



Г. Н. Пахарьков

# БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

## Проблемы и перспективы



Электронный аналог печатного издания: Пахарьков Г. Н. Биомедицинская инженерия: проблемы и перспективы : Учеб. пособие. — СПб. : Политехника, 2011. — 232 с. : ил.

УДК 65.018 (075) + 615.47(082)

ББК 30 : 53/57я73

П21



**ПОЛИТЕХНИКА**  
**ИЗДАТЕЛЬСТВО**

Санкт-Петербург 2011

[www.polytechnics.ru](http://www.polytechnics.ru)

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 200400 «Биомедицинская техника», специальность 200402 «Инженерное дело в медико-биологической практике», и направлению подготовки бакалавров и магистров 200300 «Биомедицинская инженерия»*

**Р е ц е н з е н т ы:** В. А. Сарычев, доктор технических наук, профессор;  
Н. Б. Суворов, доктор биологических наук, профессор

**Пахарьков, Г. Н.**

П21 Биомедицинская инженерия: проблемы и перспективы / Г. Н. Пахарьков: Учеб. пособие. — СПб. : Политехника, 2011. — 232 с. : ил.

ISBN 978-5-7325-0983-0

В пособии рассматриваются современные проблемы и перспективы развития основных направлений биомедицинской инженерии (БМИ): роль и значимость фундаментальных и прикладных медико-технических исследований и разработок, являющихся важными элементами развития и повышения эффективности системы национального здравоохранения. Приведены примеры применения современных достижений БМИ в практической медицине, реабилитационной индустрии, медицине критических состояний, человеко-машинных системах. Большое внимание уделено таким инновационным направлениям БМИ, как бионасосы и бионанотехнологии, микро- и нанороботы, медицинские микросистемы, биологические волновые воздействия на организм человека, неинвазивные методы диагностики.

Пособие предназначено для студентов, бакалавров, магистров и аспирантов, обучающихся по направлениям медико-технической подготовки, а также для специалистов, работающих в области биомедицинской техники.

УДК 65.018 (075) + 615.47(082)

ББК 30 : 53/57я73

ISBN 978-5-7325-0983-0 © Издательство «Политехника», 2011

# 1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

## 1.1. ПОЗНАНИЕ РАБОТЫ ОРГАНИЗМА КАК ЕДИНОЙ ЦЕЛОСТНОЙ СИСТЕМЫ

В конце XX века развитие высоких технологий в значительной мере было связано с реализацией двух грандиозных проектов: *Всемирной информационной сети* и *нанотехнологий*. Первый направлен на создание беспрецедентной информационной инфраструктуры глобального масштаба и базируется на стремительном прогрессе средств вычислительной техники (СВТ) и информатики. Содержанием второго является создание уникальных промышленных технологий, использующих манипуляции с веществами атомарного и молекулярного уровней. Прогноз в этих направлениях позволяет медицинским и биологическим наукам реально приблизиться к анализу глубинных механизмов жизни, что, в конечном итоге, может позволить сформулировать полноценную теорию медицины.

С этих позиций ключевым направлением интеграции медицинских и технических наук является *познание работы организма как единой целостной системы* на базе междисциплинарных принципов: синтезе методов и достижений технических наук (в том числе вычислительной техники и нанотехнологий), методов и достижений медицинских наук в познании биомедицинских явлений и процессов на разных масштабных уровнях (атомно-молекулярном, субклеточном, клеточном, межклеточном и т. д.).

Современный технологический фундамент БМИ возник и развивается именно «на стыке наук», на основе потенциала различных областей науки и техники, объединяемого общими проблемами биомедицинской направленности.

В дальнейшем мы будем говорить о *медицинских аспектах БМИ*.

## 1.2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

В 1960–1980-х годах технологический прогресс в области медико-технической науки развивался очень высокими темпами, что было связано с общей научно-технической революцией и, в частности, с разработками в военных областях науки и техники (освоение атомной энергии, создание новых систем связи, специальное материаловедение, прогресс в физике твердого тела и т. д.). Многие примеры свидетельствуют о плодотворности такого «переноса» (трансфера) знаний и опыта:

- ядерная медицина стала эффективным средством диагностики и лечения ряда специфических физиологических патологий, в том числе онкологических;

- открытия биологами механизмов внутриклеточного взаимодействия и познания генных структур создали качественный сдвиг в реконструктивном лечении многих заболеваний;

- теоретическое, экспериментальное и математическое моделирование строения и функций внутренних органов позволили создать искусственные клапаны сердца, сосуды, кровь, суставы, искусственную кожу, протезы конечностей, имплантируемые кардиостимуляторы и др.;

- ультразвуковые (УЗ) исследования с использованием трансдьюсеров на фазированных решетках, эффекта Доплера и программной реконструкции получаемых изображений внутренних органов и тканей стали в настоящее время частью рутинного диагностического обследования;

- развитие информатики и компьютерной техники привело к созданию сложной аппаратуры визуализации (с высокой пространственной и контрастной разрешающей способностью), такой как цифровые рентгеновские и ЯМР-томографы, позитронные эмиссионные томографы, гамма-камеры, позволяющие эффективно проводить неинвазивную диагностику различных заболеваний;

- развитие информатики стало также основой построения автоматизированных систем управления деятельностью клиник, многопрофильных медицинских центров, ре-

гиональной системы здравоохранения, а также информационно-справочных систем различного уровня, от экспертной системы — советчика врача до медицинских БД глобального уровня; на основе достижений современных телекоммуникационных систем (спутниковой связи, Интернета и др.) развивается новая сфера медицинских услуг (МУ) — телемедицина, позволяющая «перенести» в отдаленные районы или на дом к пациенту современные средства диагностики и квалифицированную лечебную помощь;

– лабораторная диагностика, базирующаяся на исследовании и определении состава и свойств биологических жидкостей (крови, мочи, ликвора и др.) — важнейшее звено всей системы медицинской диагностики и лечения заболеваний; благодаря широкому использованию электроники, микротехнологии и СВТ, а также совершенствованию и разработке новых аналитических методов (радионуклидных, иммуноферментных и др.) лабораторная техника пережила ряд прогрессивных качественных сдвигов, обеспечив массовый переход к методам автоматизированного микроанализа и пробоприготовления с рекордно высокими чувствительностью (разрешением) и надежностью получаемого результата.

Области применения наукоемких МИ чрезвычайно разнообразны, и профессиональные сферы деятельности инженеров, физиков, математиков в медицине, биологии и экологии расширяются по сравнению с периодами, когда основное внимание уделялось разработке конкретных ТС, устройств и оборудования.

Фундаментальные исследования и прикладные НИОКР в области БМИ в настоящее время развиваются по следующим основным направлениям.

1. *Бионанотехнологии* — зондовая микроскопия, туннельная спектроскопия, молекулярная диагностика клеток, микроорганизмов, генных патологий, визуализация и идентификация молекул белков, внутриклеточных процессов при химических и волновых воздействиях, молекулярная «сборка» биосенсоров, биосовместимых полимеров и тканей, бионаноэлектродов и, наконец, создание нанороботов, способных перемещаться по кровеносной системе организма человека.

2. *Аппаратно-программные комплексы для диагностики, терапии и прогнозирования состояния организма, его органов, систем, тканей на основе новых информационных технологий обработки биологических сигналов и изображений, их визуализации, в том числе многомерной с использованием методов и средств искусственного интеллекта и применением биологической обратной связи (БОС).*

3. *Индустрия рентгенологических средств, связанная с объединением цифровой рентгеновской аппаратуры в информационные сети с цифровыми архивами во всемирной сети телерадиологии.*

4. *Телемедицинские системы с соответствующей инфраструктурой передачи мультимедийной информации, а также медицинские цифровые информационные сети, функционирующие в глобальном масштабе: архивирование от отдельного пациента до статистической медико-биологической и социальной информации о популяциях и окружающей природной среде.*

5. *Биомедицинские исследования в сочетании с математическим и компьютерным моделированием поведения, генезиса и патологии живого организма, его систем, органов, тканей, клеток, энерго- и массообмена, физических полей, воспринимаемых сигналов, построение и использование имитационных моделей функционирования органов и систем для компьютерного управления аппаратурой жизнеобеспечения и терапии, в том числе с БОС.*

6. *Средства поддержания жизнедеятельности нового поколения: системы искусственной вентиляции легких (ИВЛ), наркозно-дыхательной аппаратуры (НДА), системы «искусственная почка», системы искусственного кровообращения, снабженные многофункциональными мониторами и адаптивными системами.*

7. *Создание нового поколения имплантируемых электрокардиостимуляторов, представляющих собой интеллектуальные многокамерные, многочастотные и адаптивные системы с микродефибриллятором и обеспечивающих восстановление и поддержание нормального сердечного ритма.*

8. *Многофакторные энергетические воздействия в диагностических и терапевтических целях на системы, орга-*

ны и ткани организма (в том числе на клеточном и геномном уровне) электромагнитным, лазерным, ионизирующим, тепловым, УЗ модулированными (во времени и пространстве) излучениями с оперативным мониторингом состояния организма.

9. *Аудио, визуальные, мануальные и им подобные технические воздействия с адаптивной БОС* — через комплекс традиционных диагностических приборов со специальными вспомогательными устройствами сопряжения.

10. *Создание искусственных органов и тканей, в том числе гибридных*, обеспечение их биологической совместимости, а также инструментальной, терапевтической и фармакологической поддержки в ЛПУ и бытовых условиях пациента.

11. *Микроанализ биологических жидкостей и тканей* радионуклидными, иммуноферментными, флюоресцентными, люминесцентными, интерференционными аналитическими методами, в том числе *in vivo*, с автоматизацией отбора и приготовления проб и компьютерной обработкой получаемой информации.

12. *Новые технические средства воздействия на больничную среду*: локальные поля аэроионов, аэрозолей, специальных растворов широкого спектра, создание регулируемых по составу и физическим параметрам газовых сред, применяемых в присутствии человека или только в его отсутствии.

13. *Создание автоматизированной медицинской мебели* из новых материалов со специальными ударопрочными защитными покрытиями, функциональных столов с высоким числом степеней свободы и возможностью прецизионной установки для точного наведения при лучевых воздействиях с «памятью на конкретного пациента», специальных защитных и перевязочных материалов и противопролежневых систем, специальных защитных и перевязочных материалов.

14. Разработка и создание *компьютеризированных систем и ТС реабилитации — медицинской, профессиональной и социальной*, в том числе для медико-технического оснащения различных Центров реабилитации.

15. Широкое внедрение *биосенсорных систем и технологий* в различные области медицины и биологии.

16. Активные исследования в области *создания эффективных ТС для медицины катастроф*, в том числе с использованием последних достижений в радиоэлектронике (сверхширокополосная локация для обнаружения пострадавших и др.).

В 1990 г. американские ученые Брэд Уиннерс и Дэвид Пект спрогнозировали сенсационные открытия, в том числе относящиеся к достижениям в области БМИ:

– 2010 г. — начнет работать робот-хирург величиной с таблетку: больной проглатывает его и с помощью пульта управления он осуществляет хирургическое вмешательство;

– 2020 г. — первый человек совершит посадку на Марс;

– 2025 г. — начнут продавать наручные часы, которые будут отмечать состояние здоровья (мониторинг) их владельца;

– 2029 г. — медицина научится излечивать пораженные болезнью человеческие клетки;

– 2043 г. — впервые будет оживлен умерший;

– 2044 г. — создадут первого способного к размножению робота [1].

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите перспективные направления развития БМИ в XXI веке.
2. Перечислите основные сферы применения биомедицинской техники.
3. Что является предметом БМИ как междисциплинарной науки?
4. Дайте определение БМИ.
5. Что является ключевым направлением интеграции медицинских и технических наук?
6. Какие направления отраслевой медицины попадают в предметную область БМИ?
7. На чем основаны перспективные информационные технологии обеспечения диагностики, терапии и прогнозирования состояния организма, его органов и систем?
8. В каких БТС могут в ближайшем будущем применяться компьютерные адаптивные системы?
9. Что такое «многофакторные энергетические воздействия в диагностических и терапевтических целях»?



## 2. БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ — НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

### 2.1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ В РАЗВИТИИ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Понятие «нанотехнологии» в 1974 г. предложил японец Норе Танигути для описания процесса построения новых объектов и материалов при помощи манипуляций с отдельными атомами. Нанотехнологии имеют дело с объектами в одну миллиардную часть метра, т. е. размером с атом. Ожидается, что появляющаяся нанотехнология изменит наш мир в неменьшей степени, чем это сделала микротехнология (позволившая создать интегральные схемы, микрохирургию, космические корабли и т. д.).

Рассматривая отдельный атом в качестве «кирпичика», нанотехнологи ищут практические способы конструировать из этих деталей новые материалы с заданными характеристиками, сверхплотные информационные носители (информация кодируется на молекулярном уровне, как, например, в ДНК) и сверхмалые механизмы — наномашин (нанороботы).

Объединение этих трех направлений грозит привести к созданию невиданной доселе искусственной жизни, возвращенной людьми вроде как на благо людей же. Основные положения нового направления научно-технической революции были намечены в хрестоматийной речи отца нанотехнологий Ричарда Фейнмана «Там внизу — море места», произнесенной им еще в 1959 г. [2]. Тогда его слова казались фантастикой только лишь по одной причине: еще не существовало технологии, позволяющей оперировать отдельными атомами на атомарном же уровне. Такая возможность появилась лишь в 1982 г., когда в швейцарском отделении ИВМ был разработан *сканирующий (растровый) туннельный микроскоп* — прибор, чувствительный к изменениям туннельного тока между поверхностью материала и сверхтонкой иглой.

Перечислим основные этапы в развитии нанотехнологий.

1959 г. — лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман заявляет, что в будущем, научившись манипулировать отдельными атомами, человечество сможет синтезировать все что угодно.

1982 г. — создание Биннигом и Рорером сканирующего туннельного микроскопа — прибора, позволяющего осуществлять воздействие на вещество на атомарном уровне (1986 г. — Нобелевская премия).

1982–1985 гг. — достижение атомарного разрешения.

1986 г. — создание атомно-силового микроскопа, позволяющего, в отличие от туннельного, осуществлять взаимодействие с любыми материалами, а не только с проводящими.

1990 г. — манипуляции единичными атомами.

1994 г. — начало применения нанотехнологических методов в промышленности.

Постановлением Правительства РФ от 2.08.2007 г. № 498 у нас в стране была утверждена Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии Российской Федерации на 2008–2010 годы», давшая мощный импульс дальнейшим глубоким исследованиям и внедрению нанотехнологий как в промышленности, так и в медицине и биологии.

## 2.2. СКАНИРУЮЩИЙ ТУННЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП

Сканирующая туннельная микроскопия, разработанная Биннигом и Рорером в начале 1980-х годов, позволяет исследовать молекулярные и атомные структуры [3–5].

**Принцип действия.** Принцип работы туннельного микроскопа основан на прохождении электроном потенциального барьера, который образован разрывом электрической цепи — небольшим промежутком между зондирующим микроострием и поверхностью образца. В основе работы прибора лежит хорошо известный феномен электронного туннелирования (туннельный эффект). Между металлическим острием и поверхностью исследуемого проводника прикладывают электрическое напряжение (типичные значения

напряжений — от единиц микровольт до вольт) и острие приближают к поверхности образца до появления туннельного тока. Устойчивые изображения многих поверхностей можно получать при значении туннельного тока в  $10^{-9}$  А, т. е. в 1 нА. При этом острие оказывается вблизи поверхности на расстоянии в доли нанометра.

Для получения изображения поверхности металлическое острие перемещают над поверхностью образца, поддерживая *постоянным значение туннельного тока*. При этом траектория движения острия по сути дела совпадает с профилем поверхности, острие огибает возвышенности и отслеживает углубления, наподобие полета крылатой ракеты. При некоторой схематичности такого сравнения есть и существенные основания для этого. В обоих случаях используются одинаковые алгоритмы управления и вычислительные программы и даже сходные электронные системы автоматического регулирования.

В сканирующем туннельном микроскопе (СТМ) в качестве зонда используется заточенное острие, приготовленное из металлической проволоки (например, вольфрамовой) или из сплава благородных металлов (80 % Pt, 20 % Ir). Изготовление зонда осуществляют методом электрохимического травления или просто механическим срезом. В первом случае кончик проволоки, как правило, опускают в раствор щелочи и при пропускании постоянного или переменного тока формируют микроострие. Во втором случае можно даже с помощью простых ножниц сделать срез проволоки под углом 30–60°. Удивительно, но даже с помощью такого зонда можно увидеть отдельные атомы на поверхности проводника.

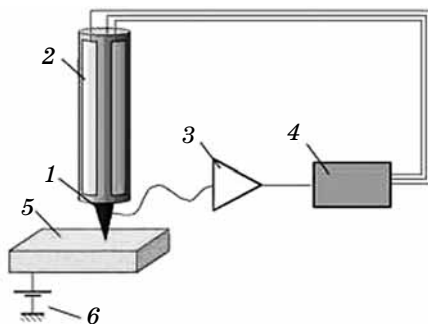
Для исследования БО применяют зонды небольшого диаметра (1–2 мкм) при значительной длине (10–15 мкм).

Важной деталью СТМ (рис. 2.1 и 2.2) является манипулятор, который обеспечивает перемещение зонда над поверхностью с точностью до сотых долей нанометра. Традиционно механический манипулятор изготавливают из пьезокерамического материала.

Если из пьезоматериала вырезать балку прямоугольного сечения, нанести на противоположные стороны металлические электроды и приложить к ним разность потенциа-



**Рис. 2.1.** Сканирующий туннельный микроскоп



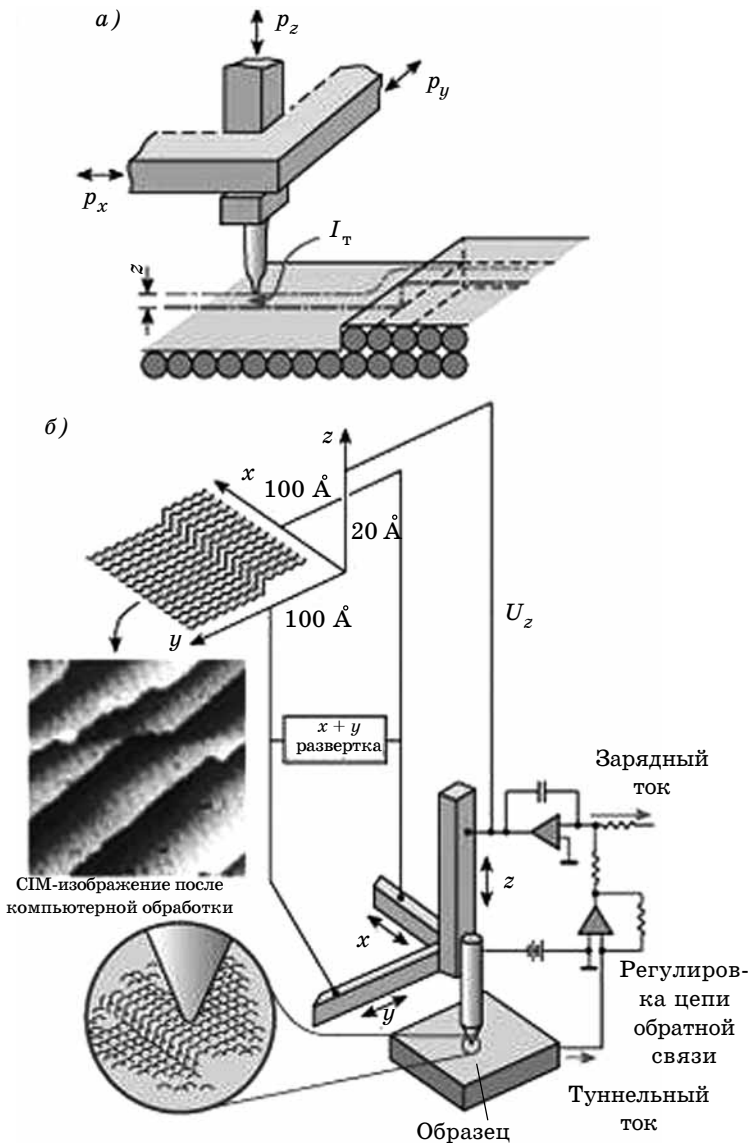
**Рис. 2.2.** Схема сканирующего туннельного микроскопа:

1 — зонд; 2 — пьезоэлектрический двигатель; 3 — усилитель туннельного тока; 4 — модуль обратной связи; 5 — образец; 6 — источник напряжения

лов, то получим обратный пьезоэффект. С помощью такой балки можно перемещать зонд по одной координате, с помощью комбинации из трех балок — по трем координатам.

В практических конструкциях обычно используют пьезо-керамические манипуляторы, выполненные в виде тонкостенной трубки с несколькими отдельными электродами. Управляющее напряжение вызывает удлинение или изгиб таких трубчатых манипуляторов и, соответственно, перемещение зонда по всем трем пространственным координатам  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Конструкции современных манипуляторов обеспечивают диапазон механического перемещения зонда до 100–200 мкм в плоскости образца и до 5–12 мкм — по нормали к образцу.

Схематически это выглядит следующим образом (рис. 2.2). Между зондом 1 и исследуемым образцом прикладывается небольшая разность потенциалов. Величина приложенного напряжения должна соответствовать величине туннельного барьера: если приложить слишком большое напряжение, то вместо туннельного тока можно получить ионную эмиссию. Зонд микроскопа, укрепленный на пьезодвигателе 2, перемещается над образцом 5, не касаясь его, последовательно по линиям-строчкам (сканирует образец), образуя полный кадр. Частота сканируемых строк при этом зависит от требуемого



**Рис. 2.3.** Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа: *a* —  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  — пьезоэлементы;  $z$  — туннельный вакуумный промежуток между острием-зондом и образцом;  $I_T$  — туннельный ток; *б* —  $U_z$  — напряжение в цепи обратной связи

разрешения изображения (скана). Туннельный ток, пройдя через усилитель 3, подается на модуль обратной связи 4, который управляет движением зонда.

Для сбора информации в каждой точке и вычисления детальной карты поверхности образца используется компьютер. Более подробно принцип работы СТМ представлен на рис. 2.3.

Туннельный ток, возникающий при приложении напряжения  $U_z$ , поддерживается постоянным за счет цепи обратной связи, которая управляет положением острия с помощью пьезоэлемента  $p_z$ . Запись осциллограммы напряжения  $U_z$  в цепи обратной связи при одновременном воздействии пилообразного напряжения развертки вдоль осей  $x$  и  $y$  образует туннельное изображение, являющееся своего рода репликой поверхности образца.

Сегодня туннельная микроскопия является стандартным методом в работах на наноуровне. Она применяется не только для исследования образцов с атомарным разрешением, но может также использоваться для конструирования структур на этом уровне, атом за атомом [6].

К особым характеристикам СТМ относятся:

1) возможность увидеть атомную и молекулярную структуру поверхности, воздействовать на нее на уровне отдельных атомов и молекул (пространственное разрешение СТМ может достигать тысячных долей нанометра в направлении по нормали к образцу и сотых долей нанометра в плоскости образца);

2) возможность изучить структуру и свойства (механические, электрические и электронные) поверхности в различных средах — на воздухе, в чистых жидкостях и растворах, в вакууме;

3) наглядность представляемой информации.

### 2.3. АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОП

Туннельный микроскоп стал прототипом зондовых микроскопов новых конструкций, среди которых самое широкое применение нашел *атомно-силовой микроскоп* (АСМ) [7].

Основное отличие зондовых микроскопов друг от друга состоит в применении различных микрозондов, с помощью которых проводится измерение локальных свойств и характеристик поверхности. В туннельном микроскопе основным измеряемым параметром является туннельный ток между иглой и образцом, в атомно-силовом микроскопе (рис. 2.4) контролируется *сила взаимодействия между микроострием и поверхностью образца.*

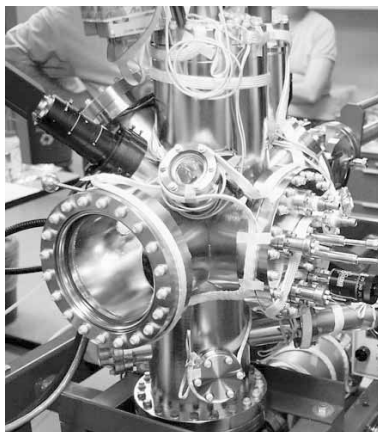
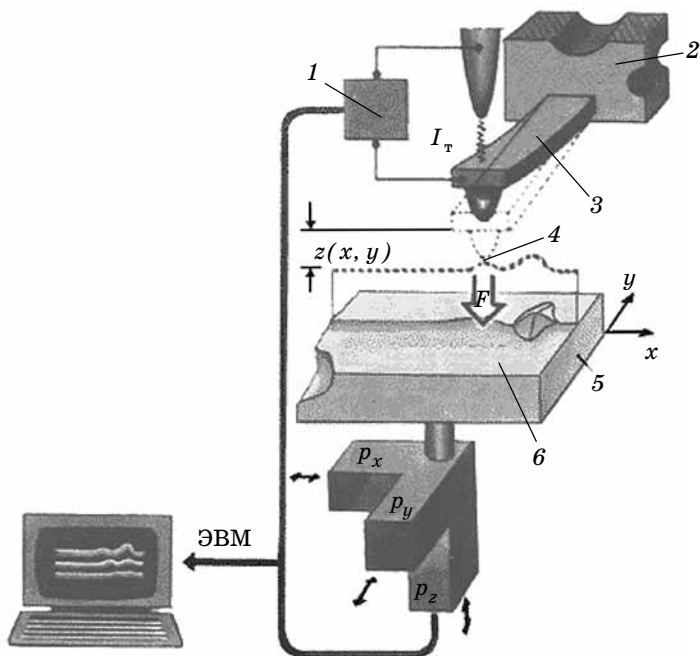


Рис. 2.4. Атомно-силовой микроскоп

Принцип действия АСМ основан на использовании сил атомных связей, действующих между атомами вещества. На малых расстояниях между двумя атомами (около одного ангстрема,  $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$ ) действуют силы отталкивания, а на больших — силы притяжения. Совершенно аналогичные силы действуют и между любыми сближающимися телами. В сканирующем АСМ (рис. 2.5) такими телами служат исследуемая поверхность и скользящее над нею острие. Обычно в приборе используется алмазная игла, которая плавно сканирует эту поверхность. При изменении силы  $F$ , действующей между поверхностью и острием, пружинка  $З$ , на которой оно закреплено, отклоняется, и такое отклонение регистрируется датчиком  $1$ . В качестве датчика в АСМ могут использоваться любые особо точные и чувствительные измерители перемещений, например оптические, емкостные или туннельные датчики.

На рис. 2.5 показан туннельный датчик, фактически представляющий такую же иглу, какая применяется в СТМ. Величина отклонения упругого элемента (пружинки) несет информацию о высоте рельефа — топографии поверхности и, кроме того, об особенностях межатомных взаимодействий. Можно сказать, что в АСМ сканирование исследуемого образца происходит по «поверхности постоянной силы», тогда как в СТМ — по поверхности постоян-



**Рис. 2.5.** Схема сканирующего атомного силового микроскопа:

1 — туннельный датчик, регистрирующий отклонения; 2 — пьезоэлектрические преобразователи; 3 — пружина, на которой закреплено острие; 4 — острие (игла); 5 — образец; 6 — поверхность образца

ного туннельного тока. Принципы же прецизионного управления, основанного на обратной связи и улавливающего самые ничтожные изменения рельефа поверхности, в СТМ и АСМ практически одинаковы.

АСМ — это возможность изучать БО в их естественном состоянии, без вакуума и приготовления специальных срезов, как в электронном микроскопе. Мало того, если на конец иглы посадить какую-нибудь молекулу, то именно она сама станет зондом и можно будет изучать не только топографию объектов, но и взаимодействие между ними.

К сожалению, в субатомной области АСМ так пока и не достиг уровня туннельного микроскопа. Большие шумы настолько увеличивают время измерения в каждой точке, что весь процесс просто теряет смысл. В мире есть не так много охлаждаемых АСМ, на которых удается стабильно



## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Список условных сокращений . . . . .	3
Предисловие . . . . .	5
Введение . . . . .	6
<b>1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ . . . . .</b>	<b>11</b>
1.1. Познание работы организма как единой целостной системы . . .	11
1.2. Современные тенденции в развитии биомедицинской инженерии	12
Контрольные вопросы . . . . .	16
<b>2. БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ — НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ . . . . .</b>	<b>17</b>
2.1. Основные этапы в развитии нанотехнологии . . . . .	17
2.2. Сканирующий туннельный микроскоп . . . . .	18
2.3. Атомно-силовой микроскоп . . . . .	22
2.4. Исследования в области бионанотехнологии . . . . .	25
2.5. Нанороботы . . . . .	29
2.6. Бионанозлектроды . . . . .	30
Контрольные вопросы . . . . .	31
<b>3. БИМЕДИЦИНСКИЕ МИКРОСИСТЕМЫ . . . . .</b>	<b>33</b>
3.1. Классификация основных направлений . . . . .	33
3.2. Примеры применения биомедицинских микросистем . . . . .	35
3.2.1. Капсульная эндоскопия . . . . .	35
3.2.2. Биомедицинские микроактюаторы . . . . .	38
Контрольные вопросы . . . . .	41
<b>4. МЕДИЦИНСКИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ . . . . .</b>	<b>42</b>
4.1. Основные типы биороботов . . . . .	42
4.2. Недостатки технических средств реканализации кровеносных сосудов . . . . .	43
4.3. Примеры применения медицинских микророботов . . . . .	44
4.4. Общие требования к медицинским микророботам . . . . .	48
4.5. Хирургический робот Da Vinci Robot . . . . .	49
Контрольные вопросы . . . . .	52
<b>5. ИМПЛАНТИРУЕМЫЕ СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА . . . . .</b>	<b>53</b>
5.1. Имплантируемые кардиостимуляторы . . . . .	53
5.2. Методы бесконтактной регистрации физиологических характеристик человека (оператора эргатических систем) . . . . .	58
5.2.1. Диэлектрический метод регистрации дыхательных движений . . . . .	60

5.2.2. Сейсмический метод регистрации сердечного толчка	61
Контрольные вопросы	63
<b>6. БИОСЕНСОРНЫЕ И БИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОКОМПЬЮТЕРОВ</b>	<b>64</b>
6.1. Классификация и области применения биосенсоров	64
6.2. Принцип действия биосенсоров	67
6.3. Примеры реальных биосенсоров	68
6.3.1. Амперометрический биосенсор для определения уровня глюкозы в крови	68
6.3.2. Транскутанный БС для измерения газового содержания крови	68
6.3.3. Мониторинг газов крови у недоношенных новорожденных детей	69
6.3.4. Ферментные электроды и биосенсоры на их основе	70
6.4. Современное состояние разработок биосенсоров на основе полупроводниковых структур	71
Контрольные вопросы	74
<b>7. КВАЗИСТАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТОМОГРАФИЯ — НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ЧЕЛОВЕКА</b>	<b>75</b>
7.1. Электроимпедансная томография	75
7.2. Виды электроимпедансных томограмм	78
Контрольные вопросы	80
<b>8. ВИДЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА</b>	<b>81</b>
8.1. Биофизика процессов взаимодействия высокочастотных полей с живым веществом	81
8.2. Ультразвуковое воздействие	84
8.2.1. Биологическое действие ультразвука	84
8.2.2. Ультразвуковая хирургия	86
8.2.3. Современные технологии УЗ-исследований	86
8.3. Лазерное воздействие	88
8.3.1. Виды лазерного воздействия	88
8.3.2. Типы лазеров, используемых в хирургии	88
8.3.3. Сравнительная оценка хирургических лазеров по характеру и возможностям воздействия их излучений на биоткань	92
8.4. Методы неинвазивной диагностики для исследования деятельности мозга	93
8.4.1. Применение лазерного излучения и маломощного импульсного СВЧ-радар	93
8.4.2. Магнитоэнцефалография с использованием СКВИД-датчиков	94
8.5. Изотопные технологии	95

8.6. СВЧ-томография . . . . .	97
8.7. Оптическая томография . . . . .	99
8.8. Радиолокационные средства СВЧ-диапазона для дистанционного контроля параметров кардиореспираторной системы человека . . . . .	99
8.9. Волновой геном П. Гаряева . . . . .	105
8.9.1. Биокомпьютер будущего — на принципах волновой генетики . . . . .	107
8.9.2. «Оператор времени» . . . . .	108
Контрольные вопросы . . . . .	110
<b>9. ПРОБЛЕМЫ РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ ИНДУСТРИИ . . . . .</b>	<b>112</b>
9.1. Социальные проблемы технической реабилитации инвалидов . . . . .	112
9.2. Технические средства реабилитации людей с ограничениями жизнедеятельности. . . . .	113
9.3. Особенности рынка реабилитационной индустрии . . . . .	114
9.4. Основные области исследований в реабилитологии . . . . .	116
9.4.1. Компьютерное моделирование в биомеханике . . . . .	116
9.4.2. Биоматериалы и биомеханика живой ткани . . . . .	118
9.4.3. Имплантация (эндопротезирование) . . . . .	119
9.4.4. Биоэлектрическая инженерия . . . . .	120
9.4.5. Искусственное сердце . . . . .	120
9.5. Электронная трость для слепых . . . . .	125
9.6. Человеко-машинные интерфейсы в неврологической реабилитации . . . . .	128
Контрольные вопросы . . . . .	132
<b>10. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОТЕХНИКИ . . . . .</b>	<b>133</b>
10.1. Преимущества цифровой рентгентехники . . . . .	133
10.2. Причины медленного внедрения цифровой рентгентехники . . . . .	134
10.3. Проблемы перехода от классической рентгенологии к цифровой . . . . .	135
Контрольные вопросы . . . . .	142
<b>11. ТЕЛЕМЕДИЦИНА И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ . . . . .</b>	<b>143</b>
11.1. Определение телемедицины . . . . .	143
11.2. Основные направления телемедицины . . . . .	144
11.2.1. Телемедицинские консультации . . . . .	144
11.2.2. Телеобучение . . . . .	145
11.2.3. Телемедицинские системы и комплексы . . . . .	146
11.3. Региональная телемедицинская сеть . . . . .	147
11.3.1. Задачи, решаемые региональной телемедицинской сетью . . . . .	147
11.3.2. Логическая структура ТМС . . . . .	150
11.3.3. Структура аппаратного обеспечения ТМС . . . . .	151
11.4. Принципы проектирования и разработки телемедицинских систем и сетей . . . . .	154

11.5. Перспективы развития телемедицины . . . . .	155
Контрольные вопросы . . . . .	156
<b>12. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕДИЦИНЫ КАТАСТРОФ . . . . .</b>	<b>158</b>
12.1. Некоторые проблемы оказания специализированной экстренной медицинской помощи . . . . .	160
12.2. Актуальные вопросы организации экстренной медицинской помощи . . . . .	162
12.2.1. Основные нормативные характеристики экстренной медицинской помощи . . . . .	163
12.2.2. Методики разделения пострадавших на группы риска . . . . .	165
12.2.3. Вопросы метрологического обеспечения службы экстренной помощи . . . . .	168
12.2.4. Примеры конструктивного выполнения некоторых медицинских изделий для экстренной медицинской помощи . . . . .	169
Контрольные вопросы . . . . .	173
<b>13. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ . . . . .</b>	<b>174</b>
13.1. Автоматизированная информационная система мониторинга медицинских изделий . . . . .	174
13.2. Автоматизированные системы скринирующей диагностики здоровья детей и взрослого населения . . . . .	181
Контрольные вопросы . . . . .	185
<b>14. ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА — РАЗДЕЛ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ, ИЗУЧАЮЩИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СОЦИАЛЬНОЙ И ПРИРОДНОЙ СРЕДОЙ . . . . .</b>	<b>187</b>
14.1. Возникновение дисциплины «Экология человека» . . . . .	187
14.2. Проблемы охраны здоровья человека . . . . .	190
14.3. Влияние природных и эколого-физиологических факторов на экологию человека . . . . .	194
Контрольные вопросы . . . . .	198
<b>15. ВЛИЯНИЕ NBIC-КОНВЕРГЕНЦИИ НА РАЗВИТИЕ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ . . . . .</b>	<b>200</b>
15.1. Понятие NBIC-конвергенции . . . . .	200
15.2. Прогноз развития и области применения NBIC-технологий, обусловленные видом конвергенции . . . . .	210
Контрольные вопросы . . . . .	213
Заключение . . . . .	214
Приложение. Примеры инновационных разработок в области биомедицинской инженерии . . . . .	217
1. Тканеэквивалентные ультразвуковые фантомы . . . . .	217
2. Цифровая микрофокусная рентгенография . . . . .	219
3. Транскраниальная электростимуляция . . . . .	221
Список литературы и электронных источников . . . . .	224