

621.3(01)

179

А. К. ЛОСЕВ

Введение в специальность «РАДИО— ТЕХНИКА»

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов
радиотехнических
специальностей

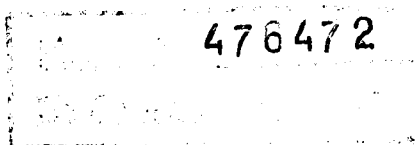


МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1980

ББК 32.84
Л79

Рецензенты:

кафедра Московского авиационного института
(зав. кафедрой проф. И. С. Гоноровский);
проф. Н. И. Чистяков



Лосев А. К.

Л79 Введение в специальность «Радиотехника»:
Учеб. пособие.— М.: Высш. школа, 1980.—
240 с., ил.
45 к.

Пособие состоит из трех частей — введения в инженерное дело, введения в студенческие годы и введения в радиотехнику. В первой части рассматриваются различные аспекты инженерной деятельности и требования, предъявляемые к советскому инженеру; во второй — особенности обучения в вузе и различные формы работы студентов младших курсов; в третьей — история изобретения и развития радио, основные принципы и методы радиотехники и ее отрасли, а также даются первичные сведения о сигналах, необходимые при изучении специальных курсов.

Предназначается для студентов радиотехнических вузов и факультетов. Может быть полезно учащимся старших классов средней школы, интересующимся радиотехникой.

Л 30401—491
001(01)—80 97—80

2402000000 ББК 32.84
6Ф2

© Издательство «Высшая школа», 1980

ОТ АВТОРА

Курс «Введение в специальность «Радиотехника» является относительно новым. Его содержание еще не вполне устоялось, и в различных вузах он излагается неодинаково. Настоящее учебное пособие написано по материалам лекций, которые читаются автором в Рижском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

При постановке курса и подготовке к печати этой книги автор пользовался советами своих коллег — преподавателей кафедры теоретической радиотехники и других кафедр факультета радиотехники и связи. Всем им, особенно доценту Э. П. Бекерису, доц. Я. Я. Лочмелису и старшему преподавателю Д. В. Пурышеву, автор выражает свою глубокую благодарность.

Рукопись книги была прочитана профессором Московского электротехнического института связи Н. И. Чистяковым, а также на кафедре Московского авиационного института (зав. кафедрой профессор И. С. Гоноровский). Ценные замечания рецензентов во многом способствовали улучшению книги, и автор благодарит их с чувством глубокой признательности.

Автор

**Письмо автора к студенту,
пожелавшему стать
радиоинженером**

Вы решили стать радиоинженером. Я с радостью одобряю столь похвальное решение.

Замечательная профессия! Романтичная и всеобъемлющая, почетная и ответственная...

Изумительная деятельность открывается перед Вами — увлекательная и многогранная, раскрывающая тайны микромира и проникающая в космос...

Прекрасный труд ожидает Вас — творческий и плодотворный, вдохновенный и разнообразный...

Впрочем, остановимся. Умерим восторги. Поговорим без восклицательных знаков и заменим их вопросительными.

Хорошо ли Вы информированы об избранной профессии? Не видите ли Вы в облюбованной специальности только одну ее романтическую сторону? И не привлекает ли Вас предстоящий труд лишь своей престижностью? Не прельщает ли Вас будущая деятельность лишь открывающейся возможностью сделать самому радиоприемник?

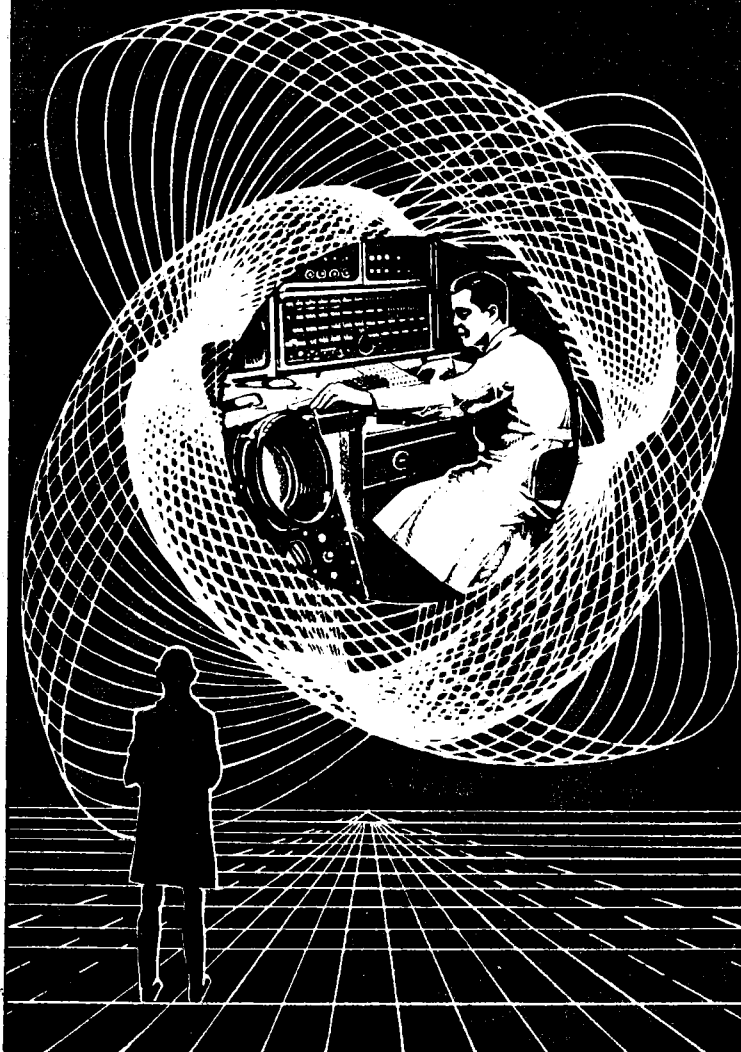
Если все это так, то боюсь, что я поторопился со своим одобрением Вашего выбора. Кстати, я забыл спросить о главном: что Вы конкретно знаете об избранной специальности? И знаете ли Вы, по существу, что такое радио? И представляете ли, что такое студент и как он должен учиться?

На эти и другие подобные вопросы я постараюсь ответить в этой книге. Если же у Вас возникнут новые вопросы о Вашей будущей специальности, об институте, пишите.

— Да, — чуть не упустил основное, — способны ли Вы самозабвенно полюбить то дело, которому хотите служить? Ведь без такой любви не преодолеть трудностей на избранном пути.

А. К. Лосев

ВВЕДЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО



ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Развитие инженерного дела

Развитие инженерного дела
Виды инженерной деятельности
Инженерная деятельность и природа

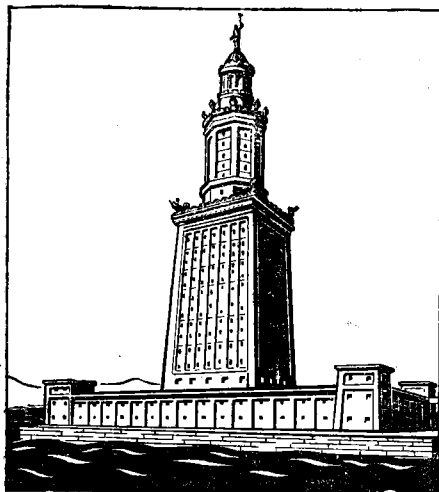


Выдающийся древнегреческий изобретатель и ученый Архимед (около 287—212 гг. до н. э.)

Инженерное дело заключается, прежде всего, в техническом творчестве, цель которого — совершенствование и создание средств для удовлетворения материальных и духовных потребностей человека. Пищевые изделия и радиоприемники, одежда и телевизоры, жилые строения и узлы связи, самолеты и радионавигационные устройства, теплоэлектроцентрали и телецентры, мосты и телефонные сети — все это объекты инженерной деятельности. И, конечно же, их созданию предшествует изготовление орудий труда — инструментов и приборов, станков и двигателей — всех тех разнообразных машин и производственных приспособлений, с которых начинаются инженерные владения.

Можно считать, что инженерное дело возникло вместе с рождением самого человечества, поскольку, по словам Ф. Энгельса, «труд начинается с изготовления орудий» и «труд создал самого человека».

Термин «инженер» происходит от латинского слова *ingenium*,



1.1

Человечество всегда гордилось своими техническими достижениями. Наиболее выдающиеся сооружения древнего мира вошли в историю под интригующим названием семи чудес света. Одно из них — Александрийский маяк

которое можно перевести как «изобретательность». Вероятно, первыми инженерами можно назвать тех безвестных изобретателей, которые стали приспособлять камни и палки для охоты и защиты от хищников, а первая инженерная задача заключалась в обработке этих орудий. И несомненно гениальным изобретателем следует признать того первобытного инженера, который прикрепил камень к палке, чтобы эффективнее защищаться и результативнее нападать.

Однако безвестные изобретатели первых орудий не знали латыни и не называли себя инженерами.

Когда же появилась латынь, человек уже научился нападать не только на зверей, но и на себе подобных. Возникло искусство ведения войн. Вместе с ним развилось и искусство создания технических средств нападения и



Автопортрет гениального художника, изобретателя и ученого эпохи Возрождения Леонардо да Винчи (1452—1519)

защиты: изобретение новых видов оружия, возведение бастионов, изготовление средств для разрушения укреплений и т. п. И к числу парадоксов истории можно отнести тот факт, что первоначально инженерами называли лишь специалистов по созданию военных технических средств.

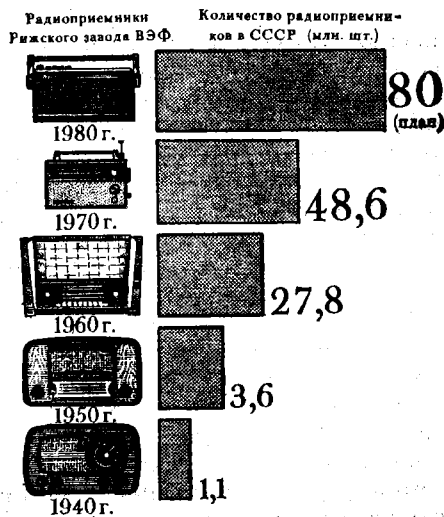
Когда человечество стало писать свою историю, в качестве образца инженерной деятельности обязательно приводили создание изобретателем рычага Архимедом военных машин для защиты Сиракуз от римских легионов. Отголосок этого можно видеть и в том, что еще в начале нашего века корабельными инженерами называли в России специалистов по постройке военных судов.

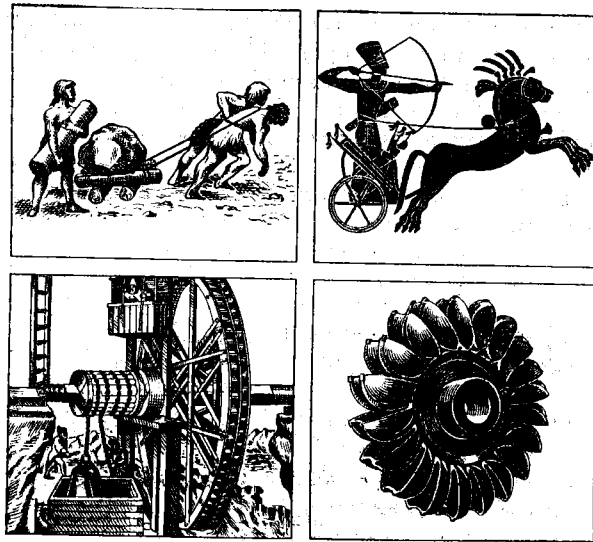
Но не войнами едиными издревле жил человек. Такое творение инженерной мысли, как водяная мельница, известно было уже до нашего летосчисления. Тот же Архимед прославился не только своими военными машинами, но и винтовыми водоподъемниками для орошения полей.

В древнем мире возводились не только крепости, но и мирные инженерные сооружения, например Александ-

1.2

Развитие инженерного дела связано, прежде всего, с обновлением техники и с увеличением ее производства. На смену сигналам факельных маяков пришли радиосигналы. И бурное развитие радиопромышленности является приметой нашего времени



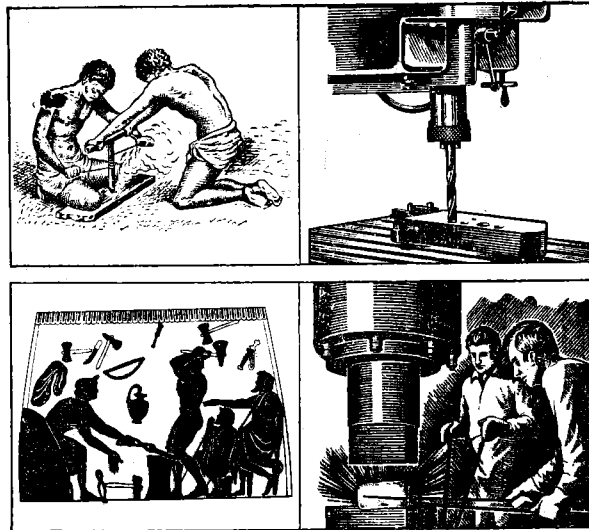


1.3

При обновлении техники бережно сохраняются достижения былых времен. Древнему миру мы обязаны многими техническими открытиями, определившими судьбу нашей цивилизации. Колесо — одно из таких открытий

рийский маяк. Тот самый маяк, на облицовке которого честолюбивый властитель повелел высечь надпись: «Царь Птоломей — богам-спасителям на благо мореплавателям». Но создатель маяка знал секреты облицовочных материалов. В определенный им срок ненужная часть облицовки осыпалась и обнажилась мраморная плита. На ней люди прочитали другую надпись, которая прославила имя истинного творца: «Состратус из города Книда, сын Дексиплиана — богам-спасителям на благо мореплавателям».

Перечень достижений инженерной мысли можно было бы многократно продолжить от первобытных ручных орудий труда до полностью автоматизированных станочных линий современного производства, от первых маяков до сегодняшних телевизионных башен, от древних дорог и мостов до нынешних космических кораблей. В этом ряду почетное место занимают и разнообразные технические средства связи: от примитивных сигнальных



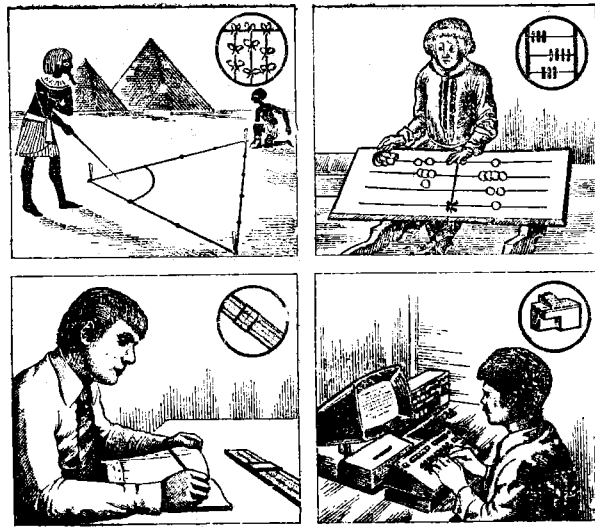
1.4

С древнейших времен сохраняются и некоторые операции, используемые при производстве технических изделий. Например, вращательное движение рабочего инструмента, применяемое в современной сверлильной станке, использовалось еще при добывании огня трением, а принцип горячей обработки металла — древес, как само кузнечное дело.

приспособлений до современных космических радиокомплексов.

Характерная особенность развития техники состоит в ее непрерывном совершенствовании и усложнении. Этот процесс закономерен. Вместе с развитием человеческого общества, с ростом его материальных и духовных запросов развиваются и усложняются технические средства для удовлетворения этих запросов.

Современные технические средства настолько сложны, что для их производства требуется кооперация многих людей различных специальностей и разной квалификации. В современном радиоприемнике заложен труд радистов и механиков, акустиков и химиков, электриков и металлургов, и многих других специалистов. Производство современного радиоприемника зиждется на труде рабочих, техников, инженеров...

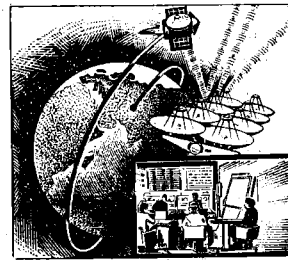
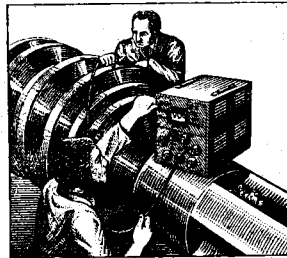


1.5

Однако развитие производства было бы невозможно без совершенствования и обновления приемов труда. Примером может служить радикальное изменение способов и техники счета

Первоначально дифференциация труда происходила по видам изделий. Такая дифференциация началась вместе с возникновением земледелия и скотоводства, потребовавших своих орудий труда. Возникают и развиваются различные ремесла — ткацкое и гончарное, мельничное и кузнечное. Их число неуклонно растет. Возникнув еще в древнем мире, за много тысячелетий до нашего летосчисления, специализация по видам ремесел все более расширяется.

До тех пор пока технические изделия были несложными, их производство от начала до конца сосредоточивалось в одних руках: от добычи сырья до сбыта готовых изделий ремесленник все делал сам. Например, гончар сам мастерил гончарный круг и добывал подходящую глину, замешивал ее, формовал кувшин, обжигал и продавал его. В этих условиях овладение ремеслом означало приобщение к несложным знаниям рецептурного характера и приобретение достаточно простых трудовых навыков. Такие знания и навыки могли приобре-



1.6

Развитие техники позволяет ставить перед производством новые задачи. Совершенствование техники измерений, рождение и развитие электроники позволили, например, внедрить в производство так называемые неразрушающие методы контроля, которые позволяют оценить внутреннее состояние изделий без их разрушения, а успехи в развитии радиотехники позволяют точно выводить космические корабли на заданные орбиты.

таться сыном у отца или передаваться ремесленником своему подмастерью-ученику.

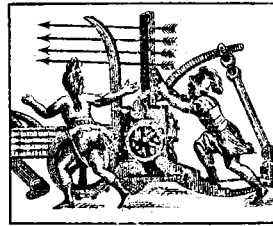
По мере усложнения технических изделий в рамках ремесленного производства намечается разделение труда не только по видам изделий, но и по уровню квалификации специалиста. С возникновением городов, которые стали и торговыми центрами, и средоточием цехового ремесленного производства, дифференциация труда не только расширяется, но и углубляется. Поставщиками сырья и скупщиками готовых изделий становятся купцы, а приобретение сырья, распределение его между ремесленниками и сбыт готовой продукции берут в свои руки цехи, объединившие ремесленников, производящих одинаковые технические изделия. Ремесленник полностью посвящает себя производству.

Происходит разделение труда по уровню его сложности. Наиболее простые операции достаются ученикам, более сложная работа препоручается подмастерьям, а самый квалифицированный труд ремесленники-мастера оставляют за собой. Но даже мастер, обладавший по тем временам высшей квалификацией, владевший всеми секретами производства, совмещал еще функции и рабочего, и техника, и инженера.

Однако настала пора, когда самый квалифицированный мастер-ремесленник не мог уже справиться со всеми рабочими операциями. Ведь с усложнением технических изделий усложнялся и процесс их производства, множилось количество рабочих операций, операции эти становились все более разнообразными. В простейшем гончарном производстве любое изделие мог производить от начала до конца один мастер. Но при производстве зеркал надо уметь и стекло сделать, и амальгамой его покрыть.

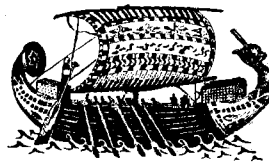
Налицо объективные предпосылки для перехода на пооперационную специализацию, возникают мануфактуры по производству шелка, сукна, зеркал и других сложных изделий. Мануфактуры рассредоточили изготовление технических изделий среди ремесленников нескольких специальностей. Теперь уже готовые изделия производило одно из ремесленных производств, на долю других приходилось производство тех или иных полуфабрикатов.

Такая специализация ману-



1.7

Издавна орудия труда требовали применения мускульной силы человека. Переход от мотыги к примитивной сохе не только означал совершенствование орудий земледелия, но и предопределила использование мускульной силы животных. Наряду с этим человек всегда старался эффективнее использовать собственную силу, изобретая для этого разные приспособления: рычаг, ворот, лук, копьёметательные машины и другие механизмы

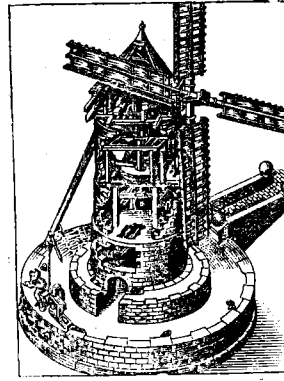


1.8

Первые попытки использования силы ветра для парусных судов за 3—4 тыс. лет до н. э. ознаменовали собой не только совершенствование технических транспортных средств, но и рост энерговооруженности труда человека

1.9

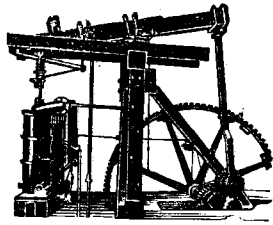
Водяные колеса позволили использовать энергию рек. Они во многом определили пути развития различных ремесел — мельничного, горного, кузнечного и др. Однако водяные колеса привязывали производство к рекам. От этого недостатка производство освободилось с появлением ветряных мельниц.



фактурного производства создавала предпосылки к совершенствованию и усложнению производственных процессов, к созданию специализированных орудий труда. С другой стороны, дальнейшее расширение и углубление специализации труда в мануфактурный период способствовало росту технического творчества и обусловило рост механизации и машинизации мануфактурного производства, снижение доли ручного труда.

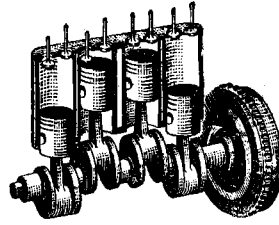
В XV—XVI вв. наряду с водяными колесами стали широко применяться ветряные двигатели. Совершенствуются и изобретаются новые механизмы и машины. Известны, например, сотни изобретений гениального Леонардо да Винчи. Среди этих изобретений можно указать на ременные и цепные передачи, «кардановое» соединение для валов (переоткрытое впоследствии Дж. Кардано) и колесные опоры для осей (прообраз шариковых и роликовых подшипников), механический ткацкий станок и прядильную машину для шерсти. Сейчас мы называем Леонардо да Винчи ученым и инженером. Сам Леонардо называл себя изобретателем. Но вне зависимости от названия его техническое творчество является блестящим образцом инженерной деятельности и для нынешних поколений инженеров.

Усложнение технических изделий и совершенствование производства, углубление специализации труда и рост технического творчества, разделение труда на физический и умственный явились предпосылками для



1.10

Потребности развивающегося производства в силовых установках неуклонно возрастали. Все более требовались источники энергии, которые бы не зависели ни от географических условий, ни от капризов погоды. Паровой двигатель позволял решить эту проблему. Наибольших успехов в ходе совершенствования паровых машин достиг английский изобретатель Дж. Уатт (1736—1819), по имени которого названа единица мощности (ватт)



1.11

Громоздкость паросиловой установки, ее взрывоопасность и низкая экономичность побуждали искать новые пути совершенствования тепловых двигателей. Принципиально более простым и экономичным явился двигатель внутреннего сгорания, схематизированный вариант которого и приведен на рисунке. Такие двигатели стали применяться не только на промышленных предприятиях, но и на транспорте. Первая практически пригодная конструкция этого двигателя была создана французским механиком Э. Ленуаром (1860)

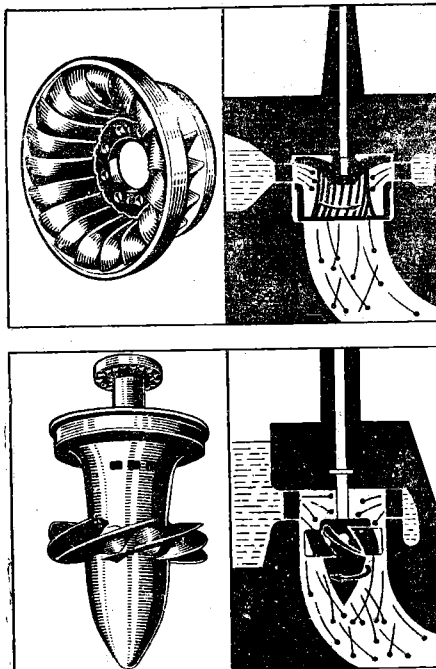
появления новой профессии, профессии инженера.

Профессия гражданского инженера появилась впервые в XVI в. в Голландии. Поначалу гражданскими инженерами стали называть специалистов по строительству мостов и дорог (впоследствии таких специалистов называли в России инженерами путей сообщения, а гражданскими инженерами стали называть архитекторов — специалистов по постройке зданий). Вслед за гражданскими появились горные инженеры — специалисты по разработке полезных ископаемых. В XVII в. были созданы специальные технические школы, готовящие инженеров. Инженерами стали называть лиц, получивших специальное техническое образование.

При этом инженер должен был заниматься не только совершенствованием и изобретением новых технических изделий. Ведь для их изготовления требуется разработать и соответствующие способы: литье иликовка, прессование или токарная обработка и т. д. И все эти процессы должны осуществляться на производстве согласованно, что возможно только при должной органи-

1.12

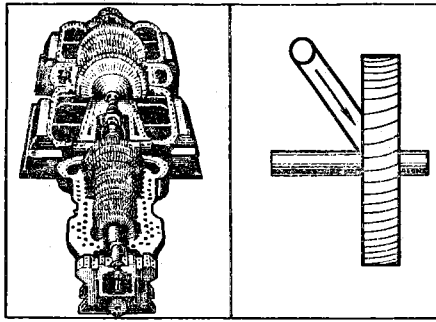
Принцип действия водяного колеса получил дальнейшее развитие в гидротурбинных двигателях, которыми оснащаются современные гидроэлектростанции. Мощность современных гидротурбин достигает сотен мегаватт



зации работ. Поэтому на инженера были возложены и функции организатора процесса труда. Производственные процессы также стали объектом инженерной деятельности, составными частями инженерного дела.

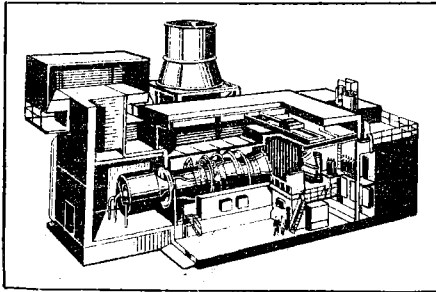
Роль инженера как организатора производства неуклонно возрастала. В XVIII в. бурное развитие производительных сил привело к вытеснению мануфактур машинно-фабричным производством. На смену мануфактурной кооперации пришел капиталистический способ производства.

Фабричное производство означало резкий рост механизации. При этом особую роль сыграло появление паровых двигателей и различных специализированных станков. Это, с одной стороны, позволило укрупнить производство, с другой — перестроить весь производственный процесс, разбить его на множество отдельных



1.13

Широкое применение в современном промышленном производстве и на транспорте получили паровые и газовые турбины. Эти силовые установки объединили в себе идеи построения и гидротурбин, и тепловых двигателей, но в отличие от поршневых двигателей являются более компактными и экономичными. Мощность современных паровых турбин превышает 1000 МВт.



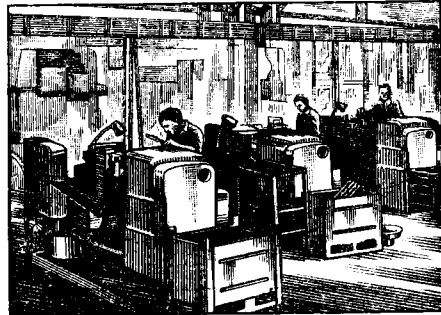
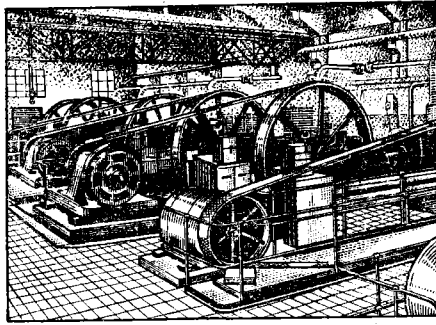
элементарных операций, доступных рабочим низкой квалификации. Таким образом, капиталистическое производство означало крайнюю степень дифференциации труда, при которой рабочий низводился до роли придатка к машине. Массовость производства, усложнение и предельная дифференциация производственных процессов явились теми факторами, которые существенно подняли роль инженера как организатора производства, отвечающего не только за работу машин и механизмов, но и за производственную деятельность рабочих.

Дальнейшее укрупнение и усложнение производства привело к необходимости усиления технического руководства производством, возникла необходимость в освобождении инженера от наименее квалифицированной доли его труда, которая могла быть возложена на технических специалистов более низкой квалификации. С другой стороны, в XVIII в. и особенно в XIX в. стали формироваться самостоятельные технические науки (строительная механика, гидравлика и др.), которые

2 Заказ 318 476472 17

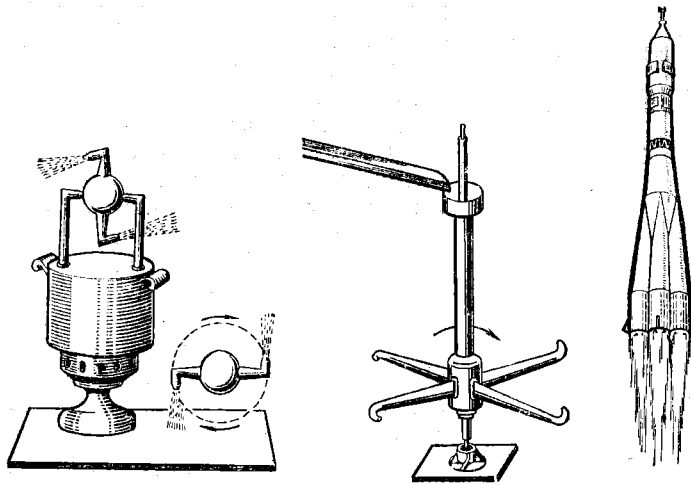
1.14

Электричество совершило новую техническую революцию: с появлением электродвигателей и линий электропередач была решена задача транспортировки энергии практически на любые расстояния. Существенно упростился привод к станкам; возник электротранспорт; возникли предпосылки создания систем электросвязи



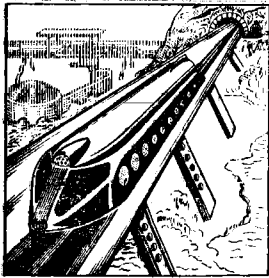
оказывали заметное влияние на развитие производства. Это повысило требования к специальной подготовке инженеров и подняло роль технического творчества в инженерной деятельности. Тогда на помощь инженерам пришли техники, специалисты со средним образованием. С тех пор инженерами называют лиц, получивших высшее техническое образование.

Переход к социалистическому способу производства, революционно изменивший характер производственных отношений, по-новому поставил и роль инженера как организатора производства. Являясь техническим руководителем производственного коллектива, инженер на социалистическом производстве должен обеспечивать не только эффективное использование производственного персонала. Важнейшей его задачей является такая организация производственного процесса, которая содействовала бы освобождению рабочего от рабского подчинения машине, помогала бы превращению произ-



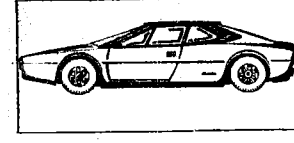
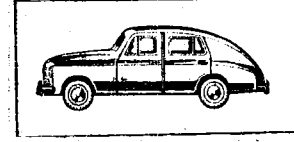
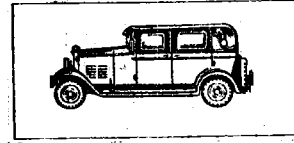
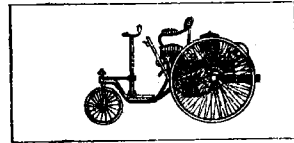
1.15

Непрерывно совершенствуются и типы двигателей на транспорте. Реактивное движение издавна занимало умы человечества. Еще Герон Александрийский (около I в. н. э.) описал «эолипил» — шар, вращающийся под действием реакции от струи пара (верхний рисунок). Аналогичный прибор с истекающей струей воды, известный под названием «сегнерова колеса», был создан в 1750 г. венгерским физиком Я. А. Сегнером. Принцип действия этих приборов используется и в современных реактивных двигателях, без которых была бы невозможна космонавтика



1.16

Инженеру любого профиля постоянно приходится решать новые технические задачи и искать новые пути их решения. В наземном транспорте, например, колесные средства передвижения сменяются трубопроводным транспортом, поездами на воздушной подушке и т. д.



1.17

Инженер любого профиля имеет дело с непрерывно обновляющейся техникой. Часто формы и внешний вид новых изделий повторяют форму своих предшественников, но проходит время и подражательные формы исчезают, возникают новые формы, обусловленные конкурентными условиями функционирования изделия

водственного труда в труд творческий и обеспечивала бы максимально благоприятные условия труда.

Социалистическое производство растет небывало высокими темпами, обгоняя в своем развитии производство капиталистических стран. Этот процесс ускоряется. Бурно нарастая, производство многих видов продукции стало массовым. Радиоприемников и телевизоров, например, наша радиопромышленность выпускает чуть ли не до десяти миллионов штук в год.

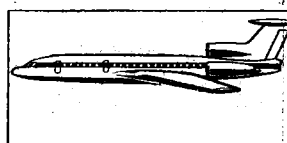
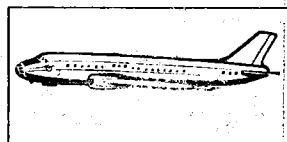
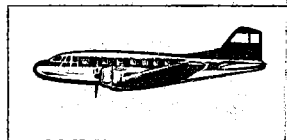
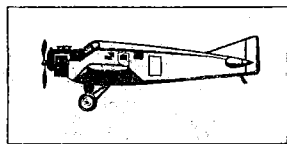
С развитием производства растет и количество инженерных специальностей, охватывающих различные сферы технической деятельности общества. Если на первых порах были только три инженерных специальности (военный, гражданский и горный инженеры), то в начале нашего века в России, например, насчитывалось свыше десяти инженерных специальностей. Сейчас же в СССР осуществляется подготовка инженеров более чем по 230 специальностям.

Расширяются и сами инженерные специальности. В сферу деятельности инженеров одной специальности входит все больше разнообразных объектов. Например, на первых порах в радиотехнику входили только радиотелеграфные системы. Затем к радиотелеграфии добавилась радиотелефония, и они объединились под общим названием радиосвязи. Сейчас радиотехника объединяет в себе радиосвязь, телевидение,

радионавигацию, радиолокацию, радиотелеуправление и радиотелеизмерения. И каждой из этих отраслей радиотехники присущи свои технические объекты.

В наше время технические объекты являются столь сложными, а их количество внутри одной специальности столь велико, что инженеру подчас трудно охватить их. Поэтому некоторые инженерные специальности делятся дополнительно по специализациям. Например, в состав радиооборудования современного самолета входит несколько связанных радиостанций, многочисленное радиолокационное оборудование различного целевого назначения, комплекс радионавигационных приборов, радиотехнические системы посадки самолета при отсутствии видимости Земли и т. д. Соответствующие комплексы радиооборудования имеются и в аэропортах. При этом самолетное и аэродромное оборудование существенно отличается: для радиосвязи самолета с аэропортом и между аэропортами требуются совершенно различные радиостанции. Поэтому авиационные инженеры-радисты специализируются на обслуживании бортового радиооборудования или на обслуживании наземного радиооборудования.

Развитие инженерного дела характеризуется не только количественным ростом. Научно-технический прогресс приводит и к усложнению инженерной деятельности. Объектами инженерной деятельности давно уже стали



1.18

Обновление техники означает и ее усложнение. В авиации, например, меняется не только форма самолетов. Они оснащаются все более совершенными двигателями, все более сложным оборудованием, в котором существенное место занимает и радиооборудование.



Творец космической техники
академик С. П. Королев
(1906—1966)

не только технические изделия и производственные процессы.

Для современных технических объектов является характерной не столько сложность их конструкции, сколько сложность протекающих в них процессов. В двигателе внутреннего сгорания химическая энергия топлива преобразуется в тепловую энергию, а тепловая — в механическую энергию. На гидроэлектростанциях энергия падающей воды преобразуется в электрическую энергию. В телефоне речевые (акустические) сигналы преобразуются в электрические сигналы и наоборот. На АТС производится автоматический поиск нужного абонента и соединение с ним. Теле-

визор принимает радиосигналы, под влиянием которых в нем протекают токи и формируется изображение. В ЦВМ производятся вычисления и осуществляются логические операции и т. д. Упомянутые акустические и электрические сигналы в свою очередь также являются процессами. И они также являются объектами инженерной мысли.

Вместе с усложнением технических изделий и протекающих в них процессов усложняются и технические науки. Все это повышает требования к уровню подготовки инженера. Широкие и глубокие знания являются первым условием успешной инженерной деятельности в нашу эпоху.

Архимед воплощал в себе и выдающегося инженера, и величайшего ученого древнего мира. Его знаний было достаточно, чтобы одному создать метательные машины, поражавшие воображение многих поколений. Ныне потребовалось объединение усилий множества талантливых ученых и незаурядных инженеров во главе с выдающимся инженером нашей эпохи академиком С. П. Королевым, чтобы решить современную задачу метания — задачу «метания» в космос искусственного спутника Земли.

Леонардо да Винчи был весьма разносторонен

в своем техническом творчестве. Он создал не только множество различных механизмов, но и ряд гидравлических устройств. Хорошо известен и его проект летательного аппарата. Но для проектирования современного самолета требуется объединение творческих усилий инженеров десятков разных специальностей. Это проектирование осуществляется большими коллективами, состоящими из тысяч специалистов, такими, например, как конструкторское бюро, созданное всемирно известным авиаконструктором академиком А. Н. Туполевым.



Изобретатель радио Александр Степанович Попов (1859—1906)

А. С. Попов был по образованию физиком, преподавал электротехнику, занимался инженерной деятельностью, создавая различные приборы. Его знания оказались достаточными для изобретения радио. Но сейчас лишь для обеспечения нормального функционирования радиосистем одного космического корабля требуются многие радиоинженеры. Знаний одного не хватает.

Современному инженеру для его инженерной деятельности не хватило бы всех знаний Архимеда, Леонардо да Винчи и А. С. Попова, вместе взятых. Это не означает, конечно, что любой современный инженер с его широкими и глубокими знаниями может сравняться в техническом творчестве, например, с Леонардо да Винчи. Для технического творчества одних знаний недостаточно, нужен еще талант, требуется еще призвание.

Виды инженерной деятельности

Практическая деятельность инженеров даже одной и той же специальности имеет различный характер в зависимости от исполняемых ими обязанностей. И на каждом участке инженерной деятельности специалист должен обладать специфическими знаниями и практическими навыками.

Задача инженера — создание новых технических средств или объектов, как об этом говорилось выше.

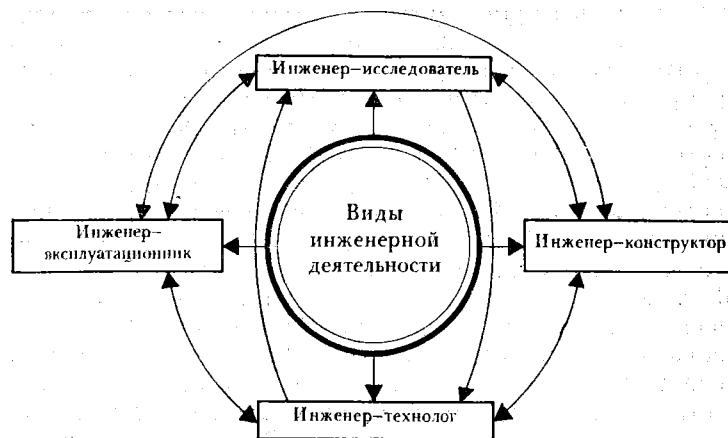
Но прежде чем приступить к непосредственному производству технических объектов, надо их прежде всего *сконструировать*. В задачу конструирования входит выбор принципа действия технического объекта и отдельных его узлов, разработка схемы конструкции и взаимодействия ее частей, выбор подходящих материалов и деталей, расчет наивыгоднейших параметров узлов и всей конструкции, разработка компоновки и внешнего оформления изделия, составление его технического проекта.

Конструирование является самостоятельной инженерной задачей и относится к одной из разновидностей инженерной деятельности, которая требует специфических знаний и практических навыков. Поэтому для решения такой инженерной задачи требуются инженеры с соответствующим профилем подготовки. Их называют *инженерами-конструкторами*.

Сконструированный объект надо еще изготовить. Если инженер-конструктор ответил на вопрос, *что надо делать*, то кто-то должен ответить на вопрос, *как это делать*. Однако изготовить один и тот же объект можно различными способами, с помощью различных *технологических* приемов или операций (вспомните приведенный выше пример с выбором литья иликовки, прессования или токарной обработки). Выбор технологических операций существенно влияет на эффективность производства. Одна технология позволяет получить дешевый продукт, другая — обеспечивает высокое качество производимой продукции. Одна технология ускоряет производство изделия, другая — повышает его безотказность в работе, или эксплуатационную надежность. Какую же технологию выбрать? А может быть, есть технология, которая объединяет в себе все указанные достоинства и обладает множеством других положительных качеств? И если нет такой технологии, то можно ли ее разработать? Если же нельзя, то какая технология будет оптимальной?

Однако если выбрана оптимальная технология, то кто может на производстве обеспечить ее неукоснительное соблюдение? Ведь нарушение предписанного технологического режима неизбежно означает выпуск бракованной продукции.

Обеспечить решение всех этих технологических вопросов производства могут только соответственно под-



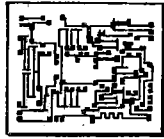
1.19

Многообразны сферы приложения знаний радионженера. Конструкторское бюро и цех завода по производству радиоаппаратуры, отраслевой и академический научно-исследовательские институты, телецентр и эксплуатационно-технический узел связи, радиостанция и радионавигационный комплекс, гидрометеослужба и геологическая разведка — таков далеко неполный перечень предприятий и служб, где работают радионженеры. И везде характер их инженерной деятельности может быть различным.

готовленные специалисты. Ими являются *инженеры-технологи*.

При чрезвычайной сложности современных технических средств, в частности радиотехнических устройств, инженерное дело не может быть ограничено лишь их изготовлением. Необходимо еще обеспечить нормальное функционирование готовых изделий. Для этого требуется грамотно оценивать техническое состояние объекта, проводить комплекс регламентных работ, т. е. профилактических мероприятий, направленных на сохранение необходимых технических характеристик изделия, прогнозировать и предотвращать возможные отказы в его работе. В случае же отказа в работе изделий надо уметь выявить дефект и грамотно организовать ремонт. Решение этих технических вопросов также является инженерной задачей, которая составляет содержание *технического обслуживания*, или *технической эксплуатации* изделий.

Техническое обслуживание является третьей разновидностью инженерной деятельности, которая также требует от инженера специфической подготовки. Специали-



1.20

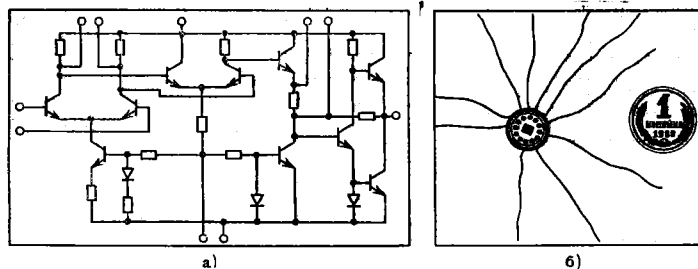
Усложнение техники означает и радикальное изменение технологий. Например, в радиопромышленности используется сейчас печатный монтаж, который заключается в нанесении на диэлектрическую подложку (плату) металлических пленок в виде линий, воспроизводящих электрическую схему. Технология печатного монтажа, осуществляемого электрохимическим, фотохимическим и другими способами, позволяет механизировать и автоматизировать сборку радиоаппаратуры

сты с таким профилем подготовки называются *инженерами-эксплуатационниками*.

Научно-технический прогресс связан с развитием производства. Производство не стоит на месте. Его развитие означает не только количественный рост продукции, но и неуклонное улучшение качества. Совершенствование и выпуск новых видов продукции на уровне мировых стандартов является одной из важнейших задач современного производства. Решение этих задач и, следовательно, успехи в развитии инженерного дела возможны только на основе новейших научных достижений.

Поскольку успехи в развитии инженерного дела определяются научными достижениями, то и инженерная деятельность не может осуществляться в отрыве от *научных исследований*, без проведения научно-исследовательской работы (НИР). Целью НИР является всестороннее теоретическое и экспериментальное исследование технологических процессов и процессов, протекающих в устройстве и в отдельных его узлах, изучение на этой основе свойств технического объекта и поиск путей улучшения этих свойств вплоть до выявления принципиально новых способов решения поставленной задачи. Конечной целью научных исследований в инженерном деле и в технических науках является разработка методов расчета и оптимизации параметров изделия, контроля его характеристик, повышения его экономичности и надежности и других рекомендаций, необходимых в инженерной практике на стадии конструирования, производства и технической эксплуатации объекта.

Таким образом, в эпоху научно-технического прогресса научно-исследовательская работа является составной частью инженерной деятельности. Сейчас научные исследования проводят инженеры всех профилей — и конструкторы, и технологи, и эксплуатационники. Однако с учетом специфики НИР в ряде вузов готовят инженеров, которые могли бы специализироваться на



1.21

Научно-технический прогресс открывает новые пути совершенствования технических изделий и их производства. Увеличивается, например, количество элементов в усилителе, но сам усилитель изготавливается уже не из отдельных элементов, а в виде небольшой пластинки из полупроводникового материала. Отдельные части этой пластинки, обработанные по так называемой интегральной технологии, выполняют функции и десяти транзисторов, и трех диодов, и одиннадцати резисторов, и соединительных проводников. Такое обновление техники означает и радикальное изменение технических задач, которые приходится решать инженерам-исследователям, конструкторам, технологам и эксплуатационникам

проведении научных исследований, направленных на совершенствование и создание новых технических средств и технологий. Таких специалистов можно назвать *инженерами-исследователями*.

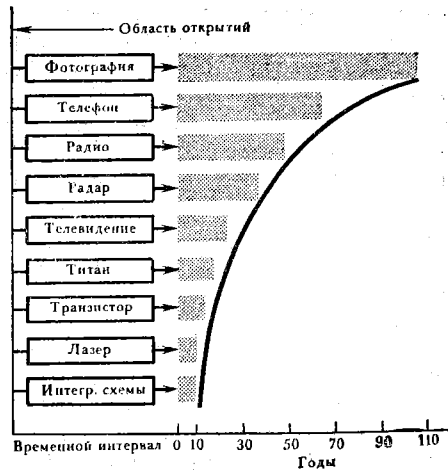
Итак, для любой специальности соответственно видам инженерной деятельности следует различать инженеров четырех профилей: инженеров-исследователей, инженеров-конструкторов, инженеров-технологов и инженеров-эксплуатационников. Все четыре вида инженерной деятельности взаимно дополняют друг друга, выстраиваясь при этом не в ряд, а по кругу.

Создание нового технического объекта, необходимость которого продиктована потребностями общества, начинается с научных исследований, определяющих направления и оптимальные пути в достижении поставленной цели. Затем осуществляется конструирование объекта и разрабатывается соответствующий технологический цикл. После этого объект запускается в производство, где воплощаются замыслы исследователей, конструкторов и технологов, проводятся дополнительные научные исследования, по результатам которых осуществляется доработка конструкции и доводка технологии.

Объект готов и поступает к потребителю, т. е. переходит в руки инженера-эксплуатационника. И теперь,

1.22

С ускорением научно-технического прогресса не только быстрее обновляется техника, но и сокращаются сроки внедрения в жизнь новых идей и новых технических решений



руководствуясь потребностями общества, опираясь на свои знания и опыт, учитывая новейшие научные достижения и результаты своих научных исследований, развитие конструкторской мысли и технологические возможности производства, инженер-эксплуатационник может и должен дать критическую оценку изделия, внести предложения по его совершенствованию, поставить задачу создания нового изделия вместо имеющегося и разработать технические требования к этому новому инженерному объекту. Круг замыкается.

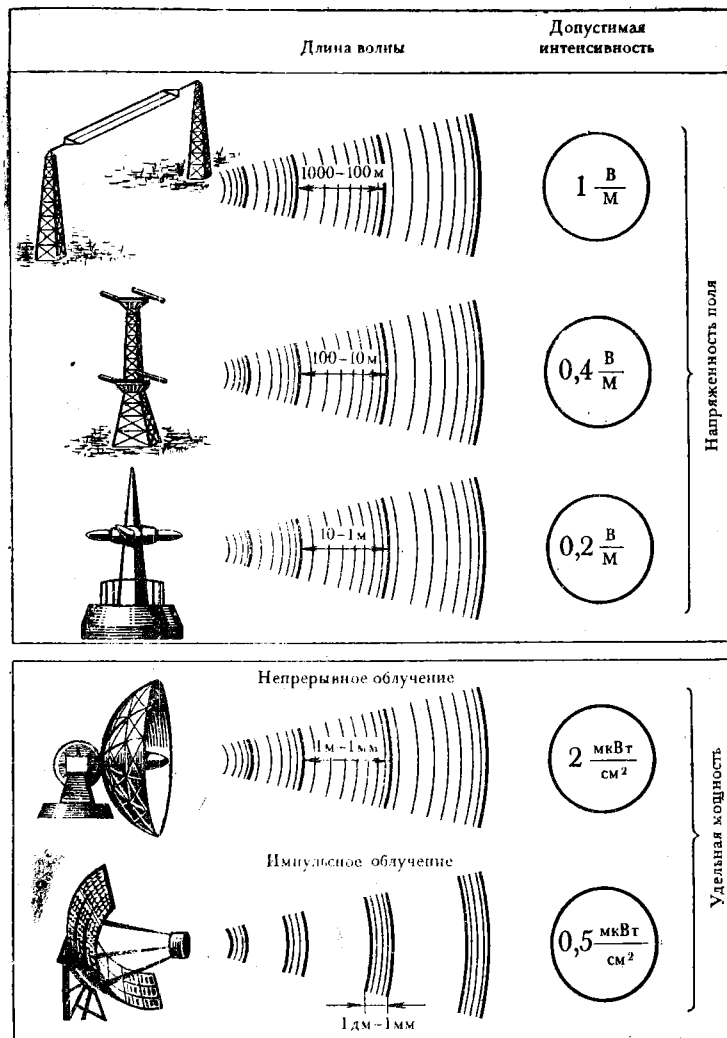
Тем самым инженер-эксплуатационник направляет в определенное русло дальнейшую деятельность инженеров-исследователей, конструкторов и технологов. Такая деятельность инженера-эксплуатационника дает толчок развитию науки и техники, стимулирует научно-технический и социальный прогресс. При этом инженера-эксплуатационника по праву можно назвать творцом технической политики производства.

Рассмотренные четыре вида инженерной деятельности не только дополняют, но и взаимопроникают друг в друга. Выше уже говорилось, что любая инженерная деятельность включает в себя НИР. С другой стороны, и деятельность инженера-исследователя невозможна без четкого представления о конструктивных особенностях,

технологических возможностях и эксплуатационных требованиях, предъявляемых к тому или иному изделию. Аналогично, инженер-конструктор не сможет решить свои задачи без учета технологических требований. И инженер-эксплуатационник окажется беспомощным, если не посмотрит на свой объект глазами конструктора, не будет знать конструктивных возможностей, скрытых в устройстве. А инженер-технолог не разглядит причин сбоя технологического цикла, не обладая навыками эксплуатационника.

Наконец, многие технические задачи проходят красной нитью через все этапы инженерной деятельности и могут быть успешно решены лишь совместными усилиями специалистов всех четырех профилей. Примером такой единой задачи является задача обеспечения максимального экономического эффекта при внедрении нового технического объекта. Этот экономический эффект зависит и от рекомендаций, выданных инженерами-исследователями, и от экономичности разработанной конструкции и выбранной технологии, и от стоимости технического обслуживания.

Другим примером могут служить задачи охраны труда, которые являются первостепенными на любом социалистическом предприятии. В условиях капитализма предприниматель в погоне за прибылью не останавливается перед сокращением затрат на производство, к каким бы пагубным последствиям оно ни приводило. В условиях социалистического производства высокий экономический эффект не может достигаться за счет здоровья трудящихся. Поэтому для советского инженера важнейшей составной частью его деятельности является разработка средств и мероприятий, направленных на улучшение условий труда. Статья 21 Конституции СССР гласит: «Государство заботится об улучшении условий и охране труда, его научной организации, о сокращении, а в дальнейшем и полном вытеснении тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства». Для решения этих задач Советское государство предусматривает большие капиталовложения, создает соответствующие организации — административные, научно-исследовательские и др., организует централизованный контроль условий труда на предприятиях и т. д.



4.23

Чем сложнее техника, тем опаснее она может быть для людей. Но техника не должна вредить человеку - такой закон, определяющий деятельность инженера любого профиля. Условия безопасности часто задаются в виде допустимых значений тех или иных физических величин. Примером являются санитарные нормы для жилых помещений на предельно допустимые интенсивности электромагнитного облучения, при соблюдении которых радиоволны безвредны для человека

Проведение в жизнь всех этих государственных мероприятий в значительной мере относится к сфере инженерной деятельности. На советских предприятиях предусмотрена должность инженера по охране труда и технике безопасности, который заботится о соблюдении всех производственных мероприятий и норм, необходимых для облегчения условий труда и сохранения здоровья трудящихся. Однако разработка этих мероприятий и норм, эффективное их внедрение в производство является обязанностью и долгом инженеров всех профилей.

Прежде всего, на стадии научных исследований, выполняемых как инженерами-исследователями, так и инженерами других профилей (часто в сотрудничестве с медиками и биологами), выявляются факторы, неблагоприятные для здоровья людей, и разрабатываются пути устранения этих факторов. При таких исследованиях, в частности, установлено вредное влияние шума на организм человека. Поэтому на советских предприятиях и при градостроительстве предусматриваются меры по ограничению уровня шума. И инженеры всех профилей должны в своей работе заботиться о снижении шумовых воздействий на человека.

Исследованиями также установлено, что те самые радиоволны, которые столь успешно служат человеку, являются для него не всегда безвредными, и это будущий радиоинженер должен знать. Радиоволны большой интенсивности оказывают на человека отрицательное физиологическое воздействие тем большее, чем меньше длина волны. Поэтому в СССР установлены специальные санитарные нормы. И соблюдение этих норм — это не только забота инженера по технике безопасности, но и задача инженера-конструктора. Именно он при проектировании радиопередающей станции должен предусмотреть и сконструировать внешнюю экранировку производственных помещений этой станции. Такая экранировка с помощью металлической заземленной сетки предназначена для уменьшения интенсивности электромагнитного поля в помещении до допустимых санитарных норм. При этом инженер-эксплуатационник должен заботиться о сохранности экранировки и ее заземления.

Если на стадии научных исследований найден оптимальный технологический процесс для того или иного производства, который всем хорош, но включает в себя

операции, вредные для здоровья людей, то должна быть решена задача автоматизации этого производства, исключающей участие человека в указанных операциях. И задача эта решается не только инженерами-технологами, но и инженерами-исследователями, и конструкторами вместе с эксплуатационниками.

Техника не всегда благоволит к человеку. Но при решении любой технической задачи инженер-исследователь должен изыскать ее решение, обеспечивающее минимальные отрицательные последствия для людей, инженер-конструктор — предусмотреть при проектировании максимум безопасности для окружающих, инженер-технолог — свести к минимуму факторы, неблагоприятные для производственного персонала, а инженер-эксплуатационник — обеспечить соблюдение условий безопасности на производстве и обучить производственный персонал правилам безопасного обращения с техникой.

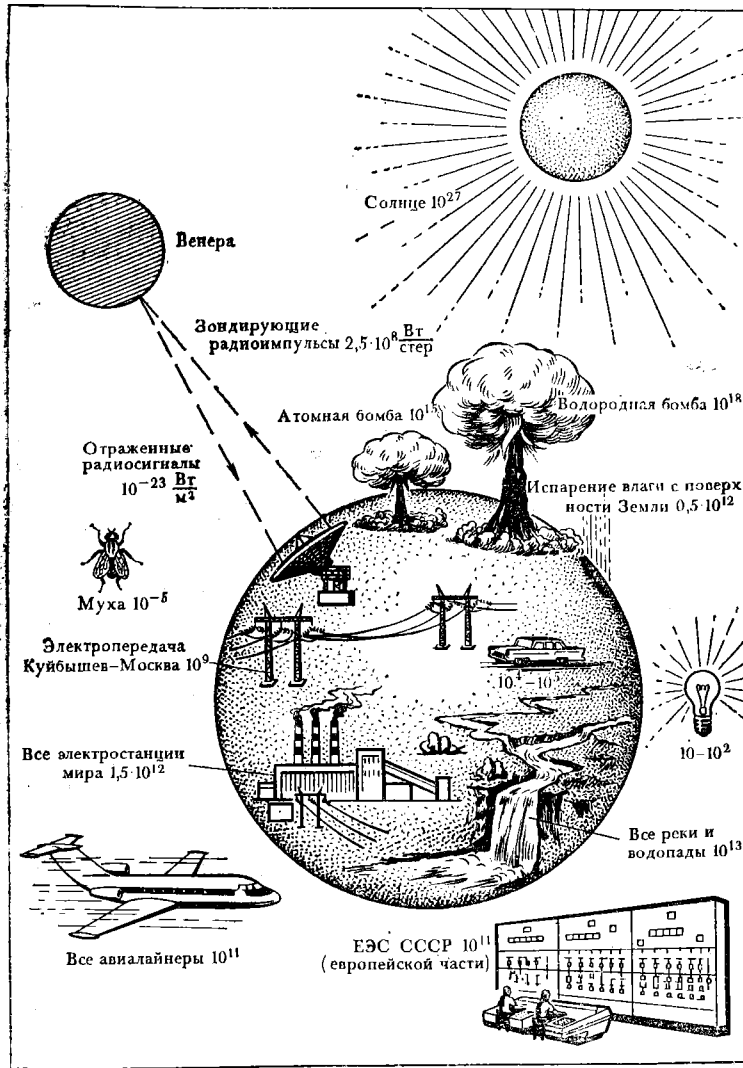
Таким образом, инженеры всех четырех профилей ответственны за улучшение условий и охрану труда, за его научную организацию.

Инженерная деятельность и природа

Почва, водные просторы и атмосфера Земли населены живыми организмами. Эта часть природы образует биосферу Земли. В биосфере происходят сложные обменные процессы. Для их изучения человек создал целую науку — экологию (от греч. *οίκος* — место обитания и *λογος* — учение).

Существование любого живого организма зависит от равновесия происходящих в природе обменных процессов. Конечно, природные катаклизмы меняют лик Земли, со сменой геологических эпох меняется растительный и животный мир. О мамонтах и гигантских древовидных папоротниках, например, мы знаем сейчас лишь по ископаемым и окаменелым останкам. Однако не только стихии, но и человеку природа обязана вымиранием целых видов животных, уничтожением растительного покрова Земли.

Человек — продукт природы. Он неотделим от нее. Для нормальной его жизнедеятельности также необходимо экологическое равновесие и требуются строго определенные природные условия. Перегрейся человек

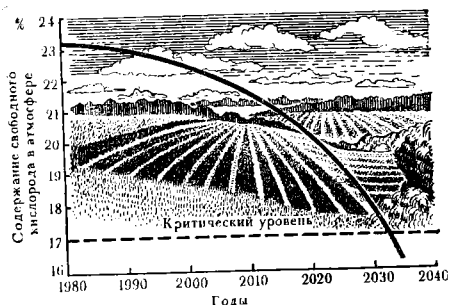


1.24

Технический прогресс неизбежно связан с ростом мощности энергетических установок. Как видно из этого рисунка, где мощность показана в ваттах, она становится соизмеримой с мощностью природных явлений, что не может не повлиять на обменные процессы в биосфере.

1.25

Ежегодно при сжигании всех видов топлива расходуется 10–13 млрд. т атмосферного кислорода. При 5%-ном ежегодном приросте сжигаемого топлива уже через 50 лет содержание свободного кислорода в атмосфере может понизиться до критического для человека уровня



на солнцепеке, и ему уже требуется врачебная помощь, а без нормального содержания кислорода в атмосфере он чувствует себя, как выброшенная на берег рыба.

Требуется человеку и пропитание. И человек когда-то обеспечивал его себе, будучи вооруженным луком со стрелами и мотыгой. При этом природе не грозило ни вымирание отдельных видов животных, ни уничтожение лесов.

Однако рост народонаселения Земли, неуклонное возрастание духовных и материальных потребностей человека являются законом развития человечества. Этот закон предопределяет и технологический путь развития человеческого общества, поскольку лишь на этом пути возможно достаточно полное удовлетворение наших потребностей. Поэтому вполне закономерно, что примитивные орудия труда сменились сложными машинами, а бурный научно-технический прогресс является приметой нашего времени.

Немудрено поэтому, что человек гордится своей техникой. Однако техника не всегда благоволит не только к человеку, но и ко всей природе. Техника не только служит человеку, она подчас выступает и против него, ополчаясь заодно на всю природу. Любому техническому производству требуется сырье — и расходуются природные ресурсы. Промышленность дает производственные отходы, загрязняющие окружающую среду. И зачастую не требуется природных катаклизмов, чтобы лишить человека атмосферного кислорода, человек делает это сам с помощью своей техники.

Это и неудивительно, если современный самолет за секунду полета расходует столько кислорода, сколько

его воспроизводит один гектар леса за 8—14 ч. Но ведь эти часы составляют практически весь продуктивный временной интервал в целом суточном цикле жизнедеятельности деревьев. Значит, гектару круглогодично зеленого леса потребуется около десяти лет жизни, чтобы насытить авиалайнер кислородом на один час его полета. А летает он не один час в сутки и не в единственном числе! И не все леса зеленеют круглый год!

Не отстают от самолетов и автомобили. В их строю движется почти 300 млн. машин. Не только против пешехода выступает эта механическая армия, созданная человеком. Она воюет со всей природой, нарушая ее покой губительным шумом, лишая ее живительного кислорода, загрязняя атмосферу ядовитыми газами. В Токио, например, полицейские-регулирующие уличного движения уже не всегда могут обходиться без кислородных масок. Да и пешеходы часто вынуждены прибегать к платному кислороду.

В одном строю с транспортом наступают на природу многочисленные армии промышленных предприятий. Печи заводов труб извергают в атмосферу дым и копоть, углекислый и сернистый газы.

Не только сам человек страдает от увядания природы. Плотины гидроэлектростанций выстроились стеной, ограждающей человека от мрака, холода и голода. Но эта же стена преградила путь рыбе. Губительными для рыбы явились и многочисленные отходы промышленных предприятий.

Академик М. С. Гиляров пишет: «Загрязнение атмосферы, почвы и воды вредными выбросами промышленности и транспорта стало всемирной экологической проблемой.

...Проблема это техническая и экономическая в большей степени, чем экологическая».

Инженерное искусство, как и встарь, продолжает служить войне. Изобретаются новые технические средства ведения войны, которые не только направлены против людей, но и губительно действуют на всю природу. Во вьетнамской войне, например, американцы уничтожили около половины растительного покрова страны и на долгие годы обрекли землю на бесплодие.

Означает ли все сказанное, что мы должны отказаться от техники? Ведь без технической деятельности

человека в природе действительно бы существовало экологическое равновесие. Но в таком мире человечеству не нашлось бы места. Без техники не было бы и самого человека. Ведь труд, изготовление орудий труда, добыча полезных ископаемых, производство все более усложняющихся технических изделий лежат в основе самого существования и развития человеческого общества. Поэтому от техники отказываться нельзя, если не говорить о военной технике. От нее, конечно, человечество должно отказаться. В этом его долг и перед природой, и перед самим собой, перед своим потомством. Наше государство постоянно уделяет внимание решению этой проблемы. Можно выразить уверенность, что рано или поздно с войнами будет покончено, звание *homo sapiens* (лат.) — человек разумный — найдет себе еще одно подтверждение, а военная техника обретет свое место в музеях рядом с каменными топорами.

Однако остается еще техника, призванная не губить человека, а служить ему. Ее в музей не сдашь. Этого и не нужно делать, если не говорить об устаревших технических изделиях. Но как же быть с истощением природных ресурсов, с ростом загрязнения окружающей среды? Ведь с ускорением научно-технического прогресса нарастает и процесс разрушения природы человеком. Если проблема поддержания экологического равновесия на Земле не стояла остро перед человечеством еще несколько десятилетий назад, то сейчас положение стало тревожным. И тревогу вызывает не только истощение полезных ископаемых и других природных ресурсов. Ведь меняется даже состав атмосферы. Земля может стать вообще не пригодной для жизни человека. Перед человечеством начинается маячить экологический кризис, в результате которого народонаселение Земли должно резко сократиться. Этот процесс представляется естественным и выглядит неизбежным. Однако это не так.

Техника и природа могут и не противостоять друг другу. Человек может не враждовать с природой, а оказаться с ней в гармоническом равновесии. Ведь эта вражда порождена не природой человека, а социальными условиями его существования. Не техника губит природу, а определенное человеческое общество с присущими ему социальными отношениями. От того, каким оно будет, зависит дальнейшая судьба природы, а вместе с ней и судьба человечества.

Общество, в котором человек человеку — волк, становится врагом и природе. В капиталистическом обществе, где нажива правит миром, добыча полезных ископаемых в погоне за максимальной прибылью превращается в хищническое истребление природы. В таком обществе отходы производства могут утилизироваться лишь в той мере, в какой это сулит прибыль. И будь это даже радиоактивные отходы, их сбрасывают в океан, не заботясь о судьбе природы и потомков. Частный предприниматель не будет строить очистных сооружений, поскольку это уменьшит его прибыль. Капиталистическое общество порождает технику, которая не только порабощает человека, но и губит природу.

Сказанное не означает, что в капиталистических государствах невозможны и не предпринимаются определенные шаги к выходу из наметившегося экологического кризиса. Но предпринимаются они в той мере, в какой эти государства свободны от частного капитала и располагают необходимыми для этого возможностями. Под давлением общественности и под угрозой полной потери прибылей вследствие истощения природных ресурсов частные фирмы тоже идут сейчас на расходы по строительству очистных сооружений или по изменению технологии. Тем не менее попытки общегосударственного планирования охраны природы при капитализме наталкиваются на противодействие монополий, что делает химерой планы восстановления нарушенного экологического равновесия.

Только при социализме возможно планомерное, полное и гармоничное слияние человека с природой. Социализм освобождает общество от вражды человека к человеку. Именно в моральный кодекс строителя коммунизма, сформулированный в Программе КПСС, входит гуманнейший принцип: человек человеку — друг, товарищ и брат. Но люди-братья не могут враждовать и с природой, от гармонии которой зависит благополучие человечества. И именно социалистическое общество создает социальные предпосылки уничтожения антагонизма между человеком и природой, между техникой и природой. Такой социальной предпосылкой является социалистическая государственная собственность на землю и другие природные ресурсы, а также плановое развитие социалистического народного хозяйства.

С первых же шагов Советской власти ряд законо-



Один из первых радиоинженеров, пионер внедрения в промышленность высококачественной техники чл.-кор. АН СССР В. П. Вологдин (1881—1953)

дательных актов заложил основы для планомерной охраны природы в нашей стране. К таким актам относится Декрет о земле, принятый по предложению В. И. Ленина 2-м Всероссийским съездом Советов (26 октября 1917 г.), декрет ВЦИК и СНК «О лесах» (27 мая 1918 г.), декреты Совнаркома «О недрах земли» (30 апреля 1920 г.), «Об охране рыбных и звериных угодий в Северном Ледовитом океане и Белом море» (24 мая 1921 г.), «Об охране памятников природы, садов и парков» (16 сентября 1921 г.) и др.

Охрана природы в нашей стране возведена в ранг закона.

Статья 18 Конституции СССР предписывает: «В интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды». Это положение Конституции конкретизируется постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы», которым предусматривается, в частности, что «министерства и ведомства СССР и Советы Министров союзных республик будут разрабатывать и утверждать планы повышения технического уровня отраслей, а также планы работ по охране природы и окружающей среды». В 1980 г. на мероприятия по охране природы в нашей стране ассигновано 1,9 млрд. руб. государственных капиталовложений. Планомерное развитие социалистической экономики закладывает основы и новой техники, которая обеспечит органичное единство общества и природы.

В 1918 г. по декрету Совнаркома, подписанному В. И. Лениным, была организована Нижегородская радиолaborатория. Одним из основателей этой лаборато-

рии стал инженер В. П. Вологдин. Под его руководством в радиолaborатории были созданы мощные машинные генераторы и другие высокочастотные приборы, предназначенные для радиовещательных станций. И вот в 1952 г. В. П. Вологдин был удостоен Государственной премии СССР за участие в разработке оборудования для... кузнечного цеха. Основу этого оборудования составили высокочастотные устройства В. П. Вологодина, которые использовались для индукционного разогрева кузнечных заготовок. Эти устройства освободили производство от огнедышащих горнов, отравлявших атмосферу. Оборудование позволило также применить мощные прессы. Окрестности завода наполнились непривычной тишиной.

В музей были сданы грохочущие молоты, бывшие традиционным кузнечным инструментом и прогрессировавшие со времен первой кузницы разве только в своих размерах и мощи. Новое оборудование облегчило труд кузнеца и сделало его безвредным для окружающей среды.

Приведенный пример не исключителен. Известны, например, электродымовые фильтры, которые эффективно очищают воздушную среду от различных промышленных загрязнений. Сейчас инженеры пытаются избавиться от двигателя внутреннего сгорания, отравляющего атмосферу. Будущее прочат электромобили с двигателями, работающими от электрических аккумуляторов. Немалая роль в решении этой технической проблемы отводится и инженерам-электрикам. Но и аккумулятор не безобиден для окружающей среды. А не предложат ли радиоинженеры свое решение этой проблемы, как это сделали в кузнечных цехах? Есть и другие экологические задачи, решение которых во многом зависит от радистов. Их решение зависит от возможностей электроники, родившейся в недрах радиотехники.

Радиоинженеры уже создали для экологов миниатюрные радиоприборы, которые позволяют изучать миграцию животных с целью сохранения исчезающих видов. Автоматизация производственных процессов на основе электронной техники позволяет точно соблюдать технологические режимы, наименее вредоносные для окружающей среды. На основе электроники можно революционно перевооружать любое производство, обеспечивая

экологическое равновесие в природе. Сейчас разрабатываются высокоэффективные электронные приборы для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую. Успех этих работ предопределяет не только ликвидацию загрязнения окружающей среды, но и предотвращение перегрева атмосферы от тепловых энергетических установок (включая атомные), что также является важной экологической задачей.

Специальные электронные измерительные приборы уже сейчас являются незаменимым средством для контроля состояния окружающей среды — уровня шума, состава атмосферы, степени загрязнения рек и т. д. Такой контроль необходим не только для оперативного принятия соответствующих мер при возникновении экологически неблагоприятных ситуаций, но и для изучения динамики экологических процессов. На основе таких исследований возможно экологическое прогнозирование и планомерное улучшение окружающей среды.

Успешное решение экологических проблем зависит от многих специалистов. Но не следует забывать, что сами эти проблемы возникли в результате технической деятельности человека. Поэтому и их решение зависит, в первую очередь, от инженеров. Ведь ничто больше инженерной деятельности не может вредить природе, но и никто лучше инженеров не может совершенствовать окружающую человека среду. Поэтому инженер любого профиля и любой специальности не должен забывать о своем долге перед природой и обществом. Будущее природы — в руках инженера.

2 ИНЖЕНЕР

Инженер — Специалист, Человек, Гражданин

Инженер — Специалист,
Человек, Гражданин
Инженер — специалист
широкого профиля
Инженер — творческий
работник
Инженер — организатор
производства
Инженер — обществен-
ный деятель

Словари определяют инженера как специалиста с высшим техническим образованием. Такого определения вполне достаточно для непосвященного. Но будущий инженер должен глубже вникнуть в смысл этого звания, уяснить требования, предъявляемые к инженерной деятельности, и возможности избранной специальности, осмыслить свою роль в коллективе и понять значение технической интеллигенции в обществе.

Инженер — это специалист, призванный ускорять научно-технический и социальный прогресс. Но специалист — это специалист — рознь.

Труд инженера зиждется на специальных знаниях. Знания и труд рождают мастерство. И знания, и мастерство лишь частично приобретают в институте. Знания стареют. И не угнаться за ускоряющимся научно-техническим прогрессом тому инженеру, который ограничился вынесенными из института знаниями и умениями и не научился преумножать их.

Новые знания рождаются каждый день, научно-техническая информация растет лавинообразно. Эту информацию приносят

нам монографии и специальные журналы, бюллетени изобретений и научно-технические отчеты, публикуемые как у нас в стране, так и за рубежом. Человеческой жизни не хватит, чтобы только прочитать сотни книг и многие тысячи статей, которые публикуются ежегодно по каждой специальности. И все-таки инженер должен уметь ориентироваться в этом море информации, должен уметь черпать из него нужные знания. Для этого он должен хорошо владеть исходными знаниями по своей специальности, быть сведущ и в библиографическом деле, и в основах патентоведения, должен уметь работать с книгой и знать хотя бы один, а еще лучше два иностранных языка настолько, чтобы читать литературу по специальности.

Обновляя свои знания, надо развивать и свои практические навыки, совершенствовать свое мастерство. Для этого надо осваивать передовой опыт производства, овладевать практикой коммунистического строительства.

Инженер сможет активно влиять на темпы научно-технического прогресса, если он работает творчески. Творчество требует большого и неустанного труда. Но труд приносит радость, когда предан своему делу. Без любви к нему любой труд становится в тягость.

Итак, чтобы оправдать звание Специалиста, инженер должен владеть специальными знаниями и практически-ми навыками, неустанно обновлять свои знания, совершенствовать свое мастерство и работать творчески, беззаветно отдавая себя любимому делу.

Отдавая себя своему делу, инженер не должен замыкаться в скорлупе своей профессии. Широта интересов является отличительной чертой интеллигенции. Поэтому инженер должен постоянно повышать не только свою квалификацию, но и свой культурный уровень.

Представляя передовую интеллигенцию, инженер должен служить примером не только в профессиональной деятельности. Примером должны являться и его высокие моральные качества — «честность и правдивость, нравственная чистота, простота и скромность в общественной и личной жизни» (Программа КПСС).

Иной читатель может возразить, что перечисленными качествами должен обладать любой человек. Правильно! Но инженер должен быть не только Специали-

стом, но и Человеком! Он возглавляет коллектив работников, которые в своей жизни во многом ориентируются на руководителя.

Инженер живет и трудится в коллективе. Его личные интересы не могут быть оторваны от интересов коллектива. Успехи коллектива — это его успехи. Его удачи — это удачи коллектива. И, являясь организатором производства, инженер должен вдохновлять свой коллектив на новые достижения.

Вооруженный передовой марксистско-ленинской теорией, инженер должен мыслить по-партийному, по-государственному. Поэтому и на нужды своего производства он должен смотреть с государственных позиций. Узковедомственное решение любого вопроса в ущерб обществу чуждо духу коллективизма.

Гражданская зрелость, чувство высокого патриотизма всегда были присущи представителям передовой инженерной мысли.

Изобретатель, русский революционер Н. И. Кибальчич, участвовавший в подготовке покушения на царя Александра II, даже перед лицом смерти не забывал о том, что его знания нужны народу, и разработал в тюрьме за несколько дней до казни проект летательного аппарата с реактивным пороховым двигателем...

Выдающийся инженер, генерал-лейтенант инженерных войск Герой Советского Союза Д. М. Карбышев, зверски замученный фашистами незадолго до окончания Великой Отечественной войны, и в застенках лагеря смерти Маутхаузена не склонился перед врагом, оставаясь прежде всего советским патриотом. До конца своей жизни он боролся за интересы Родины!

Инженер черпает свои знания из сокровищницы мировых достижений науки и техники. В этой сокровищнице сконцентрирована передовая мысль лучших умов всего человечества, представителей всех народов и времен. Поэтому инженер органически не может оставаться чуждым интересам любых народов, больших и малых.

Коллективизм, патриотизм, интернационализм — это те качества инженера, которые характеризуют его как Гражданина. И все свои звания — Специалиста, Человека и Гражданина — должен высоко и с честью нести советский инженер.

Инженер — специалист широкого профиля

Современный инженер — специалист широкого профиля. Широкая специализация инженера означает прежде всего его умение работать с весьма разнообразными техническими объектами. Например, инженер-радиотехник должен уметь работать и с радиолокационными, и с радионавигационными системами, и со множеством других радиотехнических объектов.

Однако сами технические объекты не остаются неизменными. Современная техника отличается от техники былых времен одной особенностью: она быстрее стареет. Разумеется, не в том смысле, что быстрее изнашивается или ломается. Она стареет морально. Жизнь предъявляет к технике новые требования, ускоряется научно-технический прогресс. То, что хорошо сегодня, завтра потребитель обойдет стороной. Поэтому современная техника, непрерывно обновляясь, претерпевает радикальные изменения. И такие изменения происходят при жизни одного поколения инженеров.

Раньше, например, многие поколения инженеров при технических расчетах обходились логарифмической линейкой, а при большом объеме вычислений прибегали к помощи механических арифмометров и электромеханических счетных полуавтоматов и автоматов. Сейчас же при жизни одного поколения инженеров электромеханические счетные приборы были вытеснены электронной вычислительной техникой, а сама эта техника перешагнула через четыре поколения электронных вычислительных машин (ЭВМ). Эти поколения ЭВМ отличаются прежде всего своей элементной базой. Ее основу составляли раньше электронные лампы, затем — полупроводниковые электронные приборы, а сегодня — интегральные схемы (ИС), т. е. полупроводниковые кристаллы, в которых совмещается несколько электронных приборов, конденсаторов и других элементов, и большие интегральные схемы (БИС), т. е. ИС со многими тысячами элементов. Теперь ЭВМ настолько прочно вошли в нашу жизнь, что и школьники не обходятся без микрокалькуляторов, собранных на БИС, а некоторые студенты, пользуясь такими приборами, начинают даже забывать таблицу умножения.

Бурный прогресс вычислительной техники обусловлен

колоссальным ростом производства и усложнением инженерных расчетов, что привело к резкому возрастанию объема вычислительной работы. И если нас изумляли первые ЭВМ, которые производили тысячи вычислительных операций в секунду, то сейчас представляется недостаточной и достигнутая скорость счета в сотни миллионов операций в секунду. Например, для решения в приемлемые сроки вычислительных задач, связанных с народнохозяйственным планированием в масштабе нашей страны, нужна ЭВМ, производящая многие сотни миллиардов операций в секунду. Чтобы достигнуть таких качественно новых результатов, вычислительная техника должна преодолеть рубеж к пятому поколению ЭВМ, в которых будут применяться оптоэлектронные элементы (электронные элементы с использованием оптических эффектов), криотроны (электронные переключатели с использованием явления сверхпроводимости) и другие новые элементы. Смена элементной базы в ЭВМ была невозможной без радикальных изменений в технологии производства. Но возможности вычислительной техники зависят не только от технологических достижений. Меняются сами принципы организации счета в ЭВМ и их структура.

Аналогичные радикальные изменения происходят и в радиотехнике. На смену усилительным лампам пришли транзисторы, значительно более надежные в работе. Меняются не только радиотехнические элементы, но и способы их монтажа. Традиционные монтажные провода были заменены на так называемый печатный монтаж. Произошли и другие радикальные изменения в технологии радиотехнического производства.

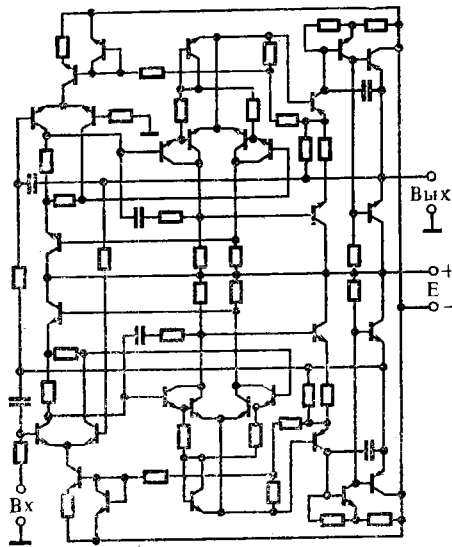
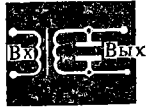
Радиотехнические системы настолько усложнились, что и надежность печатных схем с транзисторами стала уже недостаточной. Поэтому уже сейчас ИС и БИС, оптоэлектронные приборы и криогенная техника используются в ряде радиосистем. Интегральные схемы используются в бытовых радиоприборах — радиоприемниках и телевизорах, а также в электрофонах, электромузыкальных инструментах и т. д. В радиотехнике намечается очередная смена элементной базы и освоение элементов, в которых будут использоваться процессы на молекулярном и атомном уровнях.

Со сменой элементной базы меняется не только технология радиотехнического производства. Изменяются

1.26

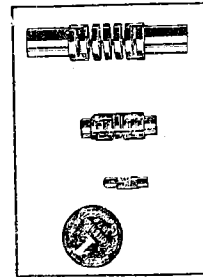
Примером прогресса в фильтростроении может послужить эволюция простейшего фильтра, изображенного на верхнем рисунке. Этот фильтр состоит из резонансного контура, образованного конденсатором и вторичной обмоткой трансформатора. На звуковых частотах, где требуются большие индуктивности (до 1 Гн и более), размеры трансформатора сильно возрастают, а потери энергии в нем приводят к резкому ухудшению резонансных свойств контура.

На нижнем рисунке приведена схема современного фильтра без индуктивностей, эквивалентного резонансному контуру. На звуковых частотах такой фильтр работает столь же хорошо, как и на высоких. И хотя количество элементов в этом фильтре резко возросло, его размеры существенно уменьшились по сравнению с резонансным контуром. Он стал даже миниатюрным, поскольку его 30 транзисторов и 30 резисторов выполнены в виде двух одинаковых интегральных блоков.



1.27

Эволюция техники не всегда связана с ее усложнением. И без заметного усложнения конструкции габариты технических изделий могут существенно уменьшиться, как это видно на примере электромеханического фильтра.



сами принципы работы радиоустройств. Например, радикально меняются традиционные электрические (радиотехнические) фильтры, предназначенные для выделения полезных сигналов и подавления помех. Обычно в электрических фильтрах используется явление резонанса — резкое возрастание амплитуды колебаний на определенной (резонансной) частоте. Такие резонансные фильтры не всегда достаточно эффективно отделяют полезный сигнал от помех, имеют большой вес и габариты и обладают другими недостатками. Поэтому сейчас резонансные фильтры вытесняются другими устройствами, в которых используются новые принципы фильтрации.

Примером может служить так называемый цифровой фильтр, являющийся, по существу, миниатюрной специализированной ЭВМ, собранной на ИС и БИС. На входе такого фильтра непрерывные колебания, представляющие собой сумму полезного сигнала и помех, преобразуются сначала в дискретную последовательность чисел, отображающих величину входного сигнала в последовательные моменты времени. Затем по этим числам рассчитывается (как в ЭВМ) такой сигнал, какой должен появиться на выходе некоторого фильтра с наилучшими характеристиками, недостижимыми или трудно достижимыми в резонансных фильтрах. Вычисленный при этом сигнал получается очищенным от помех. Он имеет по-прежнему дискретную цифровую форму, т. е. имеет вид последовательности чисел (этим и обусловлено название цифрового фильтра). Полученный таким образом отфильтрованный дискретный сигнал на выходе цифрового фильтра вновь преобразуется в непрерывные колебания. На примере цифрового фильтра видно, что современные радиоустройства начинают органично сливаться с электронной вычислительной техникой.

Такие революционные преобразования в технике, многократно происходящие при жизни одного поколения, означают и соответствующие изменения условий инженерной деятельности даже для того специалиста, который работает с однотипными техническими объектами, например только с телевизионной аппаратурой (попутно отметим, что и телевидение на наших глазах перешагнуло от черно-белого к цветному изображению, а на очереди стоит объемное телевидение).

Таким образом, если учесть не только разнообразие

технических объектов, но и их постоянное обновление, то под инженером широкого профиля следует понимать инженера, способного адаптироваться к непрерывно изменяющимся условиям деятельности. Это подчеркивал и министр высшего и среднего специального образования СССР чл.-кор. АН СССР В. П. Елютин, говоря, что «необходимым качеством современного специалиста является его способность адаптироваться к непрерывно меняющимся условиям деятельности».

Сказанное относится ко всем четырем ранее рассмотренным профилям инженерной деятельности. Если бы инженер должен был вновь и вновь осваивать непрерывно обновляющуюся технику лишь с целью ее обслуживания, то под специалистом широкого профиля мы понимали бы только инженера-эксплуатационника. Но непрерывно обновляется и технология, поэтому и инженер-технолог является специалистом широкого профиля. И, в первую очередь, инженерами широкого профиля являются инженеры-исследователи и конструкторы, которые находят и разрабатывают новые принципы действия и новые конструкции технических изделий, которые изобретают новые технические объекты и обновляют производство.

По своему смыслу понятие инженера широкого профиля означает не только его умение работать с разнообразными техническими объектами и в условиях непрерывно обновляющейся техники. Это понятие означает также способность инженера работать по смежным профилям, специальностям и специализациям.

Умение работать по смежным профилям инженерной деятельности, т. е. по профилям инженера-исследователя, конструктора, технолога и эксплуатационника, означает не только взаимопроникновение этих видов деятельности друг в друга, о чем уже говорилось выше. Такое умение еще означает, что инженер-конструктор, например, может полностью переключиться на эксплуатационную работу и наоборот.

Умение работать по смежным специальностям означает умение инженера переключиться на работу по родственной специальности. Такая необходимость может возникнуть прежде всего в тех случаях, когда бурный научно-технический прогресс вызывает потребность в новых специальностях. В некоторых случаях эти новые специальности вводятся. Например, с развитием элект-

ронной вычислительной техники возникла пужда не только в инженерах-конструкторах ЭВМ, но и в специалистах по прикладной математике, которые могли бы решать инженерные вопросы математического обеспечения ЭВМ, т. е. вопросы организации вычислительных работ как в самой ЭВМ, так и в вычислительных центрах. Тогда появилась специальность инженера по электронным вычислительным машинам, а затем и специальность инженера-математика. Была введена и подготовка инженеров по этим специальностям.

Однако часто в этой ситуации можно использовать инженеров одной из родственных специальностей. Например, еще совсем недавно, когда не хватало инженеров для работы с ЭВМ, на эту работу шли инженеры-радиотехники. Для них такая перемена инженерной деятельности стала возможной потому, что они — инженеры широкого профиля.

Смена специализации лежит в основе инженерной деятельности современного специалиста. Ведь смена специализации означает переход инженера от одного к другому техническому объекту в рамках собственной специальности. А такой переход совершается любым инженером при обновлении техники.

Переход с морально устаревшей на новую технику — процесс еще более сложный, чем переход, например, на обслуживание самолетного радиооборудования после работы с радиооборудованием аэропорта. Поэтому для инженера широкого профиля смена специализации не представит затруднений.

Смена профиля инженерной деятельности или инженерной специальности и специализации может быть вызвана разными причинами. Такими причинами могут быть не только общественные потребности, но и личные интересы специалиста. Общественные и личные потребности должны гармонично сочетаться. Такое сочетание получается органичным именно в случае широкой специализации инженера.

Специалист широкого профиля соответственно общественным потребностям без ущерба для своих творческих интересов может использовать свои знания и способности на разных участках общественного производства. С другой стороны, такой инженер, руководствуясь личными потребностями, может выбирать или менять направление своей инженерной деятельности, не

наноса при этом ущерба общественным интересам. Напротив, если в основе личных потребностей лежит стремление к творческой самоотдаче, то смена профиля инженерной деятельности может пойти только на пользу общественному производству.

Весьма характерной особенностью в деятельности инженера широкого профиля является его способность работать на стыке специальностей, что не равнозначно работе по смежной специальности. Такая деятельность означает работу на стыке различных наук в рамках своей специальности. Имеются две ситуации, в которых инженеру приходится работать на стыке разных специальностей.

Первая ситуация может возникнуть тогда, когда те или иные принципы, методы и средства некоторой отрасли техники используются по своему целевому назначению в другой отрасли техники. Например, упоминавшиеся выше электрические фильтры, которые являются типично радиотехническими устройствами, применяются для фильтрации сигналов и в устройствах автоматики, и в электромузыкальных инструментах, и в технике проводной связи. В последнем случае, например, применение фильтров позволяет осуществлять многоканальную связь, при которой по одной паре проводов передаются одновременно сигналы от множества различных абонентов. Эти сигналы имеют неодинаковые частоты, т. е. передача производится по разным частотным каналам, которые и разделяются с помощью фильтров. С другой стороны, методы многоканальной связи, хорошо разработанные в технике проводной связи, используются и в самой радиотехнике. В так называемых радиорелейных линиях связи по одному радиолучу одновременно ведут многие тысячи телефонных переговоров, передают телевизионные программы и т. д.

Вторая ситуация, в которой инженеру приходится работать на стыке наук, встречается, когда некоторые принципы, методы и средства не только переносятся из одной в другую отрасль техники, но и используются при этом не по своему прямому назначению, а для решения совершенно новых задач. Примеры такого взаимопроникновения технических наук нам уже встречались: использование методов вычислительной техники в фильтровой технике и использование токов высокой частоты в кузнечном деле. Можно привести и другие примеры.

Автомобильные двигатели не обходятся без глушителей, иначе на городских улицах они ревели бы подобно авиационным двигателям в аэропорту. Долгое время не могли делать хороших глушителей: чем сильнее глушитель подавлял шум двигателя, тем сильнее глушил он и сам двигатель — выхлопные газы плохо проходили через глушитель. А рядом, в радиоприемниках работали отличные фильтры, которые хорошо подавляли всякие помехи и столь же хорошо пропускали полезный сигнал. Но ведь струя выхлопных газов — тот же полезный «сигнал», который надо пропустить, а шум двигателя — те же «помехи», которые надо подавить. Нельзя ли в этом случае применить теорию электрических фильтров? Применили. И сконструировали превосходный глушитель.

Рассмотренный пример иллюстрирует применение радиотехнических методов в механике. Можно привести обратный пример, когда механические средства применяются в радиотехнике. Уже упоминалось о недостатках резонансных электрических фильтров. Но в механических изделиях тоже наблюдаются резонансные явления. Здесь чаще всего они бывают вредными: из курса школьной физики известен пример с мостом, который разрушился из-за возрастания его колебаний на резонансной частоте.

Однако механический резонанс можно использовать в электрических фильтрах для устранения присущих им недостатков. Для этой цели пригодны маленькие металлические пластинки и стержни, совершающие колебания на резонансной частоте. Из таких механических элементов получается миниатюрный механический фильтр, способный отлично фильтровать механические колебания. Для фильтрации же электрических сигналов их сначала преобразуют в механические колебания, которые и подаются на вход механического фильтра. На выходе этого фильтра очищенные от помех механические колебания вновь преобразуют в электрический сигнал. Описанные устройства, называемые электромеханическими фильтрами, применяются сейчас во многих радиотехнических изделиях.

Из приведенных примеров видно, что специальности, на стыке которых приходится работать инженерам широкого профиля, могут быть родственными друг другу, как, например, в случае радиотехники и техники провод-

ной связи. Однако эти специальности могут быть и весьма далекими друг от друга, как в случае радиотехники и механики.

Иногда взаимопроникающие друг в друга специальности оказываются столь чужеродными, что для решения технических задач на их стыке приходится объединяться многим различным специалистам. И чем дальше отстоят друг от друга специальности, объединившие заинтересованных специалистов, тем значительнее бывают результаты. Когда математик Норберт Винер объединился с физиком и биологом, инженером и социологом, родилась кибернетика — наука о наиболее общих законах управления, связи и переработки информации в технических системах, природе и обществе. Кибернетика, в частности, составляет основу для развития и вычислительной техники, и техники связи.

Подводя итог, сделаем для себя некоторые выводы. Что же определяет понятие специалиста, инженера широкого профиля?

Во-первых, инженер широкого профиля должен иметь фундаментальные знания. Такие знания — это не только основательные знания технических наук, на которых базируется отрасль техники, избранная инженером. Это еще и знания фундаментальных наук, на которых зиждятся сами специальные технические науки. Для инженера-радиота, например, фундаментальными науками являются математика, физика, кибернетика и др.

Во-вторых, современный инженер должен иметь широкие знания, не ограниченные рамками только своей специальности. Для инженерной деятельности в наши дни нужны также знания по смежным специальностям, причем не только по родственным, но и из других отраслей науки и техники. Только при таких знаниях инженер может менять направление своей деятельности и работать на стыке специальностей.

В-третьих, инженер широкого профиля должен иметь систематизированные знания. Систематичность знаний означает не только их упорядоченность. Знания надо не только раскладывать по полкам, как книги в библиотеке. Систематичность знаний означает и их надлежащую дозировку. В одной области специалист должен знать побольше и поглубже, в другой — только основы науки. Третьи же области инженер должен знать лишь

настолько, чтобы понимать, где следует искать решение задачи и соответственно углубить свои знания.

Необходимость подготовки специалистов широкого профиля особо подчеркивается в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии высшей школы и повышении качества подготовки специалистов».

Инженер — творческий работник

Подражателя в искусстве, а тем более плагиатора никто не называет творцом. В инженерном искусстве тоже бывают свои подражатели и плагиаторы, но их труднее распознать. Да и не будучи прямым плагиатором, не каждый инженер достоин называться творцом, хотя он и обязан им быть.

Работать творчески — это значит создавать что-то новое. Однако и производя новые вещи, можно не быть творцом. Творенье — не то новое, что блестит свежими красками, а то, что блещет новой мыслью. Творец — не тот инженер, который производит новые изделия по старым образцам, а тот, кто создает новые образцы.

Чтобы созидать, творить, надо не только иметь фундаментальные, широкие и систематизированные знания, надо не только уметь пополнять свои знания, но и уметь мыслить. Знания и мышление рождают новое знание. Созидание новых знаний является одной из высших форм творческой деятельности человека.

Однако и знаний, и умения мыслить недостаточно для творчества. Не следует забывать, что сама работа мысли является, хотя и вдохновенным, но тяжким трудом. Если же говорить об инженерной и многих других видах творческой деятельности, то новые знания не являются конечной целью творчества. Чтобы воплотить новые знания в жизнь, вновь требуется и умение мыслить, и труд.

Новое знание, умение мыслить и труд рождают новую технику, ту технику, которой в веках гордится человечество, ту технику, которая ускоряет научно-технический и социальный прогресс.

Знания, умение мыслить и труд составляют триединую основу и содержание творчества.

Творческие задачи могут иметь разную сложность. И чем сложнее задача, тем труднее дается ее решение,



Всемирно известный авиа-
конструктор академик А. Н.
Туполев (1888—1972)

тем целеустремленнее должна быть творческая деятельность. Ведь погоня за желанным результатом может длиться не день или неделю, а многие месяцы и годы. Чтобы не устать и не охладеть в этой погоне, надо иметь ясную цель, быть ей беззаветно преданным и упорно преодолевать все трудности на пути к решению поставленной задачи. Один из видных радиоинженеров Б. К. Шембель, стоявший у истоков радиолокации в нашей стране, говорил, вспоминая разработку первых радиолокаторов: «Целеустремленность в работе — основное условие ее успеха».

В творческой деятельности приходится выполнять и шаблонную работу, например производить стандартные вычисления. Объем такой работы может быть очень большим, и чтобы она не стала в тягость, инженер должен владеть определенными прочными знаниями и твердыми навыками. Он должен знать, как пользоваться справочной литературой, и уметь быстро считать, знать вычислительную технику и уметь разумно заменять сложные вычисления более простыми. Например, точные громоздкие расчеты заменять приближенными простыми, погрешность которых не превышает допустимой величины. Тогда рутинная часть работы в творческой деятельности будет отнимать незначительное время и основное внимание можно будет уделить творчеству.

Творчество является основой инженерной деятельности. Творчески работающий инженер генерирует новые идеи и формулирует новые технические задачи, обогащает технические науки новыми результатами и разрабатывает новые методы решения инженерных задач.

Творчество выдающихся инженеров находит в нашей стране всенародное признание. Например, авиаконструктор академик А. Н. Туполев, разработавший свыше ста типов самолетов, — трижды Герой Социалистического Труда, лауреат пяти Государственных премий СССР и Ленинской премии, кавалер восьми орденов Ленина

и многих других орденов и медалей СССР, а также двух иностранных орденов, лауреат присуждаемой АН СССР золотой медали имени Н. Е. Жуковского, большой золотой медали Международной авиационной федерации, золотой медали основоположников авиации (Франция), премии имени Леонардо да Винчи (Италия), почетный член Американского института авиации и космонавтики и Королевского авиационного общества Великобритании.



Директор института радиотехники и электроники АН СССР, вице-президент Академии наук СССР академик В. А. Котельников

Из выдающихся радионженеров и ученых-радиостроителей всемирную известность приобрел академик В. А. Котельников, внесший большой вклад в развитие радиотехнических систем, в теорию радиоприема и обработки сигналов*. Академик В. А. Котельников удостоен звания Героя Социалистического Труда, двух Государственных премий СССР и Ленинской премии, награжден четырьмя орденами Ленина, а также другими орденами и медалями СССР, избран почетным членом Американского института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике, иностранным членом Чехословацкой АН и почетным доктором технических наук Высшего технического училища в Праге.

Инженер-творец находит новые пути в совершенствовании производства и привносит новое слово в практику коммунистического строительства.

Инженерное творчество — это также критическое осмысление новых знаний и чужого опыта, разумное и рациональное их использование и приспособление к нуждам своего производства. Ведь бездумное применение чьих-то рекомендаций, использование полученных кем-то результатов без должного учета конкретных условий

* Под обработкой сигналов понимаются различные их преобразования. В цифровых фильтрах, например, как уже говорилось, непрерывные колебания преобразуются в дискретные сигналы. При этом надо знать, через какие временные интервалы следует производить отсчет значений сигнала. Эти интервалы определяются по так называемой теореме отсчетов В. А. Котельникова.

своей инженерной задачи может и не дать желаемого эффекта, может даже привести к отрицательным последствиям.

Творчество инженера — это и развитие им своих практических навыков, совершенствование своего практического мастерства.

Типичной формой творческой инженерной деятельности является изобретательская и рационализаторская работа, результатом такой деятельности может явиться и открытие. Существует официальное положение об открытиях, изобретениях и рационализаторских предложениях.

Согласно этому положению *рационализаторской работой* называется такое решение технических задач, которое является новым и полезным для данного предприятия, организации или учреждения. Это решение должно заключаться в изменении конструкции изделий, технологии производства и применяемой техники или изменении состава материала, применявшегося при изготовлении данных изделий.

Изобретением называется новое и обладающее существенными отличиями техническое решение задачи в любой отрасли народного хозяйства, социально-культурного строительства или обороны страны, дающее положительный эффект. Такое решение признается обладающим существенными отличиями, если по сравнению с известными в науке и технике решениями оно характеризуется новой совокупностью признаков. Объектом изобретения могут являться: новое устройство, способ, вещество, а также применение известных ранее устройств, способов и веществ по новому назначению.

Открытием признается установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих коренные изменения в уровень познаний.

Примерами изобретений могут служить упоминавшиеся выше транзистор и электромеханический фильтр, заменившие соответственно электронную лампу и электрический фильтр. Замена же электронных ламп в какой-либо радиоаппаратуре на транзисторы или замена электрического фильтра электромеханическим фильтром являются примерами рационализаторской работы. Такая замена не может, конечно, производиться путем простой подмены одного элемента другим. При этом требуется

обеспечить должное сопряжение различных узлов аппаратуры, учесть изменение параметров, произвести необходимые расчеты и т. д. В результате такой работы может возникнуть новая схема радиоустройства, в которой известные элементы соединяются по-новому. Такая схема тоже может явиться предметом изобретения*.

В качестве примера открытия приведем эффект Кабанова. В Государственном реестре открытий СССР под № 1 зарегистрировано 26 июня 1957 г. открытие Н. И. Кабанова (профессора Новосибирского электротехнического института) с приоритетом от 15 марта 1947 г.: «Радиоволны, отраженные от ионосферы, при падении на Землю частично рассеиваются ее поверхностью, причем некоторая доля рассеянной энергии возвращается к источнику излучения, где и может быть зарегистрирована».

Это открытие является, в частности, основой для создания новых радиолокаторов сверхдальнего действия.

Уже говорилось, что сложность творческих задач может быть разной. Это хорошо видно и на примере рацпредложений, изобретений и открытий. Следует подчеркнуть, что решение даже простейших задач нуждается в творческом подходе и требует как соответствующих знаний, так и умения мыслить и трудиться.

Пусть, например, ставится элементарная задача определения тока I в цепи с сопротивлением R при заданном напряжении U . Казалось бы, для решения этой задачи вообще не требуется умения мыслить, достаточно знать закон Ома ($I=U/R$) и уметь делить числа. И тем не менее уже при решении этой простейшей задачи нужно мыслить и уметь это делать. Ведь недаром же иные студенты, будущие радиоинженеры, определяют ток, умножая напряжение на сопротивление. Встречаются и такие студенты, которые при заданных значениях напряжения 10 В и сопротивления 10 кОм делят 10 на 10 и получают ток в 1 А.

Когда таким студентам делаешь замечание, что они не хотят думать, то сталкиваешься подчас с недоуменным взглядом: чего тут думать, просто забыл формулу или забыл размерности величин.

* Чтобы читатель понял, как делаются изобретения, ему предлагается при проработке материала третьей части книги решить задачи, поставленные в примечаниях на с. 171 и 173.



Немецкий физик Г. С. Ом
(1787—1854)

Однако и для запоминания, и для извлечения из памяти нужных сведений тоже требуется работа мысли. Прежде чем запомнить закон Ома, надо обдумать и понять, что сопротивление потому и называется сопротивлением, что оно препятствует протеканию тока. Поэтому с ростом сопротивления ток может только уменьшаться. Следовательно, в формуле, определяющей величину тока, сопротивление должно стоять в знаменателе дроби. При такой работе мысли формула запомнится естественным образом.

Чтобы правильно воспользоваться известным методом, правильно использовать готовую формулу, тоже надо думать. Дело не только в том, чтобы сообразить, как одну единицу измерения перевести в другие. Думающий студент поставит перед собой вопрос о выборе единицы измерения тока, если она не задана в условиях задачи. Он придет к выводу, что в предложенной задаче удобно измерять ток в миллиамперах, и сообразит, что для решения задачи в таком виде перевод килоомов в омы является не обязательной операцией: можно разделить 10 В на 10 кОм и получить ответ в миллиамперах.

Приучаться к активной работе мысли надо уже при решении простейших задач. Творческие задатки заложены в каждом человеке. Поэтому, заставляя себя думать, творчески решая даже элементарные задачи, постепенно их усложняя, можно успешно развивать свой творческий потенциал. И только такое целеустремленное развитие творческих способностей позволит будущему инженеру стать творцом.

Инженер — организатор производства

Производство бывает разным. Производство — это не только фабрики и заводы, хотя и заводы бывают разными: одни заводы производят радиоаппаратуру, дру-

гие — ее ремонтируют. Ремонтные заводы, правда, часто низводят до ранга мастерских, но ремонтные мастерские — это тоже производство. Научно-исследовательский институт (НИИ) и телецентр, конструкторское бюро (КБ) и станция «Орбита», радиоцентр и предприятие радиофикации — все это производство.

Каким бы ни было социалистическое производство, высшая его цель — служить людям. Мерой этого служения является количество и качество выпускаемой продукции. Успех в достижении этой цели определяется эффективностью производства, т. е. производственными затратами и сроками достижения поставленной цели. Наибольшая эффективность производства означает, что задачи по увеличению количества и качества продукции решаются в минимально возможные сроки при наименьших затратах трудовых, материальных и энергетических ресурсов. Повышение эффективности производства — основная задача инженера на любом участке его производственной деятельности. Однако эффективность социалистического производства не может повышаться любой ценой, за счет, например, ухудшения условий труда или в ущерб природе.

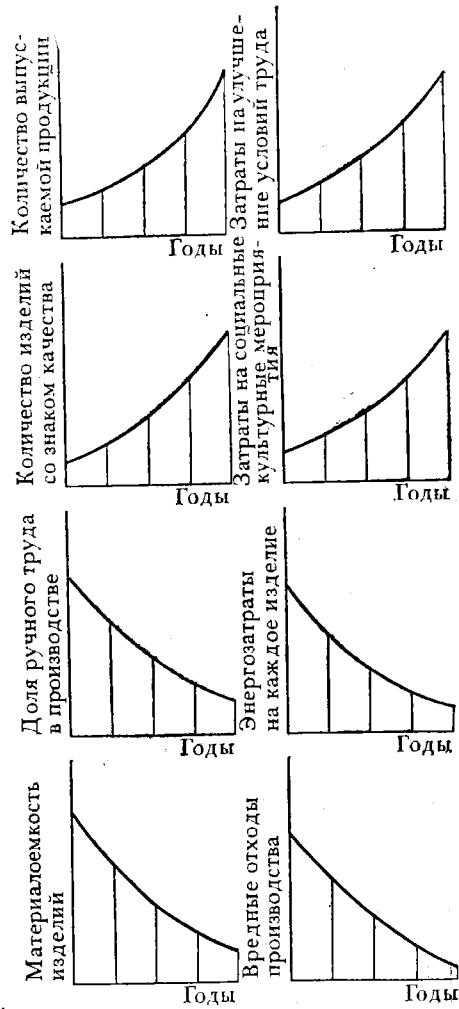
Производство — это не только техника. Производительные силы общества включают в себя помимо орудий производства и людей, производящих материальные блага. Техника без людей мертва. Трудовая деятельность производственного персонала приводит в движение технику. Чем лучше организован труд коллектива, тем эффективнее используются технические возможности производства и труд людей.

Рациональное сочетание технических возможностей производства и трудового потенциала коллектива позволяет сокращать трудовые, материальные и энергетические затраты, ускорять решение производственных задач. В таком рациональном сочетании и заключается задача организации производства. Поэтому на любом участке производственной деятельности инженер, призванный повышать эффективность производства, является организатором производства.

Роль инженера как организатора производства исключительно велика. М. И. Калинин, подчеркивая это, неоднократно отмечал, что специалист, как бы он ни был хорош, если он не имеет организаторских способностей — плохой специалист и работник...

1.28

Требования к производству многообразны. Некоторые из возможных показателей, характеризующих процесс совершенствования производства, можно отобразить графически, как показано на данном рисунке



Выступая в качестве организатора производства, инженер работает с людьми. Техническая деятельность инженера, ее характер и предъявляемые к ней требования рассмотрены выше. Однако два аспекта этой деятельности — технико-экономический и социально-технический — были упомянуты лишь вскользь. Остановимся на этих аспектах подробнее, поскольку они не являются

чисто техническими, а тесно связаны с трудовой деятельностью человека.

Эффективность производства является не техническим, а технико-экономическим понятием. Повышение эффективности производства означает не только улучшение технических показателей выпускаемой продукции, но и повышение ее экономичности. И технические, и экономические показатели определяются не только свойствами самой продукции, но и качеством труда производственного коллектива. Это относится к любому производству.

В НИИ, где проводятся научные исследования, экономичность задуманного технического объекта предопределяется простотой реализации разработанных научно-технических рекомендаций. Качество же этих рекомендаций зависит от квалификации инженеров-исследователей, от их самоотдачи. Но и эффективность самого НИИ как производства, минимизация сроков проведения исследований определяется качеством инженерного труда и всего институтского персонала, правильной его организацией и другими организационными факторами.

В конструкторском бюро, где проектируются задуманные технические объекты, экономичность изделий во многом определяется целеустремленностью и эффективностью труда инженеров-конструкторов и других сотрудников КБ, рациональным распределением их функциональных обязанностей. Этими же факторами определяется и эффективность самого КБ.

Эффективность производства, выпускающего техническую продукцию, определяется не только экономичностью конструкции выпускаемого изделия, не только простотой технологического цикла и совершенством технологической оснастки производства. Не в меньшей степени эффективность такого производства, как и других производств, зависит от производственной дисциплины и ритмичности труда, от морального климата в коллективе и санитарно-гигиенических условий на производстве, от идейной убежденности работников и правильного сочетания мер морального и экономического стимулирования их труда и т. д.

На предприятиях, занимающихся технической эксплуатацией любого изделия, экономичность определяется эксплуатационной надежностью и сроком службы изделия, частотой и объемом необходимых регламентных

работ, сложностью и качеством ремонта изделия, капитальными вложениями, эксплуатационными издержками производства и т. д.

Указанные факторы зависят не только от качества изделия, но и от уровня технического обслуживания, от качества труда обслуживающего персонала.

Перечисленные и ряд других факторов наглядно свидетельствуют о том, что инженер — организатор производства, инженер любого профиля должен обладать не только хорошими техническими знаниями. Он должен обладать также обширными экономическими познаниями, которые являются органичной составной частью инженерных знаний. Они включают в себя как общие социально-экономические законы развития общественного производства, так и все вопросы конкретной экономики своего производства. Инженер должен хорошо знать, как различные экономические факторы влияют на эффективность производства. Однако одних экономических познаний недостаточно. Надо еще уметь любое техническое решение проверять экономическим анализом, уметь давать экономическую оценку найденному техническому решению. Такая проверка и оценка должны войти в привычку. Экономический подход к техническим вопросам должен стать составной частью инженерного мышления, а умение производить экономический анализ должно стать составной частью инженерных навыков.

Таким образом, составными частями знаний, мышления и навыков инженера-производственника являются экономические знания, экономическое мышление и экономические навыки.

Приведенные выше примеры свидетельствуют также о том, что любой инженер на производстве должен уметь работать в коллективе и с коллективом. В производственной деятельности инженеру требуются не только технические и экономические знания. Надо еще знать и трудовое законодательство, и коммунистическую этику. Инженер должен разбираться не только в чертежах, но и в людях, для чего надо быть сведущим и в вопросах психологии.

Инженер — организатор производства — является руководителем коллектива. Он должен обладать навыками работы с людьми. Инженер воспитывает коллектив и личным примером, и поддержанием здорового нравст-

венного климата на производстве. Он мобилизует коллектив на решение производственных задач; каждодневная забота о нуждах коллектива в целом и каждого работника в отдельности является составной частью инженерной деятельности. Внимательность к этим нуждам должна быть чертой характера инженера — организатора производства.

Как организатор производства, инженер рационально использует не только производственную технику, но и производственный персонал, правильно организует его деятельность и заботится об охране труда. Для этого инженер должен владеть законами научной организации труда (НОТ), основанной на достижениях науки и техники, впитавшей в себя опыт лучших производственных коллективов и новаторов социалистического производства.

НОТ — это такая организация труда, при которой рост эффективности производства достигается не за счет повышения интенсификации труда, а путем создания на производстве благоприятных условий в соответствии с научными рекомендациями. Эти рекомендации разрабатываются и в научно-исследовательских организациях, и непосредственно на производстве. В их разработке принимают участие многие специалисты, в том числе и врачи, и инженеры.

Инициатором научной организации труда в нашей стране был В. И. Ленин, который видел в НОТ не только средство повышения экономической эффективности производства, но и важнейший социальный фактор улучшения условий труда работников и гармонического развития личности.

Таким образом, НОТ объединяет в себе и технико-экономический, и социально-технический аспекты производственной деятельности инженера.

Организуя труд в качестве руководителя, инженер, как технический специалист, принимает непосредственное участие в повышении квалификации производственного персонала, в обучении его правильному обращению с техникой. Для этого инженер должен сам не только знать и любить технику, но и в совершенстве владеть ею. Не умея, например, обращаться с измерительной аппаратурой, инженер не сможет обнаружить ошибок в действиях настройщика радиоприемников, что может привести к выпуску бракованной продукции.

Инженеру в качестве руководителя производства приходится часто принимать ответственные решения. Это могут быть и технические, и административные решения. Если они принимаются без должного чувства ответственности, то это может привести к отрицательным последствиям, например к срыву плановых заданий, но бояться ответственности не следует. Знания специалиста и его опыт являются залогом принятия правильных решений. Этот залог должен быть подкреплен гражданской зрелостью инженера, чувством ответственности за порученное дело. Это чувство надо в себе воспитывать, и начинать следует с воспитания чувства ответственности за свою учебу.

Инженер на производстве не только осуществляет техническое руководство. Ему отводится также роль политического организатора коллектива. Поэтому советский инженер должен хорошо владеть марксистско-ленинской теорией, знать политику нашей партии и государства и активно проводить ее в жизнь.

Инженер — общественный деятель

«Ничто так не возвышает личность, как активная жизненная позиция, сознательное отношение к общественному долгу, когда единство слова и дела становится повседневной нормой поведения» — эти слова Генерального секретаря ЦК КПСС, Председателя Президиума Верховного Совета СССР товарища Брежнева Л. И. в полной мере относятся к советскому инженеру, труд которого посвящен построению нового коммунистического общества.

Советский инженер, осознавший свое общественное призвание, всегда находится в первых шеренгах строителей коммунизма. Любое общественное дело не оставляет его равнодушным, любое общественно полезное начинание находит у него отклик. И откликается он не словами, а делом. Активной общественной деятельностью он являет пример служения обществу. Эта деятельность инженера органично сливается с его профессиональной деятельностью.

Инженер вне зависимости от своего служебного положения не только сам активно участвует в обществен-

ной работе, но и выступает в роли умелого организатора всей общественной работы в своем коллективе, деятельно помогает партийной и другим общественным организациям в мобилизации трудового коллектива на повышение эффективности производства. Нет, пожалуй, ни одного производства, где в состав выборных партийных, профсоюзных и других общественных органов не входили бы инженеры. Многие первичные партийные организации возглавляются коммунистами-инженерами. Профсоюзные организации не смогли бы эффективно выполнять свои функции по всемерному улучшению условий труда, если бы не активное участие инженеров в их деятельности. Грамотное, квалифицированное содействие инженеров помогает в планировании и реализации мероприятий по социальному развитию производства.

Советский инженер является на производстве активным агитатором и пропагандистом, деятельно способствуя идеологическому воспитанию коллектива. В лекционной пропаганде инженеры не ограничиваются рамками своего производства, многие из них выступают как члены общества «Знание» перед населением города, района, области, республики.

Незаменимыми являются инженеры в технической пропаганде. В апрельском (1979) постановлении ЦК КПСС «О дальнейшем улучшении идеологической, политиковоспитательной работы» отмечалось все еще недостаточно действенное «освещение в печати, массово-политической работе таких вопросов, как ускорение научно-технического прогресса, внедрение достижений науки и техники в народное хозяйство, повышение производительности труда, эффективности и качества работы, строжайшая экономия материалов, сырья, топлива, энергии, финансовых средств». Именно эти вопросы могут действительно пропагандировать инженеры в силу своей профессиональной подготовки. Располагая богатым фактическим материалом, инженеры могут освещать эти вопросы конкретно, нестандартно и доходчиво, как этого и требует указанное постановление.

В своей общественной деятельности инженер не ограничивается нуждами своего производства. Он не только заботится о соблюдении социалистической законности на своем предприятии, но и активно вступает в борьбу с нарушениями общественного правопорядка по месту

жительства. Многие инженеры принимают деятельное участие в работе добровольных народных дружин, групп и постов народного контроля. Встречаем мы инженеров и в роли выборных народных заседателей в судах.

Инженеры активно сотрудничают в научно-технических обществах (НТО) и научно-технических советах (НТС) в масштабах экономического региона, республиканского и союзного министерств, в масштабе своей отрасли производства и всего народного хозяйства. Эти общества и советы содействуют развитию производства и ускорению научно-технического прогресса, обобщая и распространяя передовой опыт, помогая руководящим органам в координации научно-технической деятельности производственных коллективов, рационализаторской и изобретательской работы на предприятиях. В рамках НТО и НТС организуются семинары, конференции и другие мероприятия, которые популяризуют достижения ученых, инженеров и новаторов производства, помогают повышению квалификации инженерно-технических работников и стимулируют их творческую деятельность.

НТО организованы по отраслям знаний. Радистов и смежных с ними специалистов объединяет Научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. Центральное правление этого общества возглавляет известный радиоинженер директор Института проблем передачи информации АН СССР чл.-кор. АН СССР В. И. Сифоров.

Облеченные доверием коллектива, многие тысячи инженеров достойно представляют интересы общества в хозяйственных учреждениях и государственных органах, на руководящей работе и в Советах народных депутатов всех уровней, от местных Советов до Верховного Совета СССР. Например, авиаконструктор А. Н. Туполев был депутатом Московского городского Совета депутатов трудящихся, шесть раз избирался депутатом Верховного Совета СССР, а когда верховным органом Советской власти являлся Центральный Исполнительный Комитет, был членом ЦИК 7-го созыва.

Вся многогранная общественная деятельность требует от депутата-инженера и его профессиональных знаний, и специальной подготовки, и гражданской зрелости.

Советский инженер занимает активную жизненную позицию в борьбе двух общественно-политических систем — социалистической и капиталистической. Всей своей профессиональной и общественной деятельностью он демонстрирует преимущества социалистического строя, содействует укреплению содружества социалистических стран.

Стали уже традицией многочисленные инженерные разработки советских инженеров, проводимые в рамках Совета Экономической Взаимопомощи, совместно с инженерами Болгарии, Венгрии, Польши, Чехословакии и других стран социалистического содружества. Яркий пример такого сотрудничества — космические старты интернациональных экипажей.

Верный принципам интернационализма, Советский Союз неизменно оказывает бескорыстную всестороннюю помощь развивающимся странам. В оказании технической помощи такого рода ведущая роль принадлежит нашим инженерам. Например, по соглашению между советским и лаосским правительствами должна быть построена крупная радиостанция в районе Вьентьяна. При этом советские радиоинженеры разрабатывают проект станции и принимают участие в ее монтаже и наладке оборудования.

Наше государство борется за мирные отношения между всеми странами, выступает за ограничение гонки вооружений. Активное участие в этом благородном деле принимают также советские инженеры.

В борьбе за мир во всем мире, в деле сближения всех народов существенная роль принадлежит экономическому и научно-техническому сотрудничеству между странами с разным государственным строем. Наше государство уделяет постоянное внимание такому сотрудничеству. Реализация заключаемых договоров и соглашений во многом непосредственно связана с деятельностью инженеров самых различных специальностей, в том числе и радиоинженеров. Примером может послужить совместная советско-французская разработка системы цветного телевидения СЕКАМ.

Советские инженеры представляют интересы своей страны на международных форумах и в международных организациях. Это и международные выставки, демонстрирующие достижения инженерной мысли, и специализированные учреждения ООН, такие, например, как

Международный союз электросвязи, Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) и Международная организация труда. Можно назвать много и других международных форумов, симпозиумов, консультативных комитетов, например по телеграфии и телефонии (МКТТ), по радиосвязи (МККР), где советские инженеры достойно представляют свое государство.

Советский инженер на любом посту должен являть собой образец высокой партийности. Коммунистическая идейность, жар души и страстное горение в служении обществу — отличительные черты советского инженера.

**ВВЕДЕНИЕ
В СТУДЕНЧЕСКИЕ
ГОДЫ**



Кто хочет быть в будущем квалифицированным работником, тот должен пройти советскую школу, научиться систематической работе над книгой и самим собой.
М. И. Калинин

I ИНСТИТУТ

Высшее техническое образование

Высшее техническое образование
Организация учебного процесса
Аудиторные занятия студентов
Самостоятельная работа студентов
Общественно-трудовая деятельность студентов
Формы контроля знаний студентов
Быт и отдых студентов

Высшему техническому образованию в России было положено начало в конце XVII начале XVIII в. В этот период в Москве были основаны первые военно-инженерные школы. Одна из них была открыта в 1701 г. под названием школы математических и навигацких наук. Эта школа была многопрофильной. Высшая (третья) ее ступень готовила не только навигаторов для военно-морского флота, но и судостроителей, геодезистов и других инженеров. Многие выпускники направлялись на строительство дорог, в гражданские ведомства, а также учителями арифметики в начальные школы, которые назывались цифирными.

Традиция многопрофильной подготовки была сохранена и в других инженерных учебных заведениях. К ним относились, например, открытые в Петербурге Горное училище (1773), приравненное к академиям, и Институт корпуса инженеров путей сообщения (1809), ставший гражданским институтом в 1864 г.

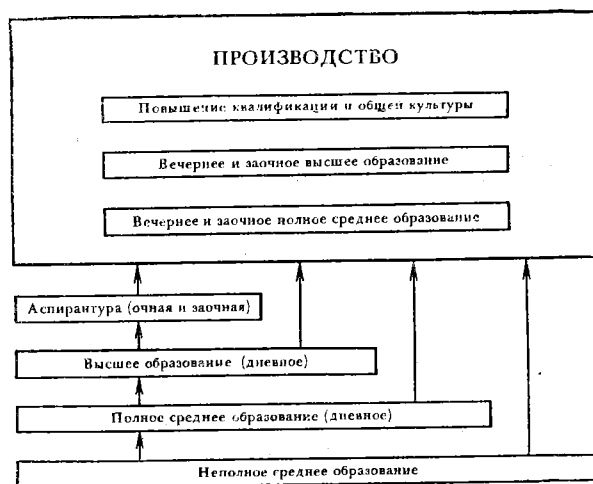
Здесь на первых порах готовили также гражданских инженеров — специалистов по строительству гражданских сооружений. Сейчас эти старейшие вузы страны известны как Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова и Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. академика В. Н. Образцова. Один из старейших инженерных вузов — Ленинградский инженерно-строительный институт. Он открыт как строительное училище в 1832 г., а затем в 1882 г. преобразован в институт гражданских инженеров.

Позже наряду с отраслевыми стали создаваться и политехнические институты, специально предназначенные готовить инженеров для различных отраслей техники. Первый в России политехнический институт был образован в Риге в 1896 г. на базе политехникума, основанного в 1862 г. Затем были организованы политехнические институты в Киеве (1898), Петербурге (1899) и др. Старейшим на территории нашей страны является Львовский политехнический институт, основанный в 1844 г. как техническая академия.

Высшее техническое образование в России имело богатые традиции. Ее ведущие технические вузы давали широкую и глубокую теоретическую подготовку, тесно увязанную с задачами практики. Однако царское правительство не уделяло должного внимания подготовке инженеров. Даже для отсталой промышленности царской России их не хватало. На многих отечественных предприятиях широко использовались иностранные инженеры. В канун первой мировой войны Россия имела всего 16 гражданских технических вузов.

Высшее техническое образование в нашей стране бурно стало развиваться с первых же лет Советской власти. Это развитие шло в нескольких направлениях.

Во-первых, стали расширяться старые институты, в них создавались новые факультеты. Например, в Московском высшем техническом училище (МВТУ), основанном в 1830 г. как ремесленное училище и преобразованном в 1868 г. в высшее техническое училище, уже в 1917 г. были открыты электротехнический, инженерно-строительный и аэромеханический факультеты. Харьковский и Томский технологические институты, основанные соответственно в 1885 и 1896 г., при Советской власти были преобразованы в политехнические институты.



2.1

Для подготовки инженеров и других специалистов высшей квалификации в нашей стране существует система высшего образования, базирующаяся на всеобщем обязательном среднем образовании. На базе высшего образования готовятся через аспирантуру научные кадры для производства. Полное среднее образование осуществляется через общеобразовательные школы, через средние специальные учебные заведения (техникумы и училища) и через профессионально-технические училища (ПТУ). Полное среднее и высшее образование можно получить и без отрыва от производства. Молодежь может также овладеть профессией, приобрести и повысить квалификацию через краткосрочные курсы, а также систему ученичества и наставничества непосредственно на производстве. Учеба специалистов средней и высшей квалификации не заканчивается с получением диплома и продолжается на курсах и в институтах переподготовки и повышения квалификации в университетах марксизма-ленинизма, в народных университетах по различным отраслям знаний, в клубах новаторов производства и т. п. Повышение квалификации и общей культуры осуществляется также путем самообразования, без которого инженер и любой другой специалист неизбежно отстанет от ускоряющегося научно-технического прогресса.

Во-вторых, стали создаваться новые институты. Например, в 1918 г. была учреждена Московская горная академия, основан Одесский политехнический и ряд других технических институтов.

В 1921 г. на базе электротехникума (открытого в 1920 г.) создан Московский электротехнический институт связи (МЭИС). В дальнейшем много новых институтов было создано на базе разросшихся факультетов крупнейших вузов. Например, в 1930 г. на базе Московской горной академии было создано шесть новых институтов. В этом же году на базе факультетов МВТУ

были открыты в Москве авиационный и энергетический институты (МАИ и МЭИ).

В-третьих, стало расширяться географическое положение технических вузов, они основывались на некогда отсталых окраинах царской России: в 1918 г. открыт политехнический институт во Владивостоке, в 1922 г.— в Тбилиси, в 1930 г.— в Иркутске, в 1933 г.— в Ташкенте, в 1950 г.— в Баку, в 1970 г.— в Махачкале...

В 1979/80 учебном году свыше 610 технических вузов и их филиалов раскинулись по всей территории нашей страны, от Калининграда на западе до Петропавловска-Камчатского на востоке, от Норильска на севере до Ашхабада на юге. Но расцвет высшего технического образования при Советской власти характеризуется не только количественным ростом сети вузов и расширением их географического положения. Произошли глубокие социальные сдвиги в высшем техническом образовании, которое было практически не доступным для широких масс рабочих и крестьян царской России. При Советской власти были приняты меры для подготовки инженеров из числа рабочих и крестьян. С этой целью при многих институтах были созданы рабочие факультеты (рабфаки), которые готовили рабоче-крестьянскую молодежь к поступлению в вуз. Первый рабфак был образован в 1919 г. при Московском институте народного хозяйства. В наши дни для облегчения поступления в вуз рабочей и сельской молодежи, а также воинов, демобилизованных из рядов Советской Армии, при многих институтах созданы подготовительные отделения. Действует широкая сеть подготовительных курсов.

Завоеванием Советской власти является также система подготовки специалистов без отрыва от производства. Научно обоснованная система заочного образования была впервые создана в нашей стране. Широкое развитие получила и система вечернего образования. Сейчас при многих инженерных институтах существуют заочные и вечерние отделения и факультеты. Открыты также самостоятельные заочные институты, например Всесоюзный заочный электротехнический институт связи (ВЗЭИС), Всесоюзный заочный политехнический и ряд других.

Продолжая и развивая традиции русской технической школы, технические вузы в нашей стране готовят инженеров широкого профиля на основе фундаментальной

теоретической и практической подготовки. Уровень технического образования неуклонно повышается в полном соответствии с научно-техническим прогрессом. Бурно развивается подготовка специалистов по перспективным инженерным специальностям, таким, например, как автоматика, радиотехника, электросвязь.

Подготовка связистов в России была начата в Петербургском техническом училище почтово-телеграфного ведомства в 1886 г. Это училище в 1891 г. было преобразовано в электротехнический институт, ныне Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). Военных связистов в царской России выпускала Николаевская инженерная академия и училище в Петербурге. В этих учебных заведениях, а также в Минных офицерских классах в Кронштадте началось и радиотехническое образование. В упомянутых классах с 1888 г. преподавал физику и электротехнику изобретатель радио А. С. Попов. Здесь же он проводил научные исследования, приведшие его к изобретению радио, а в 1900 г. начал обучать минных офицеров по составленной им же «Программе чтений о телеграфировании без проводов». В 1901 г. А. С. Попов был избран профессором Петербургского электротехнического института, где он стал первым выборным директором в 1905 г. В этом же году А. С. Попов ввел в учебный план института курс «Электрические колебания и электромагнитные волны», чем и положил начало подготовке инженеров-радиостов.

Первое учебное пособие по радиотехнике «Электромагнитные волны и основания беспроволочного телеграфа» вышло 7-м выпуском сборника Николаевской инженерной академии и училища (Спб., 1906). Это пособие, изданное также отдельной книгой в Петербурге в 1907 г., было написано преподавателем Академии В. К. Лебединским, который в 1913 г. был избран профессором Рижского политехнического института, а впоследствии стал одним из основателей и научных руководителей Нижегородской радиолaborатории.

В 1907 г. в Петербурге было также издано учебное пособие «Научные основания беспроволочной телеграфии», написанное преподавателем Минных офицерских классов А. А. Петровским.

Упомянутые учебные пособия ряд лет были единственными руководствами для изучения радиотехники. Впо-

следствии прогресс радиотехники и, в частности, развитие ламповой радиоаппаратуры привели к появлению новых радиотехнических дисциплин. Радистам потребовались, в частности, знания курса электронных приборов.

Современное высшее радиотехническое образование предусматривает изучение многих специальных радиотехнических курсов, и не только радиотехнических. Система знаний, необходимых инженерам разных специальностей, меняется по мере развития техники.

Раньше, например, существовала точка зрения, что радисту нельзя выдавать диплом инженера, если он не знает сопромата — курса сопротивления материалов, в котором изучаются вопросы механической прочности изделий. И в стенах института будущие радиоинженеры изучали и сопромат, и теоретическую механику, и теорию механизмов и машин. Инженер-радист получался настолько эрудированным, что мог рассчитать прочность балки и спроектировать зубчатую передачу. Но при этом подчас понятие электрической прочности линии передачи ассоциировалось у него с разрывом телефонного кабеля, незамеченного вовремя нерадивым экскаваторщиком. Оно и понятно — ведь за четыре-пять лет обучения инженерному делу всего познать невозможно.

Знания должны быть разными у инженеров, строящих, например, мост через реку и «радиомост Земля — Луна». Если первому инженеру не обойтись без знания теоретической механики, то для второго инженера она с успехом заменяется теорией электромагнитного поля. Поэтому у нас принята государственная классификация инженерных специальностей, и для каждой специальности регламентируется необходимая система знаний.

В указанной классификации специальности, обладающие теми или иными общими признаками, объединены в группы. Основным общим признаком, по которому сгруппированы родственные специальности, является



Один из первых преподавателей радиотехники В. К. Лебединский (1868—1937)

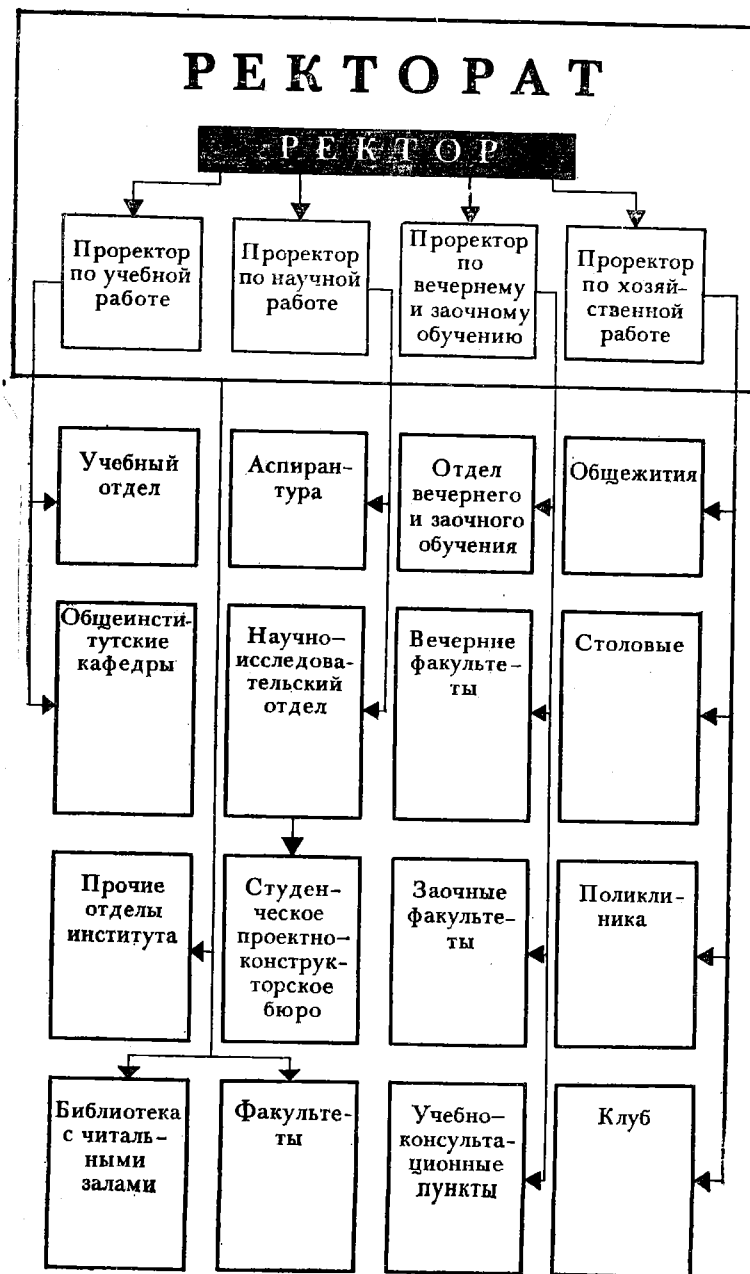
одинаковое целевое назначение объектов инженерной деятельности соответствующих специалистов.

Иногда родство специальностей, объединенных в одну группу, выглядит неочевидным. Почему, например, телефонная связь и радиотехника отнесены к одной группе специальностей? Ведь такие технические объекты, как, например, телефон и телевизор, имеют разное целевое назначение. Или здесь группировка специальностей произведена по другому общему признаку? Для ответа на эти вопросы следует вспомнить, что в числе технических объектов инженерной деятельности выше были названы телефонные электрические сигналы и радиосигналы. Любые же сигналы — и речевые сигналы, передаваемые по телефону, и сигналы изображения, используемые в телевидении, имеют одну цель — передачу информации.

Подготовка инженеров по родственным специальностям может производиться в одном и том же отраслевом институте (например, в институте связи) или на одном факультете (например, на факультете радиотехники и связи политехнических институтов). Однако в ряде случаев инженеров родственных специальностей обучают в разных вузах, как, например, инженеров в области радиотехники и авиационной радиосвязи.

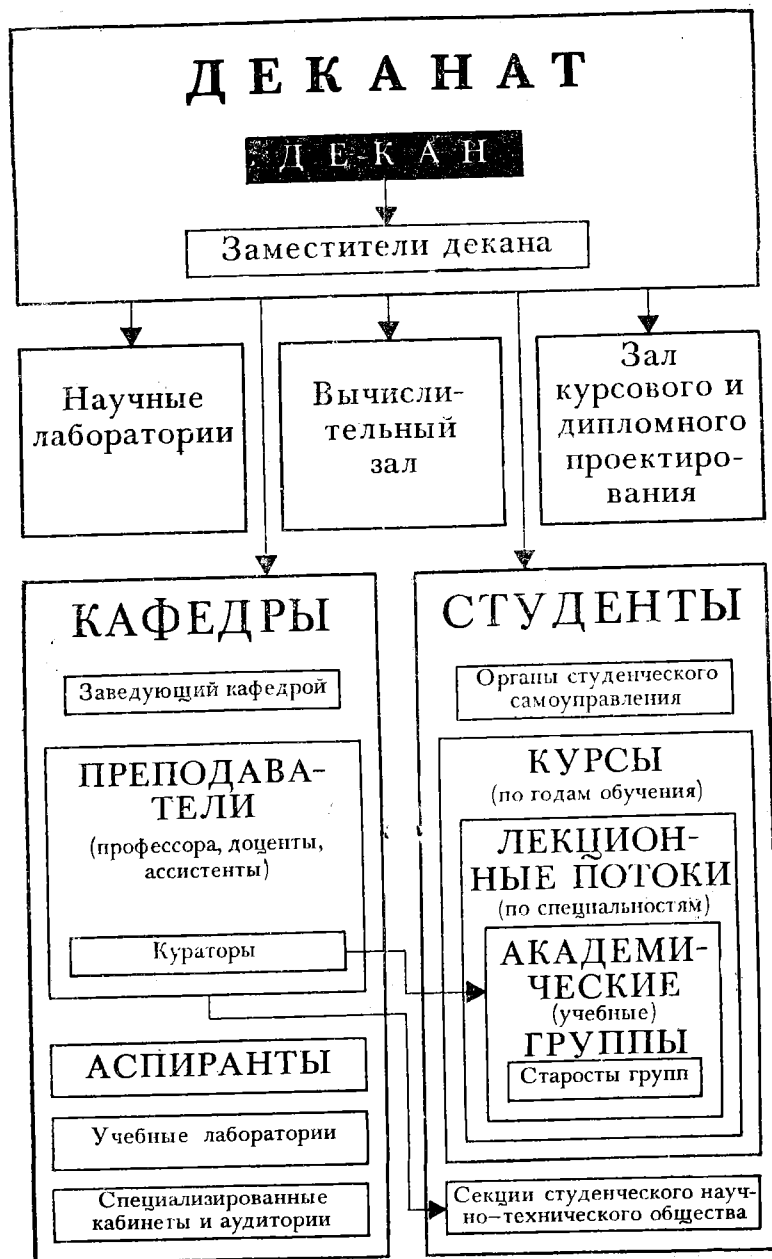
В то же время по специальностям разных групп инженеры могут готовиться в одном институте, хотя и на разных факультетах. Например, на разных факультетах политехнических институтов могут обучать радистов и химиков, электриков и механиков и т. д. Часто при этом специальности разных групп объединяются под крышей не политехнического, а отраслевого института. Здесь вступает в силу другое родство этих специальностей, то родство, которое объединяет инженерные объекты различного целевого назначения в единых технических комплексах. Например, такой технический комплекс, как современный самолет, объединяет в себе множество технических объектов разного целевого назначения. Поэтому инженеров по авиационным специальностям обучают в одних и тех же вузах — институтах гражданской авиации.

В 1979/80 учебном году подготовка инженеров по специальностям группы 07 «Радиотехника и связь» (0701 — радиотехника, 0702 — автоматическая электросвязь, 0703 — радиосвязь и радиовещание, 0704 — радиофизика и электроника, 0705 — конструирование и про-



2.2

Высшее учебное заведение представляет собой сложный организм. На этой структурной схеме показаны наиболее важные подразделения института



изводство радиоаппаратуры, 0706 — техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования и др.) производилась в 82 технических вузах и их филиалах, размещенных в 53 городах.

В каком бы институте ни обучался инженер, его образование не заканчивается с получением вузовского диплома. Ограниченность знаний, вынесенных из института, и быстрая обновляемость техники в условиях бурного научно-технического прогресса требуют от инженера непрерывного совершенствования его мастерства. Самообразование же, самостоятельная работа с книгой не всегда могут обеспечить должную эффективность такого совершенствования.

Поэтому в нашей стране высшее техническое образование не ограничивается обучением в вузе. Существует также сеть курсов, факультетов и институтов повышения квалификации. Здесь инженеры разных специальностей могут периодически проходить переподготовку, осваивать новую технику, повышать свое мастерство. В этом же помогают инженеру клубы новаторов производства.

Но инженер не замыкается в скорлупе своей специальности. Расти и совершенствоваться он должен всесторонне. И здесь ему приходят на помощь университеты марксизма-ленинизма, народные университеты с факультетами по различным отраслям знаний и другие учебные формирования.

Инженер учится всю жизнь. И наше государство создает ему для этого все условия.

Организация учебного процесса

Учебный процесс и его организация в институте и знакомы, и незнакомы вчерашнему школьнику, сегодняшнему студенту.

Так, какая же точка зрения верна: все известно или все по-новому в институте? Любая крайняя точка зрения вредна. Опасно думать, что все знакомо, а изменились только названия, что в институте, следовательно, можно учиться школьными методами. При таком взгляде

2.3

Студенты родственных специальностей обучаются на одном факультете. Начинающему студенту легче будет освоиться в институте, ознакомившись с приведенной примерной структурной схемой факультета

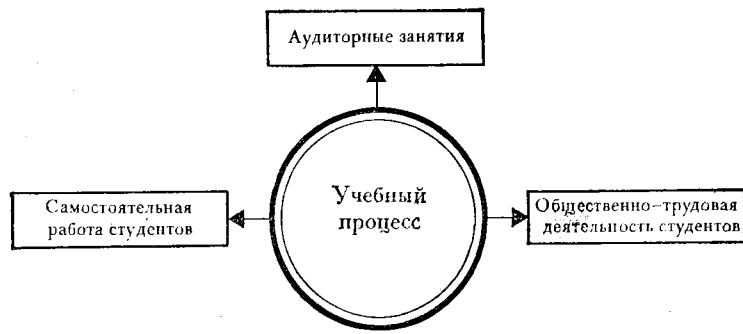
де из школьника не получится хорошего студента, впоследствии из него получится плохой инженер. Еще опаснее считать, что в институте все по-новому, что можно забыть, например, школьную привычку заниматься каждый день, если не выставляют отметки в классном журнале. При таком взгляде из студента может вообще не получиться инженера.

Начинающему студенту важно понять, что в институте надо заниматься иначе, чем в школе, потому что у них хотя и сходные, но разные задачи. Поэтому и учебный процесс в институте организован не так, как в школе. Причин тому много.

Во-первых, согласно статье 45 Конституции СССР среднее образование является у нас всеобщим и обязательным. Поступление же в институт является не обязанностью, а конституционным правом молодежи. Но после зачисления в студенты успешная учеба становится обязанностью. Поэтому учебный процесс в вузе организован в расчете на молодых людей, которые осознанно выбрали себе цель в жизни, хотят стать хорошими специалистами и приносить максимальную пользу обществу. Государство же предоставляет для этого все возможное образование. Для обеспечения права граждан СССР на высшее образование государство не только широко развивает сеть вузов, но и предоставляет студентам государственные стипендии и льготы, предоставляет возможность обучения на родном языке и т. д. И все это зафиксировано в нашей Конституции.

Во-вторых, перед вузом стоят весьма многообразные и сложные задачи. Кто внимательно прочитал первую часть книги и понял, какие высокие требования предъявляются к инженеру, тот поймет и особые задачи высшего образования. Цель высшей школы — вырастить Специалиста, Человека, Гражданина. Эта многогранная и высокая цель может быть достигнута лишь при соответствующей организации учебного процесса.

Учебный процесс в вузе не может сводиться лишь к обучению. Обучить можно ремесленника, инженер должен вырасти. Институт не только обучает, но и помогает студенту вырасти в инженера, как садовник помогает произрасти дереву. Но растение должно само тянуться к солнцу, чтобы дать плоды. Так и студент должен сам тянуться к знаниям, чтобы стать инженером и приносить плоды своего образования.



2.4

Показанные здесь составные части учебного процесса в вузе напоминают школьную организацию учебы. Но начинающий студент не должен обольщаться: в институте это качественно иные формы учебного процесса

Поэтому учебный процесс в институте — это не только учебные занятия. Он складывается из трех самостоятельных и взаимосвязанных частей: аудиторных занятий, самостоятельной работы студента и его общественно-трудовой деятельности.

Учебный год в вузе разбит не на четверти, как в школе, а на полугодовые семестры обучения. В институте предусматриваются так называемые факультативные занятия, которые посещаются студентами по своему выбору. Аудиторные занятия включают в себя лекции, незнакомую школьнику форму обучения. Свою общественно-политическую деятельность студенты организуют преимущественно сами. Самостоятельная работа предусматривает выполнение новых для школьника форм домашних заданий — курсовых работ и проектов, а обучение в техническом вузе завершается не экзаменами, а выполнением и защитой дипломного проекта. Все это нацелено на развитие творческих задатков студентов, которые должны стать творчески работающими инженерами. Поэтому и учебный процесс в вузе — это творческое общение преподавателей и студентов. Институт перестает быть школой инженеров, если студенты не работают творчески.

Учебный процесс организован на основе строгого планирования. Планирование производится на разных уровнях. На государственном уровне, как уже говорилось, регламентируются специальности, по которым осуществ-

вляется подготовка инженеров. Для каждой из них составляется квалификационная характеристика, определяющая систему знаний и навыков, необходимых специалисту.

На основе такой квалификационной характеристики определяется содержание подготовки будущего специалиста и составляется учебный план.

Учебный план определяет перечень учебных дисциплин, виды учебных занятий, объем подготовки студентов и формы контроля их знаний на каждом семестре обучения. Этот план дополняют учебные программы, которые определяют объем и содержание подготовки по каждой учебной дисциплине, а также распределение времени по видам занятий. На основе учебного плана в вузе составляются семестровые расписания аудиторных занятий, подобные школьным расписаниям.

На основе учебного плана и программ с учетом семестрового расписания студент должен составить личный план самостоятельной работы. При таком планировании студенту нужно учесть свои индивидуальные качества, т. е. различные способности к восприятию тех или иных предметов, наличие некоторых пробелов в своих знаниях и т. п.

Учебными планами инженерных специальностей предусматривается изучение трех групп дисциплин: общенаучных, общинженерных и специальных.

К первой группе относятся общественные науки (история КПСС, марксистско-ленинская философия, научный коммунизм и т. д.), математика, физика и некоторые другие. Общенаучные дисциплины нужны инженеру любой специальности. Они обеспечивают формирование личности инженера, его мировоззрения, воспитание Человека и Гражданина, дают знания, необходимые инженеру в его практической деятельности, и закладывают основы для изучения общинженерных и специальных дисциплин.

Общинженерные дисциплины также непосредственно используются в инженерной деятельности и являются основой для изучения различных специальных дисциплин. Однако в отличие от общенаучных их номенклатура и содержание определяются в зависимости от характера специальной подготовки инженера. При подготовке инженеров-механиков, например, к таким дисциплинам относятся сопротивление материалов и теория ме-

ханизмов и машин, а в материаловедении изучаются сталь, чугун и тому подобные материалы. Для радиста же общепромышленными дисциплинами являются основы теории цепей, электронные приборы и ряд других, а материаловедение заменяется курсом «Радиоматериалы и радиодетали».

Специальные дисциплины непосредственно готовят инженеров к практической деятельности по избранной специальности. Для радистов такими дисциплинами являются, например, телевидение, радиотехнические системы и ряд других.

Общенаучные и общепромышленные дисциплины обеспечивают подготовку специалистов широкого профиля. Именно эти дисциплины дают инженеру широкую подготовку, позволяющую ему работать на стыке наук и в условиях постоянно обновляющейся техники. Поэтому, в частности, в курсе физики будущие радиоинженеры изучают не только электричество, но и механику, не только колебательные процессы, но и ядерные превращения. Столь же фундаментально строятся и другие общенаучные и общепромышленные дисциплины.

Аналогичным образом обеспечивается формирование и других необходимых инженеру качеств. Например, инженер должен уметь пополнять и обновлять свои знания, как об этом говорилось выше. Поэтому учебный процесс в вузе организован таким образом, чтобы научить студента работать с источниками информации. Для этого будущий инженер изучает основы научно-технической информации и иностранный язык. Этой же цели служит и самостоятельная работа студентов, как одна из форм учебного процесса в институте.

Инженер любого профиля должен уметь проводить научные исследования. Этому он также обучается в институте. С этой целью кафедры предоставляют студентам возможность вести научно-исследовательскую работу по кафедральной тематике. Поэтому в учебном плане предусматривается изучение курса основ научных исследований (ОНИ), который называется также учебно-исследовательской работой студентов (УИРС).

Организатор производства должен иметь экономические и другие специальные знания — и в учебных планах предусмотрены соответствующие дисциплины. К ним относятся политекономия и экономика, охрана труда и основы советского права и т. д.

В целом учебный план состоит из взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга дисциплин, которые выстраиваются по времени изучения в строго определенном логически обусловленном порядке. Все дисциплины, которые должен изучить студент, точно подогнаны друг к другу. В своей совокупности они обеспечивают формирование гармонически целостной системы знаний, необходимых инженеру. При этом потеря одного звена приводит к цепной реакции выпадения и других звеньев. Без высшей математики не познаешь теорию электрических цепей, без этой теории не усвоить курса усилительных устройств, без него не поймешь работы радиоприемных устройств, без такого понимания не овладеешь радиотехническими системами, не овладев этими системами, не осилишь дипломный проект, а без него не получишь диплома. Итак, потеряно первое звено — выпала математика — и не состоялся инженер!

Аудиторные занятия студентов

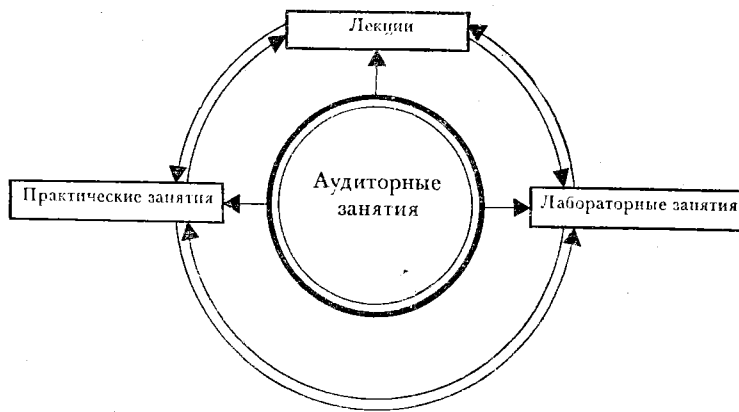
Посещение аудиторных занятий является обязательным. Однако иной нерадивый студент выискивает иногда «уважительные» причины для пропуска занятий. И думает он, что по книге наверстает пропущенный материал. Не понимает такой студент, что никакая книга не может заменить общения с преподавателем.

Аудиторные занятия предназначены не только для передачи знаний студентам, но и для того, чтобы научить студентов самостоятельно приобретать знания. Эти занятия нужны для приобретения не только знаний, но и навыков по их использованию. Они предназначены не только для овладения знаниями, но и для развития мышления. Аудиторные занятия нужны для общения студента с преподавателем, в процессе которого из студента формируется инженер.

Существует три основных вида аудиторных занятий в вузе: лекции, практические занятия или семинары по общественным наукам и лабораторные занятия.

На лекциях в концентрированном виде излагаются основные теоретические положения курса (учебной дисциплины), основные наиболее сложные вопросы программы курса. На лекциях студент приобретает актуальные, фундаментальные, систематические знания.

Таких знаний, полученных на лекции, студент из книги не почерпнет. Не извлечет он их и из десятков книг



2.5

Показанные здесь разновидности аудиторных занятий не являются взаимно независимыми. Не только на лекциях выдается материал, необходимый для практических и лабораторных занятий, но и материалы этих занятий нужны для использования на лекциях. Аналогично результаты решения задач на практических занятиях могут потребоваться для проведения лабораторных работ, а результаты лабораторных наблюдений могут быть положены в основу задач, решаемых на практических занятиях.

и сотен журнальных статей. Не только потому, что таких книг нет. И не только потому, что у студента нет для этого времени, а на первых порах и умения. Но и потому, что преподаватель, читающий лекцию, привносит в излагаемый материал свое понимание предмета, дополняет литературные источники своим опытом и результатами новейших научных исследований.

В ходе лекции лектор воспроизводит процесс возникновения и развития знания. Поэтому-то лекция является одним из первых средств развития мышления, она вводит студента в творческую лабораторию инженера.

Лекция сама является творческим процессом. Хорошая лекция неповторима, как произведение искусства. Поэтому ее нельзя заменить ни книгой, ни конспектом, как творение художника не может быть полностью заменено фотографией. Но развивать мышление, лишь присутствуя в качестве наблюдателя творческого процесса, невозможно. Надо и самому следовать за ходом мысли. На лекции студент может приобщиться к процессу творчества, если будет сам активно работать и мыслить вместе с лектором.

На практических занятиях студенты решают задачи, анализируют основные положения теории и т. п. Эти занятия предназначены для приобретения навыков использования полученных знаний. Они позволяют не только подготовить студента к практической деятельности, но и являются тренировкой ума, упражнениями в решении творческих задач.

Лекция учит студента методологии творчества. На практических занятиях студент приобретает практические навыки творческой деятельности. Эти навыки не приобретаются умозрительно. Их надо развивать, стараясь самостоятельно, а на первых порах — с помощью преподавателя. Поэтому, если на лекциях студент работает вместе с преподавателем, то на практических занятиях — под руководством преподавателя, но самостоятельно.

На практических занятиях студент должен совершенствовать навыки логического мышления, тренироваться в грамотном изложении своих умозаключений. Мысль оттачивается, приобретает конкретность, будучи выраженной словами. Логическая последовательность проявляется особенно наглядно в словесных формулировках. Поэтому на практических занятиях студент должен не только решить поставленную задачу, но и проанализировать полученное решение, выступая перед товарищами с изложением своей точки зрения, обоснованием метода решения задачи, объяснением полученных результатов. При этом студент должен выявить наличие определенных связей между рассматриваемыми явлениями, процессами, характеристиками, параметрами, должен проанализировать характер выявленных связей и объяснить значение этих связей.

Лабораторные занятия заключаются в экспериментальном определении и изучении явлений, процессов и свойств технических объектов, в экспериментальной проверке и подтверждении основных теоретических положений курса.

На лабораторных занятиях студенты под руководством преподавателя приобретают навыки общения с контрольно-измерительной аппаратурой, изучают методику экспериментальных исследований.

По каждой лабораторной работе студенты оформляют отчет в письменном виде. В отчете не только излагается ход эксперимента и его результаты, но и дается объяс-

содержание углеводов в природной смеси снижается по мере увеличения числа атомов углерода в молекуле углеводорода.

В связи с этим зависимость содержания углеводов в составе природной газоконденсатной смеси от их молекулярной массы представляет собой равномерно убывающую функцию. Принимается, что группа C_5+ состоит из нормальных парафиновых углеводородов.

Этот метод разбивки группы C_5+ на компоненты также приближенный, так как в нем не учитываются особенности фракционного и группового состава конденсата.

Расчет параметров парожидкостного равновесия многокомпонентных систем по уравнению состояния Пенга – Робинсона с использованием известных эмпирических коэффициентов взаимодействия компонентов смеси и упомянутых способов разбивки группы C_5+ на фракции не всегда дает достаточно точные результаты. Например, по оценке Л.Я. Непомнящего, рассчитанное давление начала конденсации для пластовой смеси Астраханского месторождения было ниже экспериментального приблизительно на 35 %, для пластовой смеси отложений карбона Карагаганакского месторождения – на 25 %.

Поскольку давление начала конденсации – один из основных параметров фазового состояния, для построения адекватной математической модели изменения фазового состояния многокомпонентных систем необходимо разбивать группу C_5+ на фракции таким образом, чтобы расхождение между экспериментальным и рассчитанным по уравнению состояния давлениями начала конденсации было минимальным. Учет экспериментальных данных на установке PVT по фазовому равновесию пластовой смеси конкретного месторождения позволяет компенсировать недостаток исходных данных, характеризующих высококипящие углеводороды, и использование в уравнении состояния недостаточно обоснованных коэффициентов взаимодействия компонентов смеси.

Во ВНИИГазе разработана методика разбивки группы C_5+ на компоненты, удовлетворяющая указанному критерию, а также учитывающая результаты фракционной разгонки конденсата и общие закономерности распределения углеводов в природных газоконденсатных смесях [50].

Определение состава группы C_5+ , при котором рассчитанное давление начала конденсации пластовой смеси с заданной точностью совпадает с экспериментальным, осуществляется автоматически на ЭВМ по программе, позволяющей проводить разбивку группы C_5+ на фракции и рассчитывать давление начала конденсации по уравнению состояния Пенга – Робинсона.

Сущность методики состоит в следующем. Сначала разбивка группы C_5+ на компоненты проводится с использованием графического способа или по результатам фракционной разгонки дебутанизированного конденсата с учетом перехода части пентанов, гексанов и гептанов в газы сепара-

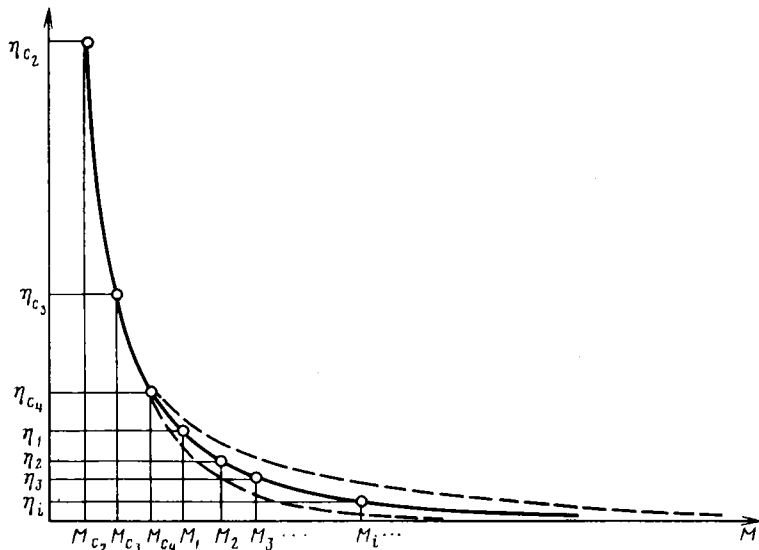


Рис. 3.1. Зависимость концентрации этана, пропана, бутанов и фракций группы C_5+ в пластовой смеси от их молекулярных масс

ции, дегазации и дебутанизации. В этом случае расчетное давление начала конденсации может существенно отличаться от экспериментального. Таким образом, с использованием известных методов разбивки группы C_5+ в первом приближении дается оценка необходимого числа фракций, а также их свойств и содержания в исследуемой пластовой смеси.

Построенная по этим данным зависимость молярного содержания углеводородных фракций группы C_5+ от их молекулярной массы в соответствии с общими принципами распределения углеводородов в природных смесях аппроксимируется равномерно убывающей функцией. В качестве такой функции удобно взять, например, гиперболу. Аналитическое представление зависимости содержания углеводородов от их молекулярной массы позволяет с использованием ЭВМ перебрать большое количество различных вариантов разбивки группы C_5+ , варьируя число фракций и их концентрации при фиксированном содержании остальных компонентов в пластовой смеси. При этом молекулярные массы, а также другие свойства фракций, необходимые для проведения расчетов по уравнению состояния, не меняются и определяются по таблицам и корреляциям, рекомендованным в работах [26]. На рис. 3.1 приведена зависимость концентрации этана, пропана, бутанов и фракций группы C_5+ в пластовой смеси от их молекулярной массы, полученная в первом приближении по результатам фракционной разгонки конденсата. Пунктиром

ограничена область, соответствующая различным вариантам разбивки группы C_5+ на фракции.

Для каждого варианта разбивки вычисляют концентрации фракций по формулам, аппроксимирующим их зависимость от молекулярной массы. При определении числа фракций учитывают только те фракции, для которых рассчитанная концентрация неотрицательна. Максимально возможное число фракций, на которые разбивается группа C_5+ , ограничивается 30. Содержание η_n и молекулярная масса M_n n -й фракции, объединяющей оставшуюся нерасчлененную часть группы C_5+ , определяется из следующих условий.

1. Сумма концентраций всех фракций группы C_5+ , равна заданному содержанию C_5+ в пластовой смеси:

$$\sum_{i=1}^n \eta_i = \eta_{C_5+},$$

где n – число фракций; η_i – концентрация i -й фракции; η_{C_5+} – содержание C_5+ в пластовой смеси.

2. Молекулярная масса группы C_5+ , рассчитанная по ее составу, равна заданной:

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i \eta_i}{\eta_{C_5+}} = M_{C_5+},$$

где M_i – молекулярная масса; M_{C_5+} – молекулярная масса C_5+ в пластовой смеси.

Оценка средней температуры кипения, плотности и критических параметров n -й фракции проводится по зависимостям, рекомендованным в работах [26] в соответствии с найденной молекулярной массой.

В процессе перебора вариантов разбивки группы C_5+ исключаются те из них, для которых вычисленные значения η_n и M_n не удовлетворяют следующим неравенствам:

$$\begin{aligned} \eta_{n-1} < \eta_n < \eta_{n \max}; \\ M_{n-1} < M_n < M_{n \max}. \end{aligned}$$

Максимально возможные величины содержания $\eta_{n \max}$ и молекулярной массы $M_{n \max}$ n -й фракции определяются эмпирически.

Для оставшихся вариантов рассчитывают давление начала конденсации пластовой смеси с использованием уравнения состояния Пенга – Робинсона. Выбирается такая разбивка группы C_5+ , при которой расчетное давление начала конденсации с заданной точностью совпадает с экспериментальным и зависимость концентрации фракций от их молекулярной массы наиболее близка к кривой, полученной в первом приближении по результатам фракционной разгонки конденсата. Этот состав группы C_5+ принимается в расчетах по определению всех остальных па-

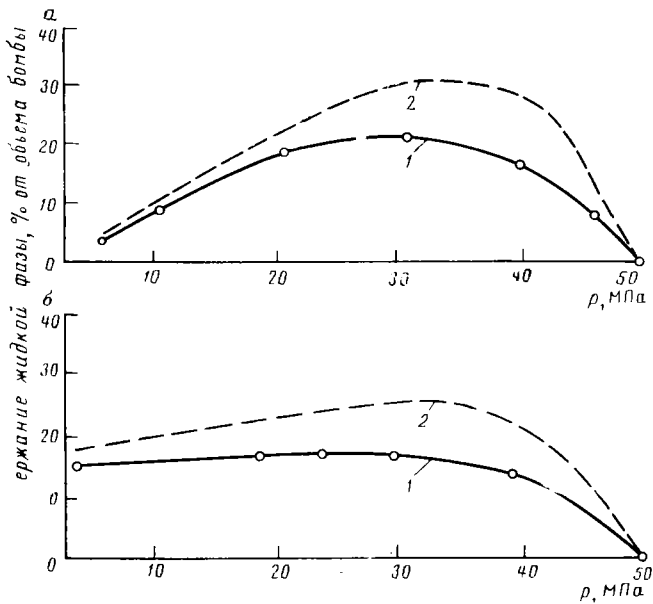


Рис. 3.2. Изотермы контактной (а) и дифференциальной (б) конденсации (85°C): 1 – эксперимент; 2 – расчет

раметров изменения фазового состояния исследуемой пластовой смеси, необходимых при проектировании разработки газоконденсатного месторождения.

Оценка возможности применения уравнения состояния Пенга – Робинсона и изложенной методики уточнения состава группы C_5+ для расчета фазовых переходов пластовой смеси Карачаганакского месторождения была проведена Л.Я. Непомнящим на основе экспериментальных данных, полученных в газоконденсатной лаборатории ВНИИГаза на установке PVT "Раска" (скв. 9, 4838–4909 м).

Потенциальная концентрация углеводородов C_5+ составляет 817 г/м^3 газа сепарации, молярный состав пластовой смеси приведен ниже.

Компонент	C_1	C_2	C_3	$i\text{-C}_4$	$n\text{-C}_4$	C_5+	N_2	CO_2	H_2S
Молярный состав,									
%	69,55	5,98	2,88	1,02	1,88	9,66	0,65	4,8	3,58

Исследование контактной конденсации проводилось в широком диапазоне давлений (4–58 МПа) и температур (20–110 $^{\circ}\text{C}$). Процесс дифференциальной конденсации изучался при пластовой температуре (85°C). Рассчитывалось количество жидкой фазы, которая образуется в бомбе равновесия при давлениях и температурах, соответствующих условиям экспериментов.

Таблица 3.1

Сравнение экспериментального давления начала конденсации с расчетным

Температура, °С	Давление начала конденсации, МПа		Относительное расхождение между расчетными и экспериментальными величинами, %
	расчетное	экспериментальное	
20	52,4	53	1,1
85	49,7	49,8 (контактная конденсация)	0,2
85	49,7	50,1 (дифференциальная конденсация)	0,8
110	49,4	48	3

На рис. 3.2 приведены расчетные и экспериментальные изотермы контактной и дифференциальной конденсации пластовой смеси Карачаганакского месторождения. Несмотря на некоторые количественные различия результатов расчета объема жидкой фазы в бомбе равновесия с экспериментальными данными, уравнение состояния Пенга – Робинсона в целом верно отражает качественную картину изменения фазового состояния исследуемой системы.

Благодаря уточнению разбивки группы C_5+ на фракции с учетом экспериментальных данных по фазовому равновесию, область двухфазного существования системы рассчитывается с высокой точностью. В табл. 3.1 приведены расчетные и экспериментальные давления начала конденсации пластовой смеси Карачаганакского месторождения при различных температурах. Относительное отклонение между расчетными и экспериментальными величинами не превышает 3 %.

Расхождение между рассчитанными по уравнению состояния и экспериментальными объемами жидкой фазы, образующейся в бомбе равновесия при контактной и дифференциальной конденсации, в определенной мере можно объяснить и погрешностями расчета плотности жидкой фазы. В связи с этим следует отметить, что точность расчета количества жидкой фазы при измерении его в массовых величинах, как правило, намного выше.

В области давлений, близких к давлению начала конденсации, а также при давлениях, соответствующих условиям сепарации газоконденсатной смеси, погрешность расчета объема жидкой фазы снижается. Выход сырого конденсата, определенный в процессе газоконденсатных исследований, при давлении 6 МПа и температуре 30 °С составил 1207 см³/м³. Расчетная величина равна 1372 см³/м³, что примерно на 14 % выше экспериментальной. При этом составы газа сепарации и сырого конденсата

Таблица 3.2

Составы газа сепарации и сырого конденсата

Компонент	Молярный состав газа сепарации, %		Молярный состав сырого конденсата, %	
	расчетный	фактический	расчетный	фактический
C ₁	80,64	80,65	19	19,62
C ₂	5,99	6,03	5,92	5,75
C ₃	2,18	2,04	6,09	6,67
i-C ₄	0,55	0,42	3,17	3,71
n-C ₄	0,88	0,64	6,46	7,43
C ₅ ⁺	0,30	0,51	51,71	50,83
N ₂	0,78	0,77	0,07	0,14
CO ₂	5,21	5,33	2,93	2,43
H ₂ S	3,47	3,61	4,65	3,42

вычисляются с достаточной для инженерных расчетов точностью (табл. 3.2).

Таким образом, проведенные расчеты показали, что уравнение Пенга – Робинсона можно применять для оценки фазового состояния пластового флюида и расчета фазовых превращений пластовой смеси при проектировании разработки Карачаганакского месторождения. При этом необходимо иметь в виду, что расчетное содержание жидкой фазы в газоконденсатной смеси завышается по сравнению с фактическим. Методика расчета парожидкостного равновесия, основанная на применении уравнения состояния Пенга – Робинсона, требует дальнейшего совершенствования с целью приближения расчетных параметров фазового состояния к экспериментальным в области высоких давлений для месторождений с повышенным содержанием конденсата в пластовой смеси.

Представляет практический интерес использование при изучении особенностей фазового превращения многокомпонентных пластовых систем гибридных схем, объединяющих возможности экспериментальных установок PVT и аналитических методов расчета.

ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА АСТРАХАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Значительное содержание в пластовой смеси Астраханского месторождения кислых компонентов и углеводородов C₅ + потребовало проведения специальных исследований с целью определения начального фазового состояния флюида в пластовых условиях [22, 72, 73, 79]. Оценка фазового состояния пластовой смеси этого месторождения по известным

критериям затруднительна. Например, по С.К. Эйлертсу, при газовых факторах $900\text{--}1100 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и плотности стабильного конденсата, не превышающей $0,78 \text{ г}/\text{см}^3$, пластовый флюид находится в однофазном газообразном состоянии. В случае же, если плотность конденсата выше $0,78 \text{ г}/\text{см}^3$ и газовый фактор меньше $600 \text{ м}^3/\text{м}^3$, залежь является типично нефтяной. Указанный критерий неприменим для Астраханского месторождения, в котором газовый фактор пластового флюида составляет $2500 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а плотность стабильной жидкой фазы (конденсата) — $0,81 \text{ г}/\text{см}^3$.

Признаком отличия конденсата от нефти по свойствам стабильной жидкости считают снижение содержания ароматики во фракции выше $200 \text{ }^\circ\text{C}$ — для нефтей отмечается непрерывное возрастание содержания ароматических углеводородов по мере повышения температуры кипения фракций. Противоречивые суждения о типе Астраханской залежи были обусловлены особенностями фракционного и группового углеводородного состава конденсата, которые значительно отличаются от типичных, полученных из газоконденсатных месторождений с пластовыми давлениями, не превышающими $30\text{--}40 \text{ МПа}$. Так, в групповом массовом составе наблюдается увеличение содержания ароматических углеводородов во фракциях (%), выкипающих при температурах выше $300 \text{ }^\circ\text{C}$: $300\text{--}350 \text{ }^\circ\text{C}$ — 38,9; $350\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C}$ — 48,8; $400\text{--}450 \text{ }^\circ\text{C}$ — 55,9; $450\text{--}500 \text{ }^\circ\text{C}$ — 62,2.

Фракционный объемный состав конденсата отличается высоким содержанием остатка выше $360 \text{ }^\circ\text{C}$ (11 %). Относительно велики значения плотности и молекулярной массы конденсата ($0,816 \text{ г}/\text{см}^3$ и 172 соответственно) при большом массовом содержании бензиновых фракций (46 %).

Такие особенности физических свойств и состава конденсата, по-видимому, обусловлены высоким пластовым давлением (63 МПа), способствовавшим в процессе формирования залежи переходу в процессе обратного испарения в газовое состояние высокомолекулярных углеводородов.

Структурно-хроматографические исследования конденсата показали:

1) большую протяженность ряда нормальных алканов — выше $\text{C}_{30}\text{H}_{62}$ с максимумом на C_9H_{20} (известно, что в рядах нормальных алканов легких нефтей максимум приходится на $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$, $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$; кроме того, во фракции нормальных алканов содержится до 50 % углеводородов C_5H_{12} — C_8H_{18});

2) преимущественно моноциклическое строение ароматических углеводородов, присутствующих в конденсате, что убедительно характеризует залежь как газоконденсатную.

В работе [22] на основании сходства конденсатов из верхней части залежи и в зоне контакта, характера распределения углеводородов по разрезу и данных ИКС делается вывод об отсутствии нефтяной оторочки

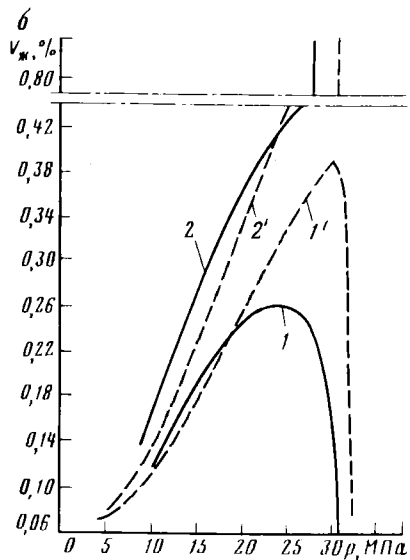
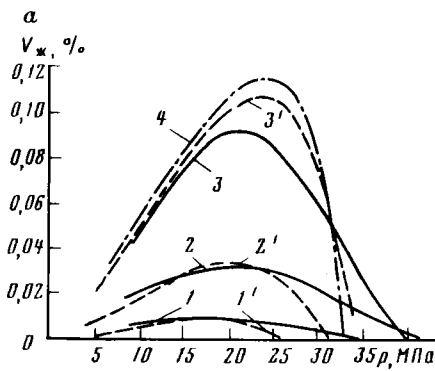


Рис. 3.3. Экспериментальные (1–3) и расчетные (1'–3') зависимости содержания жидкой фазы в единице объема от давления при температуре 110 °С. Начальное содержание C_{5+} в газовой фазе, $\text{см}^3/\text{м}^3$ сухого газа:

а – 1, 1' – 100; 2, 2' – 250; 3, 3' – 500; 4 – пластовая смесь АГКМ; б – 1, 1' – 980; 2, 2' – 1200 ($T = 90^\circ\text{C}$)

в пластовых условиях и о первичности конденсата Астраханского месторождения.

Для выяснения фазового состояния пластовой смеси Астраханского месторождения во ВНИИГазе в 1984 г. были проведены экспериментальные исследования на установке высокого давления УФР-2 [79].

Ранее во ВНИИГазе было показано, что такие исследования можно проводить на модельных смесях, в которых газовая фаза с высоким содержанием сероводорода заменяется трехкомпонентной системой (метан, пропан, углекислый газ), а жидкая фаза – сходным по групповому составу конденсатом. Для эксперимента был выбран конденсат Харьковцевского месторождения и газ следующего молярного состава (%): CH_4 – 55,6; C_3H_8 – 16,2; CO_2 – 28,2. В сосуд высокого давления установки УФР-2 подавали газовую смесь указанного состава, затем загружали стабильный конденсат в количестве $100 \text{ см}^3/\text{м}^3$. Давление в системе поднималось до 60 МПа, температура – до 110°C . Смесь перемешивали до однофазного состояния. Затем давление снижали при постоянной температуре увеличением объема системы. С интервалом 5 МПа проводили замер количества жидкой фазы (в случае наличия границы раздела газ – жидкость). После снижения давления до максимально возможного

(10–8 МПа) проводили догрузку конденсата и действовали в указанной последовательности. Исследования были проведены при следующих загрузках конденсата, $\text{см}^3/\text{м}^3$: 100, 250, 500, 980, 1200.

Эксперименты показали (рис. 3.3), что при давлении 60 МПа и температуре 110°C системы с различным содержанием конденсата находились в однофазном состоянии. Давление начала фазового разделения составляло соответственно 34, 41, 40, 31, 29 МПа. Причем во всех случаях, кроме последнего, при снижении давления наблюдалось выпадение конденсата из газовой фазы. В последнем случае (загрузка конденсата $1200 \text{ см}^3/\text{м}^3$) при давлении 29 МПа начиналась дегазация смеси. Таким образом, при 110°C и 60 МПа с увеличением содержания конденсата в системе приблизительно до $1200 \text{ см}^3/\text{м}^3$ она переходит из однофазного газообразного состояния в однофазное жидкое. Из рис. 3.3 также следует, что при конденсатном факторе более $250 \text{ см}^3/\text{м}^3$ давление начала конденсации системы снижается.

В дополнение к экспериментальному в 1984 г. было проведено аналитическое изучение изменения фазового состояния рассмотренных модельных систем и пластовой смеси Астраханского месторождения с использованием методики расчета парожидкостного равновесия по уравнению состояния Пенга – Робинсона [73]. Некоторые преобразования в алгоритме, связанные с устранением ошибок определения границ области двухфазного существования системы и молярных долей паровой и жидкой фаз, позволили применить эту методику для исследования более сложных систем, таких, как пластовая смесь Астраханского месторождения.

Для газоконденсатных смесей, использованных в описанном эксперименте, были рассчитаны изотермы контактной конденсации (см. рис. 3.3). В результате расчетов установлено, что газоконденсатная система при 60 МПа и 110°C переходит из однофазного газообразного в однофазное жидкое состояние при содержании конденсата в ней порядка $1200 \text{ см}^3/\text{м}^3$, что хорошо согласуется с экспериментом.

Несмотря на некоторые количественные различия результатов расчета с экспериментом, уравнение состояния Пенга – Робинсона в целом верно отражает качественную картину изменения фазового состояния исследуемых модельных смесей и его можно применять для оценки фазового состояния природной системы Астраханского месторождения. При этом необходимо иметь в виду, что на результаты расчетов существенно влияет точность определения содержания и свойств высококипящих углеводородов. Использование математических моделей для изучения изменения фазового состояния многокомпонентных систем требует более детального изучения состава и свойств группы C_5+ . Кроме того, различие между экспериментальными и расчетными изотермами контактной конденсации при высоких давлениях можно объяснить большим влиянием коэффициентов парного межмолекулярного взаимодействия компонентов смеси, которые требуют уточнения.

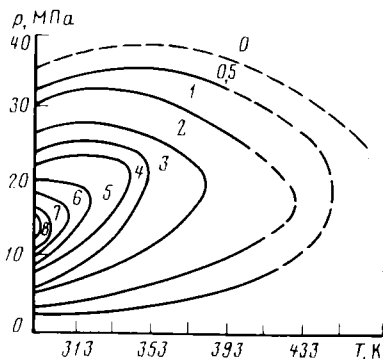


Рис. 3.4. Диаграмма фазового состояния пластовой смеси АГКМ (КГФ = 230 см³/м³, цифры на кривых — содержание жидкой фазы, %)

На рис. 3.3, а (кривая 4) приведена расчетная изотерма контактной конденсации пластовой смеси Астраханского месторождения (по результатам исследования скв. 8). При пластовой температуре 110 °С и давлении выше 33 МПа система находится в однофазном газообразном состоянии.

Таким образом, проведенные в 1983–1984 гг. экспериментальные и аналитические исследования показали, что пластовая смесь Астраханского месторождения — газоконденсатная система, находящаяся в однофазном газообразном состоянии; давления начала конденсации составляет менее 40 МПа.

В 1985 г. сотрудниками ВНИИГаза проведено определение фазового состояния пластовой смеси, давления начала конденсации и других термодинамических свойств на рекомбинированных пробах газа сепарации и сырого конденсата, отобранных из скв. 58 (установка мини-PVT) и из скв. 73 (установка PVT "Ruska").

Исследования дифференциальной конденсации пластовой смеси по скв. 58 показали, что давление $p_{н.к} = 42–43$ МПа (пластовое давление 61,1 МПа). При этом следует отметить, что при 50 МПа появилась пленка жидкости, объем которой не изменялся при последующем снижении давления. Лишь при 39,5 МПа было отмечено заметное увеличение жидкой фазы. По скв. 73 $p_{н.к} = 40$ МПа. Результаты исследования пластовых смесей приведены ниже.

		Скв. 58							
Давление, МПа	55	50	39,5	29,6	19,7	14,8	9,9	4,9	0,1
Количество конденсата, см ³ /м ³ газа сепарации	—	Пленка	18,1	126,8	206,3	211,5	191,2	152	100

		Скв. 73							
Давление, МПа	36,4	30,1	25	20	15	10	4,7	0,1	
Количество конденсата, см ³ /м ³ газа сепарации	18,9	19,9	150	189	194	185,2	145	131	

Описанные результаты подтверждены последними исследованиями, проведенными на установке фазовых равновесий типа "Magra PVT" [5]; на рис. 3.4 приведена диаграмма фазового состояния пластовой смеси АГКМ при КГФ-230 г/м³.

ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА КАРАЧАГАНАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Отличительный признак Карачаганакского месторождения — высокое содержание тяжелых углеводородов (до 800–850 г/м³). Пластовая смесь содержит также значительное количество этана, пропана, бутанов. Объемное содержание азота менее 1 %, диоксида углерода — до 8 %, сероводорода — около 3,8 %. Имеются меркаптановые соединения серы и COS.

Месторождение планируется разрабатывать с поддержанием пластового давления обратной закачкой сухого газа.

Основу Карачаганакского карбонатного массива образует обширный структурный цоколь, представленный каменноугольными отложениями (III и II эксплуатационные объекты). Цоколь надстраивается значительно меньшим по размерам нижепермским рифовым массивом (I эксплуатационный объект). Максимальная толщина нижепермских пород достигает 800–900 м. Общий этаж газонефтеносности залежи 1600 м. Один из наиболее принципиальных вопросов для этого месторождения — определение фазового состояния пластовых флюидов по разрезу продуктивной толщи и их фазовых превращений в процессе эксплуатации.

В работе [74] проанализированы результаты промысловых, лабораторных и аналитических исследований по указанному вопросу, проведенные организациями Мингео СССР, Мингазпрома СССР, Минвуза РСФСР за 1982–1987 гг.

Результаты экспериментальных исследований по I и II эксплуатационным объектам приведены в табл. 3.3. Как видно из таблицы, исследования на установках PVT в наибольшем объеме проведены для I эксплуатационного объекта.

Наиболее дискуссионным является вопрос о давлении начала конденсации пластовой смеси I и II эксплуатационных объектов. По мнению ряда специалистов пластовая система Карачаганакского месторождения предельно насыщена по всему разрезу продуктивной толщи.

Первая попытка оценить $p_{н.к}$ была сделана в 1982 г. в процессе газоконденсатных исследований разведочной скв. 2, интервал 3975–4007 м (I объект). С этой целью скважину исследовали с постепенным увеличением депрессии на пласт от 7 до 22,3 МПа (13,7–43 % от пластового давления). При депрессии 9–10 МПа было отмечено снижение плотности газоконденсатной смеси и конденсатогазового фактора. Считалось, что эти изменения связаны с началом ретроградной конденсации тяжелых углеводородов в пласте при давлении 42,7–43,7 МПа.

В 1984 г. изучение фазового состояния пластовых флюидов на установке мини-PVT провели сотрудники ВНИИГаза, Южно-Уральского отделения ВНИГНИ и КазНИГРИ на рекомбинированных пробах газа сепарации и сырого конденсата пермских (скв. 11, интервал 4427–

Таблица 3.3

Результаты экспериментальных исследований фазового состояния пластового флюида
Кармаганского месторождения

Номер скважины	Интервал перфорации, м	Год исследования	Дебит газа, тыс.м ³ /сут	Скорость потока, м/с	Депрессия на пласт, % от $P_{пл}$	$P_{пл}$, МПа	$P_{н.к.}$, МПа	$\Delta p = P_{пл} - P_{н.к.}$, МПа	Плотность конденсата, г/см ³	Потенциал $C_{ст}$, г/м ³
19*	4870-4965	1984	266	5,1	12,9	58,2	53,4	4,8	0,8033	758
11*	4427-4543	1984	243	3,7	21,0	54,3	42,9	11,4	0,7880	530
Вторая технологическая линия										
9	4838-4909	1985	—	—	—	55,0	42,7	12,3	0,7738	524
9	4950-4995	1985	400	8,2	20,3	58,1	50,1	8,0	0,8071	775
101*	3992-4312	1985	365	6,0	7,7	58,9	51,6	7,3	0,8092	780
118	3758-4470	1986	624	—	—	53,1	47,0	6,1	0,7703	425
6	4050-4150	1986	1200	—	15	54,4	42,5	11,9	0,7698	537
6	4350-4520	1986	303	5,0	12,3	52,3	46,5	5,8	0,7790	528
6	4975-4997	1986	143	2,6	39,7	55,9	46,2	9,7	0,8030	585
6	3780-3800	1987	348	5,0	5,7	58,4	51,9	6,5	0,8102	780
6	3880-3930		132	2,2	25,1	52,0	45,5	6,5	0,7682	484

* Исследования проводили на мини-РVT, по остальным скважинам — на РVT-“Руска”.

4543 м, I объект) и каменноугольных (скв. 19, интервал 4870—4965 м, II объект) отложений.

Данные экспериментов показали, что пластовые флюиды представляют собой недонасыщенные газоконденсатные системы. Степень недонасыщения уменьшается с глубиной. В I объекте в интервале 4427—4543 м $p_{н.к} = 42,9$ МПа при пластовом давлении 54,3 МПа, во II объекте в интервале 4870—4965 м $p_{н.к} = 53,4$ МПа, что значительно ближе к пластовому давлению (58,2 МПа). Потенциальное содержание тяжелых углеводородов C_5+ по исследованным интервалам составляло 525 г/м³ по скв. 11 и 758 г/м³ по скв. 19.

В 1983—1984 гг. во ВНИИГазе были проведены аналитические исследования изменения фазового состояния пластовой смеси Карачаганакского месторождения с использованием методики расчета парожидкостного равновесия по уравнению состояния Пенга — Робинсона.

Рассчитанные диаграммы фазового состояния пластовых систем I объекта с содержанием конденсата 483 г/м³ газа сепарации и II объекта с содержанием 750 г/м³ показали, что пластовые смеси представляют недонасыщенные газоконденсатные системы в однофазном газообразном состоянии. При повышении в пластовой смеси содержания тяжелых углеводородов критическая точка резко смещается в сторону повышенных давлений и температур.

Исходя из исследований на мини-PVT и аналитических расчетов в “Проекте опытно-промышленной эксплуатации Карачаганакского месторождения” (ВНИИГаз, 1984 г.) для I объекта было принято $p_{н.к} = 42$ МПа, для II объекта — 54 МПа. Предполагалось, что на отметке 5000 м пластовая смесь может быть предельно насыщенной.

В 1985 г. были опубликованы работы МИНГ им. И.М. Губкина и ВолгоУралНИПИгаза по оценке фазового состояния Карачаганакского месторождения. По расчетам авторов пластовая смесь в залежи находится в двух гомогенных состояниях: до отметки 4800—4900 м — в газообразном, а ниже 4800—4900 м — в жидком. Пластовое давление по всему разрезу на 20—30 МПа выше давления кривых точек росы и точек кипения.

В 1985 г. во ВНИИГазе начались экспериментальные исследования фазового состояния пластовых флюидов на установке PVT “Ruska” (вместимость камеры 0,5 л). Изучались рекомбинированные пробы газа сепарации и сырого конденсата, отобранные на II технологической нитке УКПГ-16 (скв. 100, 101, 103, 104, 105, 109, интервалы дренирования соответственно 4246—4290, 3992—4392, 3895—4100, 4284—4455, 3989—4210, 4330—4470 м, I объект) и в процессе газоконденсатных исследований скв. 9 (интервалы 4950—4995 и 4838—4909 м, II объект).

Экспериментальное $p_{н.к}$ по I объекту при содержании в смеси C_5+ 524 г/м³ оказалось равным 42,7 МПа при пластовом давлении 55 МПа.

Для II объекта с потенциальным содержанием C_5+ 775 г/м³ (интер-



2.10

Быт и отдых студентов должны организовываться рационально. От этого зависит и успех в учебе. Некоторые основные требования к организации быта и отдыха отражены на данной схеме

Эффективность этих государственных мер во многом зависит и от самих студентов. Для иногородних студентов общежитие становится вторым домом. Нравственный климат в этом доме зависит не только от администрации. Чтобы общежитие стало для каждого студента вторым домом, сами студенты должны навести и поддерживать в этом доме соответствующий порядок. Чтобы нравственный климат в этом доме благоприятствовал успешной учебе и способствовал приятному отдыху, студенты сами должны следить за соблюдением норм поведения в стенах общежития. Чтобы самостоятельная работа и отдых в общежитии вообще были бы возможны, каждый студент должен уважать интересы своих соседей по дому. Студенты-радиолюбители, наслаждающиеся в общежитии своими проигрывателями, магнитофонами и радиоприемниками, не должны забывать, что музыкальные вкусы у людей бывают разными. А студенты-радисты должны знать к тому же, что запас мощности в звуковоспроизводящей аппаратуре нужен для обеспечения высококачественного звучания, а не для получения избыточной громкости, которой они злоупотребляют порой, мешая соседям и травмируя проходящих оглушающей музыкой.

Говоря об организации быта студентов, нельзя обойти вниманием тех студентов, которые, вырвавшись из-

под родительской опеки, забывают о необходимости рационального питания. У такого студента и столовая рядом, и обеды ему отпускаются по льготным ценам, а он полноценный горячий обед подменяет легким холодным завтраком. Забывает такой студент, что здоровье, как и честь, надо беречь смолоду.

Каждый студент должен рационально планировать не только свою самостоятельную работу и общественно-трудовую деятельность, но и свой отдых, руководствуясь при этом народной мудростью: делу — время, потехе — час. Однако суть такого планирования заключается не только и не столько в том, чтобы отвести определенное время для отдыха, сколько в том, чтобы сделать его и приятным, и полезным.

Отдых — это не бездельничанье и не бездумное времяпрепровождение. Поэтому при планировании свободного времени не следует забывать о чтении книг и газет, об общении с природой и искусством.

Отдыхать надо активно. Иные занятия, которые для профессионала являются трудом, могут служить отдыхом для любителя. К ним относятся и занятия спортом, и техническое творчество. Например, занятия радиоспортом или сборка радиоприемника собственной конструкции являются для студента-радиота прекрасной разрядкой в его повседневных трудах. Разнообразие в труде — тоже отдых.

Для полноценного отдыха институт и вузовский город предоставляют широкие возможности. Библиотеки и читальные залы, дворцы культуры и студенческие клубы, спортивные сооружения и радиоклубы, кино и театры, филармония и музеи, концерты и выставки — все это могут использовать студенты для разумного отдыха.

Широкое распространение получили лектории и клубы интересных встреч, творческие семинары и дискуссионные клубы, творческие конкурсы и интерклубы, вечера поэзии и молодежные клубы.

Студент, не использующий эти богатейшие возможности для отдыха, духовно обедняет себя, лишает себя условий, способствующих творческому росту.

Но не помешает ли все это учебе? Трудно ли, например, студенту-спортсмену совмещать отличную учебу с частыми тренировками? Трудно, конечно, но помешать учебе это не должно. Журналист А. Рошаль рассказы-

ваает о студенческих годах чемпиона мира по шахматам Анатолия Карпова:

«Когда он уезжал на свой первый чемпионат СССР в Ригу, то больше всего боялся, что у него останутся «хвосты». За несколько дней до отъезда Карпов, получив четверку, разозлился страшно. Засел за учебники. Не спал. Явился снова в университет и попросил проэкзаменовать его повторно. Удивленная и оттого особенно строгая преподавательница битый час задавала «физкультурнику» хитрые вопросы. Упрямый студент отвечал уверенно и безошибочно. Так, не расставаясь с шахматами, он расстался со своей четверкой...»

2 СТУДЕНТ

Студент на лекции

Студент на лекции
Студент на практических занятиях
Студент в лаборатории
Студент учится сам
Студент на экзамене

Лекционные занятия предполагают соответствующую подготовку не только лектора, но и студента. В понятие подготовленности студента к лекции входит много элементов.

Во-первых, студент на лекции должен быть физически бодр. Если студент утомлен, не выспался, не удосужился позавтракать, то лекция для него потеряна.

Во-вторых, студент должен психологически подготовиться к восприятию лекции. Для этого он должен отвлечься от посторонних мыслей и настроиться на изучение нового материала. Психологически подготовленный студент — это студент, не угнетенный отрицательными эмоциями, а радостно обуреваемый жаждой к познаниям.

В-третьих, студент должен быть готов к лекции в прямом значении этого слова: он должен до звонка, до прихода лектора сидеть на месте, приготовить ручку и тетрадь для конспектирования.

Напомним еще раз: лекция — это творческий процесс. Ей противопоказаны любые помехи, в том числе и помехи в виде опоздавшего студента, даже пытающегося тайком от лектора проникнуть в аудиторию: ведь и не



2.11

К лекции студент должен готовиться. Составные части такой подготовки и их последовательность отражены на этой схеме

прерывая лектора, он отвлекает внимание той или иной части студентов.

Если студент является старшим в лекционном потоке, то он должен заблаговременно побеспокоиться о назначении дежурного. Старосты академических групп должны до звонка учесть отсутствующих студентов. Дежурный же студент должен подготовить рабочее место лектора, чтобы не бежать за мелом посреди лекции.

И, в-четвертых, главное: подготовленный к лекции студент — это студент, понимающий лекцию. Лекция в институте рассчитана на подготовленную аудиторию. Лектор излагает любой вопрос, ориентируясь на те знания, которые должны быть у студентов, усвоивших материал всех предыдущих лекций. Если таких знаний у студента нет, то понимать лекцию он не сможет, она будет для него и неинтересна, и бесполезна.

Чтобы понимать лекцию, студент должен прежде всего усвоить специальную терминологию, введенную на предыдущих лекциях. В противном случае лекция превратится для студента в тягостный разговор на непонятном языке. Еще неприятнее бывают последствия, если студент неправильно усвоил специальную терминологию. Тогда он превратно воспринимает новый материал на

лекции, и ему приходится не доучивать, а переучиваться после проваленного экзамена.

Чтобы понимать лекцию, студент должен усвоить пройденные ранее правила и методы. Ведь не исключено, что именно они потребуются в сегодняшней лекции. Не усвоив же их, студент будет воспринимать новые результаты как неубедительные, непонятные и неинтересные.

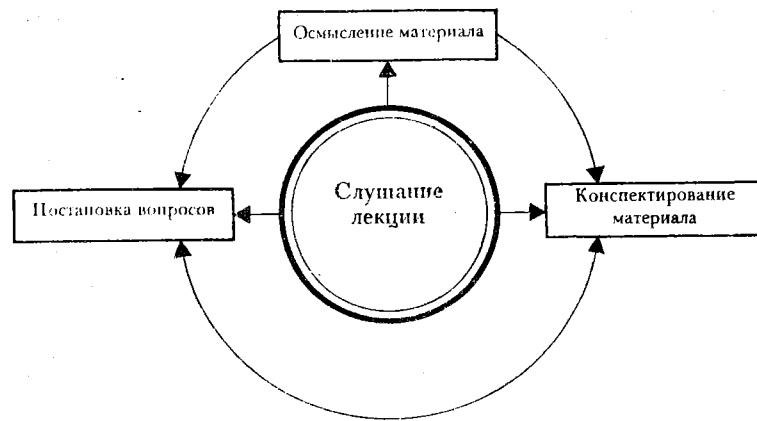
Чтобы понимать лекцию, студент должен знать свойства рассмотренных ранее объектов, должен понимать все особенности изученных ранее явлений и процессов. Ведь этими свойствами и особенностями определяется постановка новых задач на последующих лекциях, и характер решения этих задач. От этих свойств и особенностей зависят характеристики других, более сложных объектов, подлежащих изучению на последующих лекциях. И не понять этих новых задач, не разобраться в характеристиках новых объектов тому студенту, который не подготовился к лекции.

Чтобы понимать лекцию, студент должен, следовательно, заблаговременно изучить материал предыдущих лекций. Изучить, по меньшей мере, в минимальном объеме: изучить терминологию, правила и методы, свойства объектов, особенности явлений и процессов. Такое изучение предполагает обязательную самостоятельную работу студентов.

Для понимания лекции полезно прочитать накануне лекции те страницы учебника, на которых излагается материал предстоящей лекции. При такой предварительной подготовке студент глубже и многограннее воспринимает лекцию, более творчески работает на лекции, у него возникают по ее ходу интересные вопросы к лектору, собственные мысли и оригинальные идеи.

Итак, идет лекция. Лекцию слушают подготовленные студенты. Слушать лекцию — это значит: осмысливать сказанное лектором, конспектировать лекцию и задавать лектору вопросы. Рассмотрим эти три аспекта работы студентов на лекции.

К сожалению, есть категория студентов, которые не придают должного значения первому требованию — необходимости осмыслить, понять на самой лекции излагаемый лектором материал. Такие студенты ошибочно считают своей главной и единственной задачей подробнейшую запись лекции. И если такие студенты не понимают чего-то на лекции, то они уповают на домашнюю



2.12

Можно слушать концерт и слушать лекцию. Слово «слушать» имеет здесь разный смысл. Смысл слушания лекции раскрывается приводимой схемой

проработку записанного материала. Такой подход неправилен вдвойне. Во-первых, домашнее изучение непонятого лекционного материала не может быть столь же успешным, как проработка осмысленного материала. Во-вторых, такие студенты превращают лекцию из творческого процесса в тупую механическую работу, надеясь при этом получить под видом конспекта подробный справочник для предстоящей сдачи экзамена.

Тем самым эти студенты выступают на лекции в роли пассивных слушателей, самоустраиваются от активного и, следовательно, наиболее продуктивного усвоения знаний. Они лишают себя радости и пользы творческого общения с лектором, теряют возможность развивать на лекции свое мышление.

Что же касается упомянутого справочника, то хилое подспорье получается из него на экзаменах. Подробная запись лекций, о которой говорилось выше, отнюдь не может заменить конспекта при подготовке к экзаменам.

Что же такое конспект и как нужно конспектировать лекцию? Прежде чем ответить на этот вопрос, рассмотрим сначала требования к внешнему и внутреннему оформлению конспекта, а также правила техники конспектирования.

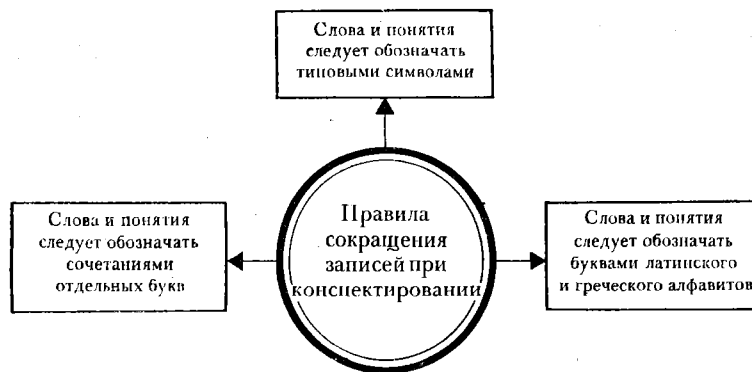
Внешнее оформление конспекта. Конспект должен вестись по каждому предмету в отдельной тетради. Тетрадь должна быть рассчитана на конспектирование семестрового курса лекций. На конспекте следует указать не только название предмета — для собственного удобства, но и свою фамилию вместе с номером академической группы.

Внутреннее оформление конспекта. Первый лист в конспекте следует оставить свободным для списка литературы, который должен пополняться по мере изучения предмета. Каждую книгу, использованную при изучении лекционного материала, следует заносить в этот список и снабжать порядковым номером. В конспекте необходимо оставлять вертикальные поля на каждой странице (до 0,2...0,3 от ширины листа).

Поля понадобятся для внесения дополнений, уточнений и разъяснений при самостоятельной проработке лекционного материала. Иногда с этой же целью конспект ведут только на одной стороне листа. Если указанные дополнения на полях делаются по какой-либо книге, то при этом следует указывать в скобках ее порядковый номер по списку и номера соответствующих страниц, например [1, с. 35—37]. Такого рода указания полезно, в частности, делать против каждой формулы в конспекте. Это облегчает пользование конспектом при подготовке к экзамену и экономит время студента.

Все записи в конспекте должны следовать в хронологическом порядке. Пропущенная почему-либо лекция должна быть своевременно законспектирована по учебнику с привлечением по возможности и конспекта товарища. Если все же пропущенная лекция осталась не законспектированной к очередной лекции, в конспекте следует оставить место для восполнения пробела в хронологическом порядке. Такой порядок поможет при подготовке к экзамену.

Техника конспектирования. При конспектировании лучше пользоваться разноцветными чернилами или шариковыми ручками с разноцветной пастой. Это позволяет броско и ярко выделять отдельные линии на чертежах, подчеркивать основные мысли и т. д. В частности, следует выделять заголовки всех разделов, тем и отдельных самостоятельных вопросов лекционного курса. Обычно такие заголовки акцентируются лектором, что облегчает систематизацию материала.



2.13

Чтобы успевать конспектировать лекцию, надо пользоваться системой сокращенных записей слов и понятий, как показано на этой схеме. Тогда, например, фразу «Согласно закону Ома, увеличение сопротивления двухполюсника приводит к уменьшению тока двухполюсника, если напряжение на нем неизменно, а при постоянном сопротивлении двухполюсника ток через него увеличивается, если растет напряжение на двухполюснике» можно записать коротко и быстро: ДВП, $\uparrow U \rightarrow R \downarrow \rightarrow I \downarrow$ и $U \uparrow \parallel R = \text{const} \rightarrow I \uparrow$

При конспектировании следует пользоваться системой порядковой нумерации. Нумеровать надо лекции, а также все формулы и рисунки в пределах отдельной лекции. Тогда по ходу лекции любая ссылка в конспекте на формулу или рисунок делается простым обозначением соответствующего порядкового номера, что облегчает и ускоряет конспектирование. Если же при самостоятельном изучении лекционного материала потребуется разъяснение на полях в виде ссылки на какую-либо формулу из некоторой предыдущей лекции, то это легко делается указанием соответствующих номеров лекции и формулы (например, л. 10, ф. 3).

Для ускорения конспектирования следует пользоваться системой сокращенных записей. С этой целью помимо обычных сокращений отдельных слов можно рекомендовать три системы условных сокращений и обозначений:

а) наряду с общепринятыми сокращениями по начальным буквам слов — аббревиатурами (КПД — коэффициент полезного действия, АЧХ — амплитудно-частотная характеристика и т. д.), могут быть использованы специфические сочетания букв, например: ДВП — двухполюсник, ЧТП — четырехполюсник, РПД — радиопере-

датчик, РПМ — радиоприемник и т. д. Каждый студент может разработать для себя свою систему подобранных сокращений;

б) ряд слов может условно обозначаться математическими и другими символами типа $>$ (больше), \uparrow (увеличивается), \downarrow (уменьшается), Σ (сумма), \varnothing (диаметр) и т. д.;

в) ряд слов и понятий может заменяться различными буквами латинского и греческого алфавитов, которые приняты в курсе для обозначения различных величин, например: I, i (ток), U, u (напряжение), t (время), T (период), F, f (частота), ω, Ω (круговая частота), Φ (фаза), φ (сдвиг фаз), ψ (начальная фаза) и т. д. Для таких сокращений, разумеется, надо не только усвоить сами понятия, но и знать латинский и греческий алфавиты.

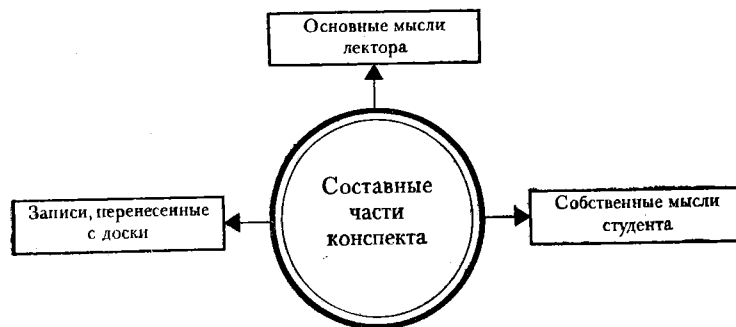
После этих предварительных замечаний ответим на главный вопрос: каким должно быть *содержание конспекта*?

В соответствии с самим определением (конспект — краткое изложение чего-н.) при конспектировании лекции ни в коем случае не следует стремиться к дословной записи слов лектора. Такое дословное «конспектирование» является неправильным отнюдь не по формальным соображениям.

Дословная запись лекции является бесполезной, потому что не облегчает самостоятельную проработку материала, чему и призван служить конспект. Бесполезность такой записи студент особенно ощутит при подготовке к экзамену, когда дорога каждая минута, а ему придется тратить лишние часы, чтобы разобраться в своих длинных записях. К тому же «дословная» запись практически не бывает таковой, что-то неизбежно теряется. И это потерянное «что-то» может оказаться весьма существенным и потребует от студента дополнительного времени для осмысления собственной записи.

Дословная запись лекции является не только бесполезной, но и вредной, препятствуя осмыслению материала, притупляя ум студента и мешая его творческому общению с лектором.

Итак, первое правило конспектирования: *лекцию надо записывать не дословно, не подробно, а кратко.* Это означает, что в конспекте должны быть записаны в виде тезисов лишь основные положения лекции.



2.14

Конспект не должен являться стенографической записью лекции. Чтобы содержание лекции легко восстанавливалось по конспекту, он должен состоять из трех частей, показанных на этой схеме

В содержании конспекта можно выделить следующие составные части: основные мысли лектора, записи, перенесенные с доски, и собственные мысли студента.

Основные мысли лектора, например, при решении на лекции некоей инженерной задачи могут выглядеть в конспекте следующим образом: постановка задачи, соображения по выбору метода ее решения и выводы, следующие из полученного решения. При этом само решение задачи дается, как правило, лектором на доске и переносится студентом с доски в конспект.

Что касается собственных мыслей студента, то следует иметь в виду, что общение студента с лектором — это обоюдный творческий процесс. У студента, творчески работающего на лекции, появляются и сомнения, и ассоциации, и особый интерес к той или иной мысли лектора, и оригинальные идеи. Все это надо отразить в конспекте.

Второе правило конспектирования: *записывать мысли лектора следует после того, как понял их содержание и смысл.* Только при соблюдении этого условия конспектирование становится осмысленной, а не механической записью лекции.

И пусть студента не пугает, что во время записи осмысленного тезиса он пропустит следующую мысль лектора. После непродолжительной практики выраба-

тывается навык до некоторой степени распределять внимание между конспектом и лектором.

Третье правило конспектирования: *основные мысли лектора студент должен записывать своими словами.* В этом правиле заложен глубокий смысл. Такое конспектирование означает, что студент на лекции работает творчески. Кроме того, оно развивает мышление студента и помогает ему научиться грамотно излагать и свои собственные мысли.

Одной из важнейших составных частей лекции являются вопросы студентов к лектору.

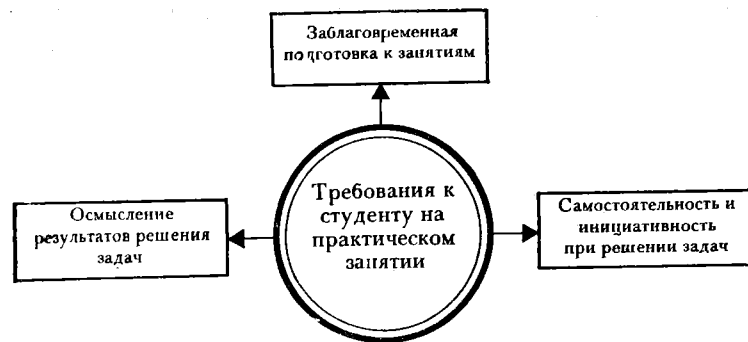
Вопросы на лекции необходимы потому, что они укрепляют контакт лектора с аудиторией. Кроме того, они повышают творческий потенциал аудитории. Вопросы одного студента стимулируют творческую работу и его товарищей. Тем самым они способствуют углубленному изучению предмета. Вопросы помогают студентам лучше понять излагаемый материал. Необходимо максимально использовать эту форму общения с лектором.

Студент на практических занятиях

Временами нет-нет да и слышится на экзаменах: «Мы таких задач не решали». Иной студент произносит это не удрученно, а с укоризной и даже с некоторой долей возмущения: мол, не следует на экзамене предлагать задачи, которые и на занятиях не проходили, и на дом не задавали.

Не надо упреков и возмущений. Словарь русского языка определяет понятие задачи следующим образом: упражнение, которое выполняется, решается посредством умозаключения, вычисления и т. п. Иной же студент забывает о необходимости умозаключений.

На семинаре по общественным наукам такой студент бездумно пересказывает учебник, заученно цитирует чужие мысли. На практических занятиях по естественнонаучным и техническим дисциплинам в лучшем случае производит вычисления, строит график и т. д. И в любом случае такой студент ошибочно полагает, что решение задачи должно сводиться к подстановке в известные формулы в известной последовательности заданных величин,



2.15

Практические занятия являются первым звеном в подготовке студента к самостоятельной инженерной деятельности. Чтобы практические занятия достигли цели, надо соблюдать основные требования, отображенные на этой схеме

Что же касается выбора метода, разработки схемы решения задачи или анализа фактов и полученных результатов, то для того, мол, на семинаре и есть преподаватель. Свои же функции такой студент усматривает лишь в том, чтобы запомнить и схему решения задачи, и полученные выводы. Отсюда и проистекает на экзамене его беспомощность перед задачами, которых он «не решал».

Как же следует работать на семинарах? Многое из того, что было сказано о работе на лекции, относится к семинарским и другим видам аудиторных занятий. К любым занятиям студент должен готовиться. На любых занятиях студент должен работать вдумчиво, творчески, задавать вопросы преподавателю и т. д.

Особенностями работы студента на практических занятиях и семинарах являются его инициатива и самостоятельность, т. е. самостоятельные действия при выполнении задания. Эти качества студента должны проявляться уже при подготовке к занятию.

Подготовка к практическому занятию должна состоять из двух частей. Первая часть включает решение задач, заданных на дом, их анализ и, главное, самоконтроль усвоения темы предыдущего семинара.

В ходе самоконтроля студент должен убедиться, во-первых, в осознанности своих действий при решении

каждой задачи. Во-вторых, просмотрев и незаданные задачи по пройденной теме, он должен убедиться, что сможет их решить. Для того чтобы в этом убедиться, нужно, как минимум, составить схему решения просмотренных задач, а при отсутствии уверенности — решить выборочно несколько нестандартных задач. В-третьих, следует записать все вопросы, которые остались невыясненными при решении и анализе задач. Эти вопросы нужно обсудить вместе с преподавателем на консультации или на очередном занятии. Некоторые студенты в качестве таких вопросов сами придумывают интересные задачи.

Вторая часть подготовки к семинару заключается в проработке материала к предстоящему занятию. Она включает углубленное изучение теоретического материала по соответствующей теме, выбор расчетных соотношений и подготовку вопросов по новой теме.

Углубленное изучение нового материала означает, что студент должен не только глубоко осмыслить и понять этот материал, но и самостоятельно, с карандашом в руках доказать все положения теории. Кроме того, при таком изучении следует выявить прикладные вопросы теории, которые могут потребоваться при решении задач, особо их осмыслить и опять-таки самостоятельно вывести все расчетные соотношения.

Самостоятельные доказательства и выводы, о которых здесь говорилось, являются прекрасной тренировкой и первым шагом к самостоятельному решению задач. Только при такой предварительной работе студент овладевает исследовательскими навыками, что и является первой предпосылкой творческой деятельности. Не владея же этими навыками, студент обрекает себя на роль вычислителя, действующего при решении задач по чужой указке.

Эквивалентом описанных самостоятельных доказательств и выводов при подготовке к семинарам по общественным наукам является написание тезисов по изученной теме. Эти тезисы не должны, разумеется, составляться путем дословного переписывания мыслей из книг и конспекта. Каждый тезис должен формулироваться студентом самостоятельно на основе творческого усвоения материала.

Особое осмысление прикладных вопросов теории, о котором говорилось выше, означает оценку достоинств

и недостатков, особенностей и возможностей применения тех или иных расчетных методов. В частности, при наличии нескольких методик решения или различных формул для расчета некоторой величины следует провести их сравнительный анализ, выявить области их применения и границы применимости. Последнее особенно важно в отношении приближенных формул и методов расчета, которые часто применяются в инженерной практике.

При подготовке к семинарам по общественным наукам эквивалентом проработки прикладных вопросов теории является подборка примеров, поясняющих и подтверждающих составленные тезисы. Особое значение при этом имеют примеры, связывающие исторические аспекты изученных вопросов с современностью, с практикой коммунистического строительства. Не менее важным является изыскание примеров, связывающих со своей специальностью теоретические положения общественных наук и закономерности общественного развития.

Выборка расчетных соотношений на втором этапе подготовки к семинару означает, что студент должен отобрать все модификации расчетных формул, количественные соотношения и другой расчетный материал, который встретился ему при изучении теории. Все расчетные соотношения следует записать в тетрадь для практических занятий.

Такая подготовка содействует систематизации материала, помогает выявить связи между различными величинами и облегчает разработку схемы решения задач. Студент, пренебрегающий такой подготовительной работой, на занятии вместо осмысливания хода решения задачи лихорадочно роется в конспекте или в учебнике в поисках нужной формулы. Нередко при этом выясняется, что искал он отнюдь не ту формулу, которая нужна для решения задачи.

Аналогом описанной выборки при подготовке к семинарам по общественным наукам является составление планов по каждому тезису изученной темы. Такие планы содействуют более полному раскрытию материала, помогают развитию логического мышления и могут служить канвой выступления на семинаре. При составлении этих планов, как и при подборе описанных выше примеров, в полной мере раскрывается инициативность и самостоятельность студента.

Обратимся, наконец, к вопросам, которые должен подготовить студент по изучаемому материалу. Эти вопросы следует сразу же записывать по мере выявления теоретических положений, оставшихся не понятыми в процессе изучения. Не исключено, что часть записанных вопросов будет выяснена в ходе проработки материала. При этом может вообще не остаться вопросов. Однако записью возникших вопросов не следует пренебрегать. Во-первых, она гарантирует, что не будут упущены по забывчивости те или иные вопросы. Во-вторых, запись вопросов сродни постановке новых задач, которой характеризуется высший уровень творчества. Поэтому постановка и запись вопросов способствует развитию логического мышления, а заодно формированию навыков грамотного изложения своих мыслей. При изучении новой темы неизбежно возникают и такие вопросы, которые направлены на углубленное и расширенное изучение материала.

Итак, студент подготовился, в начале занятия получил ответы на возникшие у него вопросы. Приступил к решению задачи.

Как нужно самостоятельно решать задачу? Существуют ли какие-нибудь общие правила решения любых задач? Универсальных рецептов такого рода, конечно, не существует, но можно высказать некоторые достаточно общие рекомендации по методике решения задач.

В решении технической задачи, как правило, можно выделить три этапа: осмысление задачи, ее решение в общем виде и получение численного результата. Поэтому неверно поступают те студенты, которые пытаются решать задачу «наскоком», отыскивая сразу формулы, по которым можно было бы вычислить искомые величины. Тем самым они начинают решение сразу со второго этапа. Однако задачи, поддающиеся решению таким способом, являются, как правило, тривиальными. Но даже на простейших задачах нужно отрабатывать навыки систематического подхода к решению и других, более сложных задач.

Этап осмысления задачи удобно рассмотреть на типичном примере инженерной задачи, в которой требуется по заданным (исходным) величинам рассчитать некоторое устройство, т. е. определить один или несколько его параметров или величин, характеризующих протекание процессов в этом устройстве. При этом можно

сформулировать ряд достаточно общих рекомендаций (в зависимости от характера задачи можно использовать лишь часть рекомендаций).

1. Осмысление задачи надо начинать с изображения подлежащей расчету функциональной, принципиальной или конструктивной схемы устройства. Если такая схема задана в условии задачи, ее надо перерисовать и продумать необходимость и возможность ее детализации и дополнения. На схеме следует обозначить величины, входящие в условие задачи.

Вместо схемы устройства или дополнительно к ней в соответствии с условием задачи может быть изображен (качественно) график процесса или график функциональной зависимости величин и т. п.

2. Следует проверить, удовлетворяет ли нарисованная схема (график) всем условиям задачи. Не исключено, что при такой проверке схему (график) придется уточнить, дополнить или вообще изменить.

3. Надо уяснить для себя назначение и взаимодействие элементов в нарисованной схеме (зависимость вида кривых на графике от тех или иных параметров). При таком уяснении схема (график) может вновь потребовать уточнения.

4. Следует дать строгое определение всех величин, входящих в условие задачи (в первую очередь искомой величины). Иногда с таких определений надо начинать осмысление задачи, в частности при затруднениях в построении схемы (графика) и в объяснении взаимодействия элементов.

5. Если в указанные определения входят новые величины, не фигурирующие в условии задачи, эти величины надо обозначить на схеме (графике). Не исключено, что эти новые величины потребуют изображения дополнительных схем (графиков).

Каждой новой величине также надо дать определение. Если при этом вновь появляются новые величины, далее следует поступать аналогичным образом. При этом, разумеется, надо вовремя остановиться (обычно — на исходных величинах), чтобы не доходить до абсурда («до сотворения мира»). Иначе любую задачу можно довести до определения основных единиц измерения — метра, секунды и т. д.

6. Следует установить, каким теоретическим законам или правилам подчиняются те или иные величины, во-

шедшие в предшествующий анализ задачи. При этом может помочь сводка расчетных соотношений, занесенная в тетрадь. Каждое выявленное правило (закон) следует записать в виде математического соотношения для соответствующих величин.

7. Следует выявить логические связи между искомыми и заданными величинами. При этом, пользуясь указанными выше определениями и законами, а также сводкой расчетных соотношений, полезно записать ряд величин, начиная с искомых и кончая заданными. Между ними должны быть в логической последовательности расположены все величины, обеспечивающие логический переход от искомых к заданным величинам. Среди них могут быть и такие новые параметры, которые не фигурировали ни в условии задачи, ни в предшествующем анализе. С такими параметрами надо поступать описанным выше образом, что помогает построению логического ряда.

8. Завершая осмысление задачи, следует выявить в ней те или иные ограничения, какие-либо условия и другие требования, предъявляемые как к величинам, оговоренным в тексте задачи, так и к новым величинам, полученным при предшествующем анализе. Каждое из таких требований следует записать в виде соответствующего математического соотношения.

Решение задачи в общем виде заключается в выборе метода решения и составлении схемы решения задачи. Успех в выборе рационального метода решения задачи определяется уровнем знаний студента и его инициативностью, а также полнотой осмысления задачи на первом этапе ее решения. Эти же факторы определяют и рациональность составленной схемы решения задачи. На этапе решения задачи в общем виде существенную помощь может оказать сводка расчетных соотношений.

Составление схемы решения задачи может сводиться либо к составлению цепочки расчетных соотношений, позволяющих определить искомые величины через последовательный ряд заданных и дополнительных величин, либо к составлению системы уравнений, в которую входят указанные величины. В обоих случаях следует оценить рациональность завершения решения задачи в общем виде путем нахождения искомых величин в виде расчетных формул. Во многих случаях целесообразнее без вывода расчетных формул сразу переходить к чис-

ленному решению полученной системы уравнений или к поэтапному численному определению всех величин, входящих в последовательный ряд расчетных соотношений.

При решении задачи в общем виде можно осуществлять частичную проверку правильности решения. В частности, решение неправильно, если не совпадают размерности отдельных слагаемых в многочленах.

При получении численного ответа следует обратить внимание на выбор единиц измерения и необходимую точность расчета той или иной величины. Бессмысленно, например, рассчитывать сопротивление резистора с восемью значащими цифрами, если сам резистор изготавливается с допуском $\pm 1\%$.

При построении графика следует обратить внимание на рациональный выбор масштаба отображаемых на графике величин. Нерационально, например, выбирать масштаб, по которому трем единицам измерения соответствует 10 мм на графике: это приведет к дополнительному пересчету величин в соответствии с выбранным масштабом.

В тех случаях, когда отображаемая на графике величина изменяется на несколько порядков (в 10^3 , 10^4 раз и т. д.), следует применять для нее логарифмический масштаб. При таком масштабе величины, различающиеся между собой в 10 раз, на графике отстоят друг от друга на одинаковые (единичные) интервалы, что делает график более компактным и наглядным.

Для отображения величины в логарифмическом масштабе надо на графике откладывать значения не самой величины, а ее логарифма, как это сделано для некоторой величины K на рис. 3.10, *a* (с. 156). Здесь величинам 0,001—0,01—0,1—1—10—70,7—100 соответствуют их десятичные логарифмы, значения которых указаны в скобках с правой стороны графика. Если при этом не используются специальные логарифмические единицы измерения величин, на графике показываются значения самой величины, как это сделано с левой стороны графика на рис. 3.10.

В отдельных случаях можно применить не десятичные логарифмы, а логарифмы \log_a с другим основанием $a < 10$. В этих случаях применяются обычно натуральные логарифмы ($a = e \approx 2,718$) и логарифмы по основанию $a = 2$. В любом случае величины $a^{\pm n}$ (n — числа натураль-

ного ряда) образуют систему равноотстоящих меток, по которым строится координатная сетка. Построение графика удобно начинать с разметки такой сетки.

Следует учесть, что логарифмировать можно только безразмерные величины. Поэтому в тех случаях, когда надо воспользоваться логарифмическим масштабом при построении графика для некоторой размерной величины, например для напряжения U , поступают следующим образом. Выбирают какое-либо характерное значение напряжения $U = U_0$. Таким характерным значением может быть, например, максимальное значение напряжения $U (U_0 = U_{\max})$, либо значение э. д. с. E , действующей в цепи ($U_0 = E$), и т. д. Затем вводят безразмерную величину $u = U/U_0$, являющуюся относительным значением напряжения U и строят в логарифмическом масштабе график для этого безразмерного относительного значения напряжения u . В рассмотренной ситуации график в логарифмическом масштабе можно строить и для обратной безразмерной величины $v = 1/u = U_0/U$.

Если в качестве характерного значения выбрать единичное напряжение ($U_0 = 1 \text{ В}$ или $U_0 = 1 \text{ мВ}$ и т. д. в зависимости от выбранных единиц измерения), то значения безразмерного относительного напряжения u будут повторять значения самого напряжения U . При этом можно показывать на графике значения самого напряжения U , указывая и его размерность. Это относится и к любым другим размерным величинам. Например, в таблице на с. 194 шкала частот и длин волн построена в логарифмическом масштабе и указаны размерные значения этих величин.

Решение задачи необходимо завершить анализом полученного решения. Такой анализ включает проверку правильности решения, соответствия полученного решения теоретическим предпосылкам. Нужно обратить внимание на порядок полученных величин, оценить точность решения и возможность реализации найденных параметров, сделать заключение о целесообразности и возможности улучшения полученного решения (например, изменения искомых величин в сторону их увеличения или уменьшения) путем соответствующего изменения условий задачи. Выполняя такой анализ, студент не только выполняет учебное задание, но и готовит себя к успешной инженерной деятельности.

Студент в лаборатории

Именно на лабораторных занятиях будущий инженер начинает активно приобщаться к технике, без которой нет и инженерного дела. Инженер должен уметь работать не только головой, но и руками.

Подготовка к работе в лаборатории, как и к другим видам аудиторных занятий, начинается с домашней подготовки студента. Лабораторное исследование является прообразом будущих научных экспериментов, с которыми придется столкнуться инженеру в его практической деятельности. А к научному эксперименту хороший исследователь готовится подобно умелому полководцу, который в деталях продумывает предстоящее сражение, чтобы не проиграть его из-за упущенных при подготовке «мелочей».

Домашняя подготовка к лабораторным занятиям должна включать ряд этапов.

1. Прежде всего надо по описанию ознакомиться с содержанием лабораторной работы. При этом следует уяснить цель и объем эксперимента и выделить теоретические положения, знание которых необходимо как для выполнения лабораторной работы, так и для понимания результатов лабораторных наблюдений.

2. Пользуясь лекционным конспектом и книгами, следует изучить вопросы теории, относящиеся к лабораторному эксперименту. При этом необходимо обратить внимание на те допущения и упрощения, которые были приняты при теоретическом рассмотрении соответствующих процессов, явлений, характеристик и т. п. Это поможет понять возможные расхождения с теорией результатов лабораторного эксперимента.

3. Следует продумать условия проведения лабораторного эксперимента в соответствии с описанием: наличие готовой лабораторной установки или необходимость ее сборки, предписанные пределы изменения тех или иных параметров, ожидаемые пределы изменения наблюдаемых в эксперименте величин и т. д.

4. Следует детально изучить схему лабораторной установки, приведенную в описании. При этом надо обратить внимание на измерительные приборы, правила их использования, продумать последовательность сборки схемы. Иногда такое изучение лабораторной установки производится в лаборатории накануне занятия.



2.16

Лабораторные занятия прививают студенту навыки практической работы. Чтобы лабораторные занятия достигли своей цели, надо соблюдать основные требования, отображенные на этой схеме

5. В лабораторных экспериментах часто используется довольно сложная аппаратура (генераторы стандартных сигналов, электронные вольтметры и частотомеры, осциллографы и т. п.). Обращение с этой аппаратурой возможно только при наличии определенных знаний и навыков. Навыки эксплуатации приборов приобретаются в ходе работы, но уже до начала работы с приборами студент должен в общих чертах представлять основные правила работы с ними.

6. Следует продумать методику лабораторного эксперимента. При этом необходимо обратить внимание на последовательность операций в эксперименте, на последовательность необходимых наблюдений и на подлежащие фиксации результаты эксперимента.

7. Студенту следует мысленно «проиграть» лабораторный эксперимент, полагая, что от начала и до конца ему надо самому производить все необходимые операции и наблюдения.

8. В ряде случаев в ходе подготовки к эксперименту следует произвести некоторые расчеты по определению

исходных параметров, необходимых режимов, экстремальных значений тех или иных величин и т. п.

9. Подготовка к лабораторному занятию завершается заготовкой бланка лабораторного отчета. В этом бланке надо записать наименование, цель и краткое содержание работы, начертить схему лабораторной установки и привести необходимые предварительные данные в соответствии с заданием на лабораторную работу. Кроме того, в бланке надо заготовить соответствующие формы для записи протокола лабораторного эксперимента.

Форму таблиц для протокола целесообразно заготовить с некоторым запасом: если, например, для построения некоторой исследуемой характеристики требуется до десяти точек, предусмотрите в таблице место для записи результатов не десяти, а двадцати измерений. Это нужно, во-первых, потому, что некоторые измерения могут оказаться ошибочными и их придется повторить. Во-вторых, по ходу эксперимента или построения графика исследуемой характеристики может потребоваться замер дополнительных точек, например в области экстремальных значений характеристики.

10. Подготовка к лабораторной работе, как и к другим видам занятий, следует заканчивать записью вопросов, которые остались не понятыми в ходе подготовки.

При выполнении лабораторной работы надо тоже придерживаться некоторых правил.

1. Приступая к работе, в составе своей бригады обсудите цель и содержание лабораторного эксперимента.

2. Если лабораторная установка подлежит сборке, следует собрать ее коллективно. Это не означает, разумеется, что три человека должны подключать один прибор. Но если первый студент подключает один прибор, то другие студенты должны подключать следующие приборы. При этом, когда один студент подключает прибор, все остальные члены бригады должны контролировать его действия. После сборки лабораторной установки следует получить у преподавателя или лаборанта разрешение на ее включение.

3. До включения лабораторной установки следует коллективно проиграть эксперимент.

4. Следует распределить между членами бригады обязанности по выполнению эксперимента. При этом недопустимо выделять кого-либо из студентов для пассив-

ной записи результатов наблюдений. Все члены бригады должны по возможности работать непосредственно с приборами.

5. Вне зависимости от распределения обязанностей между членами бригады лабораторный эксперимент должен выполняться коллективно. Это означает, что каждое действие каждого студента должно контролироваться остальными членами бригады. При этом результаты наблюдений должны заноситься каждым студентом в свой протокол.

6. Иной легкомысленный студент в лаборатории добросовестно крутит ручку одного прибора, усердно наблюдает и даже записывает показания другого прибора, но при этом забывает осмысливать свои наблюдения. Такого студента не смущает необычный характер протекания наблюдаемого процесса, он и не замечает этой необычности. Его не настораживает поведение стрелки прибора, которая упорно ползет вправо, когда ей положено перемещаться влево.

Не уподобляйтесь такому студенту! Осознанно выполняйте все действия! Осмысливайте все наблюдения по ходу эксперимента! Одним словом — думайте!

7. Протокол лабораторного эксперимента следует вести начисто. Если некоторое измерение оказалось ошибочным, не пачкайте протокол, вычеркивая записанные неверные цифры. В графе примечаний сделайте пометку, аннулирующую неверную запись. При этом полезно, разумеется, разобраться в причинах ошибки. А заслуживающие внимания причины также полезно отметить в графе примечаний. Сами же ошибки и их причины не забудьте обсудить коллективно перед записью в протокол.

8. Обрабатывать результаты эксперимента следует до окончания лабораторного занятия. Даже, например, при нехватке времени в лаборатории для аккуратного вычерчивания графика нанесите замеренные точки на подготовленный лист миллиметровки.

Не исключено, что при этом придется снова включить лабораторную установку и произвести дополнительные измерения, недостающие для точного построения графика. Не исключено также, что только при обработке результатов эксперимента выявится ошибочность некоторых наблюдений, которые придется повторить.

9. Завершая работу в лаборатории, следует коллек-

тивно обсудить результаты проведенного эксперимента. Действуя таким образом, студенты приобщаются к коллективной творческой работе и усваивают ее стиль, столь характерный для современного производства.

10. Отчет по выполненной лабораторной работе завершается написанием выводов. Желательно и этот этап работы выполнить в лаборатории, чтобы предъявить отчет преподавателю до окончания лабораторного занятия. Но вне зависимости от того, пишутся ли выводы по работе в лаборатории или дома, студент должен неукоснительно следовать последнему правилу: выводы по лабораторному эксперименту необходимо писать самостоятельно.

Выводы должны содержать анализ результатов эксперимента. При этом, как уже отмечалось, должны быть выявлены и объяснены все связи между наблюдаемыми явлениями, процессами, характеристиками и параметрами. Однако при анализе следует избегать общих мест, тривиальных заключений и переписывания из книг известных положений.

Выводы должны содержать сравнение результатов эксперимента с теоретическими положениями. При этом должна быть оценена степень совпадения и расхождения с теорией полученных результатов. Причины же расхождений должны быть проанализированы с учетом погрешности измерений и точности самой теории.

Лабораторная работа является, конечно, учебным упражнением. И анализ, который студент делает в выводах по работе, производится в учебных целях. Но научившись критически относиться к теории при ее сравнении с экспериментом, не уточнит ли впоследствии нынешний студент и методику эксперимента, и самое теорию, не явится ли будущий инженер автором новой теории?

Студент учится сам

Выше уже были рассмотрены различные виды самостоятельной работы студента. Это и систематическая проработка лекционного материала, и выполнение различных учебных заданий, и подготовка к очередным аудиторным занятиям. В самостоятельную работу студента входят также научные исследования, его общественная деятельность и т. д. Однако самостоятельные занятия



2.17

Если студент плохо организует свою самостоятельную работу, из него не вырастет полноценный инженер. Чтобы этого не произошло, надо соблюдать ряд требований, предъявляемых к самостоятельной работе, основные из которых показаны на этой схеме

нужны студенту не только и не столько для выполнения определенного объема работ, сколько для приобретения навыков самостоятельного пополнения знаний и умения работать с книгой, для развития мышления и своего творческого потенциала.

Столь обширные и сложные задачи могут быть решены в процессе самостоятельной работы только при ее рациональной организации, при четком планировании внеаудиторных занятий и строгом соблюдении правил гигиены умственного труда. Планируя самостоятельную работу, надо не только отводить определенное время на различные виды занятий, сообразуясь с расписанием и особенностями своей подготовки (наличием пробелов в знаниях и т. п.), но и чередовать занятия с разумным и активным отдыхом. Для среднего студента требуется около четырех часов ежедневной самостоятельной работы.

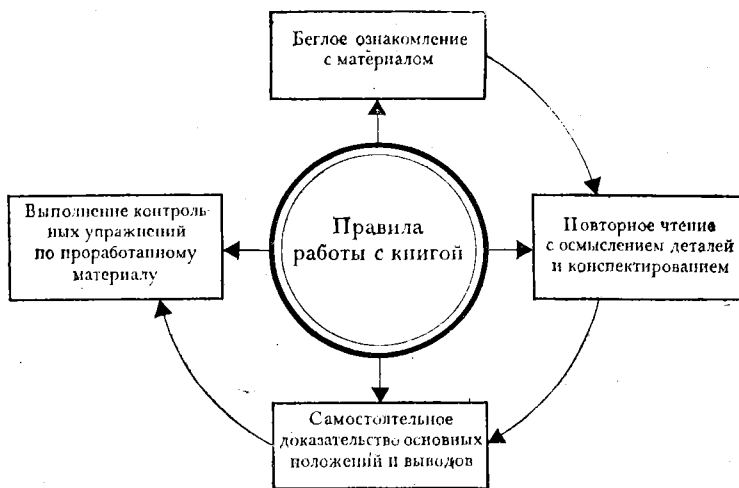
Однако большинство студентов жалуется на нехватку времени, когда выявляются их плохие знания. Такие жалобы обусловлены обычно неправильным планированием и неверной методикой самостоятельной работы.

Неправильное планирование самостоятельной работы получается при заимствовании школьной привычки ежедневно готовить уроки по четырем — шести разным предметам. В институте с этой привычкой надо расстаться.

Как уже отмечалось, в вузе студенту предоставляется возможность целеустремленно и концентрированно изучать различные предметы. С этой целью учебный план и расписание составляются таким образом, что студент может планировать в среднем на каждый рабочий день недели самостоятельное изучение только одного из пяти-шести ведущих предметов. Это позволяет в один день и проработать лекционный материал, и подготовиться к практическим и лабораторным занятиям, и заготовить фрагмент машинной программы для предстоящей работы на ЭВМ. При этом подготовка к предстоящей на неделе лекции совмещается с проработкой материала предыдущих занятий. В зависимости от особенностей расписания и своих индивидуальных возможностей студент может выделять и несколько дней подряд для самостоятельного изучения одного предмета.

Концентрированное изучение ведущих дисциплин может дополняться ежедневным выполнением одной-двух небольших учебных работ. Например, целесообразно ежедневно выделять 20—30 мин для пополнения словарного запаса по иностранному языку. Такое кратковременное отвлечение от изучения запланированного предмета может даже служить полезной умственной разрядкой. Эту разрядку можно делать и в два приема по 10—15 мин.

Неправильная методика самостоятельной работы также проистекает еще от одной привычки — зубрежки. Формальное заучивание материала без его осмысления не только противоречит целям высшего образования, но и приводит к нехватке времени. Часто на зазубривание уходит больше времени, чем на осмысление материала. Кроме того, заученный, но не понятый материал быстро забывается. Поэтому студенту при необходимости приходится вновь и вновь возвращаться к нему. Да и выполнение любой практической работы всегда требует больше времени при использовании неосмысленного материала, если такое выполнение вообще возможно и не превращается в бесплодные попытки, на которые попусту тратится время.



2.18

Специальную литературу нельзя читать, как художественные произведения, и заучивать, как стихи. Чтобы приобрести навыки самостоятельной работы с книгой и хорошо усвоить прорабатываемый материал, надо соблюдать определенную последовательность действий, основные из которых показаны на этой схеме

Еще больший вред от механического заучивания неосмысленного материала заключается в том, что такая самостоятельная работа не только не развивает, но и притупляет мышление. При неправильной методике самостоятельной работы студент обращается к книге только при отсутствии конспекта, а с книгой работает столь же бездумно, как и с конспектом. Главный же вред от зубрежки состоит в том, что зазубренный без понимания материал не может быть использован впрок. Более того, вызубренные знания не только не приносят пользы, но зачастую приводят к беде, поскольку полузабытые и не понятые знания чреватые грубыми ошибками на практической работе.

Как же правильно учить материал при самостоятельной работе?

Выше уже говорилось, что в ходе правильно построенной самостоятельной работы студент работает не только с конспектами, но и с книгами.

Работая с книгой, студент должен сначала бегло прочитать соответствующий материал, чтобы составить

общее представление о содержании прочитанного раздела книги и оценить, насколько он углубляет и расширяет его знания. Затем нужно в деталях осмыслить содержание книги, читая ее вторично с карандашом в руках, чтобы законспектировать прочитанное и повторить самостоятельно те выводы, с которыми он столкнулся в учебнике. Дополняя лекционный конспект новым материалом, не следует забывать делать ссылки на источник. Только после такой проработки темы можно приступать к выполнению практических заданий, к решению задач и т.п.

Таким образом, самостоятельная работа студента — это всегда работа мысли. И только работа мысли экономит время студента, но отнюдь не зубрежка.

Студент на экзамене

В студенческом фольклоре чаще всего обыгрывается страдная экзаменационная пора. Иронично и едко, но неизменно весело острят студенты по поводу самых «трудных» экзаменов.

Конечно, не до веселья тем студентам, которые плохо работали в течение семестра. Они уповают на шпаргалку. Иногда за ними тянутся и те студенты, которые добросовестно работали в семестре, но находятся в плену экзаменационных страхов и преувеличивают трудности экзаменационной поры: у страха глаза велики! Но вот беда: страхи и трудности при этом, может быть, и уменьшаются, но знания не приобретаются, ум не развивается, да и хорошей отметки у хорошего экзаменатора по шпаргалке не получишь.

Студент, который добросовестно выполняет учебную программу и правильно организует свою самостоятельную работу, готовится к экзаменам с первых дней семестра. Такой подготовкой является вся работа в течение семестра. Для такого студента три-четыре дня, отводимые в сессию для подготовки к экзамену, являются днями систематизации и углубления своих знаний, днями трудной, но увлекательной работы мысли. Такому студенту для успеха на экзамене надо лишь правильно организовать свою подготовку во время экзаменационной сессии.

Эта подготовка складывается из повторения курса



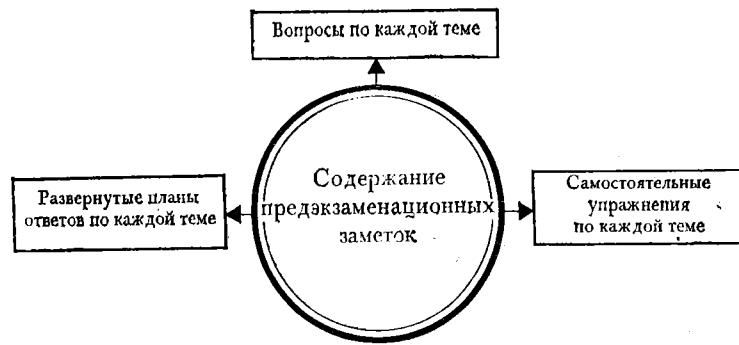
2.19

Ответственной порой для студента является экзаменационная сессия. Чтобы успешно сдать экзамены, надо не только систематически работать в семестре, но и правильно готовиться к экзамену. Основные правила такой подготовки и последовательность в повторении материала показаны на этой схеме.

перед экзаменом и подготовки к ответу на самом экзамене.

Перед началом подготовки к каждому экзамену надо составить четкий план работы на каждый день подготовки. В эти дни режим занятий должен быть жестким и должен включать работу не только утром и днем, но и вечером. Режим сна и питания должен соблюдаться неукоснительно. Особенно опасным является нарушение режима сна накануне экзамена: с тяжелой после бессонной ночи головой экзамен сдавать трудно. Развлечения — посещение театра, концерта, кино — следует планировать на день сдачи экзамена. В дни же подготовки следует предусматривать кратковременные прогулки, желательно перед сном.

В плане работы надо определить на каждый день подготовки объем материала, подлежащего повторению, с учетом его сложности и степени усвоения в семестре. Полезно этот план детализировать, разделив указанный материал на три части соответственно утренней, дневной и вечерней работе в день подготовки. На последний день подготовки надо запланировать посещение консультации и беглое повторение всего курса в течение трех-четырех часов.



2.20

Накануне экзамена весь материал курса должен быть бегло повторен. Такое повторение облегчается заметками, которые были сделаны ранее. Их содержание показано на этой схеме

Подготовку к экзамену нельзя сводить лишь к прочтению конспекта или учебника. Тем более бесполезно пытаться зазубривать материал. Повторение каждой темы надо производить в три этапа. Сначала надо восстановить в памяти содержание темы по конспекту. Затем следует углубленно проработать тему с привлечением книг, которые (помните?) указаны на полях конспекта. Завершать повторение темы надо с карандашом в руках, составляя заметки.

Заметки состоят из трех частей. Первая часть заметок должна содержать вопросы. Эти вопросы следует записывать уже по ходу углубленной проработки темы. Если при такой проработке некоторый материал трудно поддается восстановлению и усвоению, то, конечно, надо затратить определенные умственные усилия, чтобы понять его во всех деталях. Однако в сессию время дорого. И если затраченные усилия не приводят к цели достаточно быстро, следует записать вопрос к преподавателю для выяснения на предэкзаменационной консультации. А чтобы решить, пора ли уже записать вопрос, надо периодически сверяться со своим планом подготовки, который должен соблюдаться безоговорочно.

Вторая часть заметок должна содержать самостоятельные упражнения по прорабатываемому материалу: изображение схем, построение характеристик, выводы формул, фрагменты доказательств теорем и т. д. Все это

надо делать с закрытым конспектом и отложенными книгами, привлекая их лишь в случае затруднений, когда время «поджимает». При таких самостоятельных упражнениях могут возникнуть новые вопросы, которыми следует дополнить первую часть заметок.

Третья часть заметок — это развернутый план, который в логической последовательности достаточно подробно отражает содержание проработанной темы. После самостоятельного составления этого плана надо сверить его с конспектом и книгами, чтобы убедиться в его правильности и полноте.

Заметки надо использовать для самостоятельной проверки своих знаний при беглом повторении курса на заключительном этапе подготовки к экзамену. Этот этап планируется как завершающий подготовку после предэкзаменационной консультации, когда уже получены ответы на все заготовленные вопросы.

Беглое повторение курса заключается в мысленном восстановлении содержания каждой темы по программе курса. Правильность такого восстановления проверяется по тетради с заметками. Они при этом используются с конца. Сначала по их третьей части проверяется полнота восстановленного в уме плана темы. Затем по второй части заметок проверяется правильность восстановленных мысленно фрагментов темы. Наконец, самостоятельно даются ответы на все вопросы, записанные в первой части заметок.

Придерживаясь такой методики, студент наиболее эффективно использует дни предэкзаменационной подготовки. Иной студент может возразить, что такая методика требует слишком много времени, которого перед экзаменом и так не хватает. Такой студент неправ вдвойне. Во-первых, этой методикой предусмотрены приемы, позволяющие неукоснительно соблюдать план подготовки к экзамену. Во-вторых, время подготовки по такой методике может варьироваться за счет изменения объема второй части заметок.

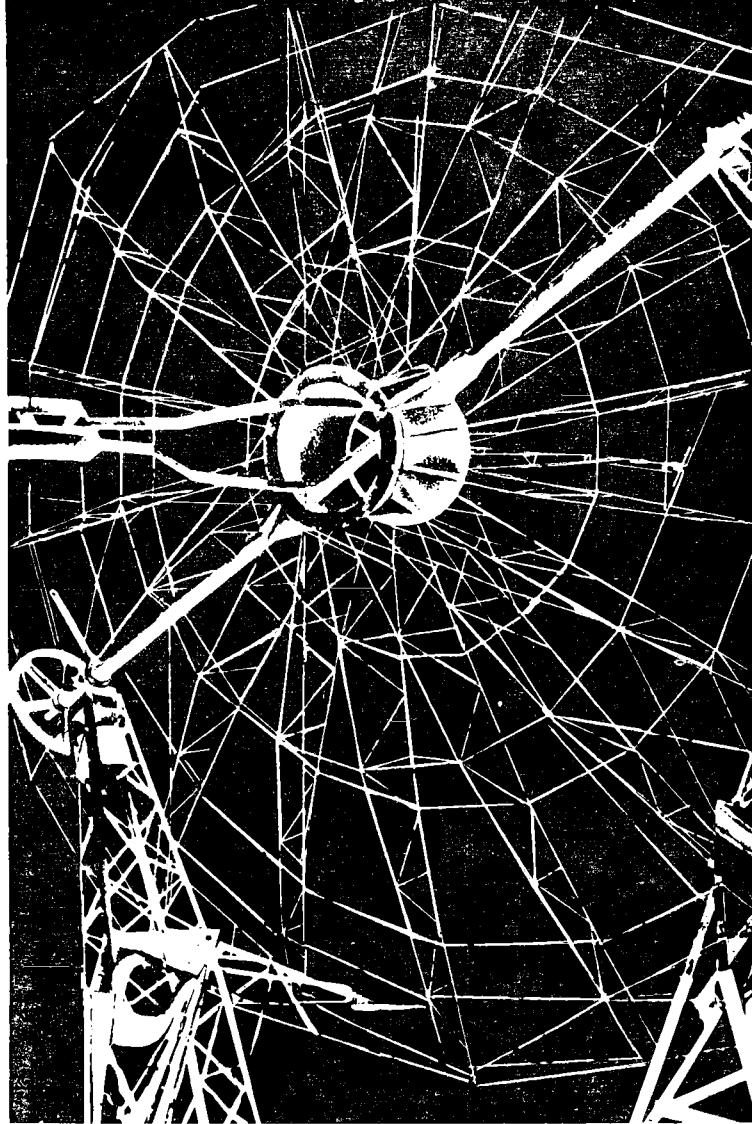
Последнее обстоятельство нуждается в комментариях. Прежде всего, следует заметить, что первой и третьей частями заметок нельзя поступаться ни при каких условиях. Что касается самостоятельных упражнений в их второй части, то они требуют тем меньше времени, чем больше его тратил студент в семестре при изучении курса. Наконец, следует заметить, что если

в экзаменационную пору не хватает времени, то целесообразно жертвовать полнотой второй части заметок, что, конечно, скажется отрицательно при сдаче экзамена, но в этом виновата будет не методика, рекомендуемая для повторения курса...

Итак, подготовившийся и выспавшийся студент пришел на экзамен. Получив экзаменационный билет, он должен подготовиться к ответу. Теперь надо собраться с мыслями и восстановить в памяти общее содержание вопроса. После этого следует написать план ответа на вопрос. В дальнейшем нужно детализировать последовательно все пункты плана, приведя необходимые доказательства, построения и т. д. Этой процедуры следует придерживаться при последовательной подготовке ответов на все вопросы экзаменационного билета.

Готовясь к ответу, оставайтесь спокойными. И не забывайте, что впереди вас ждет экзаменатор, который будет спрашивать не о том, что вы запомнили, а о том, что поняли, экзаменатор, готовый выслушать и по достоинству оценить ваши собственные мнения и суждения.

ВВЕДЕНИЕ В РАДИОТЕХНИКУ



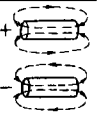
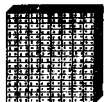



I СИГНАЛЫ

Основные свойства сигналов

Основные свойства
сигналов
Изменения сигналов
Качество
воспроизведения
сигналов

Жизнь человечества не мыслится без обмена информацией. Человек обменивается информацией в устной, письменной и других формах. Газеты и журналы, радио и телевидение ежедневно обрушивают на нас потоки информации. В течение многих тысячелетий человек считал своим изобретением разные условные знаки и способы, применяемые для передачи информации. Считал своим изобретением до тех пор, пока не понял, что Природа и до него располагала какими-то таинственными сигналами. Теми сигналами, которые в желуде, например, отображают информацию, определяющую вид и особенности будущего дерева. По мере познания мира человек создал даже специальную науку об информации и сигналах — теорию информации, являющуюся существенной составной частью кибернетики.

Что же такое информация и сигнал? В общем понимании и в самом широком смысле слова *информация* — это совокупность

Носитель информации	Информационная емкость (бит)	Время обращения информации (с)
Ферритовый элемент 	1	$2 \cdot 10^{-7} \dots 4 \cdot 10^{-7}$
Ферритовая многоотверстная матрица 	$10^2 \dots 10^3$	$5 \cdot 10^{-7} \dots 2 \cdot 10^{-6}$
Магнитный барабан (серийного производства) 	$10^6 \dots 10^7$	$10^{-3} \dots 10^{-2}$
Магнитная лента (до 1000 м на бобине) 	$10^7 \dots 4 \cdot 10^8$	$10^{-2} \dots 10^3$
Человеческий мозг 	около 10^{12}	$10^{-2} \dots 10^{-1}$

3.1

Простейшим носителем информации может являться, например, ферритовый запоминающий элемент, условно изображенный вверху. Будучи предельно (до насыщения) намагниченным, он хранит информацию, определяемую направлением магнитного поля. Соответственно одному из двух возможных состояний ферритового элемента (+ или -), эта информация может отображать одно из чисел (например, 1 или 0), либо заключаться в ответе «да» или «нет» на любой заранее предусмотренный вопрос. Поскольку ответ при этом может быть единственным, то информация, хранимая в подобном элементе памяти, принята за единицу информации (бит). Информационная емкость, или объем памяти носителей информации, является их важной характеристикой. Как видно из второго столбца, по этому показателю человеческая память находится вне конкуренции. Однако по быстрдействию, определяемому временем обращения (запоминания или вылуч) информации, технические запоминающие устройства могут намного опережать человека

сведений, сообщений об окружающем нас мире (включая, конечно, и мир самого человека).

Информация может храниться и передаваться от одного объекта к другому. Хранителями (носителями) информации могут быть объекты как живой, так и неживой природы: желудь и книга, мозг человека и запоминающее устройство вычислительной машины. Обмениваться информацией может и желудь с дубом, и ЭВМ с ЭВМ, и человек с ЭВМ.

Что же позволяет столь разнообразным объектам не только хранить, но и обмениваться информацией между собой? Сигналы. И будущему радионинженеру первое знакомство со своей специальностью уместно начать именно с сигналов. Сигналом можно на-

звать состояние физического объекта или процесс в физическом объекте, которые отображают информацию. Например, сигналами являются такие состояния физического объекта, как степень намагниченности различных участков магнитофонной ленты и яркость свечения отдельных точек телевизионного экрана. Сигналами являются также электрические колебания, возникающие в съемной головке магнитофона при движении магнитной ленты, акустические колебания воздуха, возбуждаемые звуковоспроизводящим устройством магнитофона, и радиосигналы изображения, принимаемые телевизором.

В радиотехнике используются преимущественно электрические сигналы, т. е. электрические процессы (изменения напряжений и токов), отображающие информацию, и электромагнитные сигналы, т. е. процессы в электромагнитном поле, отображающие информацию.

Любые сигналы имеют некоторые общие свойства. К таким общим свойствам относятся *информативность* и *структурные свойства сигналов*.

Если студенту сообщить, что футболом называется спортивная игра, то вероятней всего он пожмет плечами: мол, это сообщение не является для него новостью, для него оно не содержит никакой информации. Но тот же студент будет благодарен за ценную информацию, получив сообщение, что его любимая футбольная команда выиграла встречу со счетом 5 : 1.

Таким образом, ценность информации и соответственно информативность сигнала определяются степенью новизны сообщения. Сигналы, которые не несут адресу новой информации, не обладают для него информативностью.

Информация, заключенная в сигнале, отображается законом его изменения во времени $u(t)$. Если этот закон известен, предопределен заранее, то сигнал называется *детерминированным* (от лат. *determinatio* — определение). Примером такого сигнала является косинусоидальное колебание, описываемое функцией

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \psi). \quad (1)$$

Для детерминированных сигналов заранее известно значение $u(t)$ в любой момент времени t при заданных значениях амплитуды U_m , круговой частоты ω и началь-

ной фазы φ . (Напомним, что $\omega = 2\pi f$, $f = 1/T$ — частота колебаний, T — период колебаний.)

Если закон изменения сигнала $u(t)$ не предопределен, то неизвестно заранее, какое значение он будет иметь в тот или иной момент времени. В одном случае он может быть $u(t_1) = 1$, а $u(t_2) = 5$, и первая футбольная команда проиграла. В другом случае $u(t_1) = 5$, а $u(t_2) = 1$, и первая команда выиграла. Значения таких сигналов в различные моменты времени случайны. Поэтому их и называют *случайными*.

Информативность случайного сигнала возрастает при уменьшении вероятности сообщения, заключенного в сигнале. Например, если сильная команда сначала встречается с аутсайдером турнира, а затем играет с сильнейшим противником, причем оба раза сигнал приносит сообщение о счете 5:1 в ее пользу, то во втором случае информативность сигнала больше, чем в первом.

Не вдаваясь в более подробное рассмотрение информативных свойств сигналов, перейдем к рассмотрению их физической структуры, также определяющей общие свойства сигналов вне зависимости от их физической природы. Структурные свойства сигналов одинаковы как для случайных, так и детерминированных сигналов. Поэтому рассмотрим физическую структуру на примере более простых детерминированных сигналов.

Структура сигнала зависит, прежде всего, от способа кодирования информации, т. е. от способа ее отображения в сигнале. В соответствии с самим определением сигналов наиболее общими способами кодирования информации являются ее отображения в законе изменения какой-либо физической величины в пространстве или во времени. Эти способы могут иметь некоторые разновидности.

Любой изменяющийся во времени сигнал $u(t)$ является не только функцией времени, но и функцией некоторых параметров, с помощью которых также может кодироваться информация. Например, сигнал (1) является функцией трех параметров — амплитуды U_m , частоты ω и фазы φ .

Первый способ кодирования информации с помощью параметров сигнала используется в тех случаях, когда все эти параметры являются *постоянными величинами*, не меняющимися во времени. Например, если в бесконечном временном интервале $-\infty \leq t \leq \infty$ сигнал (1)

имеет постоянные параметры $U_m = U_{m0} = \text{const}$, $\omega = \omega_0 = \text{const}$ и $\psi = \psi_0 = \text{const}$, то получаются так называемые гармонические колебания

$$u_{\omega}(t) = U_{m0} \cos(\omega_0 t + \psi_0). \quad (2)$$

В таком сигнале информация может кодироваться путем задания определенных значений того или иного фиксированного параметра, причем различным значениям этого параметра будет соответствовать различная информация. Например, если воспользоваться двумя гармоническими колебаниями (2) с разными частотами $\omega_0 = \omega_{01}$ и $\omega_0 = \omega_{02}$, то именно эти значения частот могут отобразить нужную информацию, скажем, счет 5:1 во встрече двух футбольных команд. При этом передача третьего сигнала (2) с частотой $\omega_0 = \omega_{03}$ может означать, что ваша команда выиграла, а четвертый сигнал (2) с частотой $\omega_0 = \omega_{04}$ будет означать, что победила команда противника.

Разумеется, описанный способ отображения информации не исключает кодирования путем использования другой временной зависимости $u(t)$. Например, сообщение о победе противника может кодироваться передачей гармонических колебаний (2), а колебаний другой формы — треугольной, прямоугольной и т. д. Но в рамках описанного способа кодирования информации эти другие колебания также должны иметь определенные фиксированные значения параметров, например амплитуды, периода и др.

По второму способу кодирование информации с помощью параметров сигнала осуществляют изменением во времени какого-либо из этих параметров по заданному закону изменения некоторого сигнала $u_1(t)$, который и отображает закодированную информацию. Такое изменение во времени некоторого параметра сигнала называется *модуляцией сигнала* по этому параметру, или, коротко, модуляцией. При этом изменяемый параметр называется модулируемым параметром, сигнал с модулируемым параметром — модулированным сигналом, а сигнал $u_1(t)$ — модулирующим сигналом. Если модулирующий сигнал используется непосредственно для изменения (управления) модулирующего параметра, то этот сигнал называют управляющим (как осуществляют такое управление, об этом речь впереди).

Примером модулированных сигналов являются те же

косинусоидальные колебания (1), у которых меняется во времени один из параметров. Пусть таким параметром будет амплитуда $U_m = U_m(t)$ при $\omega = \omega_0$ и $\psi = \psi_0$. При этом модуляция называется амплитудной, а сам сигнал — амплитудно-модулированным, или АМ-сигналом. Подставив указанные значения параметров в соотношение (1), получим выражение для АМ-сигнала:

$$u(t) = U_m(t) \cos(\omega_0 t + \psi_0). \quad (3)$$

В отличие от сигнала (3) сигнал (2) называется немодулированным. Таким образом, в зависимости от способа кодирования информации все сигналы по своей структуре подразделяются на немодулированные и модулированные. Модулированные сигналы в радиотехнике называют также радиосигналами. Немодулированные сигналы используются обычно в качестве модулирующих (управляющих) сигналов. Это не исключает, однако, возможности применения каких-либо модулированных сигналов в качестве управляющих сигналов при модуляции другого сигнала.

При заданном управляющем сигнале $u_1(t)$ амплитуда АМ-сигнала должна изменяться пропорционально $u_1(t)$:

$$U_m = U_m(t) = U_{m0} + \alpha u_1(t), \quad (4)$$

где α — некоторый постоянный коэффициент пропорциональности; U_{m0} — первоначальное значение амплитуды, которое получается при отсутствии модуляции, т. е. при $\alpha = 0$ или $u_1(t) = 0$.

В косинусоидальных колебаниях (1) по закону управляющего сигнала $u_2(t)$ можно менять не амплитуду, а частоту или начальную фазу:

$$\begin{aligned} \omega &= \omega(t) = \omega_0 + \alpha_\omega u_2(t), \\ \psi &= \psi(t) = \psi_0 + \alpha_\psi u_2(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где α_ω и α_ψ — некоторые размерные коэффициенты пропорциональности.

Получаемые при этом модулированные сигналы называются соответственно частотно-модулированными и фазо-модулированными, или ЧМ-сигналами и ФМ-сигналами. При рассматриваемом способе кодирования информации немодулированный сигнал (2) не отображает информации. Он начинает отображать (переносить) информацию в результате модуляции, когда сигнал (2) превращается в модулированный сигнал, в

АМ-сигнал (3). Поэтому сигнал (2) называется несущим сигналом для модулированного сигнала (3).

Для уяснения структуры АМ-сигнала на рис. 3.2 показан некоторый произвольный управляющий сигнал $u_{\Omega}(t)$, несущий сигнал (2), амплитуда (4) модулированного сигнала и сам модулированный сигнал (3) с его огибающими $U_m(t)$ и $-U_m(t)$.

Эти огибающие проведены до некоторой степени условно. Например, прямоугольный выступ верхней огибающей $U_m(t)$ мог бы быть изображен и с меньшей длительностью. Этот выступ мог бы иметь даже другую форму — трапецевидную и др. Такая неопределенность в форме огибающих возникла вследствие недостаточности высокой частоты несущего сигнала (2). Нетрудно видеть, что при увеличении частоты ω_0 раз в сто неопределенность в форме огибающих практически была бы устранена.

Сказанное означает, что при модуляции несущий сигнал должен иметь достаточно высокую частоту, чтобы закон модуляции повторял закон изменения управляющего сигнала. В противном случае информация, заложенная в управляющем сигнале, будет искажена.

Это требование к частоте несущего сигнала может быть конкретизировано, если задаться определенным управляющим сигналом. Рассмотрим, например, гармонический управляющий сигнал

$$u_{\Omega}(t) = U_{m\Omega} \cos \Omega t \quad (6)$$

с амплитудой $U_{m\Omega}$ и частотой $F = \Omega/2\pi$.

В этом случае, чтобы не исказить информацию при амплитудной модуляции, частота несущего сигнала $f_0 = \omega_0/2\pi$ должна удовлетворять условию

$$f_0 \gg F. \quad (7)$$

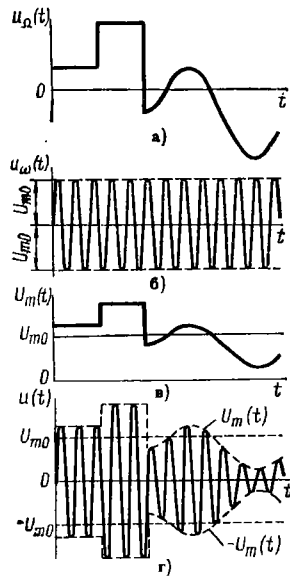
При частоте F порядка сотен и тысяч герц частота f_0 должна иметь значение в сотни килогерц и выше.

При амплитудной модуляции информация, заложенная в управляющем сигнале, может исказиться не только при нарушении условия (7). Покажем это на примере того же управляющего сигнала (6).

Из соотношений (6) и (4) находим амплитуду

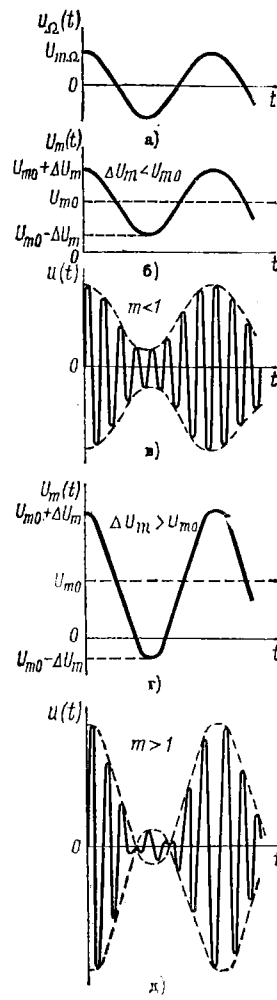
$$U_m(t) = U_{m0} + \Delta U_m \cos \Omega t, \quad (8)$$

где $\Delta U_m = a U_{m\Omega}$ — максимальное изменение амплитуды при гармонической амплитудной модуляции.



3.2

При графическом изображении АМ-сигнала полезно предварительно нарисовать пунктирные линии $U_m(t)$ и $-U_m(t)$, ограничивающие амплитуду сигнала $u(t)$ сверху и снизу. Эти линии называются огибающими АМ-сигнала. Верхняя и нижняя огибающие, повторяя форму управляющего сигнала, являются симметричными, поскольку амплитуда АМ-сигнала одновременно увеличивается или уменьшается и сверху, и снизу



3.3

Из этого рисунка видно, что при $m \leq 1$ огибающие АМ-сигнала повторяют форму управляющего сигнала. Если же $m > 1$, то амплитуда АМ-сигнала в отдельные интервалы времени становится отрицательной. Это явление называется перемодуляцией. При перемодуляции изменение амплитуды АМ-сигнала не повторяет закона изменения управляющего сигнала, т. е. происходит искажение закона модуляции и, следовательно, нарушение информации

Из соотношений (8) и (3) получаем выражение для АМ-сигнала при гармонической модуляции

$$u(t) = U_{m0} (1 + m \cos \Omega t) \cos (\omega_0 t + \psi_0). \quad (9)$$

Введенная здесь величина

$$m = \Delta U_m / U_{m0} \quad (10)$$

называется коэффициентом модуляции или глубиной модуляции.

Сигнал (6), амплитуда (8) и АМ-сигнал (9) показаны на рис. 3.3. На рис. 3.3, б, в принято $\Delta U_m < U_{m0}$ ($m < 1$), а на рис. 3.3, г, д — $\Delta U_m > U_{m0}$ ($m > 1$). Из рис. 3.3 и выражения (10) видно, что минимальное значение коэффициента модуляции ($m = 0$) соответствует отсутствию модуляции. Максимальное же его значение не должно превышать единицы ($m \leq 1$), чтобы в процессе модуляции не нарушилась информация.

Рассмотрим еще одно важнейшее структурное свойство сигналов: их сложный состав. Это свойство проявляется в том, что любой сигнал является суммой других сигналов.

Например, сигнал $u(t) = U_m \cos^2 \omega t$ представляет собой сумму постоянного напряжения U_0 и гармонических колебаний:

$$u(t) = U_m \cos^2 \omega t = U_0 + (U_m/2) \cos 2\omega t, \quad (11)$$

где $U_0 = U_m/2$ — постоянное напряжение.

Аналогично можно показать сложный состав модулированных сигналов на примере АМ-сигнала. Для этого преобразуем выражение (9), записав его следующим образом:

$$u(t) = U_{m0} \cos (\omega_0 t + \psi_0) + m U_{m0} \cos (\omega_0 t + \psi_0) \cos \Omega t.$$

Преобразуя произведение косинусов, получим:

$$u(t) = U_{m0} \cos (\omega_0 t + \psi_0) + \frac{m}{2} U_{m0} \cos [(\omega_0 - \Omega) t + \psi_0] + \frac{m}{2} U_{m0} \cos [(\omega_0 + \Omega) t + \psi_0]. \quad (12)$$

Таким образом, АМ-сигнал представляется в виде суммы трех гармонических колебаний с частотами ω_0 , $\omega_0 - \Omega$ и $\omega_0 + \Omega$.

Совокупность гармонических колебаний разных частот, образующих в сумме сигнал, называется *спектром*

этого сигнала, а сами колебания — спектральными или гармоническими составляющими сигнала. Спектральной составляющей является также и постоянная составляющая, которую можно рассматривать как предельный случай гармонических колебаний с нулевой частотой:

$$U_0 = U_0 \cos 0 \cdot t.$$

Таким образом, спектр сигнала (11) состоит из постоянной составляющей U_0 и гармонических колебаний с частотой 2ω .

В спектре АМ-сигнала, как видно из соотношения (12), колебания с частотой Ω управляющего сигнала вообще отсутствуют. В этом спектре есть составляющая с частотой несущего сигнала ω_0 . Как отмечалось, несущие колебания (2) информации не отображают. Поэтому информация, заключенная в АМ-сигнале, отображается возникающими при модуляции составляющими с частотами $\omega_n = \omega_0 - \Omega$ и $\omega_n = \omega_0 + \Omega$. Первая из этих частот является более низкой, а вторая — более высокой по сравнению с ω_0 . Частоты ω_n и ω_n , располагающиеся симметрично (по бокам) относительно частоты ω_0 , называются соответственно нижней и верхней боковыми частотами. Сами же спектральные составляющие с этими частотами называются соответственно нижней и верхней боковыми составляющими.

На существование боковых составляющих в спектре АМ-сигнала впервые обратил внимание в 1916 г. инженер (впоследствии академик) М. В. Шулейкин.

Обе боковые составляющие несут одинаковую информацию об управляющем сигнале, поскольку они имеют одинаковые амплитуды $mU_{m0}/2 = \Delta U_m/2 = (a/2) U_m$ и отстоят от несущей на одну и ту же величину Ω , равную частоте модуляции. Поэтому с точки зрения передачи информации одна из этих составляющих является избыточной.

Итак, любые сигналы — немодулированные и модулированные — могут быть представлены в виде суммы гармонических составляющих. В предельном случае гармо-



Один из крупнейших советских радиотехников академик М. В. Шулейкин (1884—1939)

нического сигнала его спектр состоит из одной спектральной составляющей. В общем же случае спектр сигнала занимает некоторую полосу частот от f_{\min} до f_{\max} . Ширина диапазона частот, занимаемого спектром сигнала, называется шириной спектра $\Delta F_c = f_{\max} - f_{\min}$.

Согласно выражению (12) при гармонической модуляции в спектре АМ-сигнала $f_{\min} = f_0 - F$, $f_{\max} = f_0 + F$, и ширина такого спектра $\Delta F_c = 2F$, где F — частота модуляции. Если управляющий сигнал не гармонический, а сложный, то его спектр занимает полосу частот от F_{\min} до F_{\max} . В этом случае спектр АМ-сигнала имеет, очевидно, две боковые полосы частот: нижнюю боковую полосу от $f_0 - F_{\max}$ до $f_0 - F_{\min}$ и верхнюю боковую полосу от $f_0 + F_{\min}$ до $f_0 + F_{\max}$.

При этом ширина спектра АМ-сигнала получается равной

$$\Delta F_c = 2F_{\max}. \quad (13)$$

С точки зрения передачи информации достаточно иметь одну боковую составляющую. Применительно к сложному управляющему сигналу это означает, что информацию можно сохранить, ограничившись передачей одной боковой полосы частот. Спектр АМ-сигнала при такой передаче (системе ОБП) сужается вдвое по сравнению со значением (13).

При сложном управляющем сигнале, спектр которого занимает полосу частот $F_{\min} \dots F_{\max}$, соотношение (7) между несущей частотой и частотой модуляции, необходимое для предотвращения искажений закона модуляции, следует переписать в следующем виде:

$$f_0 \gg F_{\max}. \quad (14)$$

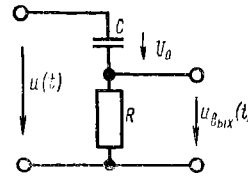
Заканчивая простейшее рассмотрение спектров сигналов, следует ответить на вопрос, насколько реально их существование. Не является ли спектральное представление сигнала лишь математической абстракцией, поскольку сигнал может быть разложен не только на гармонические составляющие и притом бесчисленным множеством способов?

Физическое существование спектра сложных сигналов, состоящего из гармонических составляющих, зависит от свойств физической системы, с которой взаимодействуют эти сигналы. Существуют физические системы, способные выделять гармонические составляющие.

В ходе взаимодействия с такими системами сложного сигнала его гармонические составляющие реально существуют, как это показано для сигнала (11) на рис. 3.4.

Аналогичное явление наблюдается и в случае более сложных сигналов. Проиллюстрируем это утверждение на примере с качелями. Если качели раскачивать периодически толчками, то качели совершают гармонические колебания. Эти колебания являются, по существу, выходным сигналом в физической системе — качелях. Входным же сигналом в этой системе являются толчки, т. е. импульсный сигнал сложной формы. Как и любой сложный сигнал, этот входной сигнал имеет спектр, состоящий из множества гармонических составляющих с разными частотами. Физическая же система — качели — выделяет из этого сложного сигнала одну гармоническую составляющую.

Реальное существование в определенных условиях гармонических спектральных составляющих сложных сигналов имеет важное практическое значение. Если, например, устройство, на входе которого действует АМ-сигнал (9) со спектром (12), не пропускает колебаний с боковыми частотами $\omega_0 \pm \Omega$, то на выходе этого устройства получатся гармонические (немодулированные) колебания (2) с частотой ω_0 и постоянной амплитудой U_{m0} . При этом выходной сигнал не совпадает по форме с входным сигналом и теряется информация, отображаемая законом изменения амплитуды, т. е. информация, переносимая боковыми составляющими АМ-сигнала. Таким образом, чтобы сигнал не изменялся по форме, радиотехнические устройства должны пропускать весь спектр сигнала.



3.4

Если сигнал (11) подвести к электрической цепи, состоящей из резистора R и конденсатора C , как это показано на рисунке, то выходной сигнал $u_{\text{вых}}(t)$ будет содержать только гармоническую составляющую с частотой 2ω , а постоянная составляющая в нем будет отсутствовать. Действительно, постоянный ток в цепи, содержащей конденсатор, протекать не будет. Поскольку же при этом постоянный ток не течет и через сопротивление R , то на нем и постоянное напряжение равно нулю, как это следует из закона Ома. Таким образом, при взаимодействии сложного сигнала (11) с RC -цепью происходит разделение его спектральных составляющих, которые в этом случае реально существуют на разных элементах

Изменения сигналов

При прохождении через радиотехнические устройства сигналы неизбежно претерпевают различные изменения. Эти изменения могут производиться целенаправленно в ходе обработки сигналов в канале связи. Возможны и вынужденные изменения сигналов, обусловленные свойствами этого канала.

При тех или иных изменениях вместо сигнала $u_{\text{вх}} = u(t)$, действующего на входе устройства, на его выходе получается сигнал $u_{\text{вых}} = u'(t) \neq u(t)$. При этом соответственно меняется и спектр сигнала [здесь через $u'(t)$ обозначен сигнал произвольной формы, отличной от формы сигнала $u(t)$].

Возможны два различных вида изменения спектров. При одних изменениях сигнала, называемых нелинейными, в составе спектра появляются гармонические составляющие с новыми частотами, которых не было на входе устройства (при этом, разумеется, имеется в виду, что внутри самого устройства отсутствуют источники каких-либо колебаний). В другом случае, когда в составе спектра не появляются гармонические составляющие с новыми частотами, изменения сигнала называются линейными.

Типичным примером нелинейных изменений сигнала является изменение формы гармонических колебаний. Пусть гармонические колебания, изменившись по форме, превратились, например, в прямоугольные колебания. Эти новые колебания, как и любой сигнал сложной формы, могут быть представлены в виде суммы гармонических колебаний разных частот. Таким образом, в составе спектра измененного сигнала появились гармонические составляющие с новыми частотами, что и означает нелинейные изменения сигнала.

В случае линейных изменений сигнала могут изменяться амплитуды и начальные фазы его гармонических составляющих. Очевидно, что при таких изменениях спектра в его составе не появляются составляющие с новыми частотами. Как линейные, так и нелинейные изменения сигнала в канале связи обусловлены свойствами физических систем, из которых образован связной тракт.

Выше уже отмечалось, что изменения сигналов могут привести к нарушению закодированной в них инфор-



3.5

Линейные искажения сигнала могут быть вызваны относительным изменением амплитуд гармонических составляющих сигнала. Гармонические составляющие (G) выходного сигнала $u'(t)$ изменены по амплитуде относительно тех же составляющих (a) входного сигнала $u(t)$. При этом формы выходного и входного сигналов оказываются различными. Это различие приводит к нарушению информации, поскольку она отображается формой сигнала, и означает амплитудно-частотные искажения сигнала

3.6

Линейные искажения сигнала могут быть обусловлены также фазовыми сдвигами его гармонических составляющих. Здесь показано изменение формы выходного сигнала $u'(t)$ по отношению к входному $u(t)$, обусловленное изменением начальной фазы спектральной составляющей с периодом $T_2 = T_1/2$ при неизменных амплитудах обеих составляющих. Это изменение формы сигнала означает его фазовые искажения

мации. Такие изменения называются искажениями сигнала. Соответственно виду изменений сигналов их искажения могут быть линейными и нелинейными.

Примером нелинейных искажений может служить ранее описанное изменение формы гармонических колебаний, которая отображает информацию. Изменение формы, сопровождаемое появлением гармонических составляющих с новыми частотами, приводит к нарушению информации, т. е. к нелинейным искажениям. В частности, рассмотренная выше перемодуляция АМ-сигнала также означает его нелинейные искажения.

Если на сигнал воздействуют помехи, т. е. к сигналу добавляются посторонние колебания, то сигнал также претерпевает искажения. Если помеха содержит составляющие с новыми частотами, отсутствующими в спектре сигнала, такие искажения тоже являются нелинейными.

Линейные искажения сигналов по своей природе могут происходить как за счет изменения амплитуд, так

и за счет изменения начальных фаз гармонических составляющих. Линейные искажения сигналов, вызванные изменением амплитуд гармонических составляющих разных частот, называются амплитудно-частотными, или частотными, искажениями.

Последнее название более распространено, хотя и является менее удачным. Необходимо подчеркнуть, что термин «частотные искажения» не означает изменения частоты сигнала. Возникновение частотных искажений сигнала показано на рис. 3.5.

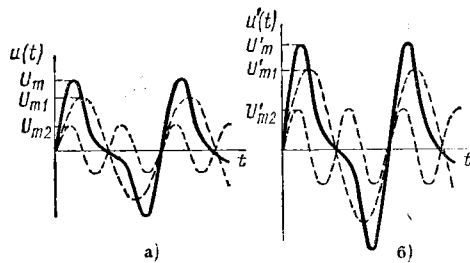
Изменение амплитуд гармонических составляющих в некотором устройстве характеризуют параметром $K = U_{m \text{ вых}} / U_{m \text{ вх}}$, называемым коэффициентом передачи этого устройства. Так как амплитуды спектральных составляющих разных частот могут изменяться неодинаково, то коэффициент передачи является функцией частоты: $K = K(\omega)$. График этой частотной зависимости называется амплитудно-частотной, или частотной, характеристикой устройства. По виду частотной характеристики можно судить о возможных частотных искажениях сигнала.

Второй вид линейных искажений сигнала обусловлен изменением начальных фаз его спектральных составляющих разных частот. Эти искажения называются фазо-частотными, или фазовыми, искажениями (рис. 3.6).

Если в некотором устройстве та или иная спектральная составляющая сигнала $u_{\text{вх}}(t) = U_m \cos(\omega t + \psi_{\text{вх}})$ изменилась по фазе, приняв значение $u_{\text{вых}}(t) = U_m \cos(\omega t + \psi_{\text{вых}})$, то изменение начальной фазы характеризуют параметром $\theta = \psi_{\text{вых}} - \psi_{\text{вх}}$, называемым фазой этого устройства. Фаза θ показывает фазовый сдвиг колебаний, возникающий в устройстве на частоте ω . Поскольку фазовые сдвиги спектральных составляющих разных частот могут быть неодинаковыми, то фаза устройства является функцией частоты: $\theta = \theta(\omega)$. График этой частотной зависимости называется фазо-частотной, или фазовой, характеристикой устройства. По виду фазовой характеристики можно судить не только о фазовых сдвигах на разных частотах, но и о фазовых искажениях сигнала.

В общем случае линейные искажения бывают обусловлены одновременным изменением и амплитуд, и начальных фаз спектральных составляющих.

В результате воздействия помех сигналы претерпе-



3.7

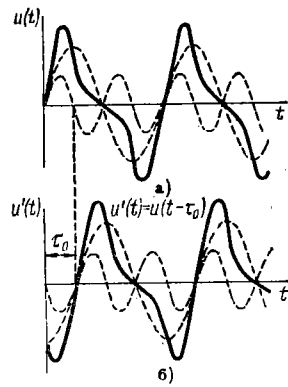
Примером линейного преобразования сигнала $u(t)$ может служить сигнал $u'(t)$, спектральные составляющие которого отличаются от составляющих входного сигнала в K раз. Такое преобразование осуществляют зачастую специально (например, при усилении), но иногда оно является вынужденным (например, при затухании сигнала в канале связи, когда его амплитуда уменьшается, а не увеличивается).

вают не только нелинейные, но и линейные искажения. Помехи приводят также и к другим вредным последствиям, которые нам еще предстоит рассмотреть.

Линейные и нелинейные изменения сигналов не обязательно влекут за собой нарушение заключенной в них информации. Такие изменения не являются искажениями и называются соответственно линейными и нелинейными преобразованиями сигналов.

В большинстве случаев преобразования сигналов осуществляют целенаправленно. Примером целенаправленного нелинейного преобразования сигнала может служить модуляция. Например, при амплитудной модуляции на входе модулирующего устройства действуют в частном случае колебания с частотами f_0 и F , а на выходе получаются колебания с частотами f_0 и $f_0 \pm F$. Таким образом, в составе спектра преобразованного сигнала появляются гармонические составляющие с новыми частотами. Однако информация при таком преобразовании сигнала сохраняется неизменной, хотя она и отображается различным образом в управляющем и модулированном сигналах. Поэтому модуляцию следует отнести к нелинейным преобразованиям сигнала.

Типичным примером линейных преобразований сигнала является изменение его амплитуды: $u'(t) = Ku(t)$, где K — некоторый постоянный коэффициент. При этом, очевидно, форма сигнала не меняется и заключенная в нем информация не нарушается. Следовательно, поскольку при неизменной форме сигнала состав его спектра не меняется, такое изменение сигнала является линейным преобразованием (рис. 3.7).



3.8

Линейное преобразование сигнала, связанное с его сдвигом во времени, может быть вынужденным. Как, например, при запаздывании сигнала в канале связи за счет конечной скорости распространения электромагнитных волн. В ряде случаев такое запаздывание создается специально в устройствах для обработки сигналов с помощью так называемых линий задержки.

ет отнести к категории линейных преобразований сигнала.

Согласно выражению (15) сдвиг во времени гармонических колебаний (1) означает изменение начальной фазы этих колебаний:

$$u'(t) = U_m \cos[\omega(t + \tau) + \psi] = U_m \cos(\omega t + \psi + \theta),$$

где

$$\theta = \omega\tau \quad (16)$$

и есть изменение начальной фазы, называемое сдвигом фаз или фазовым сдвигом (рис. 3.8).

Качество воспроизведения сигналов

При всех многообразных превращениях сигналов, поступивших в тракт передачи, при любой их обработке — модуляции, усилении и т. д. — на выходе канала связи сигналы должны сохранить неизменной содержа-

Другой пример линейного преобразования сигнала — сдвиг сигнала во времени на некоторую величину τ . Связь между входным сигналом $u(t)$ и сдвинутым во времени сигналом $u'(t)$ определяется путем простой замены аргумента функции:

$$u'(t) = u(t + \tau). \quad (15)$$

При запаздывающем выходном сигнале, когда $\tau = -\tau_0 < 0$, выражение (15) принимает следующий вид:

$$u'(t) = u(t - \tau_0). \quad (15')$$

Поскольку выходные сигналы (15) и (15') описываются той же функцией u , что и входной сигнал $u(t)$, то их форма остается неизменной, что означает сохранение информации и спектрального состава сигнала. Поэтому временной сдвиг сигнала следу-

щуюся в них информацию. Это и означает высокое качество воспроизведения сигналов.

Но сохранение информации в ходе ее передачи означает отсутствие искажений сигналов. Чтобы в канале связи отсутствовали искажения сигналов, все элементы этого канала должны отвечать определенным требованиям. Даже декоративный кусок ткани, прикрывающий акустическую систему радиоприемника, должен обладать специфическими свойствами: он должен быть звуко-воздухопроницаемым, причем эта ткань, называемая акустической воздухопроницаемой (АВП), должна не только хорошо, но и равномерно пропускать звуки в определенном диапазоне частот, иначе появятся частотные искажения сигналов.

Выясним, при каких условиях отсутствуют нелинейные и линейные искажения сигналов. Условия отсутствия нелинейных искажений при нелинейных преобразованиях сигналов определяются самим целевым назначением преобразования. Например, при осуществлении модуляции в некотором устройстве, называемом модулятором, должны быть получены сигналы с параметрами (4) или (5). Эти характеристики модулятора, показывающие связь модулируемого параметра с управляющим напряжением, называются модуляционными характеристиками. Таким образом, может быть сформулировано следующее требование: чтобы при модуляции отсутствовали нелинейные искажения, модуляционные характеристики должны быть линейными, т. е. должны соблюдаться условия $\alpha = \text{const}$, $\alpha_{\omega} = \text{const}$, $\alpha_{\phi} = \text{const}$. Кроме того, модулятор должен работать в таком режиме, чтобы не возникла перемодуляция, приводящая к нелинейным искажениям закона модуляции. Аналогичные требования к характеристикам и режиму работы соответствующих устройств предъявляются и при других видах нелинейных преобразований.

Если в некотором устройстве нелинейные искажения все-таки возникают, то надо оценивать их количественно, чтобы можно было судить о допустимости таких искажений. О величине нелинейных искажений можно судить по степени изменения формы гармонических колебаний в этом устройстве.

Хорошее представление о степени нарушения формы гармонических колебаний дает сравнение мощности P_0 этих колебаний, имеющих частоту ω_0 , с суммарной мощ-

ностью $P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ всех гармонических колебаний с частотами $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, возникших при нелинейных искажениях. Коэффициент

$$k_f = \sqrt{P/P_0} = \sqrt{(P_1 + P_2 + \dots + P_n)/P_0} \quad (17)$$

называется коэффициентом нелинейных искажений.

Как показывают экспериментальные исследования, качество воспроизведения, например, речевых сигналов можно считать высоким, если коэффициент нелинейных искажений не превышает 0,01, или 1 %.

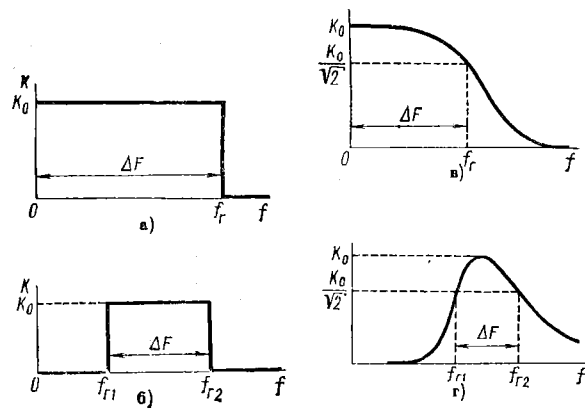
Рассмотрим теперь частотные искажения сигналов. Из приведенного выше примера (см. рис. 3.6) видно, что эти искажения отсутствуют, если все спектральные составляющие сигнала изменяются по амплитуде одинаково. Таким образом, условием отсутствия частотных искажений сигнала в некотором устройстве является постоянство (независимость от частоты) коэффициента передачи этого устройства:

$$K(\omega) = K_0 = \text{const.}$$

Очевидно, это условие должно соблюдаться лишь в том диапазоне частот $f_{\text{min}} \dots f_{\text{max}}$, в котором располагаются спектральные составляющие сигнала. На остальных же частотах, где присутствуют только помехи, желательно иметь коэффициент передачи, равный нулю. При этом помехи полностью подавлялись бы.

Способность устройства выделять полезный сигнал и подавлять помехи называется избирательностью, или селективностью этого устройства (от лат. *selectio* — выбор, отбор). Сам же процесс выделения полезного сигнала и подавления помех называется селекцией сигнала или фильтрацией помех. Устройства, обладающие селективными свойствами, называются селективными устройствами или фильтрами. Таким образом, если исходить как из условия отсутствия частотных искажений, так и из требования высокой селективности, частотным характеристикам следует придать форму, показанную на рис. 3.9, а, б.

Такие характеристики называются идеальными, или прямоугольными, частотными характеристиками. Устройства с такими характеристиками называются идеальными фильтрами. В идеальных фильтрах полоса частот ΔF называется полосой пропускания, а частоты $f_{г1}, f_{г2}$ — граничными частотами полосы пропускания.



3.9

Если бы при изменении частоты коэффициент передачи устройств мог меняться скачкообразно, получались бы фильтры (а и б) с идеальными характеристиками. Однако в реальных устройствах коэффициент передачи меняется плавно при изменении частоты. Поэтому характеристики реальных фильтров (а и г) далеки от идеальных

Фильтр, пропускающий колебания с частотами от 0 до f_r (рис. 3.9, а), называется фильтром нижних частот (ФНЧ). Он предназначен для селекции управляющих (например, речевых) сигналов. Фильтр, пропускающий колебания в полосе частот от $f_{r1} \neq 0$ до $f_{r2} < \infty$ (рис. 3.9, б), называется полосовым фильтром (ПФ). Он предназначен для селекции модулированных сигналов.

Реальные фильтры не могут иметь идеальных характеристик, показанных на рис. 3.9. Но в реальных устройствах возможны характеристики, подобные тем, которые изображены на рис. 3.9, в, г. Такие устройства могут использоваться в качестве реальных фильтров: ФНЧ с характеристикой, показанной на рис. 3.9, в, и ПФ с характеристикой, показанной на рис. 3.9, г.

В устройствах с реальными частотными характеристиками сигналы претерпевают частотные искажения. Поэтому для реальных фильтров полоса пропускания определяется как такая полоса частот, в которой должен располагаться спектр сигнала, чтобы его частотные искажения не превышали допустимой величины. Экспериментальные исследования слухового восприятия речевых сигналов, например, показывают, что качество воспроизведения сигналов можно считать высоким, если при их частотных искажениях спектральные составляющие

щие изменяются по мощности относительно друг друга не больше чем в два раза. Поскольку коэффициент передачи показывает, во сколько раз изменяются амплитуды напряжения спектральных составляющих, а мощность гармонических колебаний пропорциональна квадрату амплитуды напряжения, то можно допустить изменение коэффициента передачи в полосе пропускания не больше чем в $\sqrt{2}$ раз.

Поэтому количественно полоса пропускания ΔF (рис. 3.9) определяется как полоса частот, в которой коэффициент передачи $K(\omega)$ уменьшается не более чем в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с максимальным значением K_0 :

$$K_r = K_0 / \sqrt{2}. \quad (18)$$

К частотным характеристикам полосовых фильтров, осуществляющих селекцию АМ-сигналов, следует предъявить еще одно требование. Из выражения (12) видно, что спектр АМ-сигнала является симметричным: боковые составляющие не только симметрично расположены относительно несущей, но и имеют одинаковые амплитуды. В полосовом фильтре максимальный коэффициент передачи K_0 (рис. 3.9, *г*) должен быть на несущей частоте f_0 . При этом, чтобы АМ-сигнал не искажался дополнительно за счет нарушения симметрии его спектра, боковые составляющие на выходе фильтра должны оставаться одинаковыми. Это означает, что должны быть одинаковыми коэффициенты передачи фильтра на симметрично расположенных боковых частотах.

Таким образом, чтобы АМ-сигналы не претерпевали дополнительных искажений в некотором устройстве, его частотная характеристика в полосе пропускания должна быть четно симметричной относительно несущей частоты сигнала:

$$K(-\Delta f) = K(\Delta f), \quad (19)$$

где $\Delta f = f - f_0$ — расстройка относительно частоты f_0 .

Характеристика на рис. 3.9, *г* явно не удовлетворяет этому условию симметрии. Характеристика, удовлетворяющая условиям (19) и (18), показана на рис. 3.10, *а*, где значения K отложены в логарифмическом масштабе, как это описано выше (с. 118).

Рассмотрим теперь фазовые искажения сигналов. Из приведенного выше примера (см. рис. 3.8) видно,

что при фазовых сдвигах, обуславливающих фазовые искажения, сигнал может и не измениться по форме, а лишь запаздывать по времени на некоторую величину τ_0 согласно выражению (15'). Для этого, очевидно, должен быть одинаковым временной сдвиг всех спектральных составляющих, определяемый из соотношения (16):

$$\tau = \theta/\omega = -\tau_0 = \text{const}, \quad (20)$$

где τ_0 — время запаздывания сигнала.

Условие (20) может быть переписано в виде требования к фазовой характеристике $\theta(\omega)$, при соблюдении которого отсутствуют фазовые искажения:

$$\theta(\omega) = -\tau_0\omega. \quad (21)$$

Это условие означает, что в некотором устройстве фазовые искажения сигнала отсутствуют, если фазовая характеристика этого устройства является прямой линией, проходящей через начало координат. Очевидно, достаточно, чтобы это условие выполнялось в пределах полосы пропускания устройства.

В реальных устройствах фазовые характеристики не являются линейными, т. е. условие (21) не выполняется. Как установлено экспериментально, получающиеся при этом фазовые искажения не приводят к существенному ухудшению качества воспроизведения телевизионного сигнала, например, если в полосе пропускания фазовая характеристика отклоняется в ту или иную сторону от прямой линии (21) не более, чем на величину

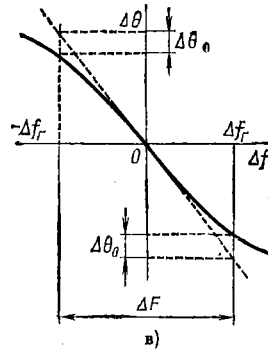
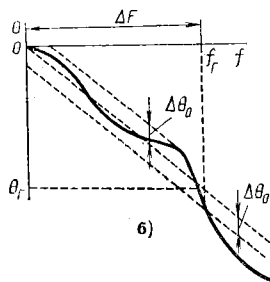
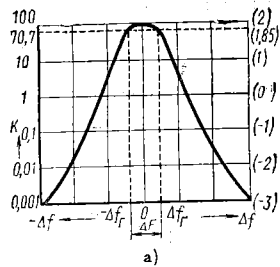
$$\Delta\theta_0 = 0,05 \text{ рад} \approx 3^\circ. \quad (22)$$

Фазовая характеристика, удовлетворяющая этому условию, показана на рис. 3.10, б.

Для отсутствия фазовых искажений модулированных сигналов условие (21) является излишне жестким. Из выражения (12) следует, что изменение фаз всех спектральных составляющих на одинаковую величину θ_n равноценно изменению на эту величину начальной фазы ψ_0 АМ-сигнала (10), закон модуляции которого при этом не претерпевает искажений. Поэтому для модулированных сигналов условие (21) должно быть изменено следующим образом:

$$\theta(\omega) = \theta_n - \tau_0\omega. \quad (23)$$

Это условие означает, что в некотором устройстве фазовые искажения закона модуляции отсутствуют, если



3.10

Для обеспечения минимальных искажений сигнала частотные и фазовые характеристики должны удовлетворять определенным требованиям. Форма таких характеристик показана на этом рисунке, где Δf_r и $-\Delta f_r$ — расстройки на границах полосы пропускания, $\Delta F = 2\Delta f_r$ — полоса пропускания, $K_0 = 100$ — максимальное значение коэффициента передачи, $K_r = 100/\sqrt{2} = 70.7$ — значение коэффициента передачи на границах полосы пропускания, f_r — значения частоты на границах полосы пропускания, θ_r — фазовый сдвиг на частоте f_r при идеальной характеристике (21), $\Delta\theta$ — относительный фазовый сдвиг по отношению к фазовому сдвигу $\Delta\theta_0$ на несущей частоте

фазовая характеристика этого устройства является произвольно ориентированной прямой линией. Условие (23) справедливо в случае обработки не только АМ-сигналов, но и любых модулированных сигналов.

Условие (23) удобно представить в другом виде. Из соотношения (23) следует, что на несущей частоте фазовый сдвиг равен $\theta(\omega_0) = \theta_0 = \theta_n - \tau\omega_0$. Учитывая при этом значения расстройки $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ и частоты $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$, из уравнения (23) находим равноценное ему выражение:

$$\Delta\theta(\omega) = -\tau_0 \Delta\omega, \quad (23')$$

где $\Delta\theta(\omega) = \theta(\omega) - \theta_0$ -- так называемый относительный фазовый сдвиг (по отношению к фазовому сдвигу θ_0 на несущей частоте).

Если реальная фазовая характеристика не удовлетворяет этому условию, то в пределах полосы пропускания она по-прежнему должна отклоняться от прямой линии (23') на величину, не превышающую значения (22). Такая фазовая характеристика показана на рис. 3.10, в.

К фазовой характеристике устройств, обрабатывающих АМ-сигнал, надо предъявить еще одно требование. Из вывода выражения (12) следует, что изменение начальной фазы управляющего сигнала (6) на величину ψ_0 приводит к изменению на эту величину начальной фазы боковых составляющих АМ-сигнала. При этом фаза верхней боковой составляющей увеличивается, а фаза нижней боковой составляющей уменьшается на величину ψ_0 . Это означает, что происходит нечетно симметричное изменение начальных фаз боковых составляющих относительно начальной фазы ψ_0 несущей составляющей.

Если относительный фазовый сдвиг $\Delta\theta$ вносится устройством, обрабатывающим АМ-сигнал, то такая нечетная симметрия фаз боковых составляющих должна сохраняться, чтобы АМ-сигнал не претерпевал дополнительных искажений закона модуляции за счет внесенной асимметрии фаз.

Таким образом, чтобы закон модуляции АМ-сигнала не претерпевал дополнительных искажений в некотором устройстве, его фазовая характеристика в полосе пропускания должна быть нечетно симметричной относительно несущей частоты сигнала:

$$\Delta\theta(-\Delta f) = -\Delta\theta(\Delta f). \quad (24)$$

Фазовая характеристика, показанная на рис. 3.10, в, удовлетворяет как условию (22), так и условию (24).

Ознакомившись с радиосигналами и требованиями, предъявляемыми к радиотехническим устройствам, можно перейти к рассмотрению самой радиотехники, где эти сигналы используются, и радиоустройств, в которых эти требования должны соблюдаться. Однако полезно ознакомиться предварительно с историей радио.

2 ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИКИ

Предыстория электросвязи

Предыстория
электросвязи
Рождение и развитие
электросвязи
Рождение
и развитие радио

Первобытное общество могло сформироваться только путем непосредственного трудового и речевого общения. Однако непосредственное речевое общение не могло удовлетворить даже пещерного человека. Человеческому обществу нужны были такие средства связи, которые позволяли бы передавать информацию на большие расстояния и в кратчайшие сроки. Этого требовало развитие производительных сил и расширение торговых и других контактов между людьми. Эти потребности возникли уже в первобытном обществе. Поэтому вся история человеческого общества неразрывно связана с историей развития средств связи.

Мы можем лишь мысленно заглянуть в глубь веков, которые не оставили нам не только письменных, но и других материальных следов, повествующих о появлении и развитии технических средств связи. На заре человечества, когда не было еще письменности, когда человек пользовался примитивными орудиями труда, необработанный камень или палка могли послужить и первыми техническими средствами связи. Удары ими по какому-нибудь



3.11

«Слушайте.

— Приамов город побежден аргосцами.

— Давно ли войско овладело городом?

— Он пал в ту ночь, что эту родила зарю.

— Какой же вестник мчался так стремительно?

— ...Огонь огню, костер костру известие передавал».

Так рассказывает древнегреческий драматург Эсхил в трагедии «Агамемнон» о том, как с помощью вестового огня было передано сообщение о падении Трои в середине XIII в. до н. э. Оптические системы связи в той или иной форме используются и в наши дни

гулкому предмету — прекрасный способ звуковой сигнализации, который можно было использовать в тех случаях, когда голоса не хватает, чтобы предупредить своего ближнего о грозящей опасности.

Звуковая сигнализация явилась, по-видимому, исторически первым техническим средством связи. Вместе со звуковой сигнализацией родилась идея кодирования передаваемой информации: частые удары — «тревога!», редкие удары — «все спокойно»...

Шли века. Совершенствовались средства звуковой сигнализации. Усложнялись способы кодирования информации. Бараба-

ны и свистки, колокола и гудки, звонки и сирены дошли и до наших дней. А кодирование звуковых сигналов настолько усовершенствовалось, что тамтамы могут передать значительную информацию не хуже газет.

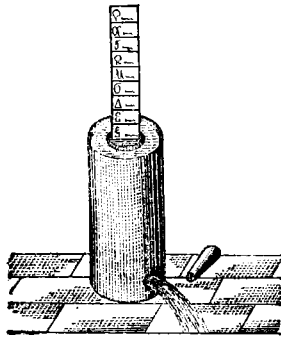
Огонь, предмет поклонения древних народов, вырвал человека не только из тьмы и холода. Огонь вырвал группы людей из их относительного одиночества. Увидеть днем дым, а ночью огонь костра можно значительно дальше, чем услышать дробь барабана. Естественно поэтому, что на смену и в дополнение к звуковой сигнализации пришла сигнализация оптическая, т. е. сигнализация, основанная на дистанционной зрительной регистрации световых сигналов.

Уже первые примитивные средства сигнализации поражали воображение людей. Неудивительно поэтому, что даже поэты не обходили вниманием технические средства связи. Древнегреческий поэт Эсхил не одну строфу посвятил вестовому огню, т. е. огню, предназначенному специально для передачи вестей. Не зная безвестного изобретателя этого чуда, Эсхил воспел самого Гефеста, бога огня, который тот «яркий свет послал». Сигнальный дым костра упомянут и древнегреческим историком Геродотом, описавшим торговлю Карфагена с Ливией в середине первого тысячелетия до н. э.: «Всякий раз, когда карфагеняне прибывают к тамошним людям, они выгружают свои товары на берег и складывают в ряд. Потом опять садятся на корабли и разводят сигнальный дым. Местные же жители, завидев дым, приходят к морю, кладут золото за товары и затем уходят».

Дальность оптической сигнализации возрастает, если сигнальный огонь поднять выше. И под сигнальные костры и факелы стали строить высокие сигнальные башни. Изображения таких башен с факелами мы находим на остатках сооружений древнего Рима.

Выдающимся достижением античной культуры явился оптический телеграф (от греч. *τῆλε*—вдаль, далеко, *γράφω*—пишу), который позволял дистанционно передавать любые тексты. Две его разновидности—водяной и факельный телеграфы—описаны древнегреческим историком Полибием.

Водяной телеграф, изобретенный Энеем Тактиком в IV в. до н. э., остроумен по замыслу. Каждая из сигнальных башен—передающая и приемная—оборудова-



3.12

Возможности древних систем связи возросли с изобретением водяного телеграфа. Передача сообщений в водяном телеграфе Энея Тактика происходила с помощью сигнального сосуда, имеющего перекрываемое выпускное отверстие в нижней части. В сосуде, заполненном водой, помещался пробковый поплавок, на котором укреплялась разграфленная линейка. В каждой ее графе находился определенный текст. Это позволило расширить количество передаваемых сообщений, хотя оно и оставалось ограниченным.

лись идентичными сигнальными сосудами (рис. 3.12), дополняющими сигнальные факелы.

Для передачи сообщения каждый сигнальный сосуд наполняли водой доверху. Сигналом вызова, оповещающим о предстоящей передаче, служил факел, зажженный на одной из башен. Наблюдатель на второй башне, заметив вызов, зажигал свой факел. По этому сигналу оба наблюдателя одновременно открывали выпускные отверстия сосудов, после чего факелы убирали. Когда на опускающейся линейке графа с нужным сообщением достигала верхнего края сосуда, первый наблюдатель сигнализировал факелом. По этому сигналу второй наблюдатель закрывал выпускное отверстие сосуда, в котором поплавок с линейкой опустился до того же уровня. Телеграмма принята!

Но та ли телеграмма будет принята, если уровень воды в сигнальных сосудах будет изменяться неодинаково? А такая ситуация возможна, например, если сосуды не строго идентичны или когда в одном из сосудов имеется утечка воды. Тут мы впервые сталкиваемся на практике сразу с двумя проблемами, которых уже касались в главе о сигналах, с проблемами, возникшими на заре техники связи, но оставшимися актуальными и в наши дни. Обе эти проблемы сводятся к сохранению информации, передаваемой по каналу связи.

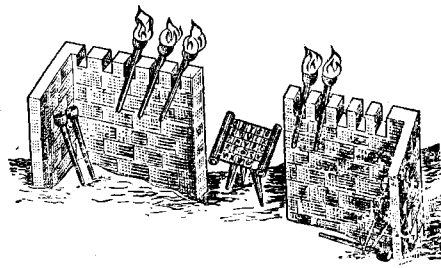
Первая проблема возникает, когда передаваемая информация нарушается за счет несовершенства самого канала связи. Это проблема предотвращения искажений сигнала, несущего информацию, тех искажений, которые

возникают при неправильных значениях параметров канала связи. Неправильные же значения параметров могут получиться и по вине инженера-исследователя, который не заметил, что скорость истечения воды из сигнальных сосудов будет разной при неодинаковой их форме, и по вине инженера-конструктора, который спроектировал сигнальный сосуд с таким быстрым истечением воды, что наблюдатель на приемной башне не успевает вовремя перекрыть выпускное отверстие, и по вине инженера-технолога, который не обеспечил повторности формы и размеров отверстий при производстве сигнальных сосудов, и по вине инженера-эксплуатационника, который, возможно, один из сигнальных сосудов установил не вертикально, а наклонно или залил в сосуд непроцеженную воду из мутной реки, вследствие чего засорилось выпускное отверстие.

Вторая проблема возникает, когда передаваемая информация нарушается за счет влияния различных помех. Это проблема обеспечения помехоустойчивости канала связи, той помехоустойчивости, которая гарантирует правильный прием телеграммы при наличии помех. Такие помехи могут возникнуть как внутри канала связи, так и вне него. Например, в водяном телеграфе помехами может явиться и утечка воды из сигнального сосуда, и посторонние факельные огни, которые сбивают с толку наблюдателей на сигнальных башнях, и дождевая вода, которая, попадая в сосуд, меняет в нем уровень воды.

Виновником низкой помехоустойчивости канала связи может быть и инженер-эксплуатационник, который не прикрыл сигнальный сосуд от дождя, и инженер-технолог, выпустивший сигнальные сосуды с трещинами, через которые утекает вода, и инженер-конструктор, который не снабдил сигнальные башни визирной трубкой для наблюдения сигнальных факелов, устраняющей влияние посторонних огней, и инженер-исследователь, не сумевший найти такой способ кодирования информации, который обеспечил бы минимальное влияние на сигнал различных случайных помех.

Если бы Эней Тактик закодировал передаваемые сообщения не целыми фразами, а отдельными буквами, расположенными в разных графах линейки, то он не только расширил бы возможности своего телеграфа для передачи произвольных сообщений, при таком изменении способа кодирования информации возросла бы и помехо-



3.13

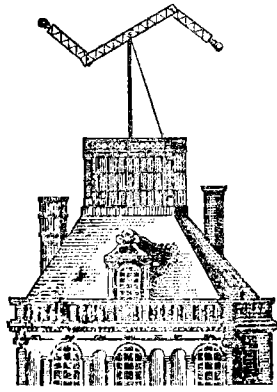
Достоинства факельного и водяного телеграфа были объединены и приумножены в факельном телеграфе Клеоксена и Демоклита, который являлся азбучным. Весь греческий алфавит из 24 букв был сведен в таблицу из пяти рядов по пяти букв в каждом ряду (последний ряд был неполным). Для передачи буквы выставлялись две факельные группы, первая из которых означала номер ряда в алфавитной таблице, а вторая — номер буквы в ряду. За тем и другими факелами наблюдали в приемном пункте с помощью пары соответствующих направленных визирных труб

устойчивость его телеграфа. Действительно, при случайном мешающем огне могла быть неверно передана или принята отдельная буква. Но при передаче и приеме следующей буквы нарушение информации будет уже отсутствовать. А искажение одной или даже нескольких букв в тексте может не помешать правильному восприятию смысла сообщения.

Читатель может возразить, что при таком изменении кодирования резко снизилась бы скорость передачи сообщений. Правильно! И в наши дни существует противоречие между требованиями высокой скорости передачи сообщений и высокой помехоустойчивости канала связи. Приходится чем-то жертвовать либо идти на компромисс, либо изыскивать новые решения проблемы. Инженер как раз и призван находить оптимальные решения технических задач.

Оптимальную для своего времени систему оптического телеграфа изобрели в III в. до н. э. александрийские инженеры Клеоксен и Демоклит (рис. 3.13).

Система кодирования букв в факельном телеграфе является прообразом современной регистровой системы передачи телеграфных знаков. Регистровая система кодирования заключается в том, что в разных регистрах один и тот же передаваемый знак имеет разное смысловое значение. Для различения же смысла переданного знака его передаче должна предшествовать передача регистрового символа, указывающего номер регистра. В факельном телеграфе пять рядов букв в алфавитной



A	a	H	h
P	p	R	r
S	s	V	v
?	!	4	8

3.14

Оптический (воздушный, семафорный) телеграф Шаппа состоял из трех сигнальных планок. Различным положением планок соответствовало различное значение передаваемых знаков. В этом заключалась система кодирования сообщений. Примеры кодовых комбинаций приведены на соседнем рисунке

таблице как раз и соответствуют пяти регистрам по современной терминологии.

В факельном телеграфе помехоустойчивость была выше, чем в водяном. В то же время факельный телеграф обеспечивал и достаточную скорость передачи любых сообщений. Эти его достоинства были обусловлены и рациональной конструкцией, и рациональным кодированием передаваемых сообщений. Именно этим объясняется то, что факельный телеграф без существенных изменений использовался на протяжении ряда веков. В Римской империи факельный телеграф применяли для дальней передачи сообщений по цепочке сигнальных башен, которые можно считать предками современных радиорелейных линий связи.

Дальнейшее совершенствование оптического телеграфа связано с использованием вогнутых зеркал и подзорных труб, появившихся в эпоху Возрождения. Эти приспособления позволили увеличить помехоустойчивость оптического телеграфа. Новые же способы кодирования оптических сигналов еще предстояло изобрести.

Эта задача была решена благодаря усилиям французского инженера Клода Шаппа, который после ряда попыток в 1781 г. сконструировал удачную телеграфную

систему, включающую и новый способ кодирования передаваемых сообщений (рис. 3.14).

Первая линия такого телеграфа Париж — Лилль (протяженностью около 225 км) с 22 приемно-передающими пунктами вступила в строй в конце 1794 г. Передача одного знака по этой линии занимала около 2 мин. Аналогичные линии были построены не только во Франции (например, Париж — Тулон протяженностью свыше 1000 км), но и в ряде других стран, в том числе Италии, Испании, Германии, Индии, Египте, России и др. В Англии использовалась другая система воздушного телеграфа, разработанная Мурреем.

Интересно отметить, что в 1794 г. русский механик-самоучка И. П. Кулибин усовершенствовал оптический телеграф, упростив привод к сигнальным плакам и изменив сигнальный код. Однако телеграф Кулибина не был применен и нашел свое место лишь в Кунсткамере. На линии же Санкт-Петербург — Варшава (1200 км) в 1839 г. был установлен телеграф системы К. Шаппа. Но эта линия была уже лебединой песней оптического телеграфа. На смену ему шагал телеграф электрический.

Рождение и развитие электросвязи

Хотя электрические и магнитные явления наблюдались еще в глубокой древности, их изучение и использование началось относительно недавно. В XVIII в. научились добывать электричество с помощью электростатических машин. И уже в 50-х годах этого века пытались осуществить электрическую связь. Известны, например, опыты с электроскопами женеvского физика Жоржа Л. Лезажа.

Однако эти опыты были неудачными. Для осуществления электрической связи нужен электрический ток, который был еще неизвестен в те годы. В 1800 г. итальянский ученый А. Вольта создал первый электрохимический источник постоянного тока. И уже в 1801 г. испанский инженер Франциско Сальва попытался создать электрохимический телеграф. В 1809 г. баварский анатом С. Т. Земмеринг представил Мюнхенской академии наук свой проект электрохимического телеграфа. Этот проект и получил наибольшую известность.



Изобретатель первого гальванического элемента и батареи. Физик и физиолог А. Вольта (1745—1827)

В телеграфе Земмеринга, как и раньше, использовался сигнальный сосуд, но с водой не простой, а подкисленной. В сосуде размещались электроды. Сигнал в виде электрического тока посылался по проводам и обнаруживался по пузырькам газа, выделявшимся на электродах при электролизе подкисленной воды. Но регистрация сигналов с помощью пузырьков неудобна и ненадежна. О кодировании сигналов Земмеринг поначалу не догадывался: в его телеграфе для каждой буквы алфавита был отдельный сигнальный сосуд со своей телеграфной линией. Проект был сдан в архив, хотя впоследствии количество сосудов

и было сокращено. Для электрической связи нужен был не только ток, но и удобный способ регистрации сигналов...

В 1820 г. датский ученый Ханс-Христиан Эрстед открыл магнитное действие тока. В том же году французский физик Андре Мари Ампер нашел, как усилить действие тока на магнитную стрелку: для этого надо провод намотать спиралью. Датой рождения электромагнитного телеграфа является 1832 г., когда русский офицер, герой Отечественной войны 1812 г. Павел Львович Шиллинг продемонстрировал в Петербурге работу изобретенного им устройства связи (рис. 3.15).

Первой отличительной особенностью этого устройства являлось использование магнитного действия тока. Вторая отличительная особенность телеграфа Шиллинга — применение комбинационного кода. По современной терминологии такой код может быть назван параллельным (одновременная передача кодовых знаков), шестизначным или шестиэлементным (шесть кодовых знаков) и бинарным (каждый кодовый знак имеет одно из двух значений).

Впоследствии, усложнив код, П. Л. Шиллинг обошелся одной стрелкой и одной парой проводов. Затем появилось много модификаций и одно-, и двух-, и трех-

и пятистрелочного телеграфа, которые находили практическое применение.

В конструкциях стрелочных телеграфных аппаратов различных авторов были и удачные находки. Среди них следует отметить электромагнитное реле Ч. Уитстона и однопроводную систему передачи К. А. Штейнгеля. Реле служило для своеобразного усиления слабых токов, позволяя с их помощью коммутировать (включать и выключать) цепь с относительно большим током. Однопроводная же линия связи упрощала соединение передающей и приемной станций. В такой линии один из пары проводов был убран и заменен заземлением — закопанными в землю металлическими пластинами, к которым были присоединены освобожденные концы проводов на передающей и приемной станциях. При использовании заземления ток течет только по одному проводу линии связи, а избыток зарядов на передающей и приемной станциях стекает в землю.

Стрелочный телеграф имел ряд недостатков, в частности он не позволял автоматически записывать принятые сигналы. Несмотря на это, даже в конце XIX и начале XX в. он использовался для передачи команд на больших кораблях.

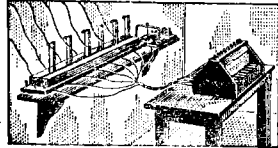
Для создания самопишущего электромагнитного телеграфа нужны были новые идеи. Пришли они, однако, не от ученых и не от инженеров. Новая идея родилась у американского художника Сэ-



Автор одного из основных законов электродинамики — закона взаимодействия электрических токов, физик и математик А. М. Ампер (1775—1836)



Изобретатель электромагнитного телеграфа П. Л. Шиллинг (1786—1837)



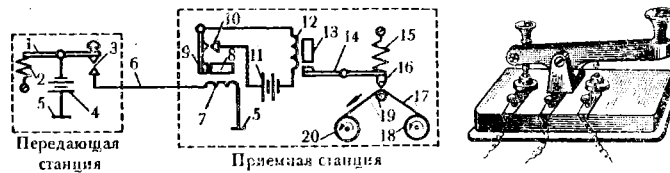
3.15

В электромагнитном телеграфе П. Л. Шиллинга регистрация сигналов осуществлялась с помощью магнитных стрелок, помещенных в катушки. Появление тока в катушке вызывало поворот стрелки, что и свидетельствовало о наличии сигнала. В устройстве был применен комбинационный код, позволявший для передачи алфавита использовать только шесть стрелок и восемь проводов: каждой букве соответствовала комбинация из нескольких одновременно переданных сигналов

муэля Ф. Б. Морзе, который в 1837 г. изобрел конструкцию самопишущего телеграфного аппарата. В следующем году С. Морзе разработал и код для своего телеграфа. В разработке конструкции аппарата и телеграфного кода Самуэлю Морзе оказывал помощь американский эксперт Альфред Вейл. Наконец-то телеграф оправдал свое название и стал писать на расстоянии.

В 1844 г. первая коммерческая телеграфная линия системы Морзе соединила столицу США Вашингтон с Балтимором на атлантическом побережье, и с тех пор электромагнитный телеграф начал свое победное шествие по всем странам мира. Этот успех был обусловлен как широкими возможностями самопишущей телеграфии, так и простотой конструкции нового телеграфного аппарата в сочетании с простотой азбуки Морзе.

Принципиальная схема телеграфной линии с самопишущим аппаратом электромагнитного типа и телеграфный ключ показаны на рис. 3.16.



3.16

Схема телеграфа С. Морзе:

1 — телеграфный ключ, 2 — пружина, 3 — контакты ключа, 4 — линейная батарея, 5 — заземление, 6 — линия связи, 7 — обмотка реле, 8 — сердечник реле, 9 — якорь реле, 10 — контакты реле, 11 — местная батарея, 12 — обмотка электромагнита, 13 — сердечник электромагнита, 14 — якорь электромагнита, 15 — пружина, 16 — перо самописца, 17 — бумажная лента, 18 — бобина, 19 — ролик, 20 — привод от часового механизма

Справа показана конструкция телеграфного ключа

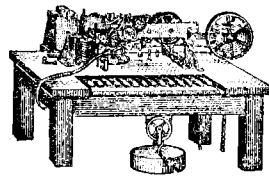
Телеграфная система Морзе позволяла увеличить скорость передачи до десятков букв в минуту (около 15 слов в минуту). Следующий этап в становлении телеграфа заключался в объединении телеграфа и пишущей машинки. Вместо телеграфного аппарата, пишущего азбукой Морзе, получился буквопечатающий телеграфный аппарат. Такие аппараты разных конструкций были изобретены в 1850 г. академиком Б. С. Якоби, в 1855 г. американским физиком Д. Э. Юзом, в 1872 г. французским механиком Жаном М. Э. Бодо. Аппарат Юза давал двукратный, а аппарат Ж. Бодо — десятикратный выигрыш в скорости передачи по сравнению с аппаратом С. Морзе.



Создатель гальванопластики, телеграфных аппаратов, электродвигателя, русский физик и электротехник академик Б. С. Якоби (1801—1874)

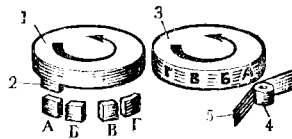
Чтобы понять принцип буквопечатающей телеграфии, представим себе два вращающихся диска (рис. 3.18). Контактный диск 1, находящийся на передающей станции, снабжен контактным выступом 2, который расположен с некоторым зазором над контактами А, Б, В, Г и т. д. (по числу передаваемых символов). Литерный диск 3, находящийся на приемной станции, имеет выпуклые литеры (подобные литерам на печатающих рычагах пишущей машинки), которые при вращении диска смачиваются краской. Перед этим диском расположен с некоторым зазором ролик 4, вокруг которого натянута бумажная лента 5. Контактный и литерный диски вращаются с одинаковой скоростью (делаю, например, два оборота в секунду), причем так, что литеры А, Б, В, Г и т. д. проходят перед роликом 4 как раз в тот момент времени, когда контактный выступ 2 проходит над контактами А, Б, В, Г и т. д. (такое вращение называется синхронным и синфазным).

На передающем пункте имеется клавиатура (как и на пишущей машинке), связанная системой рычагов с контакта-



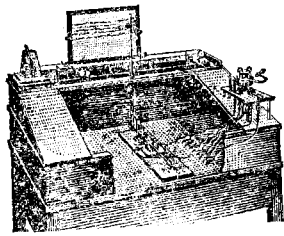
3.17

Буквопечатающий телеграфный аппарат Б. С. Якоби



3.18

Принцип буквопечатающей телеграфии весьма прост, хотя и не столь просто его реализовать



3.19

Самопишущий телеграф Б. С. Якоби создавал изображение, рисуя карандашом, который с помощью электромагнита и подвижной каретки перемещался в вертикальном и горизонтальном направлениях

ми А, Б, В, Г... При нажатии некоторой клавиши соответствующий контакт приподнимается. Если клавиша нажата хотя бы в течение полусекунды, то контактный выступ 2 успеет за это время один раз прикоснуться к приподнятому контакту. При этом замыкается цепь батареи, ток от которой поступает по линии связи на приемный пункт. Здесь ток проходит через обмотку реле, подключающего местную батарею к электромагниту, якорь которого через систему рычагов прижимает ролик 4 вместе с лентой 5 к диску 3 и не просто к диску, а как раз к нужной букве. Буква отпечаталась, и при обратном ходе ролика бумажная лента через лентопротяжный механизм перемещается на одну позицию. Аппаратура готова к передаче и приему следующего сигнала.

В современных системах буквопечатающей телеграфии используется для передачи разных символов специальный трехрегистровый пятизначный код, показанный на с. 172. Такой же код используется при вводе информации в ЦВМ.

Телеграф начал учиться рисовать в 1839 г., когда академик Б. С. Якоби создал самопишущий телеграф (рис. 3.19). Но по-настоящему рисовать электричество научилось, когда, начиная с 1843 г., стали возрождать в новом облике электрохимический телеграф, который уже не пузыри пускал, а искусно копировал и передавал любые изображения.

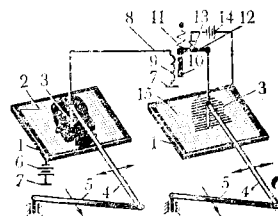
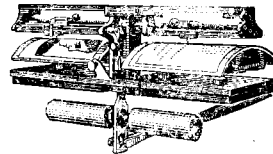
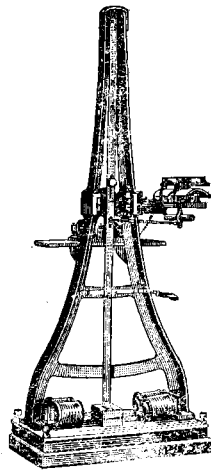
Практическое применение получил вариант такого телеграфа итальянского аббата Казелли, названный им паптелеграфом.

Принцип действия такого телеграфа прост (рис. 3.20): два железных острия 3 на передающей и приемной станциях движутся синхронно по металлическим поверхностям, прочерчивая на них густую сеть параллельных линий. На передающей станции под острие подкладывают лист металлической фольги 2, на котором токопроводящими чернилами нанесено передаваемое изображение. На приемной станции под острие подкладывают лист бумаги 15, пропитанный водным раствором железосинеродистого калия. При протекании тока такой раствор разлагается, окрашивая бумагу в синий цвет.

Когда непроводящий участок изображения на фольге 2 разрывает электрическую цепь, в реле на приемной станции замыкаются контакты 13. Таким образом, под действием тока от местной батареи 14 на листе 15 под движущимся металлическим острием остается след в виде параллельных цветных штрихов, воспроизводящих передаваемое изображение*.

В современной фототелеграфии считывающее острие заменено оптическим лучом (рис. 3.21), который отражается непосредственно от бумаги с изображением и затем преобразуется фотоэлементом в электрический сигнал. В приемном фототелеграфном аппарате металлическое острие также заменено оптическим лучом от лампы, которая светится под действием принятого и усиленного электрического сигнала. Этот луч и рисует изображение на фотобумаге. Изменена также кинематика сканирования (перемещения) оптического луча: вместо качания маятника и поворота рычага использовано вращение барабана вокруг оси OO и его поступательное перемещение вдоль этой оси. При этом линия сканирования луча имеет вид густой спиральной линии.

* Читателю предлагается усовершенствовать описанную электрическую схему, изменив ее таким образом, чтобы ток по линии связи 8 и ток от местной батареи 14 протекали одновременно при разрыве цепи линейной батареей 6.



3.20

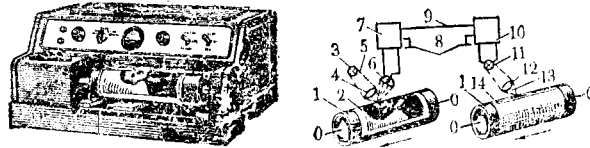
Внешний вид пантелеграфа Казелли и упрощенная схема для передачи изображения: 1 — металлический лист, 2 — металлическая фольга с непроводящим изображением, 3 — металлическое острие, 4 — быстро качающийся маятник, 5 — медленно поворачивающийся рычаг, 6 — линейная батарея, 7 — заземление, 8 — линия связи, 9 — обмотка реле, 10 — сердечник реле, 11 — пружина, 12 — якорь реле, 13 — контакты реле, 14 — местная батарея, 15 — пропитанная химическим раствором бумага

Международный телеграфный код № 2

Внерегистровые символы	Кодовые комбинации				
	1	2	3	4	5
Символ 1-го регистра «латинский шрифт»	1	1	1	1	1
Символ 2-го регистра «русский шрифт»	0	0	0	0	0
Символ 3-го регистра «цифры и знаки»	1	1	0	1	1
Перевод строки ≡	0	1	0	0	0
Пробел	0	0	1	0	0
Возврат каретки <	0	0	0	1	0

1-й регистр	E	T	A	S	D	Z	I	R	L	N	H	O	U	J	W	F	Y	V	C	P	G	M	K	Q	X	V
	Ю	И	А	С	Д	З	И	Р	Л	Н	Х	О	У	Й	В	Ф	Ы	Б	Ц	П	Г	М	К	Я	Ь	Ж
3-й регистр	3	5	—	·	∇	+	8	4)	,	Щ	9	7	Ю	2	Э	6	?	:	0	Ш	.	(/	=	
Кодовые комбинации	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
	3	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	5	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1

Примечание. ∇ — кто там?



3.21

Внешний вид и схема фототелеграфа:

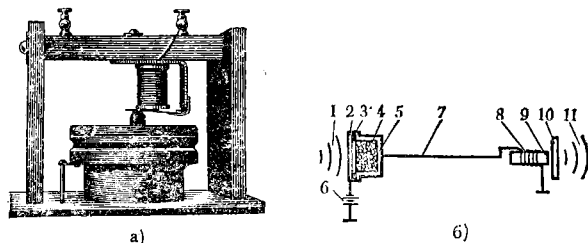
1 — барабаны, совершающие синхронно вращательное и поступательное движение, 2 — лист бумаги с изображением, 3 — источник света, 4 — фокусирующая система, 5 — луч света, 6 — фотоэлемент, 7 — усилитель фототоков, 8 — заземление, 9 — линия связи, 10 — усилитель принятого сигнала, 11 — источник света, 12 — фокусирующая система, 13 — луч света, 14 — лист фотобумаги

Такие изменения существенно повысили быстродействие рисующего телеграфа, а заодно позволили ему рисовать изображения в полутонах. Сам же принцип построчной развертки изображения путем его прочерчивания густой сетью параллельных линий остался неизменным и по сей день*. Этот принцип применим не только в фототелеграфе, где изображение создается оптическим лучом, но и в телевидении, где изображение образуется с помощью электронного луча.

Теперь телеграфу осталось превратиться в телефон (от греческого слова *φωνή* — звук), что не заставило себя долго ждать. В 1876 г. американский изобретатель Александр Г. Белл запатентовал устройство для передачи речи по проводам — телефон (рис. 3.22, а).

В телефоне Белла звук преобразовывался в электрические колебания, которые индуцировались в электромагните вибрирующей металлической жесткой пластинкой, замененной впоследствии гибкой пластинкой — мембраной. Индуцированный ток, а следовательно, и звук были очень слабыми. Этот недостаток был вскоре устранен. Уже в 1877 г. Д. Э. Юз изобрел стержневой угольный микрофон, а в 1878 г. русский изобретатель М. Махальский сконструировал более чувствительный порошковый угольный микрофон. Телефон заговорил в полный голос. Схема такого телефона показана на рис. 3.22, б.

* Нетрудно видеть, что при описанной работе фототелеграфной линии на фотобумаге будет получаться негативное изображение передаваемого оригинала. Читателю предлагается решить задачу получения позитивного изображения в описанном устройстве.

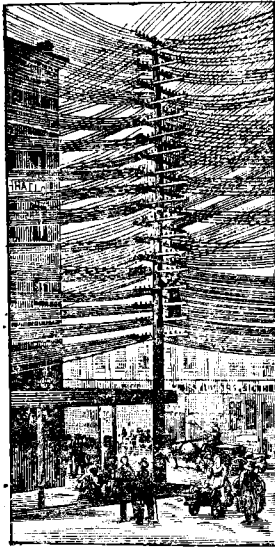


3.22

В телефонном аппарате Белла (а) звук был слабым. Этот недостаток был устранен после изобретения угольного микрофона. Схема телефона принимает вид, показанный на позиции б. Металлическая капсула 5 заполнена угольным порошком 4 и отделена изоляционной шайбой 3 от мембраны 2 (металлической или угольной). Сопротивление электрическому току между мембраной и капсулой, зависящее от степени сжатия порошка, меняется при вибрациях мембраны под воздействием акустической волны 1. Поэтому ток от батареи 6, текущий через микрофон и линию связи 7 в приемный аппарат, меняется пропорционально изменению акустического давления. Приемный аппарат (собственно телефон) состоит из катушки 8 с сердечником в виде постоянного магнита 9, перед которым расположена металлическая мембрана 10. При протекании переменного тока через катушку соответственно меняется магнитное поле, под воздействием которого мембрана колеблется, создавая акустическую волну 11, подобную волне 1. Очевидно, для осуществления двустороннего разговора каждый телефонный аппарат должен содержать и микрофон, и телефон.

На первых порах для телефонной связи использовались телеграфные линии. Но заманчивая экономия в проводах, достигнутая в однопроводных телеграфных линиях связи, обернулась резким ухудшением качества связи вследствие индуктирования токов от соседних линий. Пришлось вернуться к двухпроводной линии передачи, в которой помехи, наведенные в каждом из проводов, взаимно компенсировались. А для большего уменьшения влияния наведенных помех параллельные провода линии через определенное расстояние скрещивались. Такая линия между Петербургом и Москвой была спроектирована в 1895 г. преподавателем (впоследствии профессором и ректором) Петербургского электротехнического института П. Д. Войнаровским и построена в 1893 г.

На очередь встала задача телефонизации домов, а вместе с ней и проблема коммутации каналов связи (рис. 3.23). Коммутация каналов связи достигается соединением отдельных телефонных аппаратов с центральной телефонной станцией, где на время переговоров подключают друг к другу два телефонных аппара-



3.23

Проблема коммутации каналов связи возникла одновременно с задачей телефонизации городов. В самом деле, не соединять же все дома между собой телефонными линиями связи! Ведь при таком соединении только тысячи домов потребовалось бы почти полмиллиона линий связи! Если пойти по этому пути, город превратится в запутанный клубок проводов. А сколько металла потребуется при этом?

та. При этом и громоздкую батарею можно использовать только одну для всех телефонных аппаратов, поставив ее на центральной станции.

Такое предложение было сделано русским изобретателем П. М. Голубицким, крупным специалистом в области телефонии. Им изобретены также разные конструкции чувствительных угольных микрофонов, коммутатор для попарного соединения нескольких телефонных линий и т. д. Транспорт обязан П. М. Голубицкому внедрением телефонной связи на железной дороге.

Впервые телефонная станция была построена в 1879 г. в Нью-Хейвене (США). В России они были открыты в 1882 г. в Петрограде, затем в Москве, Риге, Варшаве и Одессе.

Первые телефонные станции были ручными (РТС): соединения на них производили телефонистки вручную по вызову одного из абонентов. Но одна телефонистка могла обслужить не больше двухсот аппаратов. Кроме того, на каждое соединение уходило слишком много времени. Потребовалось автоматизировать процесс коммутации. И уже в 1879 г. американские изобретатели М. Д. и Т. Э. Кеннели и Т. И. Мак-Тай запатентовали устройство, в котором сигналы вызывающего абонента

управляли автоматом, установленным на центральной станции: автоматический коммутатор осуществлял поиск нужного абонента и соединение с ним.

Телефонный аппарат обрел номеронабиратель. С его помощью создавалась серия импульсов, посылаемых на автоматическую телефонную станцию (АТС) для управления коммутатором. В 1887 г. русский инженер К. А. Мосцицкий предложил оригинальную конструкцию релейной АТС. Первая АТС была открыта в 1900 г. в Нью-Бедфорде (США).

Однако на первых порах АТС были далеки от совершенства и являлись редкостью. Повсеместное их строительство началось лишь в 20-е годы нашего века. В Риге, например, первая АТС была сдана в эксплуатацию в 1926 г. В Советском Союзе первая АТС отечественного производства была построена в 1929 г. в Ростове-на-Дону.

Современные АТС обеспечивают как внутригородские, так и междугородные связи абонентов. Сейчас актуальной задачей является развитие единой автоматизированной сети связи (ЕАСС) в нашей стране. Эта сеть должна объединить и телефонные, и телеграфные каналы связи по всей стране, и радиоканалы... Но чтобы говорить о радиоканалах, нам надо вернуться в прошлое столетие.

Рождение и развитие радио

В прошлом столетии трансатлантические телеграфные кабели уже соединили (в 1858, 1866 и 1898 гг.) европейский и американский континенты*. Однако проводная связь не могла удовлетворить запросы быстро растущей промышленности, торговли, транспорта и в первую очередь судоходства, поскольку проводная связь с судами вообще не может быть осуществлена. Человечество испытывало острую нужду в беспроводной электрической связи.

Первые опыты по беспроволочному телеграфированию начались с попыток использовать медленно меняющееся магнитное поле. В 80-х годах прошлого века английский инженер Прис попытался передать телеграф-

* Первый из упомянутых кабелей проработал лишь 20 дней, а затем оборвался. Две попытки проложить трансатлантический кабель в 1857 и 1865 гг. вообще не имели успеха.

ные знаки Морзе с помощью магнитного поля, возникающего вокруг проводника, когда по нему протекал ток. При этом он использовал явление электромагнитной индукции, открытое еще в 1831 г. английским физиком Майклом Фарадеем. Однако дальность такой связи не превышала 500—2000 м. Заметив, что при телефонных разговорах токи в соседних линиях индуцируются сильнее, Прис ввел в цепь телеграфного ключа прерыватель тока, размыкающий цепь с частотой 260 Гц, т. е. использовал тональные телеграфные сигналы, прослушиваемые с помощью телефона. Это явилось первым применением телеграфной модуляции, но не высокочастотных, а низкочастотных колебаний. Дальность действия нового устройства возросла до 8 км. Этот успех был последним на избранном пути.



Основатель учения об электрических и магнитных полях М. Фарадей (1791—1867)

Дело в том, что в соответствии с законом Кулона и согласно закону Био-Савара напряженность электрического и магнитного статических полей убывает в свободном пространстве пропорционально квадрату расстояния. Вследствие же влияния побочных факторов напряженность таких полей в реальных условиях убывает пропорционально кубу расстояния. Поэтому на больших расстояниях от источника напряженность электрического и магнитного статических полей получается ничтожно малой, и связь с их помощью оказывается невозможной.

Дальняя беспроводная связь могла родиться только с открытием электромагнитного поля, представляющего собой совокупность взаимосвязанных переменных полей — электрического и магнитного.

Основные положения теории электромагнитного поля были разработаны математически английским ученым Джеймсом Клерком Максвеллом и опубликованы в 1873 г. в его двухтомном труде «Трактат об электричестве и магнетизме». Впервые экспериментально электромагнитные волны наблюдал немецкий физик Генрих



Основатель теории электромагнитного поля. Дж. К. Максвелл (1831—1879)

Герц, который опубликовал результаты своих опытов в 1888 г. Эксперименты Герца показали способность электромагнитных волн преломляться на границе двух сред и отражаться от металлических поверхностей.

Опыты Герца были воспроизведены и усовершенствованы многими физиками того времени. Особых успехов добился английский физик О. Лодж, который применил для обнаружения электромагнитных волн стеклянную трубку с металлическими опилками, названную им когерером. На концах этой трубки помещены контакты, через которые опилки включаются в цепь батарей. Когерер обладает замечательным свойством, исследованным еще раньше французским физиком Э. Бранли: его сопротивление электрическому току может меняться под действием электромагнитного поля.

В обычном состоянии проводимость когерера мала вследствие большого переходного сопротивления между отдельными частицами опилок. Но при включении расположенной вблизи индукционной катушки, создающей электромагнитное поле, проводимость когерера резко возрастает. Это объясняется наведением в каждой частице электродвижущей силы, под действием которой между частицами возникают электрические разряды, приводящие как бы к «спеканию» опилок. Для восстановления нормального состояния когерера его надо встряхнуть, нарушив связь между частицами опилок.

Перечисленные работы создали предпосылки к созданию радиотелеграфа.

Рождение радио — заслуга талантливого русского ученого Александра Степановича Попова. Работая на морском флоте, он понимал острую потребность в беспроводной электрической связи, и им была успешно решена задача по созданию чувствительного автоматизированного устройства, способного регистрировать электромагнитные волны. На первых порах созданный им прибор использовался для регистрации электромаг-

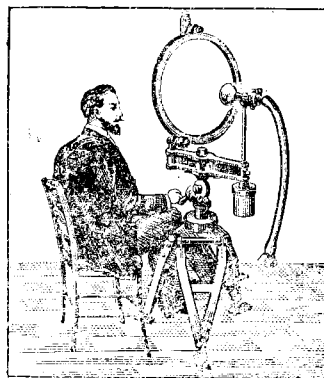
нитных излучений, возникающих при грозových разрядах. В одном из писем А. С. Попова назвал его грозоотметчиком, но по современной терминологии он является ничем иным, как первым радиоприемником.

Первая публичная демонстрация устройства А. С. Попова для приема электромагнитных волн состоялась в Петербурге на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. Этот день и вошел в историю как день изобретения радио.

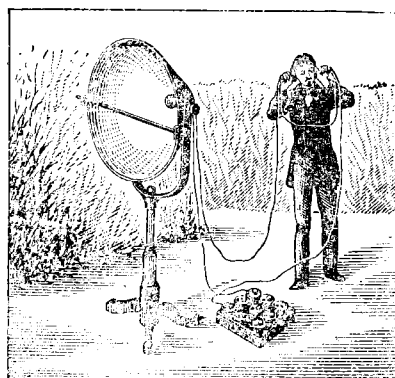
Внешний вид приемника с электрическим звонком и схема приемника А. С. Попова показаны на рис. 3.25. Впоследствии А. С. Попов присоединил к звонку электромагнитный самописец для регистрации грозových разрядов. В другом варианте приемника А. С. Попов присоединил к звонку телеграфный аппарат Морзе, который использовал при приеме телеграфных радиосигналов. Наконец, А. С. Попов создал приемник с углесталистым детектором



Г. Р. Герц (1857—1894) экспериментально доказал существование электромагнитных волн



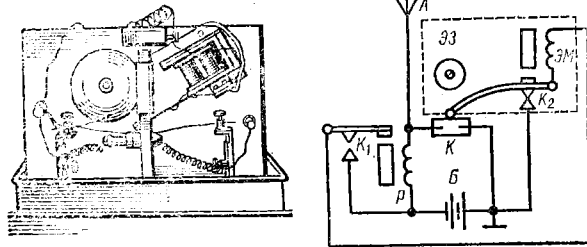
а)



б)

3.24

Опыты Г. Р. Герца и других ученых были первоначально направлены на изучение и демонстрацию свойств электромагнитного поля. Никто из них не видел возможности его практического использования



3.25

В приемнике А. С. Попова для усиления воздействия электромагнитных волн к когереру K был присоединен проводник A , названный впоследствии антенной. При срабатывании когерера под действием принятого сигнала через когерер и обмотку реле P протекал ток от батареи B . При этом замыкались контакты K_1 и через них ток батареи протекал по обмотке электромагнита $ЭМ$. При срабатывании электромагнита контакты K_2 размыкали цепь звонка $ЗЗ$, и молоточек звонка ударял по его чашечке. За счет размыкания цепи электромагнита молоточек возвращался в исходное положение, автоматически обеспечивая встряхивание когерера.

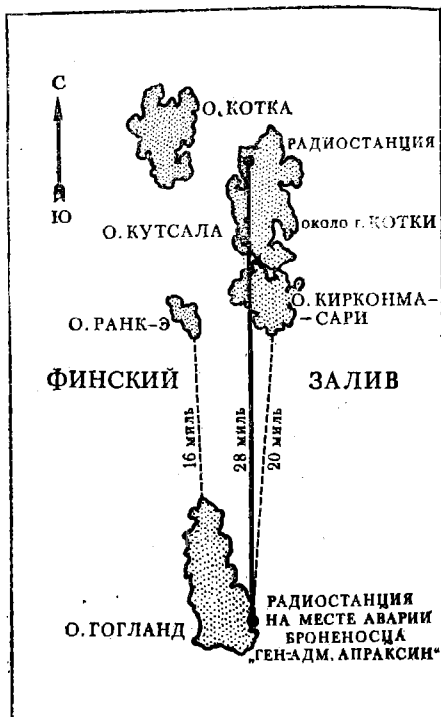
и телефонами для слухового приема радиотелеграфных сигналов, который изготовлялся французской фирмой «Дюкрете».

В 1899 г. А. С. Попов построил телеграфную радиолинию протяженностью в 43 версты (52 км). Эта радиолиния (рис. 3.26) между о. Гогланд и г. Котка была построена для организации спасательных работ по снятию с мели броненосца «Генерал-адмирал Апраксин».

Своими дальнейшими работами А. С. Попов совместно со своим ассистентом П. Н. Рыбкиным значительно увеличил дальность радиосвязи, доведя ее в 1901 г. до 148 км. Увеличению дальности радиосвязи способствовало изобретение А. С. Поповым углесталистого детектора, заменившего когерер, и открытие П. Н. Рыбкиным возможности слухового приема радиотелеграфных сигналов.

Здесь интересно отметить, что при первых шагах радиотелеграфии многие считали, что радиоволны не смогут перешагнуть через горизонт, как и оптический луч. Но достигнутые впоследствии дальности связи опровергли такое мнение и наглядно показали, что радиоволны достаточно большой длины могут огибать земную поверхность.

Кроме А. С. Попова, радиотелеграфией занимались многие другие ученые и инженеры, а также и предпри-

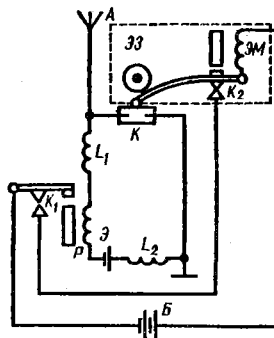


3.26

Первая практическая линия радиосвязи, построенная А. С. Поповым. Интересно отметить, что первая радиogramма, переданная накануне открытия этой линии 5 февраля 1900 г., содержала приказание ледоколу «Ермак» оказать помощь рыбакам, унесенным в открытое море на оторвавшейся от берега льдине. Таким образом, одно из первых применений радио послужило спасению человеческих жизней.

3.27

Отличия схемы Г. Маркони от схемы приемника А. С. Попова заключаются в использовании вместо одного источника питания гальванического элемента Э, питающего реле Р, и батареи Б, питающей электромагнит ЭМ, а также в применении индуктивности L_1 и L_2 , изолирующих цепь антенны по высокой частоте. Это позволило резко повысить чувствительность когерера и реле, и впоследствии использовать резонансные свойства антенной цепи.



ниматели. Наибольшего успеха при этом добился итальянский изобретатель и предприниматель Гульельмо Маркони, который в июне 1896 г. запатентовал в Англии «усовершенствования в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппаратуре для этого». Схема прием-



Создатель кристадина, советский радионинженер О. В. Лосев (1903—1942)

ника Г. Маркони показана на рис. 3.27. Г. Маркони, работавший с группой ученых и инженеров, довел дальность связи в 1901 г. до 350 миль (свыше 560 км). Вскоре состоялась радиопередача через Атлантику на расстояние в 2800 км.





Следующий этап в развитии радио связан с его переходом от радиотелеграфии к радиотелефонии. Эта задача была решена в 1901 г. американским ученым Реджинальдом Фессенденом. Он заменил искровой разрядник Герца дуговым источником незатухающих электрических коле-

баний (в котором использовалась вольтова дуга), что позволило ему передать по радио речь. Но расцвет радиотелефонии был еще впереди. Он стал возможным с появлением электронной вакуумной лампы.

Двухэлектронная лампа (диод), заменившая углесталистый детектор, была изобретена в 1904 г. английским ученым Джоном А. Флемингом, тем самым ученым, который в 1901 г. участвовал в первой трансатлантической радиопередаче. А в 1906 г. американским радионинженером Ли Де Форестом была изобретена трехэлектродная лампа (триод).

Эта лампа произвела революцию в радиотехнике. Во-первых, она позволила усиливать сигналы произвольной формы, а не только телеграфные сигналы; поэтому с заменой электромагнитных реле триодами стала возможной дальняя радиотелефония. Во-вторых, электронные лампы являются почти безынерционными приборами, что сделало их незаменимыми помощниками и при получении и при усилении высокочастотных электрических колебаний, используемых в радиотехнике.

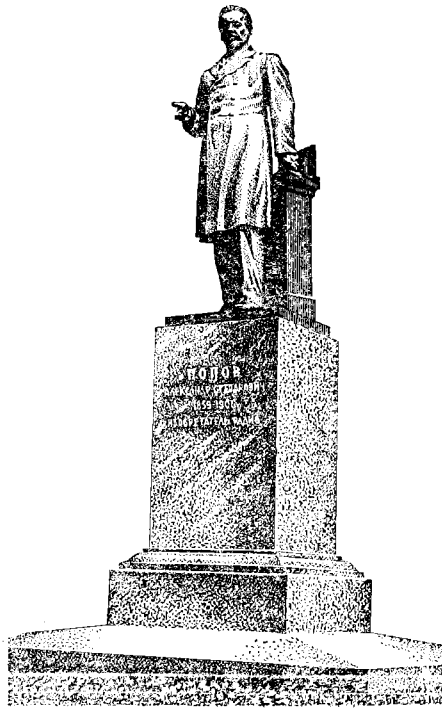
Радиоэлектроника вступила в эпоху своего небывалого развития. Лишь колоссальный рост количества вакуумных электронных приборов в радиоустройствах показал, что возможности этих приборов ограничены. Каждая электронная лампа имеет небольшой срок службы. Если принять, что она может отказать один раз за 500 ч работы, то при 2000 лампах, которые пришлось

Реле	Радиолампы	Полупроводниковые приборы	Полупроводниковые ИС и БИС
			

3.28

Изменение принципов действия приборов для обработки сигналов привело и к существенному уменьшению размеров этих устройств. Это обусловило также резкое сокращение габаритов радиоаппаратуры. Дальнейшая миниатюризация радиоустройств стала возможной с переходом к интегральной технологии создания полупроводниковой техники

бы применить в радиооборудовании современного самолета, можно было бы ожидать отказа в работе оборудования каждые 15 мин. Столь низкая надежность работы радиоустройства с большим количеством вакуумных электронных ламп заставила вспомнить, что кристалли-



Памятник изобретателю радио А. С. Попову, установленный в Ленинграде

ческий детектор, подобный углесталистному детектору А. С. Попова, обладает не менее широкими возможностями, чем электронная лампа. Еще в январе 1922 г. сотрудник Нижегородской радиолаборатории О. В. Лосев обнаружил возможность получения незатухающих колебаний с помощью полупроводникового кристаллического диода. На этой основе он создал различные полупроводниковые усилители для радиоприемников. Эти работы были восторженно восприняты во всем мире. В частности, американский журнал «Радионыйюз» писал: «Открытие Лосева делает эпоху».

И сейчас, спустя десятилетия, радиоэлектроника вернулась от электронных ламп к полупроводниковым приборам. При этом стали использовать не только диоды, но и трехэлектродные усилительные приборы — транзисторы. Надежность радиоэлектронных устройств резко возросла, что явилось существенным фактором не только для самолетного радиооборудования, но и для других радиоустройств. Полупроводниковые приборы стали использовать вообще в любых электронных системах (ЦВМ и др.), всюду, где требуются тысячи электронных приборов, всюду, где необходимо создание компактных и долговечных устройств.

Благодаря полупроводниковым приборам стали возможными искусственные спутники Земли, которые подняли ретрансляционные станции на высоту, не доступную сигнальным башням Древнего Рима. В Советском Союзе космические радиоретрансляционные станции типа «Молния» несут свою вахту с апреля 1965 г. Радиоканалы спутников связи являются одной из важнейших составных частей ЕАСС.

Эти грандиозные достижения отечественной радиотехники стали возможными лишь с приходом Советской власти. Несмотря на то что в России жил и работал творец радио, царское правительство в силу своей косности не развивало отечественную радиопромышленность и заказывало радиоаппаратуру иностранным фирмам. А. С. Попову так и не привелось увидеть бурного прогресса своего изобретения.

3 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАДИОТЕХНИКИ

Принципы передачи радиосигналов

Принципы передачи радиосигналов
Принципы приема радиосигналов

Древняя легенда утверждает, что Земля стоит на трех китах.

Тремя китами современной радиотехники являются принципы радиопередачи сигналов, которые впервые были реализованы в системе радиотелеграфии А. С. Попова.

Первый принцип передачи электрических сигналов без проводов заключается в использовании свободных электромагнитных волн. Тех самых волн, которые впервые были исследованы Дж. К. Максвеллом и Г. Р. Герцем.

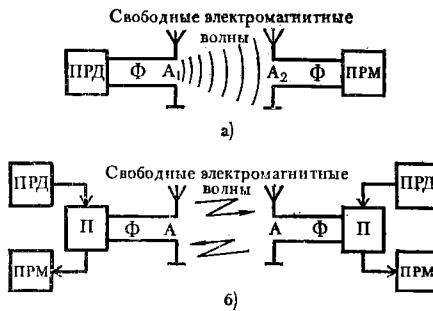
Какие же свойства электромагнитного поля в отличие от свойств статических полей обусловили его применение для осуществления беспроводной электрической связи? Если статическое поле неразрывно связано со своим источником и без него не может существовать, то электромагнитное поле существует в пространстве, будучи не связанным со своим источником. Оно существует в пространстве и после выключения этого источника.

Электромагнитное поле распространяется в пространстве со скоростью $c=3 \cdot 10^8$ м/с в виде волны, не связанной со своим источником. Такие электромагнит-

3.29

Наиболее простой является односторонняя радиосвязь (а). В структурную схему устройств для такой радиосвязи входят: радиопередатчик ПРД (источник сигнала), устройство для регистрации сигналов ПРМ (радиоприемник), линии передачи сигнала от передатчика к излучателю радиоволн (к передающей антенне A_1) и от приемной антенны A_2 к приемнику. Эти линии называются фидерами (Φ).

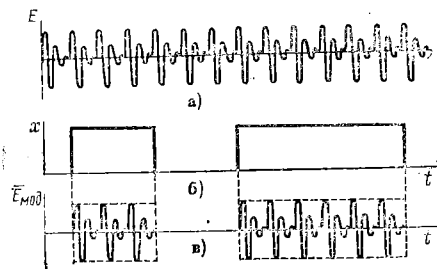
При двусторонней радиосвязи (б) структурная схема несколько усложняется. Одна антенна выполняет функции как приемной, так и передающей антенны. При этом появляются переключатели антенны с передатчика на приемник и обратно (Π).



ные волны, не связанные со своим источником, получили название свободных электромагнитных волн или радиоволн. Их называют также излученными волнами. Излучаясь источником (излучателем), радиоволны уносят с собой некоторую энергию. Рассмотрим энергию N , потерянную источником излучения за некоторое время Δt . В свободном (неограниченном) пространстве эта энергия распределяется внутри сферического слоя, имеющего толщину $d=c\Delta t$, с радиусом, равным расстоянию D до источника излучения. При распространении волн поверхность сферического слоя увеличивается пропорционально квадрату расстояния D . При этом на единичную поверхность сферического слоя приходится энергия $N_0 = N / (4\pi D^2)$. Таким образом, удельная энергия N_0 и удельная мощность $P_0 = N_0 / \Delta t = N / 4\pi \Delta t D^2$ обратно пропорциональны квадрату расстояния до источника излучения. Ука-

3.30

Чтобы передать с помощью радиоволн низкочастотное сообщение (б), нужно промодулировать высокочастотные колебания (а) по закону передаваемого низкочастотного сигнала. Высокочастотный промодулированный сигнал (в) уже может эффективно передаваться по радиоканалу



занная же мощность пропорциональна квадрату напряженности поля \bar{E} , поэтому величина \bar{E} в отличие от напряженности статического поля убывает пропорционально первой степени расстояния до источника излучения. Благодаря столь медленному убыванию в пространстве напряженности электромагнитного поля и стала возможной дальняя беспроводная связь с помощью радиоволн. Такая радиосвязь осуществляется в соответствии с функциональными схемами, показанными на рис. 3.29.

Второй принцип передачи электрических сигналов без проводов заключается в использовании высокочастотных колебаний.

Само по себе применение радиоволн еще не решает задачу дальней беспроводной связи. Дело в том, что напряженность поля излучения зависит и от частоты сигнала. Это легко понять, если вспомнить, что при движении проводника в магнитном поле в нем наводится тем большая э. д. с., чем больше скорость его перемещения. В проводнике, помещенном в переменном магнитном поле, также наводится э. д. с., пропорциональная скорости изменения поля.

Аналогично и напряженность электрической составляющей поля излучения растет при увеличении скорости изменения его магнитной составляющей. Магнитная же составляющая пропорциональна току, создающему поле излучения. Таким образом, напряженность поля излучения пропорциональна не только величине тока в излучающем проводнике, но и скорости его изменения, т. е. в конечном счете — пропорциональна частоте этого тока $f = 1/T$ (T — период колебаний).

Чтобы понять важность этого положения, воспользуемся простым примером. Пусть частота посланного сигнала равна $f = 260$ Гц. И пусть этот сигнал на некотором значительном расстоянии создает напряженность электромагнитного поля $\bar{E} = 0,1$ мкВ/м.

Столь слабое поле не может быть использовано для целей связи из-за того, что его уровень ниже уровня помех, возникающих от посторонних источников. На фоне сильных помех слабый сигнал вообще не может быть обнаружен.

Напряженность же поля от атмосферных радиопомех даже при благоприятных условиях достигает единиц микровольт на метр. Поэтому при наличии таких помех

сигнал в месте приема для нормальной его регистрации должен иметь напряженность поля в десятки и сотни микровольт на метр.

В рассмотренном случае увеличение мощности посланного сигнала в разумных пределах не привело бы к существенному увеличению напряженности поля сигнала. Однако при тех же условиях, но при частоте сигнала, например, $f=260$ кГц напряженность поля становится равной $E=100$ мкВ/м, что является уже достаточным для обнаружения сигнала на фоне помех с напряженностью в единицы мкВ/м.

Поэтому А. С. Попов и говорил в публикации о своем приборе, что для передачи сигналов на расстояния нужны быстрые электрические колебания и источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией.

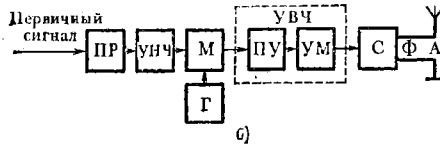
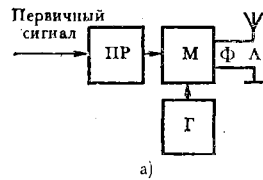
Итак, радиосвязь возможна на высоких частотах. Однако возникает вопрос: как же передавать телеграфные и телефонные сигналы, частоты которых не превышают нескольких килогерц?

Читатель может уже сам ответить на этот вопрос, если он не забыл про модуляцию и радиосигналы. В старинной радиотелеграфии для модуляции использовался телеграфный ключ, которым включался на время передачи высокочастотный искровой генератор. Такой генератор дает серию высокочастотных затухающих импульсов (рис. 3.30, а), которые и являются несущим сигналом. Однако при указанной манипуляции ключом серия импульсов получается прерывистой. Пусть, например, коромысло телеграфного ключа при манипуляции воспроизводит букву А азбуки Морзе, т. е. координата x некоторой точки коромысла (его отклонение от нейтрального положения) меняется в соответствии с рис. 3.30, б. Тогда генератор сформирует телеграфный высокочастотный сигнал, показанный на рис. 3.30, в.

Таким образом, рецепт передачи низкочастотных сигналов заключается в модуляции высокочастотных колебаний по закону изменения подлежащего передаче низкочастотного сигнала.

Модуляция высокочастотных колебаний является третьим принципом передачи электрических сигналов без проводов.

Теперь можно уточнить, что радиосигналами называются не любые модулированные сигналы, а лишь высокочастотные модулированные сигналы. Можно, разумеет-



3.31

Структурные схемы радиопередатчиков включают преобразователь первичного сигнала (телеграфного, речевого и др.) в низкочастотные электрические колебания (таким преобразователем *ПР* может служить телеграфный ключ, микрофон и т. п. устройства), источник высокочастотных колебаний (генератор *Г*), модулятор *М*, а в более сложных схемных вариантах усилитель колебаний низкой частоты *УНЧ*, усилитель колебаний высокой частоты *УВЧ*, предварительный усилитель *ПУ*, усилитель мощности *УМ*, селектор *С* (устройство для фильтрации или селекции сигнала), фидер *Ф* и антенну *А*.

ся, осуществлять модуляцию не только высокочастотных колебаний, но в этом случае модулированные колебания не будут называться радиосигналами (например, низкочастотные речевые сигналы тоже являются модулированными).

Рассмотренные основные принципы радиопередачи реализуются в радиопередатчиках, структурная схема которых показана на рис. 3.31, а. Современные радиопередатчики содержат и другие функциональные узлы (рис. 3.31, б), предназначенные для усиления сигналов и очищения их от помех, возникающих в самом передатчике.

Принципы приема радиосигналов

Согласно древнеиндийскому мифу Земля стоит на четырех слонах. Есть свои четыре опоры и в современной технике радиоприема.

Первый приемник А. С. Попова по внешнему виду несколько не напоминает современную «Спидолу» или «Сигму». Однако четыре принципа радиоприема, заложенные в этом приемнике, столь фундаментальны, что никакой самый современный радиоприемник не сможет обойтись без этих четырех незыблемых опор.

Первый принцип приема радиосигналов заключается в получении электрических колебаний за счет энергии свободных электромагнитных волн.

Действительно, в радиосвязи носителем сигналов является электромагнитная волна, а извлечение информации в приемнике производится путем соответствующей обработки электрических колебаний. Поэтому и необходимо указанное преобразование сигналов. В радиоприемнике А. С. Попова первый принцип радиоприема был реализован с помощью приемной антенны.

Второй принцип радиоприема заключается в детектировании радиосигналов.

Детектированием называется процесс формирования низкочастотного сигнала, повторяющего закон модуляции радиосигнала. Прибор, осуществляющий детектирование, называется детектором.

Если на вход приемника поступает радиосигнал, изображенный на рис. 3.30, *в*, то в результате детектирования должен образоваться сигнал, имеющий форму управляющего сигнала, показанного на рис. 3.30, *б*. Таким образом, детектирование является процессом, обратным модуляции, и обязательность этого принципа радиоприема обусловлена самим принципом радиопередачи сигналов.

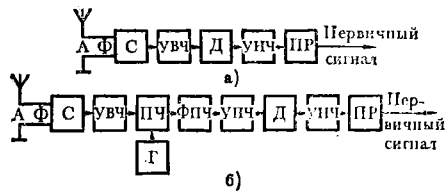
В приемнике А. С. Попова детектором являлся когерер. Поскольку его проводимость возрастает при наличии высокочастотного поля, то при воздействии телеграфного радиосигнала (см. рис. 3.30, *в*) через когерер протекает от батареи ток, повторяющий форму сигнала, показанного на рис. 3.30, *б*. Следовательно, форма тока повторяет форму управляющего (модулирующего) сигнала.

Третий принцип радиоприема заключается в каскадном усилении сигналов.

Усилением называется увеличение мощности сигналов при сохранении их формы (в отличие от трансформации, при которой может быть увеличено напряжение сигнала без увеличения его мощности).

Сохранение формы сигнала при усилении необходимо для сохранения заключенной в нем информации, т. е. для предотвращения искажений.

Необходимость увеличения мощности сигналов при радиоприеме обусловлена тем обстоятельством, что при больших дальностях связи мощности принятых сигналов совершенно недостаточно для приведения в действие регистрирующего прибора (звонка, телеграфного аппарата, телефонов и т. д.).



3.32

Структурные схемы радиоприемников:

а — структурная схема приемника прямого усиления включает антенну *А* и (при необходимости) фидер *Ф*, селективное устройство *С*, усилитель высокой частоты *УВЧ*, детектор *Д*, усилитель низкой частоты *УНЧ*, преобразователь *ПР* электрических колебаний в первичный сигнал (звонок, телеграфный аппарат, телефоны и тому подобные устройства);

б — структурная схема супергетеродинного приемника включает также преобразователь частоты *ПЧ* принятого сигнала (новая частота преобразованного сигнала, называемая промежуточной частотой, остается высокой), генератор (гетеродин *Г* для получения вспомогательных колебаний, с помощью которых осуществляется преобразование частоты), фильтр *ФПЧ* для селекции колебаний промежуточной частоты и усилитель промежуточной частоты *УПЧ*.

В предыдущем параграфе было отмечено, что напряженность поля сигнала при дальней связи может измеряться десятками и сотнями микровольт на метр. Соответственно столь же малым получается и напряжение на входе приемника. Если принять это напряжение $U=100$ мкВ, то при входном сопротивлении приемника порядка $R_{вх}=100$ Ом мощность на входе приемника получится около $P_{вх}=U^2/R_{вх}=10^{-10}$ Вт.

Таким образом, при скромной выходной мощности приемника в 1 Вт в этом случае потребуется увеличить мощность принятого сигнала в десять миллиардов раз.

Принцип покаскадного усиления заключается в том, что усиление осуществляют последовательно в несколько этапов или ступеней. В приведенном примере, например, усиление можно осуществить в пять этапов, увеличивая мощность на каждом этапе в сто раз.

Однократное увеличение мощности сигнала осуществляют в специальном устройстве, которое называется усилительным каскадом. Иногда усилительный каскад называют усилителем, хотя двух- или пятикаскадный усилитель — это тоже усилитель.

В приемнике А. С. Попова (см. рис. 3.25) усиление производилось в два этапа. На первом этапе получался усиленный ток, текущий через обмотку реле *Р*. Мощность этого тока значительно превышала мощность входного сигнала в антенне. На второй ступени усиления получался ток еще большей мощности, текущий через

обмотку электромагнита ЭМ. Таким образом, приемник А. С. Попова содержал два усилительных каскада.

Четвертым принципом радиоприема является селекция сигналов.

Чем больше расстояние, на котором осуществляется связь, тем слабее становятся сигналы на входе приемника и тем успешнее их «забывают» помехи, например грозовые разряды. Следовательно, при дальней радиосвязи особенно острой становится проблема подавления помех и выделения на их фоне полезного сигнала. Поэтому селекция сигналов является одним из важнейших принципов радиоприема.

А. С. Попов впервые столкнулся с новым видом помех — атмосферными (недаром ведь он создал вариант своего радиоприемника с самописцем-грозоотметчиком для регистрации гроз). И борьба с такими радиопомехами была весьма не простой задачей.

И тем не менее уже при первых опытах радиотелеграфии задача селекции была решена и решена с той гениальной простотой, которой могут позавидовать и современные радионженеры. Для селекции сигналов радиотелеграфные точки и тире азбуки Морзе были растянуты во времени приблизительно до двух и шести секунд. При этом якорь электромагнита ЭМ (см. рис. 3.25 и 3.27) можно сделать настолько массивным, что вследствие его инерционности электрический звонок ЭЗ не будет срабатывать при воздействии кратковременных помех, но будет отзываться на длительные телеграфные сигналы. Но если даже кратковременные и к тому же хаотические грозовые разряды регистрировались звонком или телеграфным аппаратом, то отделить от них (на слух или визуально на телеграфной ленте) продолжительные телеграфные сигналы не составляло никакого труда.

Рассмотренным принципам радиоприема соответствует функциональная схема радиоприемника, показанная на рис. 3.32, а. Современные радиоприемники содержат и другие функциональные узлы (рис. 3.32, б), предназначенные для дополнительных преобразований сигнала, например для преобразования частоты принятого сигнала.

4 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАДИОТЕХНИКИ

Излучение и прием электромагнитных волн

Излучение и прием
электромагнитных волн
Усиление сигналов
Генерирование
высокочастотных
колебаний
Модуляция
Борьба с радиопомехами
и селекция сигналов
Детектирование

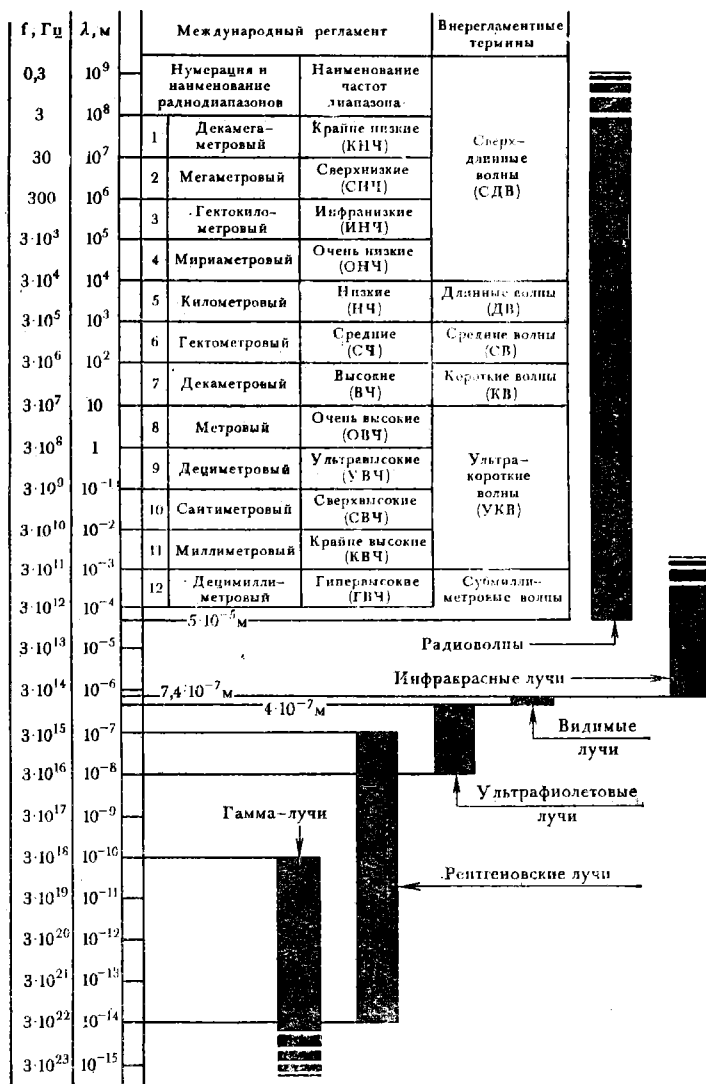
Чтобы практически решить любую инженерную задачу, надо знать не только принципы ее решения, но и методы их реализации.

Ведь при всей неизбежности принципов функционирования каких-либо технических систем пути и средства их реализации постоянно эволюционируют. Быстрая эволюция радиотехнических методов, которая привела радио в каждый дом, явилась важнейшим звеном современного технического прогресса. А технический прогресс властно вторгается даже в нашу речь, рождая новые слова и понятия. «Телеграф» и «телефон», «радиоволны» и «телевизор», «антенна» и «транзистор» — эти слова знакомы сейчас каждому школьнику. И многие из них обязаны своим рождением развитию радиотехнических методов.

Прогресс в радиотехнике тесно связан с расширением используемых в ней диапазонов частот электромагнитных колебаний.

Если А. С. Попов в радиотелеграфии использовал радиоволны с длиной волны 200...500 м, то в настоящее время в радиотехнике используется даже опти-

ДИАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ



ческий диапазон электромагнитных колебаний. Но официально к радиоволнам относят электромагнитные волны с длиной $\lambda > 5 \cdot 10^{-5}$ м, т. е. с частотой $f < 6 \cdot 10^{12}$ Гц.

Под длиной волны понимают расстояние, проходимое волной за один период колебаний $\lambda = cT = c/f$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость распространения электромагнитных волн.

В таблице приведены длины волн λ используемых в настоящее время радиоволн. Там же показаны соответствующие им частоты f , а также место радиоволн в ряду электромагнитных колебаний. Согласно международному регламенту связи часть радиоволн выделена и разделена на 12 диапазонов. В таблице приведены и вне-регламентные термины, не рекомендуемые сейчас к употреблению (при использовании термина УКВ ему соответствовал диапазон частот, называвшихся СВЧ).

Следует отметить, что при наименовании длин волн (как и любых физических величин — частот, времени, напряжений и т. д.) используют специальные названия и обозначения кратных и дольных единиц:

10^{12} — тера (Т)	10^{-1} — деци (д)
10^9 — гига (Г)	10^{-2} — санти (с)
10^6 — мега (М)	10^{-3} — милли (м)
10^3 — кило (к)	10^{-6} — микро (мк)
10^2 — гекто (г)	10^{-9} — нано (н)
10 — дека (да)	10^{-12} — пико (п)

Разбивка радиоволн на диапазоны производится с учетом особенностей получения и условий их распространения над земной поверхностью. На распространение радиоволн оказывают влияние как поверхность Земли, так и ионосфера — верхний слой атмосферы, ионизирующийся под действием солнечной радиации и других факторов. В ионосфере радиоволны преломляются и могут вследствие этого возвращаться к Земле. Однако преломление получается тем меньше, чем больше частота. В частности, метровые и более короткие волны преломляются в ионосфере настолько слабо, что не возвращаются на Землю и уходят в космическое пространство. Эти волны плохо огибают земную поверхность, поэтому и связь на столь коротких волнах возможна только в пределах прямой видимости (если в атмосфере не возникают специфические неоднородности, приводящие к искривлению траектории таких волн). Разбивка радио-

волн на диапазоны является до некоторой степени условной, поскольку не существует резкой границы между свойствами волн, лежащих в смежных диапазонах.

Переход в радиосвязи к более коротким волнам позволяет использовать большее количество радиостанций в отведенном частотном диапазоне. Например, при ширине спектра (13) в 10 кГц на средних частотах с шириной диапазона 2,7 МГц может работать не свыше 270 радиостанций, если даже спектры сигналов этих станций вплотную примыкают друг к другу. При тех же условиях в дециметровом диапазоне волн может работать до 270 000 радиостанций.

Излучение и прием свободных электромагнитных волн производится с помощью передающей и приемной антенн (рис. 3.33).

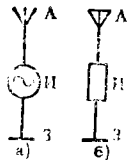
В простейшем случае напряженность поля излучения передающей антенны получается пропорциональной длине l излучающего проводника и амплитуде протекающего в нем тока. В приемной же антенне под воздействием электромагнитного поля с напряженностью \bar{E} наводится э. д. с., т. е. происходит преобразование этого поля в электрические колебания. Величина этой э. д. с.

$$E = h_a \bar{E}$$

зависит от так называемой действующей высоты антенны h_a , которая определяется конструкцией антенны и пропорциональна длине приемного проводника l .

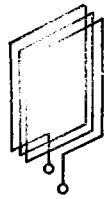
Приемная и передающая антенны являются взаимозаменяемыми. При этом обратимость этих антенн выражается и в количественном соответствии: например, и эффективность излучения, и эффективность приема получаются тем больше, чем длиннее проводник, используемый в качестве передающей или приемной антенны.

В современной радиотехнике широко используются антенны направленного действия. Такие антенны при передаче излучают радиоволны в разных направлениях с различной интенсивностью. Эти же антенны при радиоприеме с различной эффективностью принимают радиоволны, приходящие с разных направлений. Обратимость передающей и приемной антенн проявляется еще и в том, что они имеют одинаковые диаграммы направленности, т. е. диаграммы, показывающие интенсивность излучения или эффективность приема в разных направлениях.



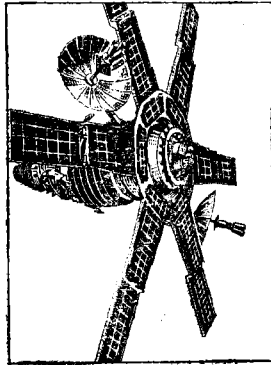
3.33

В простейшем случае передающая антенна A (а) представляет собой проводник, по которому протекает переменный ток от некоторого источника H . Один из концов излучающего проводника через источник соединяется с землей Z (заземляется). Заземление создаст условие для протекания в антенне тока, этот ток замыкается через емкость, которая образуется между излучающим проводником и землей. Тот же проводник может служить и приемной антенной A (б). В этом случае между приемным проводником и заземлением включается нагрузка H .



3.34

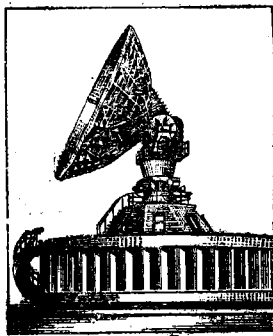
Рамочная антенна состоит из ряда витков провода, расположенных в одной плоскости, которая называется плоскостью рамки.



а)

3.35

Параболические антенны направленного действия широко используются в радиотехнике, например на космических спутниках (а), ретрансляторах «Орбита» (б) и т. д. Станция «Орбита» совместно с космическими спутниками связи служат для ретрансляции радиовещательных и телевизионных программ и для других нужд связи.



б)

Простейшей антенной направленного действия является рамочная антенна (рис. 3.34), предложенная в 1913 г. немецким физиком К. Ф. Брауном. В передающей рамочной антенне ее вертикальные стороны излучают волны в противофазе, поскольку токи в этих сторонах протекают в противоположных направлениях — снизу вверх и сверху вниз. Проведем мысленно линию, перпендикулярно к плоскости рамки и проходящую через центр этой плоскости. На этой линии, которую будем называть осью рамки, все точки равноудалены от вертикальных излучающих сторон рамочной антенны, поэтому в указанных точках волны, излученные вертикальными сторонами рамки, будут иметь одинаковые амплитуды, но противоположные фазы.

Следовательно, эти волны будут взаимно компенсироваться. Это равносильно отсутствию излучения в направлении оси рамочной антенны. В направлении же плоскости рамки волны от одной и другой сторон рамки распространяются, имея в одних и тех же точках фазовый сдвиг, отличный от угла π .

Действительно, пока волна от одной стороны рамки доходит до другой стороны, ток в этой другой стороне успевает измениться по фазе. Поэтому вторая излученная волна не компенсирует первую, и в направлении плоскости рамки излучение получается максимальным.

Аналогично, на выходе приемной рамочной антенны э. д. с. отсутствует, если радиоволны распространяются в направлении оси рамки. Это происходит потому, что э. д. с., наводимые при этом в противоположных сторонах рамки, получаются одинаковыми по величине, но со встречной полярностью. Таким образом, происходит компенсация указанных э. д. с., а суммарная э. д. с. на выходе рамочной антенны получается равной нулю. При распространении же волн в плоскости рамочной антенны э. д. с. на ее выходе получается максимальной. Это происходит потому, что за время распространения волны от одной до другой стороны рамочной антенны э. д. с., наведенная в ее ближней стороне, успевает измениться по фазе. Из этого описания видно, что при изменении направления приходящей волны в разные стороны от оси рамки фаза э. д. с. на выходе рамки меняется на угол π .

Рамочная антенна направленного действия применяется на длинных, средних и коротких волнах. Для получения направленного излучения и приема ультракоротких волн рядом с излучателем или приемником поля располагают металлические отражатели в виде стержней и решеток. Дециметровые и более короткие волны можно удобно фокусировать с помощью металлических отражателей, имеющих параболическую форму, подобно оптическим отражателям в прожекторах.

Применение остронаправленных антенн, подобных параболическим, предотвращает рассеяние электромагнитной энергии в пространстве и существенно повышает дальность радиосвязи. Благодаря таким антеннам стала возможной дальняя космическая связь (рис. 3.35).

Усиление сигналов

Увеличение мощности сигналов при их усилении отнюдь не означает нарушения закона сохранения энергии. Такое увеличение мощности в усилительном каскаде происходит за счет энергии местного источника питания. Ток от этого источника проходит через нагрузку, выделяя на ней некоторую мощность, которая определяется не мощностью усиливаемого сигнала, а параметрами источника и нагрузки.

Но изменения тока в нагрузке должны повторять форму усиливаемого сигнала. Это достигается за счет того, что в усилительный каскад, помимо источника питания *ИП* и нагрузки *Н*, с которой снимается усиленный выходной сигнал *ВС*, включают управляющий элемент *УЭ* (рис. 3.36). Этот элемент регулирует прохождение тока от источника через нагрузку в соответствии с изменением усиливаемого сигнала *УС*.

Управляющий элемент *УЭ* может иметь различную физическую природу. Это может быть электромагнитный или электронный прибор и т. д. Работа управляющего элемента может быть основана на разных принципах. Под воздействием усиливаемого сигнала *УС* могут меняться во времени параметры элемента *УЭ*, например его сопротивление протекающему току. Это и приводит к изменению тока в цепи нагрузки, а значит, и мощности, отдаваемой нагрузке. В качестве управляющих элементов могут использоваться, например, лампы триоды. В этих приборах протекающий ток изменяется под воздействием меняющегося потенциала управляющего электрода. Это и означает изменение сопротивления триода в соответствии с изменением усиливаемого сигнала.

Многокаскадный усилитель может содержать один общий источник питания для всех усилительных каскадов. Аналогично было сделано и в приемнике А. С. Попова. Два усилительных каскада этого приемника содержали общий источник питания — батарею *Б*. В первом каскаде нагрузкой являлась обмотка реле *Р*, а управляющим элементом — когерер *К*. Во втором каскаде управляющим элементом являлось реле *Р*, а нагрузкой — обмотка электромагнита *ЭМ*.

Таким образом, когерер в приемнике А. С. Попова выполнял две функции — детектирования высокочастот-

ного сигнала и управления усиленным низкочастотным сигналом. Аналогичное совмещение различных функций в одном каскаде широко используется и в современной технике.

Совершенствование усилительной техники явилось предпосылкой бурного прогресса радиотехники. Это совершенствование должно было относиться прежде всего к управляющему элементу. Ведь электромеханические управляющие элементы типа реле могли применяться только для усиления скачкообразно изменяющихся телеграфных сигналов. Качественное изменение усилительной техники произошло с появлением трехэлектродной электронной лампы — триода. Новый переворот в усилительной технике произвел транзистор, вытеснивший в электронных усилителях вакуумную лампу. Транзистор был изобретен в 1948 г. американскими физиками Дж. Бардиным, У. Браттейном и У. Б. Шокли, которые за открытие транзисторного эффекта были удостоены Нобелевской премии в 1956 г.

Как уже отмечалось, электронные усилители позволяют усиливать не только телеграфные сигналы, но и сигналы любой сложной формы, в том числе и высокочастотные радиосигналы. При этом в усилителях высокой частоты в качестве нагрузки используются элементы, параметры которых зависят от частоты. Это позволяет получить в таких усилителях характеристики, подобные частотной характеристике, изображенной на рис. 3.9, г. При этом усилитель обладает избирательными свойствами и называется селективным усилителем.

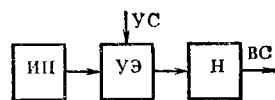
Качество усилителя определяется его чувствительностью. Чувствительность характеризуется величиной мощности $P_{вх}$ сигнала, который надо подвести ко входу усилителя, чтобы получить на его выходе заданную мощность $P_{вых}$: чем меньше $P_{вх}$, тем выше чувствительность усилителя. Чувствительность усилителя, используемого в радиоприемнике, определяет и чувствительность приемника.

Свойства усилителя характеризуют также коэффициентом усиления мощности $K_P = P_{вых}/P_{вх}$ и коэффициентами усиления по напряжению или току: $K_U = U_{m\text{ вых}}/U_{m\text{ вх}}$ и $K_I = I_{m\text{ вых}}/I_{m\text{ вх}}$.

Значения коэффициентов усиления зависят от параметров нагрузки и управляющего элемента. В электронных усилителях, например, значение коэффициента уси-

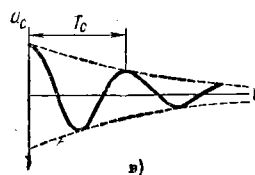
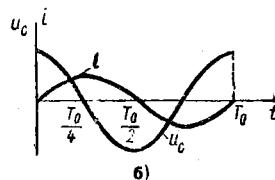
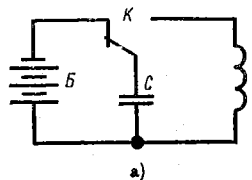
ления зависит от величины питающего напряжения, подведенного к электронному прибору. Изменение напряжения приводит к изменению усилительных свойств лампы и транзистора.

На сверхвысоких частотах начинает сказываться ничтожно малая инерционность носителей зарядов в электронных приборах: поток этих носителей не успевает изменяться в соответствии со сверхвысокочастотными изменениями потенциала управляющего электрода. Поэтому развитие электронной техники привело в середине нашего века к созданию СВЧ-приборов, в которых значительно уменьшено влияние инерционности электронов. В частности, на СВЧ применяются электронно-волновые усилители, называемые также лампами бегущей волны (ЛБВ). Первая конструкция электронно-волнового усилителя была запатентована в 1936 г. американским инженером А. Гаевым. Однако ЛБВ разных конструкций стали достаточно широко применяться лишь в конце 40-х годов. В ЛБВ управление электронным потоком осуществляется электромагнитной волной, распространяющейся вместе с этим потоком. Волна, перемещающаяся приблизительно с той же скоростью, что и электронный поток, управляет электронами на всем протяжении их полета, и их инерционность вообще перестает сказываться. При этом энергия пучка электронов передается волне, и ее мощность возрастает, передаваясь затем в нагрузку.



3.36

В усилительном каскаде можно выделить источник питания *ИП*, за счет энергии которого на выходе усилителя формируется усиленный сигнал, управляющий элемент *УЭ*, параметры которого меняются под действием управляющего сигнала *УС*, и нагрузку *Н*, на которой создается выходной сигнал *ВС*.



3.37

Колебательные свойства электрического *LC*-контура используются для получения затухающих колебаний, генерирования незатухающих колебаний и т. п. целей

На СВЧ и более высоких частотах, а частично и на УВЧ, сейчас широко применяются так называемые квантовые усилители, в которых увеличение мощности сигнала достигается за счет энергии возбужденных атомов, молекул или ионов. В квантовых усилителях используются также и полупроводниковые приборы. С освоением в радиотехнике диапазона оптических волн квантовые усилители стали применяться для усиления лазерного излучения.

Основоположниками квантовой электроники являются академики Н. Г. Басов и А. М. Прохоров, которые за свои работы были удостоены Ленинской премии в 1959 г. Этим же ученым вместе с американским физиком Ч. Таунсом была присуждена в 1964 г. Нобелевская премия за выдающиеся исследования в области квантовой радиофизики.

В наше время различные типы усилителей находят широкое применение не только в радиоаппаратуре, но и в технике проводной связи, а также во многих других устройствах.

Генерирование высокочастотных колебаний

Искровой генератор высокочастотных колебаний, применявшийся на первых порах в радиотелеграфии, не позволял перейти к радиотелефонии. Как уже отмечалось, для этого нужен был источник незатухающих высокочастотных колебаний. В качестве такого источника в первой радиотелефонной передаче был использован высокочастотный дуговой генератор.

В основе работы такого генератора, как и других современных генераторов высокочастотных колебаний, лежат свойства так называемого колебательного контура. Этот контур состоит из конденсатора C и катушки индуктивности L . Если конденсатор зарядить, например, от батареи B (рис. 3.37, *a*), то в его электрическом поле накопится некоторая энергия. Переведя теперь ключ K в правое положение, получим контур, в котором конденсатор будет разряжаться через индуктивность. При этом энергия электрического поля конденсатора полностью переходит в магнитное поле катушки к моменту времени $T_0/4$ (рис. 3.37, *б*). В этот момент напряжение u_C становится равным нулю, а ток i , текущий через индуктивность, становится максимальным, что и соответствует

максимуму энергии в магнитном поле, поскольку энергия пропорциональна квадрату тока. Затем начинается обратный процесс: энергия магнитного поля переходит в энергию электрического поля. При этом переходе ток уменьшается, но течет в прежнем направлении, а конденсатор заряжается с противоположной полярностью. В момент времени $T_0/2$ ток и запасенная в магнитном поле энергия становятся равными нулю, а напряжение на конденсаторе и запасенная в его электрическом поле энергия становятся максимальными. При этом напряжение имеет первоначальную величину, но противоположную полярность. Поэтому рассмотренный процесс разряда и переразряда конденсатора повторяется в обратном направлении, так что через тот же интервал $T_0/2$ в момент времени T_0 на конденсаторе устанавливается первоначальное напряжение. Следовательно, рассмотренный процесс после момента T_0 должен периодически повторяться, т. е. время T_0 является периодом этого процесса.

Таким образом, при разряде конденсатора через катушку индуктивности возникают периодические (гармонические) колебания с частотой $f_0 = 1/T_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$, которые называются собственными колебаниями контура.

Если рассмотренный процесс проанализировать более тщательно, то окажется, что в действительности он не является периодическим. По мере перехода энергии электрического поля в магнитное и обратно энергия частично расходуется необратимо, переходя, например, в тепловую. Такое необратимое расходование энергии происходит на так называемом сопротивлении потерь $R_{\text{п}} = \Delta u / \Delta i$, где Δu и Δi — приращения напряжения и тока на этом сопротивлении за некоторый малый промежуток времени $\Delta t \ll T_0$. За счет указанных потерь амплитуда собственных колебаний уменьшается с течением времени (рис. 3.37, в), т. е. эти колебания являются затухающими. При этом несколько уменьшается и интервал T_c , который условно может быть назван периодом затухающих колебаний. При малых потерях этот период уменьшается незначительно по сравнению с периодом T_0 ($T_c \approx T_0$). Поэтому частота собственных колебаний (собственная частота колебательного контура) определяется приближенно следующим образом:

$$f_c = 1/T_c \approx f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC}), \quad (25)$$

где f_0 — по-прежнему частота незатухающих собственных колебаний контура.

Из этой формулы видно, что при надлежащем выборе параметров контура L и C могут быть получены высокочастотные колебания. Например, при емкости $C = 100 \text{ пФ} = 10^{-10} \text{ Ф}$ и индуктивности $L = 100 \text{ мкГ} = 10^{-4} \text{ Г}$ частота собственных колебаний контура $f_c = 1,59 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 1,59 \text{ МГц}$.

Если ключ K (рис. 3.37, а) периодически переключать на заряд и разряд конденсатора, получится серия затухающих высокочастотных колебаний, как и в искровом генераторе (см. рис. 3.30, а). Для получения незатухающих колебаний надо скомпенсировать потери в колебательном контуре. В дуговом генераторе с этой целью использовалась вольтова дуга, в которой сопротивление плазменного промежутка получается отрицательным: $R_d = \Delta U / \Delta I < 0$.

Это обусловлено тем, что при увеличении тока ($\Delta I > 0$) резко возрастает ионизация плазменного промежутка, и падение напряжения на нем уменьшается ($\Delta U < 0$). Таким образом, вольт-амперная характеристика электрической дуги $\Delta U = \Delta U(\Delta I)$ имеет падающий участок, на котором $R_d < 0$. Если такую дугу с отрицательным сопротивлением $R_d < 0$ подключить к колебательному контуру, то его положительное сопротивление потерь может быть скомпенсировано. При этом высокочастотные собственные колебания контура станут незатухающими.

Дуговые генераторы использовались сравнительно недолго. Некоторое время для получения высокочастотных незатухающих колебаний применялись многополюсные высокооборотные машинные генераторы переменного тока. Наиболее широко использовались машинные генераторы конструкции В. П. Вологодина, которые позволяли получить большие мощности и которым впоследствии нашлось промышленное применение.

В современных генераторах высокочастотных колебаний по-прежнему используется колебательный контур, но потери в нем компенсируются с помощью электронной лампы или транзистора. Ламповый генератор синусоидальных колебаний был изобретен в 1913 г. немецким ученым А. Мейснером.

Ламповый или транзисторный генератор представляет собой усилитель с нагрузкой в виде колебательного кон-

тура, в котором часть колебательной энергии подводится с выхода на вход каскада по так называемой цепи обратной связи. В других вариантах схем генератора резонансный контур включается не на выходе, а на входе каскада, что не является принципиальным. При надлежущей фазировке колебаний в цепи обратной связи за счет дополнительной энергии, поступающей на вход каскада, конденсатор в колебательном контуре подзарядается до первоначальной величины напряжения каждый полупериод колебаний. За счет такого толчкообразного поступления энергии в колебательный контур возникшие в нем колебания становятся незатухающими (полезно вспомнить аналогичный пример: незатухающие колебания качелей могут поддерживаться периодическими толчками).

При слабой обратной связи, когда в генераторе по цепи обратной связи поступает энергия, недостаточная для полной компенсации потерь в колебательном контуре, эти потери компенсируются лишь частично. При этом колебания остаются затухающими, и генератор работает в недовозбужденном режиме. Но к недовозбужденному генератору достаточно подвести слабый внешний сигнал с частотой (25), чтобы в контуре возникли колебания большой мощности, причем величина этих колебаний получается пропорциональной величине подведенного высокочастотного сигнала. Таким образом, недовозбужденный генератор может работать в качестве усилителя высокочастотных колебаний. Такой усилитель называется регенеративным.

Следует отметить, что и в обычном усилителе существует паразитная обратная связь, за счет которой усилитель может перейти в режим работы автогенератора. Обратная связь, возникающая, например, за счет паразитных емкостей схемы, получается тем глубже, чем больше частота. Для предотвращения самовозбуждения усилителей с ростом частоты приходится уменьшать коэффициент усиления.

Описанный принцип генерирования синусоидальных колебаний является не единственно возможным. В описанном генераторе лампа или транзистор с цепью обратной связи выполняет функции своеобразного отрицательного сопротивления, компенсирующего положительное сопротивление потерь колебательного контура. Возможны также схемы генераторов, в которых лампа или



Академик Н. Д. Папалекси
(1880—1947)

полупроводниковый прибор непосредственно выполняет функции отрицательного сопротивления (при отсутствии цепи обратной связи). Для этого электронный прибор ставится в такой режим работы, чтобы на его вольт-амперной характеристике получался падающий участок. В таких генераторах в качестве отрицательного сопротивления может использоваться и полупроводниковый диод. Именно такие генераторы в недовозбужденном режиме использовал впервые О. В. Лосев в регенеративных усилителях.

Один из своеобразных принципов получения незатухающих колебаний использован в так называемых параметрических генераторах, в которых колебания возникают не за счет разряда конденсатора, а за счет периодического изменения параметров контура — емкости C или индуктивности L (отсюда и происходит название параметрических генераторов). В основе работы этих генераторов лежит возможность изменения энергии, запасенной в электрическом поле конденсатора, не путем изменения напряжения, а путем изменения емкости. Впервые параметрические генераторы были созданы советскими радиофизиками академиками Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси. В современных параметрических генераторах в качестве переменной емкости используется обычно межэлектродная емкость полупроводниковых диодов. Такие генераторы применяются в диапазоне СВЧ и на других частотах.

Следует отметить, что параметрический генератор в недовозбужденном режиме работает как усилитель. Такие усилители, широко используемые в диапазоне СВЧ, называются параметрическими усилителями.

Наоборот, квантовые усилители СВЧ в перевозбужденном режиме могут работать в качестве квантовых генераторов. Сначала были созданы (в 1954 г.) именно квантовые генераторы СВЧ-диапазона. Квантовые генераторы оптического диапазона были созданы в 1960 г.

Генерация СВЧ-колебаний осуществляется также с

помощью ЛБВ, таких же, как в электронно-волновых усилителях, но с обратной связью. Существуют также параметрические генераторы бегущей волны. Для генерации на СВЧ применяются и другие специальные электронные приборы — клистроны, магнетроны и др. Магнетронные генераторы СВЧ позволяют получить наибольшую колебательную мощность по сравнению с другими генераторами при использовании многорезонаторных магнетронов, в которых используются несколько связанных между собой колебательных элементов — резонаторов. Многорезонаторные магнетроны были разработаны в 1936—1937 гг. советскими инженерами Н. Ф. Алексеевым и Д. Е. Маляровым.



Академик Л. И. Мандельштам (1879—1944)

Модуляция

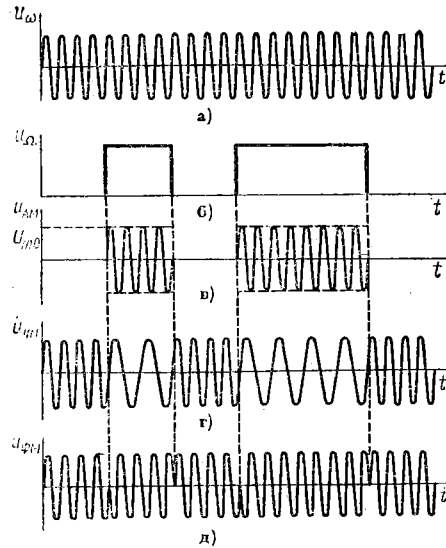
Один из способов модуляции был рассмотрен выше на примере получения радиотелеграфных сигналов с несущим сигналом в виде последовательности высокочастотных затухающих импульсов. При использовании незатухающих высокочастотных колебаний этот процесс выглядит несколько иначе. Различные способы модуляции таких колебаний рассмотрим опять-таки на простейшем примере телеграфной модуляции, называемой также телеграфной манипуляцией.

На рис. 3.38 показаны высокочастотные колебания (2) с начальной фазой $\psi_0 = -\pi/2$, управляющий телеграфный сигнал u_Ω и соответствующие ему манипулированные сигналы u_{AM} , $u_{ЧМ}$ и $u_{ФМ}$. В случае телеграфного АМ-сигнала его амплитуда меняется скачками между нулем и значением U_{m0} (рис. 3.38, в) в соответствии со значением управляющего сигнала. Аналогично скачками изменяется при этом и частота ЧМ-сигнала на некоторую величину $\Delta\omega$ (рис. 3.38, г), и начальная фаза ФМ-сигнала на величину π (рис. 3.38, д).

Возможные способы телеграфной манипуляции показаны на рис. 3.39. Телеграфный АМ-сигнал получается

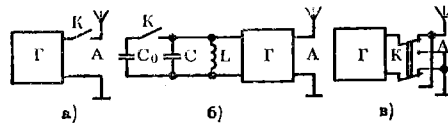
3.38

При изменении по закону управляющего сигнала (б) различных параметров высокочастотных колебаний (а) получаются разные телеграфные радиосигналы: амплитудно-модулированные (в), частотно-модулированные (г) и фазо-модулированные (д).



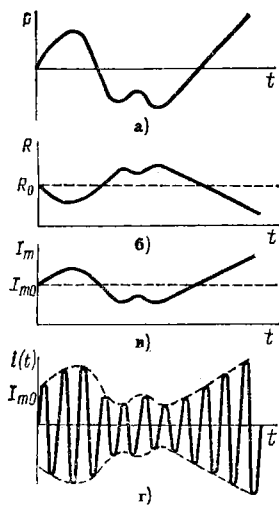
3.39

Телеграфные радиосигналы с разными видами модуляции получаются за счет изменения способов телеграфной манипуляции



путем подключения антенны к генератору на время передачи телеграфного знака (рис. 3.39, а). Телеграфная манипуляция может осуществляться и не в цепи антенны. Если в мощном радиотелеграфном передатчике между генератором и антенной стоит усилитель (он может быть и многокаскадным), то телеграфный ключ в цепи антенны должен был бы манипулировать большими токами, находясь при этом под большим напряжением. Чтобы избежать этого, телеграфный ключ можно поставить на входе усилителя, который при этом будет усиливать не колебания (2), а телеграфный радиосигнал.

На рис. 3.39, б показан способ получения телеграфного ЧМ-сигнала. Здесь отдельно изображен колебательный контур генератора, состоящий из индуктивности L и емкости C , которые и определяют частоту (25) генерируемых колебаний. При нажатом ключе емкость контура



3.40

Различные преобразования, в частности амплитудную модуляцию сигналов, можно осуществлять с помощью параметрических элементов, т. е. элементов, электрические параметры которых меняются под действием внешних воздействий

меняется скачком от значений C до значения $(C + C_0)$ и частота (25) соответственно уменьшается (см. рис. 3.38, з).

На рис. 3.39, в показан способ получения телеграфного ФМ-сигнала. Здесь скачкообразное изменение начальной фазы на угол π (рис. 3.38, д) достигается простым переключением концов антенны с помощью сдвоенного телеграфного ключа.

Нам осталось ответить на вопрос, каким образом могут быть получены модулированные сигналы при произвольном управляющем сигнале, например речевом, телевизионном и т. д. Для этого могут быть использованы, например, изменяющиеся во времени сопротивление R , емкость C и индуктивность L .

Параметры линейных элементов R , C и L можно менять по некоторому заданному закону, не зависящему от значений напряжений и токов в этих элементах. Такие элементы называются элементами с переменными параметрами или параметрическими элементами.

С помощью параметрических элементов можно осуществлять различные преобразования сигналов и, в частности, модуляцию. Например, для получения телефонного радиосигнала можно осуществить амплитудную модуляцию с помощью обычного угольного микрофона, который является параметрическим элементом, поскольку при изменении акустического давления p (рис. 3.40, а) на мембрану соответственно меняется и его сопротивление R (рис. 3.40, б). Если в схеме рис. 3.39, а вместо телеграфного ключа поставить такой микрофон, то соответственно изменению его сопротивления R будет меняться и амплитуда тока в антенне I_m . По аналогии с формулой (4) эта амплитуда описывается следующим образом:

$$I_m = I_m(t) = I_{m0} + ap(t).$$

При этом в антенне получается АМ-сигнал, который по аналогии с формулой (3) изменяется по закону

$$i(t) = I_m(t) \cos(\omega_0 t + \psi_0).$$

Параметрическая частотная модуляция может быть осуществлена с помощью так называемого конденсаторного микрофона, представляющего собой параметрическую емкость. В этом конденсаторе мембрана является одной из обкладок воздушного конденсатора. Поэтому при изменении акустического давления соответственно меняется и емкость конденсатора. Если в схеме рис. 3, 39, б вместо телеграфного ключа и емкости C_0 поставить конденсаторный микрофон, то частота генератора будет меняться в соответствии с изменением емкости, т. е. будет получен телефонный ЧМ-сигнал.

В современной аппаратуре в качестве параметрических элементов используются электронные приборы и устройства, в том числе полупроводниковые.

Борьба с радиопомехами и селекция сигналов

Помехи нарушают информацию, заключенную в сигнале, имея с ним одинаковую физическую природу. Световые помехи от посторонних огней потому и мешали Энею Тактику, что факельные сигналы были тоже световыми. Утечка воды из сигнального сосуда потому и нарушала информацию, что эта информация отсчитывалась по уровню воды в сосуде. А атмосферные радиопомехи от грозных разрядов и радиотелеграфные сигналы от искрового передатчика даже форму имеют одинаковую, а не только одинаковую природу электромагнитного поля. Более того, те же самые атмосферные радиопомехи использовались А. С. Поповым в качестве полезных сигналов при регистрации гроз. И сейчас полезный сигнал, предназначенный для одного адресата, является для других слушателей радиопомехой.

С первых шагов радиотелеграфии возникла проблема борьбы с атмосферными радиопомехами. В наши дни еще большие неприятности доставляют промышленные радиопомехи, обусловленные действием различных электрических устройств как промышленного, так и бытового назначения.

Третий вид радиопомех — внутренние шумы прием-

ника, которые являются следствием теплового движения электрических зарядов в элементах самого приемника. На станциях «Орбита», принимающих весьма слабые сигналы с космических ретрансляторов, некоторые элементы радиоприемника приходится даже охлаждать до температуры жидкого азота (77 К), чтобы уменьшить тепловое движение зарядов и соответственно снизить уровень внутренних шумов. А некоторые узлы специальных приемников СВЧ-диапазона охлаждают до температуры жидкого гелия (4,2 К).

Наконец, в эпоху космической связи не менее актуальной является борьба с космическими радиопомехами, возникающими вследствие радионизлучения Солнца и других небесных тел. Наземные линии радиосвязи, прикрытые щитом ионосферы, более или менее избавлены от воздействия этих помех на коротких и более длинных волнах. Но многим известно о прекращении радиосвязи на коротких волнах во время так называемых магнитных бурь, вызываемых возмущениями в ионосфере под прямым влиянием космического излучения. В случае же радиосвязи с космическими станциями на более коротких волнах космические помехи легко путешествуют по космическому радиоканалу и поступают в приемник вместе с полезным сигналом.

Как же бороться с помехами? Борьба с радиопомехами может вестись тремя путями.

Первый путь связан с подавлением помех в месте их возникновения (как это сделано с помощью охлаждающих установок на станции «Орбита» для подавления внутренних шумов). Подобным же образом подавляют промышленные радиопомехи, снабжая электроустановки устройствами, предотвращающими появление радиоизлучений или экранирующими возникшие излучения. На автомашине, например, прерыватель системы зажигания снабжают искрогасящим приспособлением и экранируют всю систему зажигания, а на самолете соединяют гибкими металлическими перемычками все его части, электризующиеся при трении о воздух, чтобы между этими частями не возникали электрические разряды.

Второй путь — предотвращение попадания помех в приемник (как это сделано в факельном телеграфе с помощью визированных труб). Впрочем, такой путь борьбы с помехами можно рассматривать и как разновидность третьего пути — селекции сигналов.

Селекция может быть основана на любом различии между сигналом и помехой. При отсутствии какого-либо различия между ними не было бы и возможности отделить полезный сигнал от помех. Селекция сигналов может сопровождаться (но не обязательно) подавлением помех в самом радиоприемном устройстве или увеличением уровня сигнала по сравнению с уровнем помех.

Различные виды селекции классифицируют как по тем отличиям сигнала от помехи, на которых основана селекция, так и по самим методам отделения сигнала от помех. Например, отделение факельного сигнала от мешающих огней с помощью визированных труб может быть названо пространственной селекцией, поскольку она основана на различном пространственном расположении источников сигнала и помехи, т. е. на различии в направлениях прихода сигнала и помехи к приемнику. Пространственная селекция может осуществляться и в радиоприемниках с помощью антенн направленного действия.

Селекция радиосигналов, применявшаяся в приемнике А. С. Попова, основана на различной продолжительности сигнала и помехи. Такая селекция может быть названа временной селекцией. В настоящее время применяется временная селекция, основанная на несовпадении во времени сигнала и помехи, когда они имеют вид чередующихся импульсов. Однако не забыто и временное растяжение сигнала.

Например, в 1966 г. советская автоматическая межпланетная станция «Луна-9» впервые в мире осуществила мягкую посадку на Луну и телевизионную передачу изображения ее поверхности на Землю. При этом высокое качество фотографий, переданных по космическому радиоканалу, было обеспечено сочетанием различных современных методов селекции. Однако в этом радиоканале было применено и растяжение сигналов во времени. С этой целью одна строка телевизионной развертки фотографии лунной поверхности передавалась на Землю в течение одной секунды. В обычном же телевизионном канале за одну секунду передается 25 кадров, каждый из которых состоит из 625 строк, т. е. передается 15 625 строк в секунду.

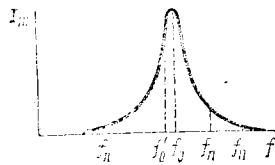
В специальных курсах показывается, что растяжение сигналов во времени повышает эффективность и наиболее универсального частотного метода селекции. Час-

тотная селекция основана на различии частот сигнала и помехи. В устройствах частотной селекции используется явление резонанса, впервые примененного в одном из вариантов приемника Г. Маркони, что содействовало повышению дальности связи.

Смысл явления резонанса отражает само его название: *resono* (лат.) — звучу в ответ, откликаюсь. Ответное звучание струны, например, возникает, когда посторонний звук, возбуждающий струну, совпадает по частоте с частотой собственных колебаний струны. При этом струна резонирует, т. е. дает отзвук. Резонансный отзвук может быть слышен и тогда, когда возбуждающий струну звук настолько слаб, что не воспринимается на слух. Это означает, что при резонансе амплитуда ответных, или вынужденных, колебаний значительно превышает амплитуду возбуждающих колебаний. Здесь опять напрашивается сравнение с качелями: размах их колебаний резко возрастает именно тогда, когда частота внешних возбуждающих толчков совпадает с частотой собственных колебаний качелей.

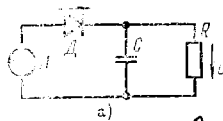
Но ведь собственной частотой (25) обладает и колебательный контур, составленный из индуктивности L и емкости C . Следовательно, такому контуру должны быть присущи и резонансные свойства, и его можно назвать резонансным контуром. Частота f_0 , входящая в соотношение (25) и равная частоте незатухающих собственных колебаний, является резонансной частотой этого контура. Ток в резонансном контуре становится максимальным по амплитуде, когда частота внешних колебаний, возбуждающих контур, совпадает с резонансной частотой f_0 . На рис. 3.41 показан график зависимости амплитуды I_m тока в контуре от частоты f возбуждающих колебаний при их постоянной амплитуде. Такой график называется резонансной характеристикой или резонансной кривой контура. На рис. 3.41 отмечена резонансная частота f_0 и ряд других частот (f'_0 , f_{π}), которые рассматриваются ниже.

Резонансные свойства контура используются в устройствах частотной селекции, которые называются частотными фильтрами или просто фильтрами. Пусть на контур воздействует несколько внешних колебаний, из которых одно является полезным сигналом с частотой f_0 , а остальные — помехами с разными частотами $f_{\pi} \neq f_0$. Резонансную частоту контура можно сделать равной



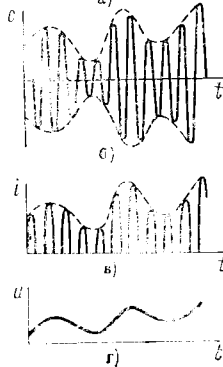
3.41

Форма амплитудно-частотной характеристики резонансного контура обуславливает различную его реакцию на возбуждающие колебания разных частот



3.42

В простейшем случае схема детектирующего устройства и временные диаграммы протекающих в нем процессов имеют вид, приведенный на данном рисунке



частоте сигнала f_0 путем, например, соответствующего изменения емкости C . В этом и заключается настройка контура в резонанс с сигналом. При резонансе амплитуда сигнала в контуре резко возрастает, а помехи с частотой $f_{\text{п}} \neq f_0$ получаются малыми по амплитуде. Следовательно, величина полезного сигнала на контуре будет много больше помех. В этом заключается селекция сигнала. Таким образом, резонансный контур обладает избирательными свойствами, которые можно оценивать по частотной характеристике.

В селективных усилителях высокой частоты в качестве нагрузки может использоваться резонансный контур. Такие усилители называются резонансными.

Следует отметить, что в частотных фильтрах и в резонансных усилителях можно получить большую избирательность при меньшей частоте сигнала. Действительно, при частотах сигнала и помехи, например, $f_0 = 500$ кГц, $f_{\text{п}} = 510$ кГц и $f_0 = 50$ МГц, $f_{\text{п}} = 50,01$ МГц

разность частот $\Delta f = f_{\text{п}} - f_0 = 10$ кГц получается одинаковой. Однако в первом случае, очевидно, отделить сигнал от помехи легче, чем во втором случае. Это свойство используется в супергетеродинных приемниках при преобразовании частоты.

Помимо описанных известны и другие способы борьбы с помехами и методы селекции сигналов. В частности, как было показано на примере водяного телеграфа, на помехоустойчивость связи оказывает влияние и способ кодирования информации. Поэтому среди способов повышения помехоустойчивости радиоприема следует назвать и выбор оптимального способа кодирования информации.

Детектирование

Детектирование, как отмечалось выше, является процессом, обратным модуляции. Детектирование АМ-сигналов (амплитудное детектирование) можно осуществлять с помощью диода, который обладает вентильным действием вследствие своей униполярной (односторонней) проводимости.

Рассмотрим природу униполярной проводимости полупроводникового диода, который обычно применяется для детектирования. В таком диоде два контактирующих полупроводника обладают разными свойствами: один полупроводник обладает избытком подвижных электронов, а другому их недостает. Поэтому электроны могут перемещаться только от первого ко второму полупроводнику при соответствующей полярности приложенного к диоду напряжения.

Таким образом, при подведении переменного напряжения к диоду ток через него протекает только в положительные полупериоды напряжения между полупроводником с недостатком подвижных электронов и полупроводником с их избытком. При этом направление тока принимается от положительно к отрицательно заряженному электроду, т. е. навстречу направлению движения электронов (что эквивалентно направлению движения положительных зарядов).

На рис. 3.42, а изображена схема диодного детектора, где принято условное обозначение диода D , в котором острое треугольника показывает возможное направление тока i . Э. д. с. e источника I является АМ-сигна-

лом. Таким источником может быть трансформатор, подключенный к приемной антенне, резонансный усилитель и т. п. Вследствие вентильного действия диода через него протекает в положительные полупериоды ток i , имеющий форму импульсов, величина которых пропорциональна амплитуде АМ-сигнала (рис. 3.42, *в*). Этот ток заряжает емкость C , которая в паузах между импульсами тока (при закрытом диоде) разряжается через сопротивление R . Однако разряд емкости получается незначительным, поскольку сопротивление R велико, а импульсы повторяются с высокой частотой. Поэтому емкость, не успевая существенно разрядиться, подзарядается каждым последующим импульсом до соответствующего напряжения u . В результате это напряжение u растет или уменьшается вслед за изменением амплитуды импульсов тока, т. е. изменяется по закону модуляции АМ-сигнала (рис. 3.42, *г*).

Детектирование ЧМ-сигналов (частотное детектирование) можно осуществить в два этапа: сначала преобразовать ЧМ-сигнал в АМ-сигнал, а затем произвести амплитудное детектирование полученного АМ-сигнала.

ЧМ-сигнал можно преобразовать в АМ-сигнал с помощью рассмотренного резонансного контура (рис. 3.41). Пусть частота ЧМ-сигнала меняется в пределах $f_0 \pm \Delta f$. Подведем эти частотно-модулированные колебания к резонансному контуру, который настроен на частоту f_0 , близкую к f_0 , но не равную ей. Если $f_0 > f_0 + \Delta f$, то с ростом частоты ЧМ-сигнала от значения $f_0 - \Delta f$ до значения $f_0 + \Delta f$ амплитуда тока в контуре будет также увеличиваться. Поэтому амплитуда колебаний, отводимых от контура, будет изменяться пропорционально изменению частоты ЧМ-сигнала. Таким образом, отводимые колебания являются АМ-сигналом с законом модуляции, повторяющим закон модуляции ЧМ-сигнала. В этом и заключается преобразование ЧМ-сигнала в АМ-сигнал.

Итак, мы ознакомились со всеми основными принципами и методами радиотехники. Теперь остается разобраться в задачах, которые решает радиотехника. Этим мы и займемся в следующей, последней, главе.

Радиосвязь и радиовещание

Радиосвязь
и радиовещание
Телевидение
Радиотелемеханика
Радионавигация
Радиолокация
Радиометоды всюду

Исторически первой отраслью радиотехники явилась радиосвязь, которая возникла вместе с рождением радио как средство для осуществления телеграфной беспроводной электрической связи. Затем функции радиосвязи расширились. Радиотелефонные связи стали практически применяться в годы первой мировой войны.

Радиосвязь в настоящее время широко используется во всех отраслях науки, техники и народного хозяйства. Геологические партии и диспетчерские пункты на стройках, поездные бригады на железнодорожном транспорте и колхозные полевые станы не обходятся сейчас без радиосвязи. Особо широкое применение находит радиосвязь на морском флоте, в авиации и космонавтике, где другие виды связи попросту невозможны.

Применение радиосвязи в различных отраслях народного хозяйства повышает оперативность руководства и эффективность производства, что дает большой экономический эффект. Повышение оперативности диспетчерской службы на транспорте не только дает экономию за счет ускорения оборачиваемости транспорт-

ных средств, но и существенно повышает безопасность движения.

Все это обуславливает развитие радиосвязи как одного из основных звеньев ЕАСС — единой автоматизированной системы связи СССР.

Радиосвязь является мощным фактором укрепления обороноспособности нашей страны. Ведение современного маневренного боя немислимо без четкой, оперативной и надежной радиосвязи. Достаточно указать, что в операции по освобождению Белоруссии от немецко-фашистских захватчиков в 1944 г. участвовало свыше 27 000 радиостанций различных типов.

Особой разновидностью радиосвязи является *радиовещание*, ведущее передачи публицистических, художественных и научно-технических программ для массового радиослушателя. В отличие от радиосвязи, которая может быть двусторонней, при радиовещании осуществляется односторонняя радиопередача.

Бурное развитие отечественной радиотехники началось после Великой Октябрьской социалистической революции. Решающую роль в этом развитии сыграла инициатива В. И. Ленина, его постоянное внимание и неизменная поддержка.

Понимая незаменимую роль радио в сплочении народных масс и в общении между всеми народами, видя в радио оперативнейшее средство связи, В. И. Ленин, прежде всего, явился инициатором использования радио в качестве средства для широкого оповещения народа о важнейших событиях дня, того средства, которое впоследствии стало называться радиовещанием. Эта инициатива проявилась в многочисленных ленинских обращениях по радио, начинавшихся словами «Всем, всем!».

Уже в первый день установления Советской власти 7 ноября 1917 г. радиостанция крейсера «Аврора» передала сообщение о свершившейся социалистической революции, подписанное В. И. Лениным обращение большевиков «К гражданам России!». А 12 ноября 1917 г. В. И. Ленин подписал обращение по радио «Всем, всем», в котором сообщалось о решениях Всероссийского съезда Советов и создании Советского правительства. 4 февраля 1918 г. В. И. Ленин вновь обращается по радио к народу: «Ряд заграничных газет сообщает ложные сведения об ужасах и хаосе в Петрограде и пр. Все эти сведения абсолютно неправ-

вильны. В Петрограде и Москве полнейшее спокойствие...»

Проявляя заботу о повышении действенности таких обращений, 19 июля 1918 г. В. И. Ленин подписывает декрет Совнаркома, которым предусматривалось создание единой системы радиостанций, подчиненной Наркомату почт и телеграфов,— системы, которую сейчас можно расценивать как первый шаг к нынешней ЕАСС.

В создании системы радиопередающих и радиоприемных станций В. И. Ленин видел и средство общения между странами. В приветствии правительству Венгерской Советской республики 22 марта 1919 г. В. И. Ленин писал: «Безусловно необходимо постоянное радиосообщение между Будапештом и Москвой».

Однако для широкого внедрения радио надо было создавать не только систему радиостанций, но и широкую радиоприемную сеть. Обе эти задачи не могли быть решены без должной постановки исследовательской работы в области радио и без развития радиопромышленности. Была организована упоминавшаяся выше Нижегородская радиолaborатория (НРЛ). Цели этой лаборатории были определены специальным положением, которое В. И. Ленин подписал 2 декабря 1918 г.:

«1. Радиолaborатория... является первым этапом к организации в России Государственного социалистического радиотехнического института, конечной целью которого является объединение в себе и вокруг себя в качестве организующего центра:

а) всех научно-технических сил России, работающих в области радиотелеграфа;

б) всех радиотехнических учебных заведений России;

в) всей радиотехнической промышленности России».

В первую очередь под руководством инженера (впоследствии чл.-кор. АН СССР) М. А. Бонч-Бруевича в НРЛ было налажено производство радиоламп для приемников. Затем были разработаны и изготовлены мощные генераторные радиолампы, что создало предпосылки для сооружения мощного радиотелефонного передатчика. Этим работам В. И. Ленин уделял постоянное внимание.

Ознакомившись с результатами этих и других работ лаборатории, В. И. Ленин в феврале 1920 г. пишет руководителю НРЛ М. А. Бонч-Бруевичу: «Пользуюсь случаем, чтобы выразить Вам глубокую благодарность и



Один из создателей и научных руководителей Нижегородской радиолaborатории чл.-кор. АН СССР М. А. Божь-Брувния (1888—1940)

сочувствие по поводу большой работы радионзобретений, которую Вы делаете... Всяческое и всемерное содействие обещаю Вам оказывать этой и подобным работам...». В этом же письме были высказаны и те пророческие слова, которые вынесены в эпиграф к данной части книги.

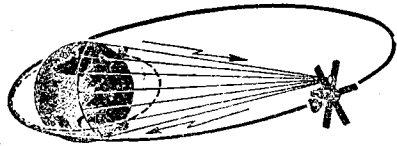
17 марта 1920 г. В. И. Ленин подписал постановление Совета рабоче-крестьянской обороны: «Поручить Нижегородской радиолaborатории Наркомпочтеля изготовить в самом срочном порядке... Центральную радиотелеграфную станцию с радиусом действия 2000 верст».

И в том же году в Москве заработала 5-киловаттная радиотелефонная станция, передачи которой слышали и в Берлине (1600 км), и в Ташкенте (2760 км), и даже в Чите (5000 км). Затем по указанию и при поддержке В. И. Ленина была сооружена 12-киловаттная радиовещательная станция, которая провела передачу первого радиоконцерта 17 сентября 1922 г., опередив в этом отношении зарубежные страны. Эта радиостанция им. Коминтерна, как она была названа в день пятой годовщины Октябрьской революции, в течение нескольких лет оставалась самой мощной в мире радиовещательной станцией.

Советское радиовещание, созданное по инициативе В. И. Ленина, не только является могучим средством повышения культурного уровня нашего народа, но и призвано нести прогрессивные идеи и взгляды в широкие народные массы за рубежами нашей страны. Советские радиовещательные станции имеют многомиллионную аудиторию зарубежных радиослушателей, которые с огромным интересом и вниманием прислушиваются к голосу правды и прогресса.

Советское радиовещание служит сближению всех народов, является могучим средством борьбы за мир во всем мире.

Бурное развитие радиосвязи и радиовещания обусловлено и научно-техническим прогрессом. Современные



3.43

Спутники связи серии «Молния» позволили решить задачу дальней радиосвязи на территории нашей страны

радиоприемники на новой элементной базе стали доступны широким массам радиослушателей. Не только в специальные, но и в массовые радиоприборы внедряются сейчас интегральные схемы. Это позволит в ближайшем будущем перейти на цифровую форму обработки сигналов даже в радиовещательной аппаратуре, что повысит ее помехоустойчивость. Для повышения качества радиоприема используются и радиопередачи ЧМ-сигналов.

Начиная с 1965 г. в Советском Союзе регулярно проводятся запуски спутников связи серии «Молния». Уже первый спутник «Молния-1», запущенный 23 апреля 1965 г., позволил установить «космический мост» между Москвой и Владивостоком. С 1965 по 1978 г. в Советском Союзе были запущены спутники связи серий «Молния-1», «Молния-2», «Молния-3», «Радуга» и «Экран». Широко развернулась сеть наземных станций «Орбита».

В 1971 г. было положено начало созданию международной системы космической связи «Интерспутник», основанной социалистическими странами. Эта система призвана обеспечить потребности социалистических стран в телефонной, телеграфной, фототелеграфной связи, а также в обмене телевизионными и радиовещательными программами.

Капиталистическими странами создана международная система спутниковой связи «Интелсат».

В настоящее время перед радиовещанием стоит ряд серьезных проблем, связанных с дальнейшим повышением качества передач, переходом на стереофонию и т. п. Для радиосвязи и радиовещания, как и для других отраслей радиотехники, актуальной проблемой остается борьба с радиопомехами. Для повышения помехоустойчивости радиолиний любого назначения надо, в частности, изыскивать наиболее эффективные способы кодирования информации. При этом следует учитывать, что не всякую информацию полезно передавать по линиям связи. Изысканию наиболее эффективных способов ко-

дирования информации может помочь и изучение структурных свойств сигналов (речевых и др.).

Успешное решение этих и других научно-технических задач призвано содействовать дальнейшему развитию радиосвязи и радиовещания. На это нацеливают радиоинженеров Программа КПСС и решения XXV съезда КПСС, которыми предусмотрено развитие всех видов связи в нашей стране.

Телевидение

Второй отраслью современной радиотехники является *телевидение*, которое осуществляет передачу и прием изображений с помощью радиотехнических средств.

Преобразование изображения в электрический сигнал и обратное преобразование основано на принципе построения (растровой) развертки изображения, который применялся еще в электрохимическом рисующем телеграфе и применяется сейчас в фототелеграфии. Отличие заключается лишь в том, что для передачи подвижных изображений, как и в кино, изображение передается 25 раз в секунду. Эти чередующиеся изображения и образуют те 25 кадров в секунду, о которых упоминалось выше. На практике для более равномерного свечения телевизионного экрана каждую секунду передается 50 чередующихся полукадров, одни из которых содержат нечетные строки, другие — четные строки развертки изображения.

Изображение может быть преобразовано в электрический сигнал, например, путем последовательного прочерчивания передаваемого изображения тонким лучом. Отраженный от объекта свет, падая на фотоэлемент, преобразуется на его выходе в соответствующие электрические колебания. Прочерчивание лучом обеспечивается за счет сканирования — качания — светового луча.

На выходе приемника должен быть произведен процесс обратного преобразования: управляющий электрический сигнал должен промодулировать яркость луча, который, перемещаясь синхронно с развертывающим лучом передатчика, воссоздает на экране изображаемую картину.

Раньше в телевидении для развертки изображения использовались обычные световые лучи, которые сканировали изображение с помощью несовершенных механических приспособлений. Качество изображения в таких оптико-механических системах телевидения было весьма невысоким. Высококачественные телевизионные передачи стали возможны благодаря применению электроннолучевой трубки. Электронная система телевидения, в которой применялся фотоэлемент и приемная электроннолучевая трубка, была изобретена в 1907 г. профессором Петербургского технологического института Б. Л. Розингом. В 1911 г. он продемонстрировал впервые телевизионный прием.

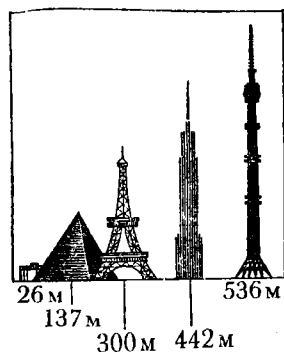


Изобретатель электронной системы телевидения Б. Л. Розинг (1869—1933)

В приемной телевизионной трубке (кинескопе) изображение создается не световым, а электронным лучом, который перемещается по специальному экрану, светящемуся при бомбардировке его электронами. В передающей телевизионной трубке (иконоскопе и других его разновидностях) изображение проецируется на специальный экран, составленный из множества мельчайших фотоэлементов. При этом в разных точках экрана накапливаются заряды, пропорциональные силе падающего света. Электронный же луч, перемещающийся по экрану, компенсирует эти заряды, создавая ток соответствующей величины (управляющий сигнал).

Таким образом, функциональная схема телевизионного радиоканала в принципе не должна отличаться от функциональных схем радиосвязи, приведенных в предыдущей главе. Необходимо лишь применять специальные электронно-оптические преобразователи на входе передатчика и на выходе приемника.

Совершенствование электроннолучевых передающих телевизионных трубок сыграло существенную роль в развитии и практическом внедрении электронного телевидения. Первая передающая трубка с накоплением зарядов была изобретена в 1930 г. советским ученым



3.44

Современные телевизионные башни являются в истории человечества одними из самых высоких сооружений

А. П. Константиновым. Модификация такой трубки была предложена в 1931 г. советским ученым С. И. Катаевым. В 1931—1932 гг. конструкция трубки с накоплением зарядов, известная под названием иконоскопа, была создана американским радиоинженером и изобретателем В. К. Зворыкиным, русским по национальности, который учился в Петербургском технологическом институте у проф. Б. Л. Розинга. В 1933 г. советскими учеными П. В. Тимофеевым и П. В. Шмаковым была изобретена более светочувствительная передающая трубка с накоплением зарядов и переносом изображения на отдельную мишень, на которой и происходит компенса-

ция зарядов электронным лучом. Такая трубка называется супериконоскопом. Конструкция особо высокочувствительной мишени была предложена в 1939 г. советским ученым Г. В. Брауде. Такая мишень используется и в весьма чувствительной передающей трубке — суперортиконе, который был разработан в 1946 г. американскими учеными А. Розе, П. Веймером и Х. Лоу.

Одной из специфических особенностей высококачественного телевидения является высокая частота телевизионного электрического управляющего сигнала, который называется видеосигналом (сигналом изображения). Если считать, что мельчайшим элементом изображения является точка с диаметром, равным толщине строки, то таких точек в строке поместится $625 \times (4/3) \approx 833$, поскольку на экране размещается по стандарту 625 строк, а ширина экрана относится к его высоте как 4 : 3.

Таким образом, за 25 кадров в секунду передается $833 \times 625 \times 25 \approx 13 \cdot 10^6$ элементов изображения. Одна пара точечных элементов изображения, например рядом расположенные белая и черная точки, создадут в видеосигнале одно колебание. Поэтому $13 \cdot 10^6$ элементов создадут $6,5 \cdot 10^6$ колебаний в секунду, что соответствует максимальной частоте видеосигнала $F_{\max} = 6,5$ МГц.

Отсюда следует, что при передаче телевизионного радиосигнала, полученного путем амплитудной модуляции, потребовалась бы согласно формуле (13) полоса частот в 13 МГц. Реализовать столь широкополосный радиоканал очень трудно. Поэтому по телевизионному стандарту в СССР используется однополосная система передачи (ОБП) на верхней боковой полосе частот, а максимальная частота телевизионного сигнала ограничивается значением $F_{\max} = 6$ МГц.

При таком стандарте согласно неравенству (14) несущая частота в телевидении должна быть, по крайней мере, не меньше 30 МГц ($\lambda < 10$ м). Иными словами, высококачественное телевидение можно реализовать только на метровых и более коротких волнах.

Однако такие волны распространяются только в пределах прямой видимости. Поэтому-то телевизионные антенны стараются поднять повыше, а на телецентрах с этой целью строят высокие телевизионные мачты и башни. Одна из высочайших в мире Останкинская телевизионная башня вместе с антенной мачтой взметнулась ввысь на 536 м. С запуском космических искусственных спутников Земли типа «Молния» передачи Московского телевизионного центра стали доступными почти на всей территории Советского Союза. Благодаря космическим спутникам связи стал возможным обмен телевизионными программами и между континентами. Уровень телевизионной техники возрос настолько, что даже высококачественные телепередачи из космоса перестали быть в диковинку.

Телевизионное вещание не только дополняет, но и расширяет возможности радиовещания. Неоценима роль телевидения в росте духовного богатства советских людей. Культурное наследие прошлого и современные достижения наших культурных центров стали благодаря телевидению достоянием самых отдаленных уголков нашей необъятной страны. Неизмеримо возрос обмен культурными ценностями между многочисленными народами наших национальных республик. Телевидение приобщило советских людей к самым злободневным событиям во всех странах мира, сделало телезрителей очевидцами этих событий, способствуя тем самым росту политического самосознания каждого человека.

Еще бóльшие возможности открывает телевидение в служебной связи. Сегодня телевидение широко проник-

ло не только в быт, но и в промышленность и на транспорт, помогая управлять производственными процессами и службой движения, повышая в еще большей мере эффективность производства и способствуя повышению культуры обслуживания населения.

Телевидение значительно расширяет возможности научных исследований. Оно стало незаменимым научным подспорьем в физике и технике, медицине и космонавтике.

Уже широко практикуются телевизионные передачи в учебном процессе — в хирургических клиниках, в вузовских лекционных аудиториях и т. д. Телепередачи консультационных занятий по школьным программам проникли и на центральное телевидение.

Новые горизонты открылись с внедрением цветного телевидения. На очереди стоит объемное (стереоскопическое) телевидение, осуществляемое уже в лабораториях ученых. Разрабатываются также цифровые телевизионные системы. Важной проблемой в телевидении является создание компактных (плоских) приемно-лучевых трубок. Размеры телевизоров на интегральных схемах с такими трубками будут целиком определяться лишь желаемыми размерами экрана.

Решение этих научно-технических задач будет способствовать дальнейшему развитию телевизионного вещания в духе решений XXV съезда КПСС. Постановление этого съезда обязывает, в частности, «обеспечить дальнейшее развитие... телевидения, в том числе цветного. Предусмотреть более широкое использование искусственных спутников Земли, в первую очередь для обеспечения телевизионным вещанием районов Западной и Восточной Сибири». Это постановление успешно проводится в жизнь, как об этом было рассказано выше.

Радиотелемеханика

Третьей отраслью современной радиотехники является *радиотелемеханика*.

О содержании этой отрасли радиотехники легко судить по всем нам хорошо знакомым сообщениям ТАСС: «Космический корабль выведен на орбиту с параметрами, близкими к расчетным... По данным телеметрической информации, бортовые системы корабля функционируют нормально».

Чтобы вывести космический корабль на орбиту с расчетными параметрами, им надо управлять. Такое управление возможно только по радио. Чтобы передать телеметрическую информацию с космического корабля на землю опять-таки нужна помощь радио.

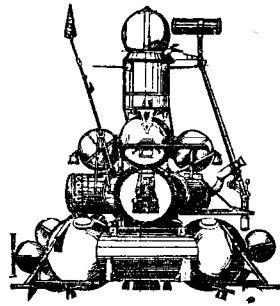
Таким образом, первой разновидностью телемеханики является радиотелеуправление, в задачу которого входит управление на расстоянии различными объектами с помощью радиотехнических средств.

Радиолинии телеуправления могут отличаться от связанных радиолиний преобразователями на входе передатчика и выходе приемника, а также селективными устройствами, которые должны разделять различные сигналы управления.

Преобразователь на входе передатчика должен специальным образом кодировать сигналы управления, преобразуя их в различные электрические сигналы. Селективное же устройство в приемнике или сам преобразователь на выходе приемника должен разделять сигналы управления для приведения в действие соответствующих сервомеханизмов, управляющих объектом. Таким образом, радиолиния телеуправления должна содержать дополнительные селективные устройства для разделения сигналов управления. При этом селекция может быть основана на частотном, временном и других принципах разделения сигналов.

Один из возможных принципов разделения сигналов управления уже знаком читателю: он используется в описанной выше системе буквопечатающей телеграфии. Ведь множество различных команд управления может быть закодировано различными цифрами и буквами русского и латинского алфавитов. Тогда эти команды можно передавать с помощью обычного телеграфного аппарата с соответствующей клавиатурой и вращающимся контактным диском. На приемной станции телеуправления при этом можно использовать тот же буквопечатающий аппарат, в котором литеры на литерном диске следует заменить контактами реле, включающими различные сервомеханизмы.

Первые опыты по радиотелеуправлению были проведены американским ученым сербского происхождения Н. Тесла. Его радиоуправляемая модель корабля демонстрировалась на Нью-Йоркской ежегодной электротехнической выставке в сентябре 1898 г.



3.45

В феврале 1972 г. автоматическая межпланетная станция «Луна-20» доставила на Землю образцы лунного грунта из материкового района между Морем Изобилия и Морем Кризисов. Это оказалось возможным во многом благодаря достижениям в области радиотелемеханики

Радиотелемеханика в настоящее время широко используется для управления космическими кораблями и аппаратурой космических спутников Земли. Благодаря радиотелемеханики стали возможны полеты автоматических межпланетных станций (АМС), способных по командам с Земли выполнять исследования космического пространства и планет солнечной системы.

Перспективным является использование радиотелеуправления в авиации для автоматизации посадки самолетов при отсутствии видимости посадочной полосы, что должно способствовать росту безопасности и повышению регулярности полетов.

Второй разновидностью радиотелемеханики является телеизмерение с помощью радиотехнических средств показаний различных измерительных приборов. Сигналы, передаваемые по телеизмерительным радиолиниям, формируются соответствующими преобразователями — датчиками, стоящими на входе передатчика. На выходе радиоприемника при этом используются преобразователи в виде соответствующих регистрирующих приборов, самописцев и т. п.

Радиотелеметрическое оборудование широко используется в метеорологии на автоматических метеостанциях, работающих без обслуживающего персонала, на атмосферных радиозондах и метеорологических ракетах для измерения температуры, влажности и давления воздуха на разных высотах и для других измерений. Параметры атмосферы определяются дистанционно и с помощью ряда спутников типа «Метеор» и «Космос».

Спутники серии «Космос», которые запускались уже свыше тысячи раз, вообще являются летающими научными станциями, проводящими многочисленные и разнообразные исследования и измерения и в космосе, и на Земле: исследование солнечной активности и измерения магнитного поля Земли, измерение космических корпускулярных потоков и радиофизические исследо-

вания поверхности океана и материков и т. д. Результаты всех этих исследований и измерений передаются в научные центры по телеметрическим радиоприемам.

Выше уже отмечалось использование радиотелеметрического оборудования непосредственно в космонавтике, где такое оборудование не только является незаменимым средством сбора научных данных, но и служит для контроля здоровья космонавтов. Радиотелеизмерения широко используются не только в космической, но и в земной медицине, не говоря уже о промышленности и о других чисто земных направлениях деятельности человека.

Применение радиотелемеханических средств на производстве не только резко повышает его эффективность. Эти средства обеспечивают также безопасность для производственного персонала при вредных условиях труда, поскольку позволяют на расстоянии управлять технологическими процессами. Внедрение телемеханических средств является одним из звеньев комплексной механизации и автоматизации производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства, что предусмотрено решениями XXV съезда КПСС.

Радионавигация

Четвертой отраслью радиотехники является *радионавигация*, которая обеспечивает на флоте и в авиации навигацию с помощью радиотехнических средств.

На возможность использования радиотехнических средств для задач радионавигации обратили внимание почти сразу же после рождения радио. В частности, уже в отчете комиссии Главного морского штаба об опытах по радиосвязи в кампанию 1897 г., подписанным преподавателем А. Поповым, ассистентом Рыбкиным и капитаном второго ранга Васильевым, можно прочитать следующее: «Применение источника электромагнитных волн на маяках в добавление к световому или звуковому сигналам может сделать видимыми маяки в тумане и в бурную погоду...».

Существуют различные виды радионавигационных средств соответственно разнообразным навигационным задачам. Простейшими радионавигационными приборами являются радиомаяки, которыми А. С. Попов рекомендовал дополнять обычные световые маяки.



Известный советский радиоинженер, академик А. И. Берг. Радионавигация — одно из направлений его научной и инженерной деятельности

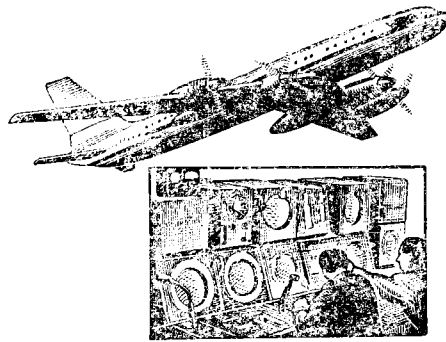
Радиомаяк, или приводная радиостанция, служит ориентиром для кораблей и самолетов, снабженных соответствующими радиоприемниками. Радиомаяк представляет собой радиопередатчик, имеющий свои опознавательные сигналы, по которым один радиоориентир можно отличить от другого. Эти опознавательные сигналы могут непрерывно излучаться радиомаяком или периодически прерывать обычные передачи маяка.

Выдерживать курс на радиомаяк можно с помощью другого радионавигационного устройства — радиополукомпаса. Радиополукомпас представляет собой радиоприемник, снабженный помимо обычной антенны рамочной антенной направленного действия. Рамочная антенна закрепляется неподвижно на самолете или корабле. При плоскости рамки, перпендикулярной продольной оси корабля, приема на рамочную антенну не будет, если нос корабля направлен точно на радиомаяк. В этом случае будет осуществляться прием только на обычную антенну. При отклонении оси корабля от направления на радиомаяк возникает прием на рамочную антенну, что и сигнализирует об отклонении курса корабля. При этом фаза э. д. с. на выходе рамочной антенны будет меняться на угол π в зависимости от направления отклонения ее оси. Сравнивая фазы э. д. с. на выходе рамки и обычной антенны, можно судить об отклонении курса корабля от направления на радиомаяк. Сравнение фаз производится автоматически. Практически о правильности курса на радиомаяк судят по показаниям стрелочного прибора на выходе радиополукомпаса.

Если кораблю надо следовать курсом, отличным от направления на радиомаяк, пользуются другим радионавигационным прибором — радиоконпасом. Радиоконпас в отличие от полукомпаса снабжен подвижной рамочной антенной. Поворачивая рамку в положение нулевого приема, по углу ее поворота можно судить о на-

3.46

Современные радионавигационные системы позволяют решать широкий круг задач. Одна из них — обеспечение безопасного самолетовождения



правлении на радиомаяк при любом курсе корабля или самолета. Поворот рамочной антенны в положение нулевого приема производится в радиокомпасе автоматически. При этом отработанные углы поворота фиксируются стрелочным прибором, по показаниям которого и судят о направлении на радиомаяк.

Еще одним радионавигационным средством является радиопеленгатор, представляющий собой разновидность радиокомпаса. Радиопеленгатор устанавливается неподвижно на земле и позволяет определить направление на радиопередающую станцию, т. е. пеленг этой радиостанции. Если в качестве такой станции использовать бортовой радиопередатчик корабля или самолета, то с помощью радиопеленгатора можно определить их пеленг. По пересечению пеленгов, полученных от двух радиопеленгаторов, можно установить местонахождение потерявшего ориентировку самолета или корабля.

Определить свое местонахождение может и непосредственно сам корабль или самолет с помощью бортового радионавигационного оборудования. Для этого на земле надо иметь систему взаимосвязанных радиомаяков. В настоящее время такие маяки устанавливаются и на специальных навигационных космических спутниках типа «Космос». Космическим навигационным маяком является, в частности, «Космос-1000».

Используемые в настоящее время радионавигационные системы позволяют решать и более сложные навигационные задачи: определять скорость движения корабля или самолета, вести автоматическую прокладку его курса, обеспечивать заход на посадку и непосредственно посадку самолета при отсутствии видимости зем-

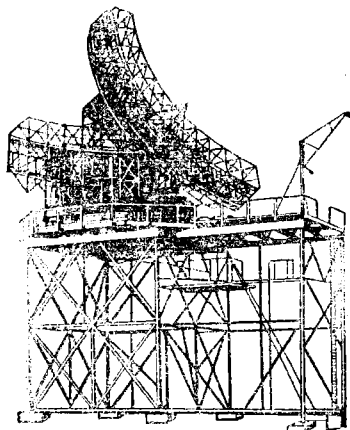
ли. В современный радионавигационный комплекс включается специализированная цифровая вычислительная машина (ЦВМ), которая в силу своего быстрого действия позволяет оперативно решать самые сложные навигационные задачи.

Решение перечисленных и ряда других задач с помощью радионавигационных средств позволяет повысить регулярность и безопасность движения транспортных средств, способствует росту эффективности важнейших отраслей народного хозяйства, какими являются морской флот и гражданская авиация.

Радиолокация

Обнаружение, опознавание и определение пространственных координат различных объектов с помощью радиотехнических средств составляют содержание пятой отрасли радиотехники — радиолокации (от лат. *localio* — размещение, распределение). В основе радиолокации лежит явление отражения радиоволн, которое наблюдал еще Г. Герц.

Первый радиолокатор (под названием телемобилоскоп) был описан в патентной заявке немецким инженером Х. Хилсмейером в 1904 г. Практически радиолокационные станции (РЛС) стали производиться в 30-х годах. РЛС получили широкое распространение для обнаружения самолетов противника в годы второй мировой войны. Англичане не без основания считают, что



3.47

Для обнаружения и наведения самолетов используются наземные РЛС

именно РЛС спасли их остров от воздушного вторжения немецко-фашистских захватчиков в 1939—1945 гг. В нашей стране первые РЛС были применены для прикрытия Ленинграда во время войны с белофиннами в 1939—1940 гг. В этих РЛС, разработанных под руководством инженеров М. И. Куликова и Д. С. Стогова, использовалось непрерывное излучение радиоволн. Подобные системы радиолокации исследовались уже с 1932 г. по инициативе инженера П. К. Ощепкова, а первые макеты РЛС с непрерывным излучением были разработаны и испытаны в 1934—1936 гг. под руководством инженера Б. К. Шембеля. Впоследствии наибольшее распространение получили импульсные РЛС, которые в нашей стране были разработаны впервые в 1937 г. под руководством инженера (впоследствии академика) Ю. Б. Кобзарева.

Принцип действия импульсной РЛС заключается в следующем. Радиолокационный передатчик посылает в пространство радиоволны, которые, отражаясь от какого-либо объекта, попадают в приемник РЛС. Зная скорость распространения радиоволн c , по интервалу времени Δt между посылкой и возвращением радиосигнала можно определить расстояние до этого объекта $D = c\Delta t/2$. При этом направление на обнаруженный объект можно установить, применяя остронаправленные антенны. Для удобства отсчета моментов посылки и возвращения радиолокационных сигналов в импульсных РЛС эти сигналы формируются в виде кратковременных радиоимпульсов. Эти радиоимпульсы подобны радиотелеграфным точкам азбуки Морзе, но имеют длительность порядка нескольких микросекунд. Сейчас в радиолокации используются даже наносекундные радиоимпульсы.

В качестве индикатора локационных импульсов на выходе РЛС используется электроннолучевая трубка. В современных РЛС трубка дополняется специализированной ЦВМ, которая значительно расширяет круг задач, оперативно решаемых с помощью РЛС, и повышает точность определения координат объекта.

Радиолокационными объектами, подлежащими обнаружению, могут служить не только самолеты, но и корабли на море, а также различные сооружения и другие объекты на земле. В воздухе помимо самолетов объектами радиолокационного обнаружения могут быть

также облака, осадки, гроззовые очаги и фронты. Поэтому сейчас радиолокация широко используется в метеорологии.

В авиации радиолокационные системы служат для решения навигационных задач и для управления воздушным движением. Чтобы при необходимости можно было определить принадлежность обнаруженного самолета, его снабжают специальным радиолокационным ответчиком, который при приеме радиолокационных импульсов посылает свой закодированный радиоответ. Бортовые самолетные РЛС используются также для определения истинной (путевой) скорости полета, выявления гроззовых фронтов и для получения на экране электроннолучевой трубки радиолокационного изображения земной поверхности при отсутствии ее видимости. Радиолокационные высотомеры, устанавливаемые на самолете, позволяют с большой точностью определить истинную высоту полета. В условиях арктических полетов специальные бортовые РЛС позволяют определять толщину льда, что необходимо для установления возможности посадки самолета на лед.

Объектами радиолокационного обнаружения могут служить и космические объекты: спутники Земли и межпланетные корабли, различные астрономические тела и, в частности, планеты. Радиолокация планет позволила существенно уточнить их параметры (например, расстояние от Земли и скорость вращения), состояние атмосферы и т. д. Такие исследования проводились в нашей стране под руководством академика В. А. Котельникова. В начале 60-х годов была произведена, в частности, радиолокация Венеры, Меркурия, Марса и Юпитера.

Основываясь на общности принципов и методов работы любого радиооборудования различного целевого назначения, можно дать общее определение радиотехники, несмотря на обилие разнообразнейших задач, решаемых различными отраслями радиотехники.

Радиотехникой называется отрасль науки и техники, задачей которой является получение высокочастотных модулированных сигналов, их передача в виде свободных электромагнитных волн и прием, обработка и использование этих сигналов в соответствии с их целевым назначением.

Радиометоды вообще

Наряду с радиотехническими системами, полностью отвечающими определению радиотехники, во многих отраслях науки, техники и народного хозяйства широко используются различные радиотехнические принципы, методы и средства. При этом объекты приложения этих радиотехнических средств не могут быть названы радиотехническими системами, поскольку в них не осуществляется какая-либо из функциональных операций, определяющих само название радиотехники.

Некоторые из таких объектов выделились в самостоятельные отрасли науки и техники. Примером этому может служить радиоастрономия, которую нельзя рассматривать как отрасль радиотехники, поскольку она не связана с получением и передачей модулированных сигналов. Впрочем, в этом вопросе возможна и терминологическая неточность. Известна, например, так называемая пассивная радиолокация, в которой локация объектов осуществляется по собственным радиоизлучениям этих объектов, а не с помощью зондирующих радиолокационных сигналов. Тем не менее пассивную радиолокацию рассматривают как одно из направлений радиолокации, являющейся отраслью радиотехники. С этой точки зрения и радиоастрономию можно считать отраслью радиотехники.

Широко известны многообразные применения электронной, в частности полупроводниковой и лазерной техники, получившей свое развитие прежде всего как одно из средств радиотехники. Усилители в дальней проводной связи и проводном вещании, звукозапись и воспроизведение звука в кино, техническая и медицинская диагностика, ультразвуковая и электрическая дефектоскопия, аппаратура для физических, акустических и механических измерений, гидролокаторы для подводных лодок и каротажные локаторы для геофизических исследований, вычислительная техника и физиотерапевтическое оборудование — таков далеко не полный перечень применений электронной техники.

Столь же широко применяются другие средства и методы радиотехники. Например, работа гидролокаторов и некоторых типов ультразвуковых дефектоскопов целиком основана на принципах и методах радиолокации. Развитые в радиотехнике методы модуляции используются в высокочастот-



Известный советский радиоинженер, академик
А. Л. Минца

ной проводной телефонии. Детектирование используется в измерительной аппаратуре, селекция — в акустических исследованиях, частотные фильтры — в электромузыкальных инструментах, в устройствах блокировки и сигнализации на железной дороге и т. д. Импульсные устройства, получившие развитие в связи с разработкой импульсных РЛС, нашли применение и в проводной связи, и в цифровых вычислительных машинах, и в системах автоматического управления и т. д.

Развилась и выделилась в самостоятельную отрасль техника токов высокой частоты, которые используются в лечебных целях, для консервирования и приготовления пищевых продуктов, обработки зерна с целью повышения его всхожести, пастеризации молока и т. д. В промышленности токи высокой частоты используются для сушки и термообработки металлов, высокочастотной поверхностной закалки и для многих других целей.

Специальные высокочастотные генераторы используются в ускорителях ядерных частиц (синхрофазотронах и др.). Такие устройства разработаны под руководством академика А. Л. Минца.

Можно указать также на радиотехнический (радиоинтерференционный) метод особо точного определения расстояний, который лежит в основе одного из направлений радионавигации и радиолокации, но используется при геодезических исследованиях. Изобретение и внедрение этого метода является заслугой радиофизиков академиков Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси.

Перечень подобных примеров можно продолжить неограниченно. Но и приведенных примеров достаточно, чтобы будущий радиоинженер почувствовал свое место в жизни современного общества.

На пути к будущему радиотехнику

Автор надеется, что читателями усвоено содержание предшествующего курса «Введение в специальность» и они могут приступить к изучению специальных курсов. Однако успех в изучении этого вводного курса определяется не только теми минимальными специальными знаниями, которые читатель почерпнул из книги. Еще большее значение имеют те чувства, которые возникли у будущего радиотехника при первом соприкосновении со своей специальностью.

Если читатель почувствовал, что деятельность радиотехника в огромной степени определяет темпы социального и научно-технического прогресса общества;

если читатель почувствовал важность деятельности радиотехника в гармоничном развитии не только общества в целом, но и каждого человека в отдельности;

если читатель почувствовал, что его будущая специальность является не только важной, но и интересной;

если читатель почувствовал, что его будущая специальность является не только интересной, но и трудной;

если читатель, почувствовав трудности своей будущей специальности, не утратил к ней интереса;

если читатель почувствовал еще больший интерес к своей специальности и осознал, что она способна привязать его к себе на всю жизнь;

если читатель почувствовал, что эта привязанность будет ему в радость,

то автору остается пожелать успехов в учебе начинающему студенту и творческих достижений будущему радиотехнику.

Залогом этих успехов и достижений является добросовестная учеба и самоотверженный труд.

ЛИТЕРАТУРА

Программа Коммунистической партии Советского Союза. М., 1974.

Конституция (Основной Закон) Союза Советских Социалистических Республик. М., 1977.

Материалы XXV съезда КПСС. М., 1976.

Всесоюзный слет студентов 19—20 октября 1971 г.: Документы и материалы. М., 1972.

П. Г. Грудинский, П. А. Ионкин, М. Г. Чиликин. Советы студентам высших технических учебных заведений. М., 1972.

Э. Крик. Введение в инженерное дело. М., 1970.

В. А. Веников, Е. В. Путятин. Введение в специальность. М., 1978.

Я. Я. Лочмелис. Введение в специальность. Рига, 1975.

В. И. Сифоров, Н. И. Чистяков, А. Ф. Плонский. Твоя наука — радиотехника. М., 1974.

О. Н. Веселовский, Я. А. Шнейберг. Энергетическая техника и ее развитие. М., 1976.

А. К. Лосев. Линейные радиотехнические цепи. М., 1971.

Изобретение радио. Документы и материалы. М., 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора 3
Письмо автора к студенту, пожелавшему стать радиоинженером 4

ВВЕДЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

1. Инженерное дело

Развитие инженерного дела 6
Виды инженерной деятельности 23
Инженерная деятельность и природа 32

2. Инженер

Инженер — Специалист, Человек, Гражданин 41
Инженер — специалист широкого профиля 44
Инженер — творческий работник 53
Инженер — организатор производства 58
Инженер — общественный деятель 64

ВВЕДЕНИЕ В СТУДЕНЧЕСКИЕ ГОДЫ

1. Институт

Высшее техническое образование 70
Организация учебного процесса 79
Аудиторные занятия студентов 84
Самостоятельная работа студентов 87
Общественно-трудовая деятельность студентов 91
Формы контроля знаний студентов 95
Быт и отдых студентов 99

2. Студент

Студент на лекции 103
Студент на практических занятиях 111
Студент в лаборатории 120
Студент учится сам 124
Студент на экзамене 128

**ВВЕДЕНИЕ
В РАДИОТЕХНИКУ****1. Сигналы**

Основные свойства сигналов 134
Изменения сигналов 146
Качество воспроизведения сигналов 150

2. Исторический очерк развития радиотехники

Предыстория электросвязи 158
Рождение и развитие электросвязи 165
Рождение и развитие радио 176

3. Основные принципы радиотехники

Принципы передачи радиосигналов 185
Принципы приема радиосигналов 189

4. Основные методы радиотехники

Излучение и прием электромагнитных волн 193
Усиление сигналов 199
Генерирование высокочастотных колебаний 202
Модуляция 207
Борьба с радиопомехами и селекция сигналов 210
Детектирование 215

5. Отрасли радиотехники

Радиосвязь и радиовещание 217
Телевидение 222
Радиотелемеханика 226
Радионавигация 229
Радиолокация 232
Радиометоды всюду 235
Напутствие будущему радиоинженеру 237
Литература 237

**АЛЕКСЕЙ
КОНСТАНТИНОВИЧ
ЛОСЕВ**

**ВВЕДЕНИЕ
В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
«РАДИОТЕХНИКА»**

Редактор О. В. Долженко
Художник Ю. А. Ворончихин
Художественный редактор С. Г. Абелин
Технический редактор Т. Д. Гарина
Корректор Р. К. Косинова

ИБ № 2073

Изд. № Эр — 269. Сдано в набор 23.06.80.
Подп. в печать 11.12.80. Т—20475. Формат
84×108/32. Бум. тип. № 2. Гарнитура литератур-
ная. Печать высокая. Объем 12,6 усл. печ. л.
12,84 уч.-изд. л. Тираж 79 000 экз. Зак. № 318.
Цена 45 коп.
Издательство «Высшая школа», Москва, К-51,
Неглинная ул., д. 29/14.
Типография изд-ва «Уральский рабочий»,
Свердловск, проспект Ленина, 49.