

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АСМ — атомно-силовой микроскоп (или микроскопия)
ВАХ — вольт-амперная характеристика
ВЗ (ЗП) — валентная зона (зона проводимости)
ВОЛС — волоконно-оптическая линия связи
ГМС — гигантское магнитосопротивление
ДГС — двойная гетероструктура
ГФЭ — газофазная эпитаксия
DRAM — вид динамической оперативной памяти (Dynamic Random Access Memory)
ЕД — естественнонаучные дисциплины
ЖФЭ — жидкофазная эпитаксия
ИК — инфракрасный
ИМС — интегральная микросхема
ИП — изоляция с помощью *p-n*-перехода
КМОП — комплементарная структура
МДП — структура металл-диэлектрик-проводник
МЛЭ — молекулярно-лучевая эпитаксия
МОП — структура металл-окисел-полупроводник
МОС — металлоорганические соединения
MRAM — магнитная память с произвольной выборкой (Magnetic Random Access Memory)
ОПД — общепрофессиональные дисциплины
СБИС — сверхбольшая интегральная схема
СВЧ — сверхвысокие частоты
СД — специальные дисциплины
СЗМ — сканирующий зондовый микроскоп (микроскопия)
СТМ — сканирующий туннельный микроскоп (микроскопия)
СЭМ — сканирующий электронный микроскоп (микроскопия)
CVD — метод химического осаждения из пара (Chemical Vapor Deposition)
ТМС — туннельное магнитосопротивление
ЭЛЛ — электронно-лучевая литография
ЭУФ — экстремально дальний ультрафиолет

ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнология — совокупность методов изготовления и обработки изделий, имеющих протяженность 1–100 нм (хотя бы в одном измерении). Напомним, что $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мкм} = 10 \text{ \AA}$. Атом имеет размер порядка 0,1 нм, неорганические молекулы ~1 нм, вирусы — от 10 до 500 нм; минимальный размер элементов современных интегральных микросхем (ИМС) ~15 нм, размер бактерий ~1000 нм.

Общепризнано, что нанотехнология — наиболее перспективное направление современной технологии. Э. Теллер (создатель американской водородной бомбы) обоснованно утверждал, что тот, кто раньше овладеет нанотехнологией, займет ведущее место в техносфере XXI столетия. Экономически развитые мировые державы выделяют миллиарды долларов на развитие нанотехнологии. В настоящее время на мировом рынке уже реализуется свыше 3000 товаров, производимых с использованием нанотехнологии. В ближайшие 10 лет мировая потребность в дипломированных специалистах в области нанотехнологии будет исчисляться миллионами; стоимость мирового рынка нанотехнологической продукции составит триллионы долларов США. За последние годы созданы десятки тысяч нанотехнологических компаний, их число удваивается каждые два года. Широким фронтом и со все возрастающей государственной поддержкой проводятся исследования и разработки в области нанотехнологий и в нашей стране. В 2007 г. президентом России утверждена стратегия развития отечественной наноиндустрии.

Целью курса «Нанотехнологии в электронике. Введение в профессию» является ознакомление студентов с современной системой высшего технического образования, его основными задачами, организационными и методическими особенностями обучения в вузе, с документами, которые регламентируют учебу студентов, а также с фундаментальными, общетехническими и профессиональными основами выбранной специальности, со спецификой будущей работы выпускника.

Курс содержит три части. Первая часть посвящается фундаментальному и гуманитарному аспектам инженерной подготовки, без которых невозможно сформировать широкообразованного, системно мыслящего, ориентированного на многоаспектную творческую деятельность специалиста, способного с максимальной эффективностью функционировать в современном обществе. Такой подход соответствует новой образовательной парадигме¹, национальной доктрине образования в Российской Федерации и макропеременам в современном высшем образовании, связанным с переходом к экономике, основанной на знаниях.

Во второй части пособия рассматриваются основы развития электроники, обсуждается и дополняется информация, полученная студентами в курсах физики и химии средней школы и позволяющая осмыслить эти основы.

Третья часть посвящена научным и технологическим аспектам нанoeлектроники, путям и перспективам ее развития. Показывается, что нанотехнология в электронике — это одно из наиболее быстро развивающихся направлений нанотехнологии.

Учебное пособие составлено на основе опыта чтения лекций по курсу «Введение в специальность» для студентов, обучающихся по специальности «Нанотехнологии в электронике», преподавателями кафедры «Физи-

¹ Парадигма — система основополагающих взглядов, общепринятая в какой-либо области деятельности (например, в науке, образовании и т. д.) и устойчиво существующая в течение некоторого исторического периода.

ка и электроника» Южно-Российского государственного политехнического университета (Новочеркасский политехнический институт).

Авторы благодарны сотрудникам кафедры и ее заведующему доктору физико-математических наук С. Н. Чеботареву, профессору Л. С. Лунину и доценту Г. С. Константиновой за помощь и поддержку при написании этой книги.



ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
ОСНОВЫ
ИНЖЕНЕРНОЙ
ПОДГОТОВКИ**



ОСОБЕННОСТИ ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

1.1. СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И ЕГО ЦЕЛИ

Мощную и дорогостоящую систему образования страна содержать бы не стала, если бы эта система не обеспечивала решение важнейших государственных задач:

- повышение безопасности страны (в самом широком смысле);
- подготовку специалистов для всех направлений экономики;
- повышение интеллектуального уровня населения.

Безопасность любой страны обеспечивается в основном уровнем образованности населения. Так было во все времена; особенно это важно в условиях ускоренного развития наукоемких производств, наукоемких видов техники и вооружения. Великий китайский мыслитель Конфуций около 2500 лет назад назвал образованность населения одним из условий преуспевания государства. Правительство США неизменно обосновывает все мероприятия по развитию и улучшению системы образования интересами безопасности страны. В последних документах правительства Российской Федерации, направленных на совершенствование системы образования, необходимость его модернизации также связывается с безопасностью страны.

В соответствии с новой образовательной парадигмой у высшего технического образования две основные задачи:

- формирование широкообразованной личности и общих знаниевых компетенций;

- подготовка высококвалифицированного специалиста, обладающего профессиональными компетенциями¹.

Последняя задача — более узкая и простая; она не одинакова для всех (у каждого своя специальность) и не предполагает выполнения в течение всей жизни (многие специалисты вынуждены неоднократно менять свою специальность). Первая задача универсальна, т. е. одинакова для всех, ее значимость не меняется в течение профессиональной деятельности специалиста. Без решения первой задачи полноценно решить вторую невозможно. Одно из важнейших требований к широкообразованной личности — это творческое системное мышление и способность обеспечивать в условиях научно-технического прогресса устойчивое существование человечества на Земле. Качества широкообразованной личности и общие компетенции можно приобрести, лишь глубоко освоив фундаментальные и гуманитарные основы выбранной специальности. Гуманитарные и фундаментальные знания сосредоточены в социогуманитарных и естественнонаучных дисциплинах соответственно. Эти дисциплины изучаются на первых курсах.

Современная экономика стала знаниевой. Фундаментальные знания превратились в наиболее эффективную движущую силу производства. *Фундаментальные знания создаются фундаментальными науками, т. е. науками, посвященными исследованию природы. К таким наукам относятся: физика, химия, биология, математика, информатика и некоторые другие.* Инженерные теории, как правило, представляют собой модифицированные варианты теорий фундаментальных наук. Модификация состоит в том, что фрагменты общенаучных теорий, имеющие прикладное значение, преобразуются в теории, позволяющие выполнять инженерные расчеты и проекты. Поэтому любая инженерная дисциплина содержит фундаментальное ядро. Задача студента — научиться выделять из раз-

¹ Компетенция — совокупность взаимосвязанных качеств человека, позволяющих ему эффективно выполнять свои профессиональные обязанности (профессиональные компетенции), успешно ориентироваться в жизненных и служебных ситуациях (общекультурные компетенции).

личных дисциплин фундаментальные знания, интегрировать и обобщать их в своем сознании. Без этого не может сформироваться широкообразованный специалист.

1.2. ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

Основной особенностью обучения в вузе является то, что в вузе не учат, а учатся. Студент — взрослый человек, осознанно выбравший данную специальность, и поэтому обязан сам осваивать все дисциплины учебного плана, позволяющие ему стать специалистом-профессионалом. Очевидно, что человек, не проявляющий самостоятельность в учебе, не станет самостоятельным и в работе. Поэтому в университете не столь тщательно, как в школе, контролируются текущие знания студента; значительная роль отводится самоконтролю.

Отсутствие постоянного самоконтроля в учебе — основной признак того, что поступивший в вуз еще не созрел быть студентом. В настоящем курсе вопросы для самоконтроля приведены в конце каждой главы. Материал, необходимый для ответа на эти вопросы, выделен в тексте пособия курсивом.

Второй особенностью обучения в вузе является то, что студент за 4 года учебы должен освоить значительно больше дисциплин, чем в школе за 10 лет. Это очевидное различие мешает неискушенному студенту осознать менее очевидное, но чрезвычайно важное единство всех дисциплин учебного плана. Единство дисциплин связано с двумя обстоятельствами.

Во-первых, все дисциплины учебного плана образуют единую систему курсов, внутренне согласованных друг с другом так, что вместе они позволяют подготовить высококвалифицированного и широкообразованного специалиста. Принципиальная основа этой внутренней согласованности учебных дисциплин определяется Государственным образовательным стандартом (ГОС), а

практическая реализация обеспечивается рабочими программами дисциплин.

Во-вторых, *почти все учебные дисциплины имеют общие фундаментальные основы, так как отражают различные стороны одной и той же объективной реальности.*

Документами, которые определяют описанные выше особенности обучения студента в вузе, являются ГОС, учебный план и рабочие программы дисциплин. Эти документы рассмотрены в третьей главе пособия.

Отметим также, что, в отличие от обучения в средней школе, *учеба в вузе — это фактически начало профессиональной деятельности человека.* Во-первых, студент осваивает содержательную основу будущей профессиональной деятельности, а во-вторых, интеллектуально созревает как специалист. И то, и другое обеспечивается всеми дисциплинами учебного плана. Кроме того, *успех в профессиональной карьере специалиста зависит и от способности студента самостоятельно работать с профессионально значимой литературой вне учебного плана.*

Описанные выше особенности обучения в вузе относятся и к бакалавриату, и к специалитету. Поэтому практически весь последующий текст книги адресован всем студентам, независимо от категории обучения (бакалавр или инженер).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое нанотехнология? Какие размеры характерны для наноматериалов?
2. Какие государственные задачи решает высшее техническое образование?
3. Какие требования к подготовке современного дипломированного специалиста соответствуют новой образовательной парадигме?
4. Какие науки и знания относятся к фундаментальным?
5. В чем состоят основные особенности обучения в вузе?
6. Какие основные документы регламентируют учебный процесс в вузе?

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2.1. НАПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Принципиально различающихся направлений инженерной деятельности (т. е. различающихся в своей естественнонаучной основе) — только шесть. Они связаны с информацией, энергией, сырьем, материалами, изделиями и транспортом (рис. 2.1). Каждая позиция на рис. 2.1, от 1-й до 6-й, подразумевает соответствующее производство: производство информации (1), производство энергии (2) и т. д. Любое из названных производств рассматривается здесь в самом широком смысле. Производство информации включает получение, обработку и передачу информации во всех сферах деятельности человека. Производство энергии включает преобразование любых видов энергии (от механической до внутриядерной) в виды, непосредственно применяемые на производстве и в быту, например, в механическую или электрическую. Производство сырья включает сырье, связанное не только с геологическими, но и с биологическими и другими источниками. Материалы — результат придания сырью свойств, которые обеспечивают получение из него тех или иных изделий. К изделиям отнесено то, что производится из материалов — от пуговицы до сложнейшей автоматизированной системы управления производством, от лопаты до здания, от игрушки до гидроузла и т. д., — и имеет характерное индивидуальное оформление и функциональное назначение. В понятие «транспорт» включается все, что обеспечивает доставку материалов, изделий и т. д. к месту дальнейшей

переработки, потребления или хранения. Сюда относятся любые средства перемещения — от гужевого транспорта до фотонной ракеты.

Между составными частями приведенного перечня (рис. 2.1) имеется определенная иерархическая¹ связь, отражающая тот факт, что без информации невозможно вовлечь знания и опыт в производственную сферу, без энергии производство теряет свою естественную движущую силу, т. е. не реализуемо, без сырья невозможно производство материалов и т. д.

Эта иерархия в принципиальном плане абсолютна. Но на практике все ступени иерархической лестницы, изображенной на рис. 2.1, в равной степени взаимозависимы. Никакая из них не может существовать вне связи со всеми остальными, что проявляется, например, в любых производственных проектах и бизнес-планах, которые обязательно учитывают издержки на информационное сопровождение, на энергоснабжение, приобретение материалов и т. д. Наиболее ярко описанные взаимосвязи проявляются тогда, когда на их основе возникает конкретная инженерная специальность. Ее становление сопряжено с использованием знаний, касающихся сразу нескольких или даже всех направлений практической деятельности, представленных на рис. 2.1. Это находит отражение в учебных планах любой специальности. Например, в учебном плане специальности «Нанотехнология в электронике» имеются дисциплины, связанные

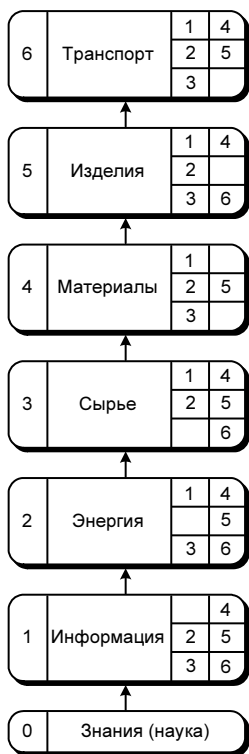


Рис. 2.1
Основные виды
производств

¹ Иерархия — соподчинение, расположение частей какой-либо системы в порядке от высшего к низшему.

с информатикой, энергетическими вопросами, с материаловедением и т. д.

Число различных специальностей, обеспечивающих основные направления инженерной деятельности (рис. 2.1), велико. Их перечень постоянно изменяется — некоторые отмирают, зарождаются новые. Эти изменения отражают общий научно-технический прогресс. В настоящее время технические вузы страны осуществляют подготовку инженеров примерно по 300 специальностям, распределенным по 80 направлениям (см. «Перечень направлений подготовки дипломированных специалистов и отнесенных к ним специальностей высшего профессионального образования»). В каждой специальности затрагиваются сразу многие направления инженерной деятельности, представленные на рис. 2.1.

Взаимосвязи каждого компонента практической деятельности человека с остальными указаны на рис. 2.1 номерами справа в соответствующем прямоугольнике. Пустые прямоугольники отображают взаимодействие данного производства с самим собой. Так, производство информации само является потребителем информации, энергетика — энергии и т. д.

Взаимосвязи между направлениями практической деятельности (рис. 2.1) учитываются различными учебными дисциплинами. Все дисциплины учебного плана обогащают интеллект будущего специалиста знаниями, формирующими творческое мышление высококвалифицированного специалиста. Поэтому нельзя в процессе учебы делить дисциплины на важные и неважные, как это часто делают неискушенные студенты и недостаточно опытные преподаватели. Здесь ситуация вполне аналогична методам подготовки спортсмена. Спортсменом высокого класса невозможно стать, не «накачав» все группы мышц, не укрепив дыхательный аппарат, сердечно-сосудистую систему, общую выносливость организма и психологическую устойчивость. В профессиональном спорте не делают тренировки на важные и неважные. Точно так же, обучаясь в вузе, следует всесторонне «накачивать» свой интеллект с помощью всех дисциплин учебного плана.

Из рис. 2.1 видна связь практической деятельности человека с природой. *Информация, лежащая в основе всех направлений деятельности человека, извлекается им из природы либо непосредственно (естественными науками), либо опосредованно — путем получения вторичной информации (из первичной, фундаментальной), прикладными науками и инженерной практикой.* Все источники знаний обобщенно отображены на рис. 2.1 позицией «0».

Энергия связана с природой тем, что представляет собой общий признак, общую меру различных форм движения и взаимодействия материальных объектов.

Любое сырье есть природное вещество.

Материалы — те же вещества, преобразованные к виду, более удобному для непосредственного практического использования. Причем преобразуются они в технологических процессах, подчиняющихся законам фундаментальных наук.

Любые изделия, а также самые сложные и хитроумные устройства являются лишь комбинациями конструктивных элементов, выполненных из материалов с использованием процессов, подчиняющихся законам природы.

Транспорт использует принципы перемещения тел в пространстве, разрешенные и определяемые физическими законами.

Таким образом, *все направления инженерной деятельности либо копируют природу, либо если и создают новое, то лишь в рамках допустимого законами природы.* Поэтому не существует технических специальностей, не опирающихся на законы фундаментальных наук. В частности, все дисциплины учебного плана, формирующие специалиста данного профиля, имеют общие фундаментальные основы.

К сожалению, общность фундаментальных основ дисциплин учебного плана далеко не всегда осознается студентами. Это затрудняет формирование у студента системного мышления и приобретение им широких профессиональных знаний.

2.2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Практическая деятельность человека многогранна. В данном разделе рассматривается лишь ее часть, относящаяся непосредственно к производству (см. рис. 2.1).

Современное естествознание создало научно обоснованную картину мира, которая включает материальные структуры, возникшие в процессе эволюции Вселенной. *Магистральный путь эволюции — переход от простого к более сложному. Один из ее основных механизмов — самоорганизация материальных структур.* На некотором этапе эволюции природа проявляет способность создавать биологические объекты, т. е. материальные структуры, для которых характерны избирательный обмен веществом и энергией с внешним окружением, внутренняя саморегуляция, самовоспроизводство, эволюционное самосовершенствование и адаптация к окружающей среде. В процессе эволюции адаптивные способности таких структур преобразовались в сложную информационную систему сбора, переработки и рационального использования важной для жизни информации — возникла эффективно действующая нервная система. *В условиях Земли эволюция нервной системы живых организмов привела к появлению человеческого мозга и разума.* Возможности человеческого разума выходят за рамки простых потребностей поддержания жизни. Максимально ярко эти возможности проявляются в абстрактном мышлении, которое позволяет человеку познавать окружающий мир, формируя научные представления о нем. Таким образом, *человек оказался той материальной структурой, посредством которой природа проявляет свою способность к самопознанию и к осознанному самосовершенствованию.* Человек, развивая фундаментальные науки, познает законы природы и в пределах «разрешенного» этими законами создает элементы искусственной природы, призванные улучшать качество жизни и обеспечивать ему все новые возможности для более глубокого познания естественной

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru