

---

## **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 тунNELНЫЙ микроскоп (микроскопия)  
СЭМ — сканирующий электронный микроскоп (микроскопия)  
CVD — метод химического осаждения из пара (Chemical Vaper 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 нм =  $= 10^{-9}$  м =  $10^{-3}$  мкм = 10 Å. 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 парадигме<sup>1</sup>, 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 наноэлектроники, 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-

---

<sup>1</sup> 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**

---

## • 1 •

# **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 знаний компетенций;

- подготовка высококвалифицированного специалиста, обладающего профессиональными компетенциями<sup>1</sup>.

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 общенациональных 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-*

---

<sup>1</sup> 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 об- щие фундаментальные основы, так как отражают раз- личные 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 профес- сиональной 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 профессио- нальной карьере специалиста зависит и от способности студента самостоятельно работать с профессиональ- но 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 наноизделий?
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?

---

## • 2 •

# 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 иерархическая<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> 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 делят 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 отражены 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 конструкционных 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, самовоспроизведение, 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](http://e-Univers.ru)