на принципы, схемы и методы расчета, которые разрабатываются в технических науках.

До сих пор, говоря о техническом знании, мы рассматривали его в основном по направленности результатов исследования и связи его с производством и практикой. Однако для выявления специфики технических наук и определения их места в общей системе научного знания необходимо ближе ознакомиться с объектом и методами их исследования.

Поскольку технические науки исторически сформировались в результате развития фундаментальных отраслей естествознания как средство приложения их идей на практике, то обычно по объекту исследования их сравнивают с естественными науками. Объектом исследования естествознания в самом широком смысле являются природа, различные формы ее движения и закономерности, которые присущи этим формам. Технические науки имеют дело главным образом с искусственно созданными предметами, конструкциями и устройствами, то есть с той частью природы, которая благодаря целесообразной практической деятельности стала «очеловеченной». Но это, конечно, вовсе не означает, что законы природы перестают действовать в технических устройствах. Будучи частью природы, последние также подчиняются этим законам. Вся техника основывается на сознательном использовании объективных законов природы.

Существенное различие здесь состоит в том, что если в природе эти законы действуют безотносительно к целям и намерениям человека и нередко приводят к разрушениям и стихийным бедствиям, то в технике человек стремится сознательно использовать их в интересах общества. Конечно, люди не могут отменить или преобразовать законы природы, но они могут, изменив условия протекания закона, добиться их. действия в желательном направлении. Изменение условий действия законов служит важнейшим принципом целесообразной деятельности человека, подчинения сил и веществ природы, необходимой предпосылкой всей технической цивилизации. Использование энергии воды, ветра, пара, электричества, атомного ядра, и так далее — становится возможным именно благодаря машинам и техническим устройствам, в которых посредством изменения условий действия соответствующих законов удается поставить эти силы природы на службу человеку.

Таким образом, объектом исследования технических наук служат искусственно созданные предметы, конструкции и устройства, которые основываются на объективных законах природы и служат для удовлетворения определенных практических потребностей общества. Конечно, противопоставление искусственного естественному при сравнении объектов исследования техники

и естествознания носит относительный характер, так как искусственно созданная «природа» подчиняется объективным законам, открываемым естествознанием. Но в ограниченных рамках такое противопоставление лучше оттеняет различие предметов, задач и целей исследования естествознания и технических наук.

Различие в объектах исследования сказывается на методах, применяемых естественными и техническими науками. Те и другие науки используют как эмпирические, так и теоретические методы исследования. Однако характер и глубина понятий и законов этих наук, приемы и средства эмпирического исследования во многом отличаются друг от друга. Мы уже отмечали, что идеальные модели, с которыми работают технические науки, ближе связаны с инженерными объектами, они более конкретны и осязаемы. В. Г. Горохов и В. М. Розин считают специфичным для технических наук именно «изоморфизм строения идеальных объектов строению инженерных объектов, моделируемых с помощью знаний данной технической науки» [14]. Следует также отметить, что прикладные технические дисциплины широко прибегают и к построению материальных моделей как для проверки будущих сооружений и устройств, так и для расчетов, в особенности в тех случаях, когда нет достаточно разработанной теории соответствующих процессов.

Специфика технических наук, как мы видели, в значительной мере определяется направленностью и ориентацией исследований на решение практических проблем. Поэтому зачастую все технические исследования безоговорочно относят к прикладным отраслям науки». Но такое категорическое утверждение уже не отвечает современному уровню развития технического знания. В рамках самого этого знания можно выделить науки, которые служат в качестве теоретического фундамента для специальных технических дисциплин и инженерных разработок. Поэтому нередко такие науки называют общетехническими или теоретическими. Так, например, теоретическая электротехника служит тем фундаментом, на который опираются более специальные технические дисциплины вроде теорий электропривода, электрических машин, электроматериаловедения, и так далее. То же самое можно сказать о теории сопротивления материалов, служащей основой для расчета прочности деталей машин, узлов и конструкций. Методы такого расчета изучаются в соответствующих специальных технических дисциплинах (детали машин, расчет конструкций и сооружений и так далее).

Опираясь на эти соображения, мы можем говорить о фундаментальных, поисковых исследованиях в рамках самих технических наук. Критерий фундаментальности часто связывают именно со свободным поиском новых законов, принципов и идей. Соответственно этому к фундаментальным относят исследования, предпринимаемые для развития самой науки, вытекающие из внутренней логики движения ее понятий и теорий. Естественно, что понятия и теории такой науки должны служить основой для разработки теорий более специальных наук. С этой точки зрения исследования в области теоретических основ электротехники или сопротивления материалов можно отнести к числу фундаментальных, если мы будем помнить, что эта фундаментальность определяется по отношению к специальным прикладным техническим исследованиям.

Следует также обратить внимание на то, что технические науки, в особенности связанные с созданием новейших установок, машин и механизмов, как правило, опираются на результаты прикладных исследований во многих отраслях фундаментальных наук и общетехнических дисциплин. Космическая техника, ядерная энергетика, современные приборы и устройства автоматического контроля и регулирования, телеуправление и многие другие отрасли новой техники обязаны своим развитием достижениям целого комплекса фундаментальных и прикладных наук. Естественно поэтому, что специальные технические теории и дисциплины, которые ориентированы на создание такой техники, должны использовать результаты исследований целого ряда наук.

В этом отношении технические науки во многом отличаются от прикладных отраслей современного естествознания. Последние имеют дело с использованием результатов какой-либо определенной фундаментальной науки. Техническая физика, например, ищет пути и средства применения открытых физикой общих закономерностей, управляющих физическими явлениями того или иного рода. Прикладная химия стремится найти способы использования вновь обнаруженных в теоретической химии закономерностей в химической технологии и так далее. Для производства же материалов с заданными физико-химическими свойствами или при создании атомных реакторов приходится опираться на результаты прикладных исследований не только в физике и химии, но и в других отраслях естествознания и технических наук. Конечно, при этом необходимо различать техническое знание и методы исследования от инженерного знания и разработок. Именно через них, как мы видели, и осуществляется непосредственная связь технических наук с производством.

В заключение следует отметить, что в настоящей статье мы не пытались рассматривать специфику технических наук во всем многообразии их связей с материальным производством, экономическим базисом, естественными и общественными науками и культурой в целом. Наша задача состояла лишь в том, чтобы, исходя из предлагаемого решения проблемы соотношения фундаментальных и прикладных наук, определить место технических наук в общей системе научного знания.

16. Компьютеризация инженерной деятельности. Развитие информационных технологий и автоматизация проектирования

Инженерная деятельность в современных условиях тесно связана с использованием персональных электронных вычислительных машин (ПЭВМ) и микропроцессоров. В последние годы в инженерной практике вычислительная техника широко применяется для выполнения расчетов, автоматизации проектирования, организации и планирования экспериментальных исследований, для обработки результатов испытания машин, механизмов, аппаратов и для многих других целей. В настоящее время инженеры любой специальности должны приобрести в вузе умения и навыки решения производственных и научных задач с помощью ЭВМ. С этой целью в учебные планы всех инженерных специальностей введены дисци-

плины, обеспечивающие углубленное изучение математики, программирования, вычислительной техники, новых информационных технологий.

Сейчас обучение в технических вузах поставлено таким образом, что студенты с первого курса пользуются персональными электронными вычислительными машинами. Если раньше своего рода символом инженерного труда была логарифмическая линейка, то теперь все большее и большее количество студентов имеют в своем личном пользовании ПЭВМ.

Термин САПР "Система автоматического проектирования" (в английской нотации CAD) появился в конце пятидесятых годов, когда Д.Т.Росс начал работать над одноименным проектом в Массачусетском Технологическом Институте (MIT). Первые CAD - системы появились десять лет спустя.

За последние 25 лет CAD - системы, как системы геометрического моделирования, были значительно усовершенствованы: появились средства 3D- поверхностного и твердотельного моделирования, параметрического конструирования, был улучшен интерфейс.

Несмотря на все эти усовершенствования, касающиеся, в основном, геометрических функций, CAD - системы оказывают конструктору слабую помощь с точки зрения ВСЕГО процесса конструкторского проектирования. Они обеспечивают описание геометрических форм и рутинные операции, такие как образмеривание, генерация спецификаций и т.п. Эти ограничения и чисто геометрический интерфейс оставляет методологию конструкторской работы такой же, какой она была при использовании чертежной доски. Развитие получили также системы автоматизации проектирования технологических процессов (CAPP) и программирования изготовления деталей на станках с ЧПУ (CAM). Однако, подобно CAD - системам, эти усовершенствования не затронули ПРОЦЕСС проектирования: CAPP - системы могут генерировать технологические процессы, но только при условии предварительного специального описания изделия с помощью конструкторско-технологических элементов. CAM -системой может быть использована геометрическая модель CAD - системы, но все функции CAPP - системы (проектирование технологии обработки)- перекладываются на инженера.

Помимо проектирования, инженерная деятельность связана с инженерным бизнесом и менеджментом. Сюда, в частности, входят автоматизированные системы управления производством (АСУПр). Эти системы обычно развиваются без какой - либо интеграции с САПР.

Итак, до последнего времени концепция автоматизации труда конструктора базировалась на принципах геометрического моделирования и компьютерной графики. При этом, системы компьютеризации труда конструкторов, технологов, технологов - программистов, инженеров - менеджеров и производственных мастеров развивались автономно и Инженерные Знания - основа проектирования, оставались вне компьютера. Такое положение не удовлетворяет современным требованиям к автоматизации. Сейчас необходима комплексная компьютеризация инженерной деятельности на всех этапах жизненного цикла изделий, которая получила название CALS (Computer Aided Life-cycle System) технологии. Традиционные САПР с их геометрическим, а не информационным ядром, не могут явиться основой для создания таких систем. Сегодня каждое изделие в процессе своего

жизненного цикла должно представляться в компьютерной среде в виде иерархии информационных моделей, составляющих единое целое и имеющих соподчиненность .

В промышленном производстве давно царит жесткая конкуренция. Чтобы выжить в этих нелегких условиях предприятиям приходится как можно быстрее выпускать новые изделия, снижать их себестоимость и повышать качество. В этом им помогают современные системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие облегчить весь цикл разработки изделий — от выработки концепции до создания опытного образца и запуска его в производство. Тем самым значительно ускоряется процесс создания новой продукции без ущерба качеству. Поэтому сейчас без САПР не обходится ни одно конструкторское или промышленное предприятие. И хотя на долю указанных систем приходится лишь около 3% рынка ПО, они играют очень важную роль, поскольку помогают создавать товары, без которых невозможно представить нашу повседневную жизнь: автомобили, самолеты, бытовые приборы, промышленное оборудование и, следовательно, являются одной из движущих сил современной промышленности и мировой экономики. Термин «САПР для машиностроения» в нашей стране обычно используют в тех случаях, когда речь идет о пакетах программ для автоматизированного проектирования (CAD), подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE). Существуют САПР и для других областей — разработки электронных приборов, строительного проектирования. Идея автоматизировать проектирование зародилась в конце 50-х годов прошлого века, почти одновременно с появлением коммерческих компьютеров. А уже в начале 60-х ее воплотила компания General Motors в виде первой интерактивной графической системы подготовки производства. В 1971 г. создатель этой системы доктор Патрик Хэнретти (Patrick Hanratty) основал компанию Manufacturing and Consulting Services (MCS) и разработал методики, которые составили основу большинства современных САПР. Вскоре появились и другие CAD-пакеты. В то время они работали на мэйнфреймах и мини-компьютерах и стоили очень дорого — в среднем 90 тыс. долл. за одно рабочее место. Очевидно, что лишь крупные предприятия могли позволить себе идти в ногу со временем. Одновременно стали появляться и первые CAM-программы, позволяющие частично автоматизировать процесс производства с помощью программ для станков с ЧПУ, и CAE-продукты, предназначенные для анализа сложных конструкций. Так в 1971 г. компания MSC. Software выпустила систему структурного анализа MSC. Nastran, которая до сих пор занимает ведущее положение на рынке CAE. К середине 80-х годов системы САПР для машиностроения обрели форму, которая существует и сейчас. Но впереди их ждало много любопытных перемен. Появление микропроцессоров положило начало революционным преобразованиям в области аппаратного обеспечения — наступила эра персональных компьютеров. Но для трехмерного моделирования мощности первых ПК не хватало. Поэтому в 80-е годы поставщики «серьезных» средств автоматизации проектирования ориентировались на компьютеры на базе RISC-процессоров, работавшие под управлением ОС Unix, — они были намного дешевле мэйнфреймов и мини-машин. Параллельно снижалась стоимость ПО, и к началу 90-х средняя цена рабочего места снизилась до 20 тыс. долл. — САПР ста-

новились доступнее. Но в массовый продукт они превратились лишь тогда, когда компания Autodesk разработала свой знаменитый пакет AutoCAD стоимостью всего 1 тыс. долл. Правда, в те времена ПК были 16-разрядными, и их мощности хватало лишь для двумерных построений — черчения и создания эскизов. Однако это не помешало новинке иметь огромный успех у пользователей. . Наиболее бурное развитие САПР происходило в 90-х годах, когда Intel выпустила процессор Pentium Pro, а Microsoft — систему Windows NT. Тогда на поле вышли новые игроки «средней весовой категории», которые заполнили нишу между дорогими продуктами, обладающими множеством функций, и программами типа AutoCAD. В результате сложилось существующее и поныне деление САПР на три класса: тяжелый, средний и легкий. Такая классификация возникла исторически, и хотя уже давно идут разговоры о том, что грани между классами постепенно стираются, они продолжают существовать, так как системы по-прежнему различаются и по цене, и по функциональным возможностям. Следует добавить, что кроме универсальных САПР также выпускаются и различные специализированные продукты, например, для инженерного анализа, расчета трубопроводов, анализа литья металлов, проектирования металлоконструкций и множества других конкретных задач.

17. Влияние компьютеризации инженерной подготовки на мышление

Основными направлениями инженерной деятельности являются проектирование, изготовление и эксплуатация приборов, машин, строительных сооружений и других технических объектов. Широкое использование вычислительной техники во всех этих сферах деятельности современного инженера предъявляет к его профессиональной квалификации ряд дополнительных требований, заключающихся в овладении новыми информационными, в значительной мере формализованными технологиями инженерного труда. Однако сущность инженерной квалификации остается прежней и заключается не только и даже не столько во владении формализованными методами решения инженерных задач, сколько в развитой интуиции, так называемом инженерном чутье, опирающемся на знание фундаментальных физических свойств технических объектов и процессов и умение глубоко анализировать эти свойства. Такие профессиональные качества всегда ценились в инженере, а к настоящему времени их роль, в связи с широким внедрением информационных технологий в промышленности, в строительстве, на транспорте, еще более возросла. Чтобы строить адекватные математические модели, необходимо глубоко понимать физическую природу объектов моделирования. Чтобы принимать технически грамотные решения при работе с САПР или другими человеко-компьютерными комплексами, необходимо уметь правильно воспринимать и осмысливать результаты вычислений, учитывать трудно формализуемые факторы, всегда имеющиеся в инженерной деятельности.

Важную роль на протяжении всей учебы в техническом вузе играют многочисленные задания и учебные проекты с большим объемом вычислительной ра-

боты. Так, например, при подготовке инженера по самолетостроению трудоемкость 12 курсовых работ и проектов составляет 1300 ч, т.е. около 15% общего бюджета учебного времени студента [6]. Поэтому значительные усилия в области компьютеризации учебного процесса в техническом вузе направляются на автоматизацию трудоемких или, как их иногда называют, "рутинных" учебных работ. В ряде случаев эта автоматизация создает предпосылки для более глубокого изучения свойств технических объектов на математических моделях, проведения в учебном процессе параметрических исследований и оптимизации. Более того, развитие новых информационных технологий в некоторых инженерных дисциплинах достигло такого высокого уровня, что позволяет, как бы это ни звучало парадоксально, перенести акцент в обучении с освоения формализованных методов инженерного труда на углубленное изучение физических закономерностей. Так, появление и развитие в механике твердого деформированного тела метода конечных элементов, разработка на его основе универсальных программных комплексов, постепенно переходящих в разряд стандартных сертифицированных программных средств, поставляемых вместе с компьютерами, заставляет по-новому взглянуть на содержание таких классических и существенно формализованных инженерных дисциплин, как сопротивление материалов и строительная механика, перенести акцент в их изучении с многочисленных частных "формульных" методик расчета внутренних усилий в конструкциях на "физику" силового взаимодействия и общие закономерности.

Но при всей несомненной полезности автоматизация инженерного труда в учебных задачах не всегда приводит к повышению качества собственно инженерной подготовки. Студенты порой не получают в полном объеме даже тех знаний свойств технических объектов, которые им давало традиционное докомпьютерное обучение. К тому же относительная легкость получения результата с применением ЭВМ снижает интерес к самому результату. Так, целеустремленный поиск путем ряда проб оптимального или рационального решения в проектных задачах гораздо интересней и поучительней для будущего инженера, чем получение только одного оптимального проекта, который нельзя улучшить и не с чем сравнить.

Плохую услугу инженерной подготовке иногда оказывает и скрытность вычислительных процессов, выполняемых на ЭВМ. Многие вычисления, которые мы нередко объявляем рутинной работой, обладают большим обучающим эффектом, так как позволяют проследить и понять связь значений варьируемых переменных технического объекта с его характеристиками. Именно это обстоятельство и является в ряде случаев причиной осторожного отношения преподавателей инженерных дисциплин к использованию компьютеров в учебном процессе. Опытные инженеры высказывают опасение, что компьютеризация обучения может негативно повлиять на развитие таких важных инженерных качеств, как интуиция, конструкторское мышление, способность к глубокому анализу свойств технических объектов и процессов. Традиционные же методики развития этих инженерных качеств, основанные на учебных расчетах и проектировании без привлечения ЭВМ, в силу недостаточной интенсивности и малой престижности, уже не удовлетворяют современным требованиям.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что, наряду с освоением будущими инженерами новых информационных технологий, в ходе компьютеризации обучения необходимо не только сохранить, но и с помощью компьютерных средств усилить инженерную подготовку в конкретной предметной области, опирающуюся на профессиональную интуицию, знание и понимание фундаментальных физических принципов построения и функционирования технических объектов и процессов. Очевидно, что в решении этой задачи важная роль принадлежит компьютерной графике. Не случайно же говорят, что инженер мыслит образами.

Однако в разработке инженерных компьютерных систем, в том числе и учебного назначения, обычно имеет место "левополушарный крен". Явление это не такое уж безобидное. Опасность чрезмерной компьютеризации видится не в том, что компьютеры вытеснят человека из сферы интеллектуальной деятельности, а в том, что человек, все более втягиваясь во взаимодействие с ЭВМ, станет мыслить как машина [7]. Негативное влияние компьютеризации инженерной подготовки, о котором говорилось выше, во многом объясняется слабым воздействием используемых компьютерных систем на интуитивный, образный механизм мышления. В связи с этим четкое выделение неявных, подсознательных компонент знания позволяет также четко ставить задачу их освоения, формулировать соответствующие требования к методам и средствам обучения, в том числе и к методам компьютерной графики.

18. Технические науки и прикладное естествознание

Технические науки нередко отождествляются с прикладным естествознанием. Однако в условиях современного научно-технического развития такое отождествление не соответствует действительности. Технические науки составляют особый класс научных (научно-технических) дисциплин, отличающихся от естественных, хотя между ними существует достаточно тесная связь. Технические науки возникали в качестве прикладных областей исследования естественных наук, используя, но и значительно видоизменяя заимствованные теоретические схемы, развивая исходное знание. Кроме того, это не был единственный способ их возникновения. Важную роль сыграла здесь математика. Нет оснований также считать одни науки более важными и значимыми, чем другие, особенно если нет ясности, что принять за точку отсчета.

По мнению Дж. Агасси, разделение науки на фундаментальную и прикладную по результатам исследования слишком тривиально. "Существует, конечно, пересечение, - писал он, - То исследование, которое известно как фундаментальное и которое является чистой наукой в ближайший отрезок времени, в конце концов применяется иными словами, фундаментальное исследование - это поиск некоторых законов природы с учетом использования этих законов". Это пересечение показывает, что данное разделение не является единственным, но все же, с точки зрения Агасси, оно является достаточным, только имеет иное основание. Он выделил в науке два рода проблем - дедуцируемости и применимости, и пока-

зал различия в работе ученых- прикладников и изобретателей. В прикладной науке, в отличие от "чистой", проблемой дедуцируемости является поиск начальных условий, которые вместе с данными теориями дают условия, уточняемые практическим рассмотрением. С его точки зрения, "изобретение - это теория, а не практическая деятельность, хотя и с практическим концом".

Строго говоря, термин "прикладная наука" является некорректным. Обозначая техническую науку в качестве прикладной, исходят обычно из противопоставления "чистой" и прикладной науки. Если цель 'чистой" науки - "знать", то прикладной - "делать". В этом случае прикладная наука рассматривается лишь как применение 'чистой" науки, которая открывает законы, достигая тем самым понимания и объяснения природы. Однако, такой подход не позволяет определить специфику технических наук, поскольку и естественные, и технические науки могут быть рассмотрены как с точки зрения выработки в них новых знаний, так и с позиции приложения этих знаний для решения каких-либо конкретных задач, в том числе - технических. Кроме того, естественные науки могут быть рассмотрены как сфера приложения - например, математики. Иными словами, разделение наук по сфере практического применения является относительным.

По мнению Марио Бунте, разделение наук на "чистые" и прикладные все же имеет определенный смысл: "эта линия должна быть проведена, если мы хотим объяснить различия в точке зрения и мотивации между исследователем, который ищет новый закон природы, и исследователем, который применяет известные законы к проектированию полезных приспособлений: тогда как первый хочет лучше понять вещи, последний желает через них усовершенствовать наше мастерство".

Как показывают конкретные исторические примеры, в реальной жизни очень трудно отделить использование научных знаний от их создания и развития. Как правило, инженеры сознательно или несознательно используют и формулируют общие утверждения или законы; математика выступает для них обычным аналитическим средством и языком. Инженеры постоянно выдвигают гипотезы и проектируют эксперименты для лабораторной или натурной проверки этих гипотез. Все это обычно маркируется и воспринимается как наука...

Инженеры используют не столько готовые научные знания, сколько научный метод. Кроме того, в самих технических науках постепенно формируется мощный слой фундаментальных исследований, теперь уже фундаментальные исследования с прикладными целями проводятся в интересах самой техники. Все это показывает условность проводимых границ между фундаментальными и прикладными исследованиями. Поэтому следует говорить о различии фундаментальных и прикладных исследований и в естественных, и в технических науках, а не о противопоставлении фундаментальных и прикладных наук, неизменно относя к первым из них - естественные, а ко вторым - технические науки.

Технические и естественные науки - равноправные партнеры

Сегодня все большее число философов техники придерживаются той, по нашему мнению, единственно верной точки зрения, что *технические и естественные науки должны рассматриваться как равноправные научные дисциплины.*Каждая техническая наука – это отдельная и относительно автономная дисци-

плина, обладающая рядом особенностей. Технические науки - часть науки и, хотя они не должны далеко отрываться от технической практики, не совпадают с ней. Техническая наука обслуживает технику, но является, прежде всего, наукой, т.е. направлена на получение объективного, поддающегося социальной трансляции знания.

Как показал Э. Лейтон, становление технических наук связано с широким движением в XIX веке - приданием инженерному знанию Формы, аналогичной науке. Среди результатов этой тенденции было формирование профессиональных обществ, подобных тем, которые существовали в науке, появление исследовательских журналов, создание исследовательских лабораторий и приспособление математической теории и экспериментальных методов науки к нуждам инженерии. Таким образом, инженеры XX века заимствовали не просто результаты научных исследований, но также методы и социальные институты научного сообщества. С помощью этих средств они смогли сами генерировать специфические, необходимые для их профессионального сообщества знания. "Современная техника включает ученых, которые "делают" технику и техников, которые работают как ученые". Их работа (если они работают, например, в университете и не выполняют практических обязанностей) является "чистой" наукой, хотя свои результаты они публикуют в соответствующих технических журналах. "Старая точка зрения, что фундаментальная наука генерирует все знания, которые техник затем применяет, просто не помогает в понимании особенностей современной техники".

Действительно, сегодня никого не удивит тот факт, что "целевые исследования, которые проводятся в промышленных лабораториях исследователями, получившими инженерное образование, приводят к важным научным прорывам или что ученые, работающие в университетах или академических центрах, приходят к важным технологическим открытиям". Поэтому технические науки должны в полной мере рассматриваться как самостоятельные научные дисциплины, наряду с общественными, естественными и математическими науками. Вместе с тем они существенно отличаются от последних по специфике своей связи с техникой.

Технические и естественные науки имеют одну и ту же предметную область инструментально измеримых явлений. Хотя они могут исследовать одни и те же объекты, но проводят исследование этих объектов различным образом.

Технические явления в экспериментальном оборудовании естественных наук играют решающую роль, а большинство физических экспериментов является искусственно созданными ситуациями. Объекты технических наук также представляют собой своеобразный синтез "естественного" и "искусственного". Искусственность объектов технических наук заключается в том, что они являются продуктами сознательной целенаправленной человеческой деятельности. Их естественность обнаруживается, прежде всего, в том, что все искусственные объекты в конечном итоге создаются неестественного (приходного) материала. Естественнонаучные эксперименты являются артефактами, а технические процессы - фактически видоизмененными природными процессами. Осуществление эксперимента - это деятельность по производству технических эффектов, и может быть отчасти квалифицирована как инженерная, т.е. как конструирование машин, как попытка создать искусственные процессы и состояния, однако с целью получения

новых научных знаний о природе или подтверждение научных законов, а не исследования закономерностей функционирования и создания самих технических устройств. Поэтому, указывая на инженерный характер физического эксперимента, не следует при этом упускать из вида тот факт, что и современная инженерная деятельность была в значительной степени видоизменена под влиянием развитого в науке Нового времени мысленного эксперимента. Естественнонаучный эксперимент - это не столько конструирование реальной экспериментальной установки, сколько, прежде всего, идеализированный эксперимент, оперирование с идеальными объектами и схемами. Так, Галилей был не только изобретателем и страстным пропагандистом использования техники в научном исследовании, но он также переосмыслил и преобразовал техническое действие в физике. Быстрое расширение сферы механических искусств "обеспечило новые контролируемые, почти лабораторные ситуации, в которых он мог одним из первых наблюдать естественные явления... нелегко различимые в чистом состоянии природы". Цель физики - изолировать теоретически предсказанное явление, чтобы получить его в чистом виде. Вот почему физические науки открыты для применения в инженерии, а технические устройства могут быть использованы для экспериментов в физике.

Технические науки к началу XX столетия составили сложную иерархическую систему знаний - от весьма систематических наук до собрания правил в инженерных руководствах. Некоторые из них строились непосредственно на естествознании (например, сопротивление материалов и гидравлика) и часто рассматривались в качестве особой отрасли физики, другие (как кинематика механизмов) развивались из непосредственной инженерной практики. И в одном, и в другом случае инженеры заимствовали как теоретические и экспериментальные методы науки, так и многие ценности и институты, связанными с их использованием. К началу XX столетия технические науки, выросшие из практики, приняли качество подлинной науки, признаками которой являются систематическая организация знаний, опора на эксперимент и построение математизированных теорий. В технических науках появились также особые фундаментальные исследования.

Таким образом, естественные и технические науки - равноправные партнеры. Они тесно связаны как в генетическом аспекте, так и в процессах своего функционирования. Именно естественных наук в технические были транслированы первые исходные теоретические положения, способы представления объектов исследования и проектирования, основные понятия, а также был заимствован самый идеал научности, установка на теоретическую организацию научно- технических знаний, на построение идеальных моделей, математизацию. В то же время нельзя не видеть, что в технических науках все заимствованные из естествознания элементы претерпели существенную трансформацию, в результате чего и возник новый тип организации теоретического знания. Кроме того, технические науки со своей стороны в значительной степени стимулируют развитие естественных наук, оказывая на них обратное воздействие.

Однако сегодня такой констатации уже недостаточно. Для определения специфики технического знания и технических наук необходимо анализировать их строение. На этой основе может быть затем пересмотрена и углублена и сама классификация наук. Не совсем корректно распространенное утверждение, что

основой технических наук является лишь точное естествознание. Это утверждение может быть признано справедливым лишь по отношению к исторически первым техническим наукам. В настоящее время научно-технические дисциплины представляют собой широкий спектр различных дисциплин - от самых абстрактных до весьма специализированных, которые ориентируются на использование знании не только естественных наук (физики, химии, биологии и т.д.), но и общественных (например, экономики, социологии, психологии и т.п.). Относительно некоторых научно-технических дисциплин вообще трудно сказать, принадлежат ли они к чисто техническим наукам или представляют какое-то новое, более сложное единство науки и техники. Кроме того, некоторые части технических наук могут иметь характер фундаментального, а другие - прикладного исследования. Впрочем, то же справедливо и для естественных наук. Творческие и нетворческие элементы имеют место равно как в естественных, как и в технических науках. Нельзя забывать, что сам процесс практического приложения не является однонаправленным процессом, он реализуется как последовательность операций и связан с выработкой новых знаний.

19. Развитие теории механизмов и машин (вторая половина XIX – первая половина XX в.)

Всемирные промышленные выставки, организованные в 60—80-х годах XIX века продемонстрировали заметный прогресс мирового машиностроения. Число машин в различных областях производства из года в год увеличивалось. Возрастали и потребности создателей машин в научном осмыслении и обосновании опыта проектирования машин, в разработке методов их расчета и изготовления.

Механика машин, бывшая до середины XIX в. в основном наукой описательной, начинает пользоваться аналитическими, графическими и экспериментальными методами исследований. Происходит первоначальная дифференциация теории машин: из нее выделяются описательное машиноведение, теория паровой машины, некоторые ответвления науки о машинах различных производств, в частности о транспортных машинах; к концу столетия оформляется в самостоятельное научное направление учение о деталях машин.

Усложняется и расчленяется теория механизмов, выделяются кинематика механизмов, кинематическая геометрия: самостоятельное значение получает теория шарнирных механизмов, начинает разрабатываться учение о структуре механизмов. В связи с растущим применением передач в машинах развивается теория зубчатых зацеплений, появляются приближенные методы расчета ременных и цепных передач. В динамике машин к началу XX в. самостоятельное значение приобретают теория трения и теория автоматического регулирования.

В ходе развития машинного производства теория машин и механизмов становилась все более важным, а в некоторых случаях определяющим фактором технического прогресса машиностроения. Значительная роль принадлежала тем широким научным поискам и многочисленным исследованиям, которые были начаты в последней трети XIX в. и развиты в первые десятилетия XX в.

«Принципы механизмов» Роберта Виллиса

Роберт Виллис родился 27 февраля 1800 г. в Лондоне в семье врача, учился в Кембриджском университете, по окончании которого сперва занялся естествознанием, а затем философией, прикладной механикой и архитектурой. С 1829 г. он преподавал в Кембриджском университете, в 1832 г. получил Джексоновскую кафедру (Jacksonian professor). В 1832 г. Виллис был избран членом Королевского общества, а в 1833 г.— действительным членом Британской ассоциации наук.

В 1837 г. Виллис опубликовал сообщения о зубчатых зацеплениях и об одонтографе. Очевидно, в эти годы он уже писал свои «Принципы механизмов» — одно из классических и основополагающих произведений в науке о машинах.

Виллис подошел к проблеме создания учения о механизмах с аналитико-критической точки зрения. Изучив сочинения своих предшественников, он пришел к выводу, что та наука, которую разрабатывали ученые до него и которую Ампер назвал кинематикой, еще не имеет ни системы, ни четко ограниченной области исследования. Поэтому первое, что нужно сделать, это отделить кинематику от динамики. Он не считал рациональным также введение в изучение гибких и жидких звеньев и рекомендовал ограничиться исключительно изучением механизмов с жесткими звеньями. Механизмы такого рода Виллис назвал «чистыми механизмами» (pure mechanism). И, наконец, он указал на то, что, прежде чем производить исследование механизмов, их следует классифицировать, исходя из некоторых ясных и логически обоснованных принципов. При этом Виллис указал на неясность и неопределенность понятия «элементарной машины» и определил понятие механизма, которое после него, с теми или иными изменениями, приобрело права гражданства в науке о машинах.

Рассматривая системы классификации механизмов, созданные до него, Виллис ставит в упрек школе Монжа то, что предложенная ею система пригодна лишь для перечисления и описания элементов машин, но ничего не дает для вычисления параметров их движения. По мнению Виллиса, систематика Борньи лучше приспособлена для описания механизмов, чем систематика школы Монжа, но также ничего не дает при исследовании законов движения отдельных механизмов. Кинематика же должна быть не описательной наукой, а расчетной.

На этом основании Виллис предлагает уточнить основное положение учения о механизмах и рассматривать их не как приспособления, служащие для преобразования движения, а как систему жестких звеньев, с помощью которой можно выполнить передачу и преобразование движения и которая зависит исключительно от конструкции этой системы. Тем самым Виллис связывает движение с геометрией механизма, исключает действие иных механизмов и рассматривает механизм как замкнутый и себе объект.

Исходя из этого, Виллис основывает свою классификацию на следующих принципах.

1. Отношение скоростей. Если скорости ведущего и ведомого звеньев механизма зависят от соответствующих сил, то отношение их от сил уже не зависит. Принимается, что отношение скоростей может быть постоянным или переменным.

2. Элементарная форма механизма. Виллис распределяет все механизмы на четыре группы: механизмы с перекатывающимися звеньями, механизмы со взаимно скользящими звеньями, шарнирные механизмы, передачи гибкими звеньями. Несколько позже Виллис добавил пятую группу – сдвоенные звенья.

Простыми механизмами, по Виллису, являются такие, которые имеют по два или три подвижных звена. Он подразделяет их на классы: к классу А относятся механизмы, у которых соотношение скоростей ведущего и ведомого звеньев сохраняют постоянную величину и знак для всего времени движения механизма; к классу В относятся механизмы с отношением скоростей, переменным по величине, но постоянным по знаку; наконец, класс С заключает в себе механизмы, у которых отношение скоростей постоянно, но отношение направлений переменно.

Дальнейшее подразделение классов на группы Виллис производит, исходя из способа передачи движения: 1) при помощи взаимного перекатывания поверхностей; 2) при помощи взаимного скольжения поверхностей; 3) при помощи гибкого звена; 4) шарнирными механизмами; 5) при помощи сдваивания звеньев. Далее Виллис рассматривает сложные механизмы. Он подразделяет их на два класса, исходя из принципа сложения скоростей и сложения перемещений.

Таковы основные принципы классификации Виллиса. Нельзя сказать, чтобы она была очень ясной, да автор и сам это понял и внес во второе издание своей книги некоторые коррективы, не особенно, впрочем, существенные. Очистив техническую кинематику от инородных включений, Виллис не смог провести последовательный анализ, в результате чего в его систематике механизмов оказались слабые места.

«Теоретическая кинематика» Ф. Рело

В третьей четверти века шарнирные механизмы попадают также в поле зрения немецких ученых, ведущая роль здесь, несомненно, принадлежит крупнейшему немецкому машиноведу Рело, который в значительной степени обогатил учение о машинах.

Франц Рело родился 30 сентября 1829 г. в Эшвейлере, близ Ахена, в семье, для которой техника была традиционным занятием. Получив начальное образование в школе и некоторую техническую подготовку в семье, он начал работать на заводе, сперва учеником, а затем конструктором и техником. Работая, он усиленно занимался самообразованием, в частности изучал труды Редтенбахера. С 1850 по 1852 г. он слушал лекции в Политехническом институте в Карлсруэ, всецело находившемся в те годы под влиянием Редтенбахера.

Еще в студенческие годы Рело начал работать над исследованиями в области машиностроения. В 1854 г. он в соавторстве с Моллем издал первый том «Конструирования в машиностроении». В 1856 г. Рело был приглашен на должность профессора механико-технического отделения Цюрихского политехникума, где ему пришлось работать вместе с Цейнером и Кульманом. В 1864 г. он перешел в Берлинский ремесленный институт на кафедру машиностроения. В 1866 г. этот институт (основанный в 1821 г.) был преобразован в Ремесленную академию, директором которой Рело пробыл с 1867 по 1879 г. В 1879 г. на базе Ремесленной и Строительной (основанной в 1799 г.) академий было основано Берлинское высшее техническое училище.

В Германии в первой половине века кинематикой не занимались. Впервые этот предмет Рело начал читать в Швейцарии, в Цюрихском политехникуме, в 1871 г. Затем продолжил его в Берлинском ремесленном институте, а позже — в Ремесленной академии. Одновременно он начал издавать «Кинематические сообщения» и другие мемуары по прикладной теории машин. Несколько позже начал чтение курса кинематической геометрии Аронгольд, затем Шелль издал трактат по теоретической механике «Теорию движения и сил», в котором значительное внимание уделил кинематике. В 1875 г. Рело опубликовал первый том «Теоретической кинематики».

Рело был не только ученым, но и практиком: он был членом жюри на международных выставках в Париже (1867), Вене (1873), Филадельфии (1876), в Сиднее – Мельбурне (1879-1881). Анализируя состояние германской промышленности, он требовал повышения качества её изделий. Рело много работал и в области истории техники. В «Теоретической кинематике» истории машин посвящена отдельная глава. Введение, примечания к отдельным параграфам трактата также насыщены историческими сведениями. Можно сказать, что Рело подходил исторически к исследованию всех вопросов кинематики.

Над идеями «Теоретической кинематики» Рело работал с 1852 г. Таким образом, этот большой трактат явился результатом почти 25-летней интенсивной конструкторской, педагогической и научной деятельности.

Во введении Рело излагает краткую историю науки о машинах. Разбирая труды своих предшественников, он приходит к выводу, что в сущности кинематика как наука еще не создана. Каждая наука характеризуется определенной системой. В технической науке такая система должна не только пояснять, но и помогать создавать новое, в частности, в механике машин система должна облегчить создание новых механизмов, однако, говорит Рело, ни одна из предшествовавших систем Новых механизмов не создала.

Первая глава содержит изложение основных принципов науки. Рело утверждает, что науку о машинах следует разделить на четыре отдельных дисциплины: собственно науку о машинах, которая должна заниматься описанием существующих машин; теорию машин, которая является применением механики к машинам и объектом изучения которой должны быть машины-двигатели, а отчасти и рабочие машины; учение о построении машин и кинематику, или теорию механизмов.

Связь между понятиями механизма и машины принимает затем у Рело следующую форму: если мы понудим одно из звеньев механизма с помощью некоторой силы изменить первоначальное положение, то получим машину. Как видим, в определении машины Рело исходит совершенно из иного принципа, чем его предшественники. У них существование машины определялось наличием некоторых составных частей, а именно, двигателя, или приемника, передачи и рабочего органа, или орудия. Иначе говоря, машина определялась аналитически. Идея Рело синтетична: он исходит из понятия кинематической пары и через понятия кинематической цепи и механизма переходит к определению машины. Вместе с тем определение Рело оказывается неполным: ему удовлетворяют и весы, и теодолит, и другие подобные приборы; таким образом, понятие машины расширяется, что едва ли необходимо.

Во второй главе изложены принципы форономии. Под этим названием Рело, пользуясь определением Аронгольда, понимает кинематическую геометрию. Сюда он относит понятия мгновенного центра вращения, полодий, исследование движения.

Исследованию кинематических пар, центрального понятия кинематики Рело, посвящены третья и четвертая главы. Рело указывает, что существует лишь три вида низших облекающих пар: вращательные, поступательные и винтовые. Высшими Рело называет пары, образуемые телами, которые могут вращаться около мгновенной оси, непрерывно меняющей свое положение. Он разбирает зависимые пары, образующиеся при силовом замыкании гибкими и жидкими элементами, пружинами. Кинематические цепи Рело исследует в пятой главе.

Некоторым «дивертисментом» представляются две следующие главы, посвященные изложению истории машин и символическому языку кинематики, который Рело считал одним из главных своих достижений, но он оказался таким же нежизненным, как и аналогичные предложения иных ученых.

Значительный интерес представляет восьмая глава о кинематическом анализе, под которым Рело понимает разложение механизма на цепи и пары, т. е. то, что мы называем структурным анализом. Прежде всего, он применяет свой метод к исследованию «простых машин» и приходит к выводу, что они представляют собой собрание разнородных кинематических задач.

В десятой главе Рело исследует большую группу шестеренных механизмов, служащих для передвижения жидкостей и газов. Здесь он впервые высказывает мысль о том, что элементы кинематических пар не обязательно должны быть твердыми телами.

Двенадцатая глава посвящена анализу понятия машины. Она послужила поводом к дискуссии о машине, разыгравшейся вскоре после выхода книги в свет. Начав с критики концепции французской школы, наиболее ярко выраженной в трудах Понселе, Рело приводит ряд примеров, которые, по его мнению, не соответствуют основному положению Понселе о трехчленном делении машины на двигатель, передачу и орудие. На основании подобных рассуждений Рело выводит, что орудие не составляет необходимой части машины, а является лишь возможным ее элементом. По функциональному признаку Рело делит все машины на два класса: машины для изменения положения и машины для изменения формы.

Рело приходит к выводу: чтобы при помощи машины получить тело определенной формы, необходимо, чтобы форма орудия была огибающей заданной поверхности. Этот вывод является одним из первых, если вообще не первым, относящимся к механике орудия.

Продолжая свои рассуждения, Рело утверждает далее, что ни орудие, ни привод, ни трансмиссия не являются обязательными составляющими машины; машина представляет собой замкнутую кинематическую цепь, причем передвигаемое или обрабатываемое тело является членом или кинематическим элементом этой цепи. Взамен общепринятой классификации Рело предлагает свою:

а) главный механизм, в котором можно обнаружить приемник и орудие;

б) распределитель с его подразделениями, питанием и отведением;

в) механизм регулировки и остановки;

г) механизм передачи.

Однако Рело отмечает, что и эта классификация несовершенна и что некоторые устройства в машинах могут попасть в разные ее подразделения.

Последняя, тринадцатая, Глава посвящена синтезу механизмов. Рело различает прямой и непрямой синтез. Под прямым синтезом он понимает составление механизмов, которые могут обеспечить на заданном обрабатываемом теле определенные изменения места и формы. Но основным методом составления новых механизмов Рело считает непрямой синтез, под которым подразумевает предварительное решение всех задач определенного типа, среди которых может оказаться и искомая.

«Теоретическая кинематика» Рело произвела на машиноведов большое впечатление. Уже через два-три года она была переведена на английский и французский языки и приобрела многих последователей в разных странах. К ним относились, в частности, В. Н. Лигин в России и А. Кеннеди в Англии. Во многих высших технических школах, немецких и иностранных, начали преподавать теорию механизмов «по Рело».

Вместе с тем целый ряд идей и определений Рело оказался недостаточно обоснованным и вызвал возражения. Рело пользовался большим авторитетом среди ученых в области прикладной механики. Но у него было и много противников, борьба с которыми зачастую принимала с обеих сторон резкие формы и особенно обострилась на рубеже столетий.

Вклад П.Л. Чебышева в развитие теории механизмов и машин

Пафнутий Львович Чебышев (1821—1894) родился в с. Окатово Калужской губернии. Первоначальное образование получил в семье. В 1837 г. поступил на второе отделение философского факультета Московского университета. В 1841 г., будучи еще студентом, получил серебряную медаль за сочинение «О числовом решении алгебраических уравнений».

В том же году Чебышев окончил университет, а в 1843 г. был подвергнут испытаниям на степень магистра математических наук. В 1846 г. Чебышев защитил диссертацию на тему «Опыт элементарного анализа теории вероятностей». В 1847 г. он переехал в Петербург и приступил к работе в Петербургском университете в Должности адъюнкта. В 1849 г. он защитил диссертацию па тему «Теория сравнений» и получил степень доктора математики и астрономии, а через два года был избран экстраординарным профессором Петербургского университета.

Свою педагогическую деятельность в Петербургском университете Чебышев начал с чтения курса практической механики. Кроме этого курса Чебышев в разное время читал высшую алгебру, сферическую тригонометрию, аналитическую геометрию, теорию чисел, интегральное исчисление, теорию вероятностей, теорию эллиптических функций.

С Чебышева начинается большая русская наука в области механики машин. Более того, он оказал существенное влияние и на мировую историю науки: в сущности лишь после его работ механика машин получила возможность использовать математический аппарат.

Вклад Чебышева в механику машин начинается с того курса, который он прочитал в Петербургском университете. Курс этот, рассчитанный на три семест-

ра, читался им вплоть до 1856 г. В первом семестре он читал раздел «Об органах преобразования движений» с полной теорией построения зубчатых колес, а также значительную часть второго отдела «О передаче движений». Здесь он давал общий способ вычисления количества работы, выводил уравнение, показывающее потерю работы от вредных сопротивлений, излагал законы трения и жесткости веревок и разбирал теорию вредных сопротивлений. Во втором семестре изучались трение в блоках, пинтах, зубчатых колесах, неравномерность хода машин и их регулирование, теория маховика, теория удара. Третий семестр посвящался изучению теории двигателей, гидравлических колес, турбин, а также исследованию некоторых других гидравлических машин. Подобного содержания была и программа курса практической механики, читанного Чебышевым в Александрийском лицее.

Важнейшим направлением исследований Чебышева в области кинематики было создание им теории шарнирных механизмов, значение которой для развития теории машин было осознано значительно позже.

Одним из первых объектов исследований П. Л. Чебышева в области теории механизмов и стала теория шарнирных механизмов. «Из многих предметов исследования, которые представились мне при рассматривании и сличении между собою различных механизмов передачи движения, особенно в паровой машине, где и экономия в топливе и прочность машины много зависят от способов передачи работы пара, я особенно занялся теориею механизмов, известных под названием параллелограммов»

Вопросами теории параллелограммов Чебышев занимался еще до своей первой заграничной командировки. По возвращении из-за границы он представил в Академию наук работу «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов», в которой изложил основы метода приближенного синтеза механизмов. В сущности, эта работа является также первым трудом, в котором была поставлена задача аналитического синтеза механизмов. И, кроме того, это была первая работа, в которой задачи теории механизмов были поставлены на языке математики. Правда, и до того времени были математические работы — исследования в области кинематической геометрии и примыкающие к ним работы в области теории зубчатых зацеплений. Но лишь в труде Чебышева впервые практическая кинематика вошла в семейство дисциплин математического естествознания.

Для решения задач синтеза шарнирных механизмов Чебышев разработал специальную математическую теорию — теорию наилучшего приближения функций полиномами. Основной задачей ее явилось нахождение точки, описывающей приближенно прямую линию.

Чебышев сформулировал задачу не конкретно, а в более общей форме, из которой решение для искомого параллелограмма вытекало как частный случай: «Определить изменения, которые надо произвести в приближенном выражении функции $f(x)$, данном ее разложением по степеням $x - a$, если требуется сделать наименьшим предел его погрешности между $x=a-h$ и $x=a+h$, где h – величина не очень значительная». Эта идея Чебышева оказалась весьма плодотворной как для теории механизмов, так и для математики.

Чебышеву принадлежит также основополагающая работа в области структурного анализа механизмов — «О параллелограммах». Он указал в ней, что шарнирные механизмы («механизмы параллелограммов») можно рассматривать как системы прямых линий, связанных шарнирами, что длины отрезков прямых в этом случае являются неизменными и что шарниры, соединяющие два отрезка, накладывают на них **по** два условия связи. Таким образом, впервые кинематическая пара получила свое математическое выражение. Обозначив m — число звеньев, образующих механизм, n — число шарниров, связывающих по два плеча, v – число шарниров, связывающих одно звено с закрепленным звоном (с неподвижной плоскостью), он получает условие принужденного движения механизма

$$3m - 2(n+v) = l.$$

Эта знаменитая формула в несколько измененном виде была названа формулой Чебышева.

Чебышев не только теоретически исследовал шарнирные механизмы, но и сконструировал целую их серию (свыше 40 механизмов и около 80 их модификаций). Это механизмы с остановками, в которых ведомое звено совершает прерывистое движение, симметричные прямолинейно-направляющие механизмы («стопоходящая машина», гребной механизм), многозвенные прямолинейно-направляющие механизмы и др. Интересно, что свой метод синтеза механизмов Чебышев применил также к решению задачи о центробежном регуляторе и построении профилей зубчатых колес.

И в Академии наук, и в университете П. Л. Чебышев был очень близок с В.Я. Буняковским и О.И. Сомовым. Благодаря трудам этих трех ученых в 60-х годах XIX в. была создана Петербургская математическая школа. Можно сказать, что к этому времени относится и создание русской школы в области теории механизмов и машин.

П. JI. Чебышев заложил основы исследования структуры механизмов, разработал метрический синтез механизмов и глубоко теоретически и практически изучил шарнирные механизмы. В сущности лишь от него начинается планомерное изучение этой важнейшей группы механизмов, и он первый указал на то, что теория механизмов — это наука математическая. Ученики Чебышева продолжили и закрепили исследование и развитие его идей в области механики машин, поэтому с его именем обычно и связывается становление русской специальной научной школы в этом направлении.

20. Моделирование как метод научного познания

Слово “модель” произошло от латинского слова “modulus”, означает “мера”, “образец”. Его первоначальное значение было связано со строительным искусством, и почти во всех европейских языках оно употреблялось для обозначения образа, прообраза, или вещи, сходной в каком-то отношении с другой вещью. Модель — это такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал так, что его непосред-

ственное изучение дает новые знания об объекте-оригинале. При представлении модели средствами математики и логики возникает абстрактный образ реального объекта, при исследовании образца реального объекта в качестве модели имеет место конкретное исследование. Моделирование находится в промежутке между этими двумя точками.

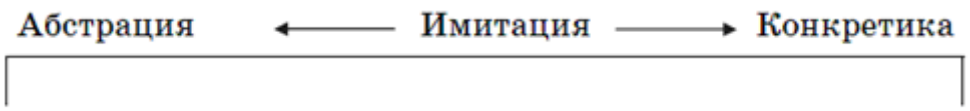


Рисунок Место имитационного моделирования в модельном пространстве

Под моделированием понимается процесс построения, изучения и применения моделей. Главная особенность моделирования в том, что это метод опосредованного познания с помощью объектов-заместителей. Именно эта особенность метода моделирования определяет специфические формы использования абстракций, аналогий, гипотез, других категорий и методов познания. Моделирование представляет собой один из основных методов познания, является формой отражения действительности и заключается в выяснении или воспроизведении тех или иных свойств реальных объектов, предметов и явлений с помощью других объектов, процессов, явлений, либо с помощью абстрактного описания в виде изображения, плана, карты, совокупности уравнений, алгоритмов и программ [2]. Моделирование в научных исследованиях стало применяться еще в глубокой древности и постепенно захватывало все новые области научных знаний: техническое конструирование, строительство и архитектуру, астрономию, физику, химию, биологию и, наконец, общественные науки. Большие успехи и признание практически во всех отраслях современной науки принес методу моделирования XX век. Методология моделирования долгое время развивалась отдельными науками независимо друг от друга. Отсутствовала единая система понятий, единая терминология. Лишь постепенно стала осознаваться роль моделирования как универсального метода научного познания. Однако компьютерное моделирование не может рассматриваться как третий путь получения научного знания и способ рассуждений, наряду с эмпирическим и теоретическим, индукцией и дедукцией. Важное методологическое значение этого приема состоит прежде всего в том, что он позволяет «переложить» сложные методологические проблемы науки на современный язык, тем самым не только открывая новую перспективу их рассмотрения, но и позволяя определить наиболее сложные моменты на пути их решения.

Необходимость использования метода моделирования определяется тем, что многие объекты (или проблемы, относящиеся к этим объектам) непосредственно исследовать или вовсе невозможно, или же это исследование требует много времени и ресурсов.

Этап построения модели предполагает наличие некоторых знаний об объекте-оригинале. Познавательные возможности модели обуславливаются тем, что

модель отражает какие-либо существенные черты объекта-оригинала. Вопрос о необходимости и достаточной мере сходства оригинала и модели требует конкретного анализа. Очевидно, что модель утрачивает свой смысл как в случае тождества с оригиналом (тогда она становится оригиналом), так и в случае чрезмерного во всех существенных отношениях отличия от оригинала. Таким образом, изучение одних сторон моделируемого объекта осуществляется ценой отказа от отражения других сторон. Поэтому любая модель замещает оригинал лишь в строго ограниченном смысле. Из этого следует, что для одного объекта может быть построено несколько "специализированных" моделей, концентрирующих внимание на определенных сторонах исследуемого объекта или же характеризующих объект с разной степенью детализации. Ниже представлен ряд методов моделирования, применяемых в естественных и технических науках.

21. Обзор методов моделирования

Основными разновидностями процесса моделирования можно считать два его вида - *математическое* и *физическое* моделирование.

При физическом (натурном) моделировании исследуемая система заменяется соответствующей ей другой материальной системой, которая воспроизводит свойства изучаемой системы с сохранением их физической природы. Примером этого вида моделирования может служить тестовая сеть, с помощью которой изучается принципиальная возможность построения сети на основе тех или иных компьютеров, коммуникационных устройств, операционных систем и приложений. Возможности физического моделирования довольно ограничены. Оно позволяет решать отдельные задачи при задании небольшого количества сочетаний исследуемых параметров системы. При натурном моделировании практически невозможно проверить работу системы для различных вариантов. Проверка на практике около десятка разных типов условий связана не только с большими усилиями и временными затратами, но и с немалыми материальными затратами. Во многих важных областях исследований натурный эксперимент невозможен, потому что он либо запрещен (изучение здоровья человека), либо слишком опасен (изучение экологических явлений), либо просто неосуществим (изучение астрофизических явлений).

Поэтому во многих случаях предпочтительным оказывается использование математического моделирования. Математическая модель представляет собой совокупность соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий), определяющих процесс изменения состояния системы в зависимости от ее параметров, входных сигналов, начальных условий и времени. Под математическими моделями понимают основные закономерности и связи, присущие изучаемому явлению. Это могут быть формулы или уравнения, наборы правил или соглашений, выраженные в математической форме.

В настоящее время широко применяется два вида математического моделирования: *аналитическое* и *имитационное*. При аналитическом моделировании изучаются математические (абстрактные) модели реального объекта в виде алгебраических, дифференциальных и других уравнений, а также предусматривающих осуществление однозначной вычислительной процедуры, приводящей к их точному решению. При имитационном моделировании исследуются математические модели в виде алгоритма(ов), воспроизводящего функционирование исследуемой системы путем последовательного выполнения большого количества элементарных операций.

Аналитическое моделирование позволяет получать более точное решение, формируя математические законы, связывающие объекты системы, записанные в виде некоторых функциональных соотношений. Задачей аналитического моделирования является решение уравнений для получения теоретических результатов и сопоставление этих результатов с практикой. К достоинствам аналитического моделирования можно отнести большую силу обобщения, многократность использования, но наиболее полное исследование процесса функционирования системы можно провести, если известны явные зависимости связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными системы. Однако такие зависимости удается получить для сравнительно простых систем. Чтобы использовать аналитический метод необходимо существенно упростить первоначальную модель, чтобы иметь возможность изучить общие свойства системы. Развитие информационных технологий привело к тому, что компьютеры стали использовать для моделирования процессов функционирования системы, причем в этом случае имелись алгоритм и программа, а математическая модель в ее классическом виде практически отсутствовала или предполагалось, что математической моделью является одно из аналитических представлений. Это направление получило название имитационного моделирования. Такие модели представляют собой компьютерную программу, которая шаг за шагом воспроизводит события, происходящие в реальной системе. Преимуществом имитационных моделей является возможность подмены процесса смены событий в исследуемой системе в реальном масштабе времени на ускоренный процесс смены событий в темпе работы программы.

Процесс построения имитационных моделей представляет собой последовательное выполнение этапов имитационного моделирования. Этапы процесса моделирования:

Формулирование проблемы-описание исследуемой проблемы и определение целей исследования:

Разработка модели - логико-математическое описание моделируемой системы в соответствии с формулировкой проблем;

1. Подготовка данных - идентификация, спецификация данных;
2. Трансляция модели - перевод модели машинный язык;

3. Верификация модели - установление правильности машинных программ;

4. Валидация модели - оценка требуемой точности и соответствия имитационной модели реальной системе;

5. Стратегическое и тактическое планирование - определение условий проведения машинного эксперимента с имитационной моделью;

6. Экспериментирование - прогон имитационной модели для получения требуемой информации;

7. Анализ результатов - изучение результатов имеет моделирование для подготовки выводов, для решения проблемы.

Названные выше этапы имитационного исследования редко выполняются в строго заданной последовательности, начиная с определения проблемы и кончая документированием. В ходе имитационного исследования могут быть сбои в прогонах модели, ошибочные допущения, от которых в последствии приходится отказываться, переформулировки целей исследования. То есть, на каждом этапе возможно возвращение назад, к предыдущим этапам. Именно такой итеративный процесс даёт возможность получить модель, которая позволяет принимать решения.

Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать случайные воздействия и другие факторы, которые создают трудности при аналитическом исследовании. Данные модели позволяют проводить эксперименты, меняя при этом условия протекания процесса, и в конечном счете определить такие условия, при которых результат удовлетворяет требованиям. Результатом работы имитационной модели являются собранные в ходе наблюдения за протекающими событиями статистические данные о наиболее важных характеристиках изучаемой системы.

При имитационном моделировании логическая структура моделируемой системы адекватно отображается в модели, а процессы ее функционирования и динамика взаимодействия ее элементов воспроизводятся (имитируются) на модели. Поэтому построение имитационной модели включает в себя структурный анализ моделируемой системы и разработку функциональной модели, отражающей динамические портреты моделируемой системы.

Имитационное моделирование сегодня становится все более зрелой технологией компьютерного моделирования, благодаря чему наблюдается устойчивый рост применения этого метода в самых различных областях, связанных с управлением и принятием решений экономического, организационного, социального и технического характера.

Компьютерное моделирование — метод решения задачи анализа или синтеза сложной системы на основе использования ее компьютерной модели. Традиционно под компьютерным моделированием понималось лишь имитационное моделирование. Однако можно увидеть, что и при других видах моделирования компьютер может быть весьма полезен. Например, при математическом моделировании выполнение одного из основных этапов — построение математических моделей по экспериментальным данным — в настоящее время просто немыслимо без ком-

пьютера. Компьютерное моделирование, возникшее как одно из направлений математического моделирования, с развитием компьютерных технологий стало самостоятельной и важной областью применения компьютеров [6]. Компьютерные модели, могут использоваться для:

• численного математического моделирования;
• визуализации явлений и процессов (как для аналитических, так и для численных моделей);
• специализированных прикладных технологий, использующих компьютер (как правило, в режиме реального времени) в сочетании с измерительной аппаратурой, датчиками и т.п.

22. Развитие компьютерного имитационного моделирования

Исторически сложилось так, что первые работы по компьютерному моделированию были связаны с физикой, где с помощью моделирования решался целый ряд задач гидравлики, фильтрации, теплопереноса и теплообмена, механики твердого тела и т.д. [3,7,8]. Моделирование в основном представляло собой решение сложных нелинейных задач математической физики с помощью итерационных схем, и по существу было моделированием математическим. Успехи математического моделирования в физике способствовали распространению его на задачи химии, электроэнергетики, биологии и некоторых других дисциплин, причем схемы моделирования не слишком отличались друг от друга. Сложность решаемых с помощью моделирования задач всегда ограничивалась лишь мощностью имеющихся компьютеров.

Характерно, что с появления статьи Дж. Неймана (John von Neumann) и С. Улама (Stanislaw Ulam) в 1948 г. — первой работы по применению метода Монте Карло, многие специалисты продолжают называть компьютерное моделирование методами Монте Карло или статистических испытаний. Это в принципе не верно, так как компьютерное моделирование разделилось на четыре направления: методы Монте Карло или методы вычислительной математики, использующие приближенные численные методы, когда все объекты аппроксимируются числами или их комплектами в принятой числовой сетке, а результаты получаются в виде таблиц или графиков с учетом возможностей современных компьютеров. Этими методами можно вычислять любые, не берущиеся аналитическим путем, многократные интегралы, решать системы уравнений;

1. методы имитационного моделирования (simulation);
2. методы статистической обработки данных моделирования на основе методов планирования эксперимента;
3. комплексы имитационного моделирования, объединяющие все названные виды компьютерного моделирования, пользовательский интерфейс, автоматизированные системы поддержки принимаемых решений и т. д. Это направление предназначено для исследования сложных систем.

Имитационное моделирование основано на применении логико-математической модели сложной системы - со всеми вытекающими особенностями и осложнениям. Во-первых, построение математической модели в отличие от структурно-функционального моделирования требует большого объема детальной информации о системе, включая всевозможные логические и количественные соотношения. Во-вторых, выбор математического аппарата существенно сказывается на самой имитационной модели и на выборе инструментальных средств. Ясно, что выбор излишне сложного математического аппарата (скажем, систем дифференциальных уравнений в частных производных) или привлечение большого числа методов из различных разделов математики значительно усложнит задачу имитационного моделирования. В-третьих, при построении логико-математической модели всегда приходится решать проблему выбора между сложностью модели и ее точностью, удобством использования и ее универсальностью, - поскольку эти критерии, как правило, противоречивы. В частности, излишне сложные модели редко удается довести до этапа, на котором они могут быть реально использованы: обнаруживается, что-либо не все константы уравнений известны, либо не все зависимости могут быть представлены в виде соотношений. В то же время простая модель может не учитывать те или иные особенности объекта или среды. Именно поэтому составление логико-математической модели и использование ее для имитационного моделирования было, есть и будет искусством. Чтобы добиться успеха при моделировании сложных систем, в первую очередь требуется досконалое знание объекта моделирования, четкое понимание назначения строящейся имитационной модели и, наконец, владение техникой имитационного моделирования.

Инструментальные средства имитационного моделирования — языки моделирования, появились довольно давно, почти одновременно с языками Fortran и Algol[1], и прошли путь от бурного развития в 70-х годах, когда они ежегодно рождались десятками, до современного стабильного состояния, когда доминирует лишь несколько языков. Наиболее широко используемые в настоящее время языки имитационного моделирования и инструментальные средства, их реализующие, подразделяются на три большие группы: языки имитационного моделирования непрерывных динамических систем; языки имитационного моделирования дискретных систем; универсальные языки.

23. Основные этапы развития методов имитационного моделирования (Р. Нанс)

Этап 1 (1955-1960). В этот период программы для задач компьютерного моделирования разрабатывались на основе таких общеизвестных универсальных языков, как Fortran и Algol.

Fortran появился в 1957 году. Но работы по его разработке начались намного раньше. С 1954 годов группа инженеров компании IBM под руководством Джона Бекуса занималась созданием компилятора для Fortran. Эти работы велись более 2-х лет и, в конце концов, привели к созданию нового языка. Fortran - это сокра-

щение от двух английских слов FORmula TRANslator - что переводится как "транслятор формул". Первоначально язык создавался с целью использования при математических расчетах. Он предназначался для написания программ, используемых при решении прикладных технических задач. Основу языка составляли арифметические операторы, соответствующие по своему синтаксису традиционной записи математических выражений. В дополнение к этому в языке имелись средства разбиения сложных алгоритмов на более простые за счет явного определения подпрограмм и функций. Описания данных в Fortran были ориентированы на представление главным образом числовой информации, поэтому и типы данных были просты: это целые и действительные числа, а также массивы из таких чисел.

Языков программирования было немного и они не всегда устраивали разработчиков. Поэтому ряд ведущих программистов в Цюрихе представили в 1958 году новый язык программирования - Алгол (сокращение от ALGOrithmic Language - алгоритмический язык программирования). Первая версия языка так и называлась - Алгол58, а позднее, в 60-м году, был принят стандарт Алгол60, который и стал основным на долгие годы. Основная заслуга этого языка в том, что он заложил базу для дальнейшего развития программистской мысли, и многие языки программирования, разработанные впоследствии и получившие широкое распространение как в кругу профессионалов, так и среди любителей, содержат многие идеи и решения, взятые из Алгола.

Создание моделей с помощью этих языков выглядело следующим образом: в компьютер вводили систему уравнений с детерминированными и случайными коэффициентами, задавали шаг времени, с помощью датчика случайных чисел изменяли случайные коэффициенты, а результаты решения подвергали статистической обработке. Поскольку шаг времени выбирали для самого быстрого процесса, то после моделирования получали множество ненужных данных о шагах, когда изменений в системе нет. Разработка модели часто отставала от развития объекта моделирования, а ее доработка отнимала много времени. Компьютеры между тем развивались, и становилось понятным, что с их помощью можно решать самые разнообразные проблемы, зачастую не связанные с научными приложениями. Поэтому стали появляться первые языки моделирования. *Этап 2* (1961-1965). Появились первые языки моделирования: GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, CSL, SOL.

Ярким примером первых языков имитационного моделирования является широко известный язык моделирования дискретных систем - GPSS (General Purpose Simulating System). Появившийся впервые еще в 1961 году, он выдержал множество модификаций для самых различных операционных систем и компьютеров и в то же время сохранил почти неизменными внутреннюю организацию и основные блоки. Основными понятиями языка GPSS являются транзакт, блок, оператор. Транзакт GPSS - это динамический объект, под которым может подразумеваться клиент, требование, вызов или заявка на обслуживание прибором обслуживания. То есть основное назначение GPSS - это моделирование систем мас-

сового обслуживания, хотя наличие дополнительных встроенных средств позволяет моделировать и некоторые другие системы (например, распределение ресурсов между потребителями). Транзакты в GPSS могут создаваться (вводиться), уничтожаться (выводиться), задерживаться, размножаться, сливаться, накапливаться и т. д. Именно благодаря наличию транзакта GPSS обладает такой изящностью и простотой. Другим фундаментальным понятием GPSS является понятие "блок". Блок GPSS представляет собой некоторый самостоятельный элемент моделируемой системы. Каждый блок реализует одну или несколько операций над транзактом, группой транзактов или параметрами транзактов, а совокупность блоков составляет моделирующую программу. Таким образом, GPSS имеет блочную структуру и легко может быть приспособлен и для структурно-функционального моделирования не очень сложных систем. GPSS достаточно легок в освоении, а наличие в нем функций, переменных, стандартных атрибутов, графики и статистических блоков существенно расширяет его возможности.

В конце 80-х, на фоне значительных успехов языков объектно-ориентированного программирования, позволяющих строить исключительно гибкие инструментальные средства имитационного моделирования, интерес к GRSS стал угасать.

Однако в последние годы интерес к GPSS вновь возрос. На первой Internet-конференции по компьютерному моделированию, которая проходила в ноябре 1996 года на базе Афинского национального университета, значительное число работ опиралось на использование GPSS/H+PROOF[2]. В настоящее время в США, где GPSS наиболее популярен, организовано несколько интерактивных серверов GPSS, куда пользователь может обращаться как для решения своих конкретных задач, так и, что гораздо более важно, для использования библиотек готовых имитационных модулей.

Дальнейшее развитие языков моделирования положило начало использования объектно-ориентированных принципов в моделировании. *Этап 3* (1965-1970). Появилось второе поколение языков моделирования GPSS V, SIMSCRIPT Ii.5, SIMULA 67.

Особое место среди языков имитационного моделирования этого периода занимает СИМУЛА-67, разработанный в Норвежском вычислительном центре У. И. Далом, Б. Мюрхаугом и К. Нюгордом. Разработчики языка СИМУЛА-67 положили начало объектно-ориентированному представлению систем. Имя языка программирования СИМУЛА (SIMULA) происходит от английских слов SIMUlation LANguage, что в переводе означает “язык моделирования”. СИМУЛА-67 основываются на языке АЛГОЛ-60 и содержит его в качестве своего подмножества.

Этот язык был предназначен для моделирования различных объектов и процессов, и объектно-ориентированные черты появились в нем именно для описания свойств модельных объектов. В нем впервые получила практическое воплощение концепция ядра языка как средства иерархического, структурированного

описания класса объектов, последующее развитие которой привело к созданию объектно-ориентированного программирования.

Фундаментальным новым понятием языка СИМУЛА-67 является понятие “объект”, которое эволюционировало из понятия “процесс” языка СИМУЛА-1. Под объектом понимается экземпляр описания класса, который имеет свои собственные локальные данные и действия. В языке СИМУЛА-67 имеются элементарные операторы, которые позволяют организовать исполнение программы в виде последовательных активных фаз объектов. Это исполнение называют “квазипараллельным”. Квазипараллельное исполнение программ позволяет отойти от обычной схемы решения (в виде последовательности шагов) задачи и представить ее в виде ряда взаимодействующих объектов, получивших название “сопрограмм”.

Установление в языке таких понятий, как “класс” и “подкласс” и других механизмов, позволяет использовать СИМУЛУ-67 в качестве основы для построения специализированных языков, ориентированных на различные предметные области. Он является весьма удобным средством создания самих языков имитационного моделирования. Средствами СИМУЛА довольно легко реализовать, например, GPSS, не говоря уже о более простых языках моделирования. Развитые средства организации и ведения библиотек позволяют легко построить любой язык моделирования как совокупность некоторых классов. Одним из преимуществ языка по сравнению с базовым предшественником является наличие средств ввода-вывода.

Идеи, заложенные в языке СИМУЛА-67, оказали существенное влияние на языки программирования, появившиеся после него. В частности, понятие “класс” нашло свое воплощение в понятии “абстрактные типы данных”, а понятие “объект” - в объектно-ориентированном программировании, хотя разработка СИМУЛЫ-67 в принципе не преследовала цели создания объектно-ориентированного языка.

Этап 4 (1971-1978). На этой стадии происходит развитие уже разработанных языков и средств моделирования, ориентированное, прежде всего, на повышение эффективности процессов моделирования и превращения моделирования в более простой и быстрый метод исследования сложных систем.

К числу широко известных языков имитационного моделирования относится также язык СЛАМ, разработанный профессором Университета Пердью Аленом Прицкером в начале 70-х [13]. В основе языка СЛАМ лежит простая идея - объединить достоинства GPSS и DYNAMO[3] таким образом, чтобы, допуская раздельное применение этих языков, можно было при необходимости использовать их совместно. Реализация этого принципа на ЭВМ с цифровыми дисплеями хотя и давала некоторые преимущества при моделировании, однако не вносила качественных изменений в процесс моделирования. Однако, переход к графическим интерфейсам раскрыл все преимущества этого принципа.

Многолетнее отставание России в области имитационного моделирования было обусловлено отсутствием информации на русском языке и высокой стоимостью лицензий на программные продукты. Так, например, при разработке отечественного языка НЕДИС были использованы отдельные детали известных в то время по публикациям языков СИМУЛА-67 и АЛГОЛ-68. Система не имела ана-

логов в практике отечественного моделирования и по своим возможностям система НЕДИС близка к системам на базе таких языков, как СИМУЛА-67, GASP-IV, SLAM-II. Разработчики системы НЕДИС, кроме работ по внедрению и сопровождению системы, выполнили большой объем работ по адаптации системы НЕДИС в различных прикладных областях. Встроенный в язык НЕДИС механизм библиотечных вступлений и заключений позволял создавать многоуровневые библиотеки приложений. Система использовалась для проведения исследований и различного рода проектных работ в таких областях как: проектирование вычислительных машин, систем и сетей передачи данных, планирование ремонтных и профилактических работ для различных парков самолетов, системы управления и контроля в конвертерном производстве, проектирование средств и систем ракетно-космической техники и в других областях. Разработанные на базе системы НЕДИС приложения, как правило, использовались не только для получения широкого спектра статистических характеристик основных показателей функционирования соответствующих прикладных систем, но и для решения разноплановых стратегических проблем. Система НЕДИС послужила основой разработки нескольких последующих поколений систем имитационного моделирования. В течении 1991–1993 гг.. выполнялись работы по созданию технологической системы программирования НЕДИС-90 и реализации ее на ПЭВМ IBM PC AT/386. Система предназначалась для оперативной разработки проблемно-ориентированных языков для самого широкого круга применений. Пользователи системы получали возможность строить свои собственные функциональные эквиваленты таких языков, как SIMULA, GASP-IV, VHDL.

Этап 5 (1979-1986). Годы перехода от программирования к развитию моделей. Основной акцент был перенесен на идентификацию интегрированных средств имитационного моделирования.

Процесс моделирования включает такие этапы, как создание модели, программирования, проведения имитационных экспериментов, обработку и интерпретацию результатов моделирования. Традиционно преимущество отдавалось этапу программирования. Возникающая при этом схема моделирования во многом повторяет схему проведения натурных испытаний и сводится лишь к имитации траекторий изученных моделей. С появлением имитационных моделей изменилась концепция моделирования, которая теперь рассматривается как единственный процесс построения и исследование моделей, которое имеет программную поддержку. Теперь на первое место ставится формальное понятие модели, которое не только объясняет динамику системы, но и служит предметом математических исследований. Становится возможным достоверный анализ многих практически важных свойств модели (стационарных распределений, малых вероятностей, чувствительности, надежности и достоверности результатов моделирования). Эти свойства особенно существенны при исследовании высоко ответственных и полно масштабных систем, где цена ошибки особенно высока.

Не стоит забывать, что выбор языка моделирования влечет за собой принятие концепции авторов языка, что не может не сказаться на стратегии разработки, по-

строения и совершенствования модели, ибо этот процесс существенно зависит от гибкости и мощности изобразительных средств языка, ресурсов, предоставляемых пользователю.

Для моделирования сложной системы нужен аппарат программирования, предусматривающий: способы организации данных, обеспечивающие простое и эффективное моделирование; удобные средства формализации и воспроизведения динамических свойств моделируемой системы; возможности имитации стохастических систем, т.е. процедуры генерирования и анализа случайных величин и временных рядов. Реализация требований к имитационным моделям в рамках универсального языка программирования приводит к громоздким и неудобным для практического использования программам. В большинстве таких программ могут разобраться только их авторы, а любое изменение в постановке задачи требует переработки значительной части текста программы. Дальнейшее развитие сред имитационного моделирования приводит к созданию новых интерфейсов для упрощения работы пользователя.

Этап 6 (1987-1994). Перенесение программного обеспечения для имитационного моделирования на персональные компьютеры с использованием средств графического интерфейса (для визуализации и анимации процессов моделирования).

Системы автоматизации моделирования, разработанные в 60-70-е годы (Simula, SLAM, НЕДИС и другие), были слишком сложны для широкого пользователя, прежде всего из-за сложности текстовой формы описания модели и отсутствия программных реализаций эффективных численных методов. В 90-х годах появились среды имитационного моделирования (Arena, Extend, MicroSaint, Enterprise Dynamics и пр.) содержащие интерфейс непрограммирующего пользователя, входные и выходные анализаторы, возможность анимации имитационного моделирования. Такие среды не требуют программирования в виде последовательности команд. Вместо составления программы пользователь компонует модель, перенося готовые блоки из библиотеки на рабочее поле и устанавливая связи между ними.

Пакеты визуального моделирования позволяют пользователю вводить описание моделируемой системы в естественной для прикладной области и преимущественно графической форме, а также представлять результаты моделирования в наглядной форме, например, в виде диаграмм или анимационных картинок. Одним из главных достоинств систем визуального моделирования является то, что они позволяют пользователю не заботиться о программной реализации модели, как о последовательности исполняемых операторов, и тем самым создают на компьютере некоторую чрезвычайно удобную среду, в которой можно создавать виртуальные, параллельно функционирующие системы и проводить эксперименты с ними. Графическая среда становится похожей на физический испытательный стенд, только вместо тяжелых металлических ящиков, кабелей и реальных измерительных приборов, осциллографов и самописцев пользователь имеет дело с их образами на экране дисплея. Образы можно перемещать, соединять и разъединять

с помощью мыши. Кроме того, пользователь может видеть и оценивать результаты моделирования по ходу эксперимента и, при необходимости, активно в него вмешиваться.
Еще одной важной особенностью этого этапа развития имитационного моделирования является использование технологии объектно-ориентированного моделирования, что позволяет резко расширить границы применимости и повторного использования уже созданных и подтвердивших свою работоспособность моделей. Средства моделирования на этом этапе позволяли создавать модели, для расчета которых требовались значительные вычислительные ресурсы. Это требование определило путь дальнейшего развития компьютерного имитационного моделирования.

Этап 7 (1995-1998). Разработка средств технологической поддержки процессов распределенного имитационного моделирования на мультипроцессорных компьютерах и сетях.

В начале 90-х впервые были изложены и обобщены результаты по практическому созданию завершенной моделирующей среды, ориентированной на использование распределенных и параллельных вычислительных средств [16], как новой парадигмы в области вычислений, что в последующем стало одним из приоритетных направлений исследований и разработок в области компьютерного моделирования.

Исторически сложилось так, что термин “распределённая система имитации” относился к системам, выполняемым на вычислительной системе, узлы которой географически могли находиться на весьма отдалённом расстоянии друг от друга. В этих системах время, которое затрачивалось на передачу сообщений между узлами, было сравнительно велико, а производительность систем – низкая. Термин “параллельная система имитации” применялся к системе имитации, функционирующей на высокопроизводительных вычислительных системах. В этих системах время, затрачиваемое на коммуникацию между узлами, незначительно по сравнению со временем, затрачиваемым на вычисления.

В связи с появлением кластеров рабочих станций, корпоративных и Grid-систем, границы между параллельными и распределёнными системами имитации стираются.

Этап 8 (1999-2007) Развитие и усовершенствование разработанных средств моделирования.

Интересным направлением в компьютерном моделировании является виртуальная реальность. Термин «виртуальная реальность» появился еще в конце 70-х годов (так называли трехмерные макромодели реальности, которые создавались с помощью компьютера и давали эффект присутствия человека в виртуальном мире). Первоначально подобные модели применялись в военной области в обучающих целях, например для имитации управления самолетом. Долгое время весьма высокая стоимость аппаратно-программных комплексов,

позволяющих осуществить подобную визуализацию, ограничивала их применение только военными проектами и космической промышленностью. Однако, прогресс и удешевление этих технологий за последние годы, позволили внести концепцию виртуальной реальности и виртуального прототипирования во все отрасли промышленности и бизнеса.

Виртуальная реальность - высокоразвитая форма компьютерного моделирования, которая позволяет пользователю погрузиться в виртуальный мир и непосредственно действовать в нем с помощью специальных сенсорных устройств. Подобные устройства (шлем виртуальной реальности, очки, перчатки, капсулы и т.д.) связывают его движения с аудиовизуальными эффектами, причем, зрительные, слуховые, осязательные и моторные ощущения пользователя заменяются их имитацией, генерируемой компьютером.

Как показали исследования отечественных и зарубежных авторов, альтернативный мир притягателен для многих именно своей “виртуальностью”. Он дает человеку возможности воевать, заниматься экстремальными видами спорта, приобретать новые навыки и все это без малейших последствий для физического здоровья.

Сила виртуальной реальности состоит в достижении свободы взаимодействия человека с виртуальной средой - там нет принципиальных ограничений в этом плане и можно исследовать и опробовать любой компонент любой пространственной модели (виртуального прототипа). Будучи созданной в компьютере, эта модель, также как и среда, в которой она находится, свободна от ограничений физического пространства и времени.В настоящее время мы наблюдаем все более массированное применение технологий виртуального прототипирования, т.е. процесса создания виртуальной (электронной) модели объекта, предназначенного для последующего производства, ее всесторонней оценки на этапе наличия виртуального прототипа (например, безопасности, функциональности, технологичности и т.д.), оптимизации технологических процессов его изготовления. Виртуальные информационные технологии – это лишь одно из возможных направлений дальнейшего развития компьютерного моделирования.

На сегодняшний день компьютерное моделирование является важным инструментом во всех областях человеческой деятельности.

За более чем полстолетия средства имитационного моделирования прошли значительный путь развития. Современные программные продукты не требуют специального обучения пользователя, и у него есть возможность уделить больше внимания проведению имитационных экспериментов и интерпретации их результатов. Перспективными направлениями развития моделирования представляются следующие области:

– имитационное моделирование системы одновременно с ее функционированием, что позволит предсказывать поведение системы;

– замена физических моделей объектов управления на имитационные, что позволит изучать разные алгоритмы управления объектами;

– оптимизация результатов имитационных экспериментов;
– распределенное в пространстве имитационное моделирование сложных систем;

– отображение реального производства в виде имитационной модели. Возможности моделирования неуклонно растут и требуют все больших вычислительных мощностей.

Ошибочно думать, будто традиционные виды моделирования противопоставляются компьютерному моделированию. Наоборот, доминирующей тенденцией сегодня является взаимопроникновение всех видов моделирования, симбиоз различных информационных технологий в области моделирования, особенно, для сложных приложений и комплексных проектов по моделированию. Так, например, имитационное моделирование включает в себя концептуальное моделирование (на ранних этапах формирования имитационной модели) и логико-математическое (включая методы искусственного интеллекта) для целей описания отдельных подсистем модели, а также в процедурах обработки и анализа результатов вычислительного эксперимента и принятия решений. Технология проведения и планирования вычислительного эксперимента с соответствующими математическими методами привнесена в имитационное моделирование из физического (натурного) — моделирования. Наконец, структурно-функциональное моделирование используется при создании стратифицированного описания многомодельных комплексов.

Оглавление

1. Различие тэхнэ и эпистеме в античности: техника без науки и наука без техники ……..... 3
2. Развитие механических знаний в Александрийском Мусейоне …….. 4
3. Влияние арабских источников и техники средневекового Востока на европейскую цивилизацию …….. 6
4. Повышение социального статуса архитектора и инженера в эпоху Возрождения …… 10
5. Развитие артиллерии и создание начал баллистики в эпоху Возрождения ……..... 12
6. Экспериментальное естествознание XVII века ……..... 14
7. Промышленная революция конца XVIII - X1X в ……..... 16
8. Становление технического и инженерного образования в XVIII веке. Учреждение средних технических школ в России ……... 20
9. Высшие технические школы в XVIII веке как центры формирования технических наук ……... 24
10. Парижская политехническая школа и научные основы машиностроения в начале XIX века ……... 39
11. Формирование классических технических наук: технические науки механического цикла, система теплотехнических дисциплин, система электротехнических дисциплин …… 43
12. Математизация технических наук в XX веке …… 51
13. Формирование системы «фундаментальные исследования - прикладные исследования - разработки» ……..... 56
14. О критериях различия фундаментальных и прикладных исследований . 60
15. Место технических наук в системе научного знания …….. 65
16. Компьютеризация инженерной деятельности. Развитие информационных технологий и автоматизация проектирования …….. 69
17. Влияние компьютеризации инженерной подготовки на мышление ….. 72
18. Технические науки и прикладное естествознание …… 74
19. Развитие теории механизмов и машин (вторая половина XIX – первая половина XX в.) ……..... 78
20. Моделирование как метод научного познания …….. 85
21. Обзор методов моделирования ……... 87
22. Развитие компьютерного имитационного моделирования ……..... 90
23. Основные этапы развития методов имитационного моделирования (Р. Нанс) ……..... 91