

СЕРИЯ НАУЧНО-УЧЕБНЫХ ПОСОБИЙ
«АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМНЫЕ СИТУАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКЕ И ПРАКТИКЕ»

Парашин В.Б. Алборова И.Л.

«Актуальные задачи и проблемные ситуации в биомедицинской технике»

Научно-учебное пособие разработано с целью пробуждения и поддержания интереса школьников к биомедицинской технике, где соприкасаются и взаимодействуют два принципиально различных вида материи – живая и неживая. В объектах биомедицинской техники быстро воплощаются открытия и изобретения физиков и инженеров всех специальностей. Знаковыми событиями в истории медицинской техники является присуждение Нобелевских премий за открытие рентгеновских лучей, разработку метода и прибора для регистрации электрокардиограмм, компьютерной рентгеновской и ЯМР-томографии. В первом разделе научно-учебного пособия рассмотрены характеристики современного состояния биомедицинской техники, дан анализ актуальных задач и проблемных ситуаций в биомедицинской технике, приведены примеры научных и инженерных решений в современной биомедицинской технике. Во втором разделе размещена информация о факультете "Биомедицинская техника" и его базовых кафедрах. Описаны примеры актуальных научно-исследовательских тем и технических разработок факультета. В научно-методическом пособии показано, что биомедицинская техника представляет собой большое поле деятельности для молодых исследователей, которые «еще не знают, что нельзя сделать что-то, и которые делают это».

СОДЕРЖАНИЕ

I. НАУЧНЫЙ ОБЗОР	2
1.1. Знаковые события в истории биомедицинской техники	2
1.2. Характеристика современного состояния биомедицинской техники	4
1.3. Анализ актуальных задач и проблемных ситуаций в биомедицинской технике	9
1.4. Примеры научных и инженерных решений в современной биомедицинской технике	11
1.5. Литература	13
II. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	13
2.1. Сведения о факультете «Биомедицинская техника» и базовых кафедрах направления в МГТУ им. Н.Э. Баумана	13
2.2. Примеры актуальных научно-исследовательских тем и технических разработок факультета «Биомедицинская техника» (с краткой аннотацией)	14
2.3. Список рекомендуемой литературы для чтения	16

I. НАУЧНЫЙ ОБЗОР

1.1 . Знаковые события в истории биомедицинской техники

В XXI веке человек соприкасается с медицинской техникой еще до рождения. Беременные женщины проходят ультразвуковое обследование, при котором контролируется процесс органогенеза плода, может быть определен пол ребенка. Высокая чувствительность современного ультразвукового медицинского локатора позволяет наблюдать даже движение створок клапанов маленького сердца плода.

Выживаемость недоношенных детей обеспечивается использованием сложного комплекса аппаратуры жизнеобеспечения. Ребенку в любом возрасте часто измеряют температуру тела (правильно – температуру ядра тела). Это те самые $36,6^{\circ}\text{C}$ – нормальная температура, значение которой известно всем. Известно также, что температура тела более $37,0^{\circ}\text{C}$ является признаком болезни, что говорит о необходимости обратиться к врачу.

Изобретение медицинского термометра, безусловно, относится к знаковым событиям в истории медицинской техники. Многие годы изобретатели занимались проблемой создания безртутного термометра (ртуть – токсичное вещество). Сегодня потребителю предлагаются различные типы электронных медицинских термометров, которые превосходят ртутный по скорости измерения (несколько секунд), но несколько уступают по точности (погрешность более $0,1^{\circ}\text{C}$). Интересным решением является создание жидкостного термометра на основе сплава галлия (Geratherm, Германия), образцы которого недавно появились на российском рынке.

Наконец, при медицинских осмотрах в школе учащимся измеряют артериальное давление с помощью сфигмоманометра. Разработка метода измерения при пережатии предплечья пневматической манжетой – одно из важных достижений медицинской техники. Важным этапом в развитии метода явилось изобретение Коротковым Н.С. (1905) акустического метода (прослушивание звуковых колебаний артерии ниже манжеты, в локтевой ямке, с помощью фонендоскопа). Эти звуки, генерируемые пульсирующей артерией, во всей мировой литературе называют тонами Короткова.

Достижения в области медицинской техники неоднократно отмечались высшей научной наградой – Нобелевской премией.

Первым лауреатом Нобелевской премии по физике (1901) стал Вильгельм Конрад Рентген. На основе его открытия уже более 100 лет создаются и совершенствуются аппараты для лучевой диагностики органов и тканей. Каждый из нас наверняка проходил рентгеновское обследование, результаты которого помогли врачу поставить или уточнить диагноз, контролировать процесс лечения.

Современный уровень качества рентгеновских аппаратов характеризуется использованием цифровых изображений (полным отказом от пленочной технологии, как и в бытовой и профессиональной фотографии), малой дозой облучения пациента (уменьшение на три порядка по сравнению с аппаратами, находящимися в эксплуатации в 50-е годы XX века).

В 1924 г. Нобелевский комитет принял решение о присуждении премии Виллему Эйнтховену за открытие и диагностическое применение способа регистрации биопотенциалов сердца с поверхности тела (от конечностей и точек на поверхности груди в области проекции сердца). Эйнтховен расшифровал все элементы электрокардиосигнала, установил их связь с процессами возбуждения различных отделов сердца. Полученные им результаты являются основой важной области кардиологии – электрокардиографической диагностики.

Врачи «Скорой помощи» обязательно возят с собой электрокардиограф для обследования сердца пациента при любом экстренном вызове.

Годфри Хаунсфилд и Аллан Кормак получили Нобелевскую премию в 1979 году за открытие и техническую реализацию принципа компьютерной томографии.

Используя своеобразную технологию облучения пациента и компьютерной обработки параметров излучения после поглощения телом на основе специального математического аппарата (его называют преобразованием Радона). Они получили качественные изображения сечения тела человека в определенных плоскостях. Само слово *tomos* – срез, слой.

Пол Лотербур и Джон Салстон в 2002 году были удостоены Нобелевской премии за открытие и техническую реализацию принципа ЯМР – томографии. Аббревиатура ЯМР означает ядерно-магнитный резонанс молекул воды, содержащейся во всех тканях организма, в сильном магнитном поле (обычно около 1 Тл; рекорд Маастрихт, Нидерланды – 9 Тл). Отличия в концентрации воды в тканях позволяют получить контрастные послойные изображения органов и тканей.

Созданы каталоги (атласы) томограмм в норме и при патологиях; врачи очень высоко оценивают диагностическую информативность ЯМР – томографии.

Нам кажется, что этот список высоких достижений биомедицинской техники, достойных Нобелевской премии, не закрыт. Например, новейшая технология позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), вполне достойна внимания Шведской академии наук. По-моему немного.

1.2. Характеристика современного состояния биомедицинской техники

Современная биомедицинская техника подразделяется на два класса: диагностическая техника и техника, используемая в лечебном процессе. Существуют виды техники, одновременно выполняющие обе функции. Так, медицинские эндоскопы позволяют врачу осматривать внутренние полости организма и проводить малотравматичные эндохирургические операции.

Диагностическую технику принято классифицировать по ее назначению на три вида: для лучевой, функциональной и лабораторной диагностики. Данная классификация соответствует трем различным специализациям врачей-диагностов.

Техника для лучевой диагностики, или медицинской интроскопии (от латинского «заглянуть внутрь») позволяет врачам получать и анализировать «изображения» внутренних органов и тканей тела человека в различных, специально сформированных диагностическим аппаратом, физических полях.

Классическим примером является опыт Рентгена, который, положив на фотопластинку руку своей супруги и поместив сверху изобретенный им источник рентгеновских лучей, получил на пластинке изображение с четко видимым внешним контуром руки, границами костей и суставов пальцев.

Визуализация сложной, неоднородной структуры тканей элемента опорно-двигательного аппарата (руки) оказалось возможной благодаря тому, что различные ткани по-разному поглощают рентгеновские лучи (являются рентгеноконтрастными).

Аналогичное свойство «обобщенной контрастности» ткани проявляют и при других физических воздействиях: ультразвуковом, возбуждение ядерно-магнитного резонанса. Ткани являются контрастными также по электрическому импедансу, обнаруживаемому при пропускании слабого электрического тока различной частоты, по пассивным оптическим свойствам в видимом и ИК-диапазонах, по собственному тепловому излучению в инфракрасном и радиочастотном диапазонах.

Всем перечисленным физическим явлениям соответствуют особые виды аппаратуры для лучевой диагностики. Следует отметить, что из всех видов медицинской техники аппаратура для лучевой диагностики является самой сложной и дорогостоящей, что объясняется сложностью и высокой стоимостью источников и приемников излучения, а также алгоритмов реконструкции «условных изображений» по принятым сигналам.

Аппаратура для функциональной диагностики позволяет изучать процессы функционирования основных систем организма (сердечно-сосудистой, дыхательной) в динамике, в

реальном масштабе времени. Прототипом методов функциональной диагностики сердечно – сосудистой системы является известный метод подсчета частоты пульса по часам при пальпации лучевой артерии (обычно число пульсаций за 30 секунд умножают на 2 – получают число циклов в минуту).

Выше упоминалось об изобретении методики электрокардиографии, позволяющей изучать тонкие процессы генерации ритма сердца и распространения электрической волны возбуждения по мышце сердца (миокарду). Современные методы регистрации и обработки электрокардиосигналов позволяют изучать вариабельность ритма сердца, проводить мониторинг (регистрацию) электрокардиосигнала в течение суток, не пропуская ни одного цикла. Метод суточного мониторинга, изобретенный Холтером, позволяет выявлять отдельные сбои в работе «сердечного насоса», что очень важно для врачей.

Импульс водителя ритма сердца запускает комплекс процессов в самом сердце и в артериальной системе, которые синхронно регистрируются многочисленными датчиками. По временным интервалам между характерными точками этих процессов получают диагностически значимую информацию. Так, регистрируя акустические колебания в области сердца (I-й и II-й тоны), определяя интервалы времени между ними и опорным импульсом электрокардиосигнала (R - зубцом), оценивают сократительную функцию миокарда.

Регистрация и анализ сигналов периферического артериального пульса на сонной и лучевой артериях аппланационных датчиков позволяют оценить эластичность артерий, которая максимальна у молодых людей и уменьшается с возрастом (атеросклероз).

Еще один метод оценки эластичности артерий основан на измерении скорости распространения пульсовой волны по артериям, которая у молодых людей составляет $4-5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а при атеросклерозе возрастает в 1,5 – 2,0 раза. Для этого необходимо установить на теле пациента, как минимум, два датчика пульса – один на сонной артерии (близко к сердцу), а другой на артерии ноги, около стопы (далеко от сердца).

В функции системы кровообращения проявляется не только основной ритм (пульс), но и медленный суточный ритм. Существование и диагностическое значение проявлений суточного ритма было доказано с помощью приборов для суточного мониторинга артериального давления. Ночью артериальное давление у здорового человека снижается на 20 – 25 % по сравнению с дневной нормой – система переходит в более экономичный режим работы. У людей с предпатологией сердечно-сосудистой системы суточный ритм артериального давления менее выражен или отсутствует.

В функционально-диагностических исследованиях для повышения их информативности используются функциональные пробы, т.е. дозированные воздействия на систему крово-

обращения или весь организм; например, изучают реакцию организма на дозированную физическую нагрузку. Для создания нагрузки чаще всего используют велоэргометры, позволяющие задавать и измерять механическую работу при вращении педалей. Для пациента с заболеванием сердца допустимой нагрузкой является 20 – 40 Вт, а для тренированного спортсмена – до 1 кВт. При этом могут быть выявлены патологические изменения в электрокардиограмме и других кардиосигналах, которые отсутствуют в состоянии относительного покоя (steady state).

Функциональная диагностика дыхания обычно производится по величинам дыхательных объемов и скоростей воздушного потока. Например, всем известна спирометрическая проба, когда обследуемому предлагают набрать максимальный объем воздуха в легкие, а затем выдохнуть его в объемный датчик (колокольный или сильфонный спирометр). У взрослых, не занимающихся спортом, эта величина, которую называют жизненной емкостью легких, составляет 3 – 4 л, а у спортсменов-пловцов – часто 8 л и более.

В современном приборе для функциональной диагностики дыхания используется датчик скорости потока воздуха при вдохе и выдохе, который позволяет непрерывно регистрировать процесс дыхания и проводить дыхательные пробы. Наиболее распространенной и информативной является проба с форсированным выдохом. Обследуемому предлагают набрать максимальный объем воздуха в легкие и максимально быстро выдохнуть в датчик. Здоровый обследуемый выдыхает $\approx 70\%$ объема за 1 с; при патологии дыхания выдох удлиняется.

Упрощенная методика исследования форсированного выдоха реализована в пикфлоуметре – прибора для измерения максимальной скорости выдоха. Этот недорогой прибор продается в аптеках и магазинах медицинской техники; школьники могут приобрести его и устроить соревнование в своем классе или спортивной секции – у кого скорость выдоха больше.

Объектами лабораторной медицинской диагностики являются биомолекулы и клетки, содержащиеся в пробах крови и тканей. Поскольку пробы крови перед анализом необходимо развести для существенного уменьшения концентрации клеток или молекул, на начальном этапе подготовки используются высокоточные дозаторы малых объемов пробы и реагентов, а также устройства смешивания (их называют дилуторами). Далее используются методы и приборы для определения интересующего вещества каким-либо физическим методом (оптическим, потенциометрическим, кондуктометрическим). Например, концентрация биологически важной молекулы гемоглобина, обеспечивающей транспорт кислорода к тканям, производится оптическим методом. Показатели кислотно-щелочного равновесия крови (рН, рО₂,

pCO₂) определяются полярографическим методом, за открытие и реализацию которого чешский ученый Ярослав Гейровский был в 1959 году удостоен Нобелевской премии.

Процессы анализа крови в современной клинической лаборатории автоматизированы. Вводя в автомат пробу крови объемом порядка 1 мл, врач-лаборант через несколько минут может получить результат анализа в виде концентраций 10 и более биологически важных молекул, содержащихся в данной пробе. Его задача – расшифровать результаты анализа, дать врачу-клиницисту правильную ориентировку для постановки клинического диагноза.

Необходимым прибором для анализа клеток является оптический микроскоп. Для подготовки к анализу клеток крови пробу разводят, а срезы тканей и их культур окрашивают. Цель клеточного анализа крови – определить счетную концентрацию основных клеток (эритроцитов, лейкоцитов нескольких видов, тромбоцитов). Цель анализа клеточного состава тканей – обнаружить патологически измененные клетки (доброкачественные и злокачественные новообразования) или клетки-носители инфекции. Оба эти вида «интересующих» клеток обычно присутствуют в препарате в очень малой концентрации, поэтому для их обнаружения требуется опытный взгляд врача-лаборанта. Сейчас ему оказывают существенную помощь современные автоматизированные комплексы клеточно-морфологического анализа, обеспечивающие наводку на резкость, перемещение препарата в поле зрения микроскопа, компьютерный анализ изображения и даже подсчет и выделение «интересующих» клеток.

Для анализа клеток крови также используют приборы, основанные на методе проточной цитофлуориметрии. Суть метода состоит в том, что предварительно разведенная проба крови с небольшой скоростью проходит через стеклянный капилляр (как люди проходят через турникет в метро или через рамку металлоискателя). При этом в измерительной зоне капилляра клетки «осматриваются» специальным оптическим устройством и одновременно анализируется электрическое сопротивление системы «клетка-капилляр», такой «двойной контроль» позволяет рассортировать клетки по их виду, точно определить их концентрации и даже выявить атипичные клетки, что важно для диагностики в гематологии.

При тяжелых стадиях заболеваний, когда терапия малоэффективна, на помощь приходят биоинженеры, за несколько десятков лет развития разработок искусственных органов и систем, разработавшие целую систему устройств для восстановления и замещения органов и систем человека.

История этого направления началась с разработки аппаратов искусственного кровообращения для временного (на час-полтора) замещения функции сердца. Аппарат, основным узлом которого является роликовый перистальтический насос, подключается параллельно сердцу оперируемого пациента и обеспечивает адекватный кровоток во время операции на

«сухом сердце». За это время кардиохирург может, например, выполнить замену поврежденного клапана сердца на искусственный клапан, разработка которых началась с середины XX века. Сейчас пациенты с дисковыми клапанами современных конструкций живут после операции 10 и более лет.

Замечательным достижением биоинженеров является создание роторного насоса с автономным электроприводом для полной замены функции сердца в течение продолжительного времени (несколько лет).

В технологически развитых странах (США, Германия и др.) несколько тысяч человек живут (при обеспечении приемлемого качества жизни) с имплантируемым роторным протезом сердца. В Российской Федерации в 2011 году была проведена первая успешная имплантация отечественной модели полнопротеза сердца. Недавно (в первом полугодии 2013 года) была проведена вторая успешная имплантация.

Разработаны эффективные технологии малоинвазивных кардиохирургических операций по восстановлению проходимости и адекватного кровотока коронарных артерий (коронарное стентирование). При этой операции через проводник-катетер в стенозированную (суженную) коронарную артерию вводится расширитель – стент, который при введении находится в сложенном состоянии, а в месте стеноза раскрывается и фиксирует стенку артерии в расширенном состоянии. Затем проводник-катетер отделяется от стента и удаляется из тела пациента.

Накоплен большой клинический опыт проведения стентирования; в технологически развитых странах выполняются десятки тысяч операций в год.

Биоинженеры предлагают эффективные решения не только кардиохирургам. Жизнь больных с хронической почечной недостаточностью поддерживается с помощью аппаратов искусственного гемоанализа («искусственная почка»). Мембранное фильтрующее устройство и роликовый насос для крови подключаются через специальные коннекторы (канюли) к артерии и вене пациента. По другую сторону диализной мембраны протекает специальный раствор, в который по градиенту концентраций переходит низкомолекулярное вещество (мочевина).

Для эффективной очистки крови необходимо проводить процедуру гемодиализа примерно раз в неделю; продолжительность одного сеанса – несколько часов. К сожалению, эффективность самых современных аппаратов для гемодиализа существенно уступает эффективности природного прототипа – почки здорового человека.

Больным с патологией суставов нижних конечностей биоинженеры и врачи предлагают протезы тазобедренного и коленного суставов. Десятки тысяч пациентов живут с про-

тезированными суставами 10 и более лет; адекватность функции нижних конечностей определяется по длительности безболевой ходьбы (ограничена только усталостью мышц) и по общей картине (патерну) походки, который мало отличается от нормы. Однако некоторым пациентам при неадекватном подборе и функционировании протеза через несколько лет требуется повторная операция.

В заключение отметим, что современное состояние области биомедицинской техники характеризуется высокой интенсивностью исследований и разработок, а также высокой торгово-экономической активностью. Это очевидно для посетителей ежегодной международной выставки медицинской техники в Дюссельдорфе (Германия), которая за много лет завоевала репутацию всемирного парада достижений медицинской техники (информацию о выставке можно получить на сайте www.medica.de). В последние годы в выставке принимают активное участие врачи и инженеры из России и стран СНГ.

Действительно, емкость Российского рынка медицинской техники очень велика (и еще далека от насыщения). Высокая активность в области биомедицинской техники объясняется тем, что здоровье человека в любом развитом обществе (не просто отсутствие болезней, но большой запас здоровья) является национальным приоритетом, а также приоритетом в системе ценностей каждой семьи и отдельного человека.

1.3. Анализ актуальных задач и проблемных ситуаций в биомедицинской технике

Основной принцип медицины «поп посеге» (не навреди) диктует основное требование к медицинской технике – минимальное воздействие технического объекта на организм человека. Предела, или порога, ниже которого воздействие допустимо, по существующим представлениям, отсутствуют. Поэтому минимизация дозы воздействия аппаратуры для лучевой диагностики (рентгеновской, ультразвуковой) является основным трендом ее развития на протяжении десятков лет и остается актуальной задачей современных исследований и разработок. Для этого необходимо создание высокочувствительных точных дозиметров (точнее, биодозиметров) – измерителей энергии, поглощенной биообъектом за время облучения.

Обеспечение высокой чувствительности датчиков и измерительно-регистрирующих приборов необходимо для любых средств диагностических исследований, чтобы обнаруживать малые отклонения структуры тканей от нормы, в минимальной степени изменять состояние объекта из-за отбора энергии в измерительный прибор (вспомним основы квантовой механики).

Современные рентгеновские аппараты для маммологической диагностики позволяют обнаруживать в молочной железе твердые включения (кальцинаты) размером порядка 0,1 мм. Приборы для рефлексодиагностики (определение электрических параметров биологиче-

ски активных точек) обеспечивают измерительный ток порядка 10 мА, который в минимальной степени изменяет сопротивление точки. Входное сопротивление современных усилителей биопотенциалов ≈ 100 Мом, входной ток ≈ 1 мкА обеспечивают «невозмущающие» условия регистрации биопотенциалов сердца, других органов и тканей.

Серьезной, далекой от полного решения, является проблема создания небиологических имитаторов физических свойств биотканей и биоструктур. Такие устройства называют фантомами, они необходимы биоинженерам при разработке новых медицинских приборов и аппаратов, прежде чем допускать их к предклиническим и клиническим испытаниям на человеке.

В настоящее время разработана и стандартизована система фантомов для определения основных характеристик (поглощенной дозы, чувствительности, контрастной чувствительности, разрешающей способности) рентгенодиагностических аппаратов, аппаратов для ультразвуковой диагностики, для ЯМР-томографов. В качестве материалов для изготовления фантомов используются так называемые тканезквивалентные среды (вода, оргстекло, полиметилметакрилат, желатин), контрастные включения моделируются простейшими геометрическими объектами (сфера, цилиндрическое отверстие, щель, клин). Разработка новых видов имитаторов-фантомов – перспективная область приложения способностей молодых исследователей.

Актуальным направлением исследований и разработок современной биомедицинской техники является создание телемедицинских технологий, позволяющих контролировать основные физиологические показатели человека (в первую очередь пожилых людей) на дому, без привлечения квалифицированного персонала. Важность этой задачи обусловлена изменением возрастной структуры населения, увеличением доли пожилых людей, да и просто увеличением продолжительности жизни во всех технологически и социально развитых странах (например, в Японии – около 85 лет).

Естественно, что пожилые люди требуют повышенного внимания к своему здоровью. Современные телемедицинские технологии позволяют обеспечить первичный самоконтроль нуждающихся в постоянном наблюдении лиц на дому, с передачей (при необходимости) данных в консультационный центр с использованием современных средств мобильной связи. Типичный телемедицинский комплекс укомплектован следующими приборами (или некоторыми из перечисленных, по выбору пользователя):

- суточный холтеровский монитор для контроля артериального давления и непрерывной регистрации электрокардиосигналов;
- мобильный беспроводной 12-канальный электрокардиограф;

- автоматический измеритель артериального давления;
- портативный пульсоксиметр;
- прибор для диагностики функции внешнего дыхания;
- глюкометр;
- электронный медицинский термометр;
- средства мобильной связи (смартфоны и др.);
- персональный компьютер.

При передаче данных по беспроводным каналам связи используются протоколы Bluetooth, Wi-Fi, Zig-Bee.

Современный человек, умеющий пользоваться персональным компьютером и средствами мобильной связи, легко осваивает средства телемедицинского контроля. Крупнейшие фирмы-производители средств мобильной связи уделяют большое внимание разработке мобильных телемедицинских платформ, предусматривая возможности регистрации частоты пульса по электрокардиосигналу, по пульсовой модуляции температуры кожи лица (соответствующую информацию можно найти в Интернете). Данное направление исследований и разработок является перспективным для молодых исследователей, в том числе старшего и среднего школьного возраста.

1.4. Примеры научных и инженерных решений в современной биомедицинской технике

Ниже приводятся краткие описания основных направлений исследований и разработок, проводимых в МГТУ им. Н.Э. Баумана в области биомедицинской техники.

Система «Реокардиомонитор» для неинвазивного мониторинга параметров центральной и периферической гемодинамики

Оригинальные схемотехнические решения и алгоритмическое обеспечение системы «Реокардиомонитор» обеспечивает устойчивое определение параметров кардиореспираторной системы в условиях естественной подвижности и дыхания пациента.

Уникальные возможности системы обеспечиваются:

- оригинальной электродной системой, оставляющей грудную клетку пациента свободной для манипуляций врача;
- научно-обоснованными схемотехническими решениями, позволяющими получать рео- и электрокардиографические сигналы с одних и тех же электродов;
- эффективными алгоритмами оценки состояния кровообращения по параметрам медленных колебаний гемодинамики (дыхательных и более медленных ритмов).

Реокардиомонитор является основой системы биосинхронизированной электромагнитной терапии с использованием разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана аппарата «Каскад» с обратной связью по параметрам артериального кровообращения. Эффективно используется в диагностике и терапии нарушений кровообращения нижних конечностей и головного мозга. В настоящее время исследуются возможности применения метода в офтальмологии.

Биорадиолокатор «Биораскан» для дистанционного зондирования двигательной активности, дыхания и пульса человека

Уникальные возможности биорадиолокатора обеспечиваются оптимальным выбором диапазона частот, метода модуляции зондирующего сигнала и комплекса алгоритмов выделения информативных составляющих в принимаемом сигнале.

Бесконтактный метод биорадиолокации позволяет эффективно использовать его в сомнологии для обнаружения нарушений сна (повышенной двигательной активности, нарушений дыхания во сне). Пример использования – включение биорадиолокатора в программу эксперимента «Марс-500» для контроля сна испытуемых в условиях длительной изоляции.

Успешно продемонстрирована возможность использования биорадиолокатора для количественной оценки двигательной активности малых лабораторных животных при фармакологических и физических воздействиях.

Система для неинвазивной спектрофотометрии биологических тканей

Уникальная для России система OxiplexTS(США) предназначена для неинвазивной спектрофотометрии биологических тканей, а также оценки оптических свойств рассеивающих биологических сред, в том числе для исследования тканевой оксигенации и кровообращения. Метод инфракрасной импульсной спектрофотометрии, реализованный в системе, позволяет неинвазивно получать количественные характеристики оптических свойств исследуемых сред с высоким временным и пространственным разрешением в мониторинговом режиме. Комплекс алгоритмов обработки оптического сигнала позволяет исследовать динамику концентраций окси- и дезоксигемоглобина, объема крови, количественно оценивать эффективность и нарушения тканевого метаболизма.

Перспективным является применение ИК-спектрофотометрии для неинвазивного (без прокола пальца и взятие пробы) определения концентрации глюкозы в крови.

Акустокардиограф

С использованием современных достижений акустической техники создан оригинальный прибор для исследования тонов и шумов сердца. Датчик прибора представляет собой головку стандартного медицинского стетофонендоскопа, в который вмонтирован миниатюрный широкополосный микрофон. Фильтрация и разделение сигналов обеспечиваются при-

менением оригинальных методов вейвлет-анализа, представляющих временную зависимость звукового давления в трехкоординатной системе «время-частота-интенсивность». По мнению врачей-кардиологов, вейвлет-представление является наиболее наглядным и диагностически информативным; разработка отмечена премией кардиологического общества «Пурпурное сердце».

1.5. Литература

1. *Бегун П.И., Шукейло Ю.А.* Биомеханика: учебник для ВУЗов. СПб.: Политехника, 2000. 463 с.
2. Биомедицинская техника и технологии живых систем / Щукин С.И., Петров В.И., Квашнин С.Е. [и др.]; ред. Щукин С.И.; Федерал. агентство по образованию, Приоритетный нац. проект «Образование»; МГТУ им. Н. Э. Баумана. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 46 с.
3. Биофизика для инженеров: Учебное пособие. В 2 томах. Том 1. Биоэнергетика, биомембранология и биологическая электродинамика / Е.В. Бигдай, С.П. Вихров, Н.В. Гривенная и др.; Под ред. С.П. Вихрова и В.О. Самойлова. М.: Горячая линия Телеком, 2008. 496 с.
4. Биофизика для инженеров: Учебное пособие. В 2 томах. Том 2. Биомеханика, информация и регулирование в живых системах / Е.В. Бигдай, С.П. Вихров, Н.В. Гривенная и др.; Под ред. С.П. Вихрова и В.О. Самойлова. М.: Горячая линия Телеком, 2008. 456 с.
5. *Герман И.* Физика организма человека. Пер с англ.: Научное издание / И. Герман. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. 992 с.
6. *Годик Э.Э.* Загадка экстрасенсов: что увидели физики: Человек в собственном свете. М.: АСТ–ПРЕСС КНИГА, 2010. 128 с. (серия Наука и мир).
7. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы: Учебник / Текст Н.А. Корневский, Е.П., Попечителей, С.П. Серегин; Курск. гос. техн. ун-т. Курск: ОАО «ИПП Курск», 2009. 986 с.
8. Основы анализа биотехнических систем. Теоретические основы БТС: учеб. пособие / Ю.А. Ершов, С.И. Щукин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 526 с.: ил. (Биомедицинская инженерия в техническом университете).

II. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Сведения о факультете «Биомедицинская техника» и базовых кафедрах направления в МГТУ им. Н.Э. Баумана

Факультет «Биомедицинская техника» (БМТ) осуществляет подготовку бакалавров (срок обучения 4 года) и магистров (срок обучения 2 года после бакалавриата) по направлению «Биотехнические системы и технологии».

Кафедра БМТ1 «Биомедицинские технические системы» ежегодно набирает одну учебную группу бакалавров и одну учебную группу магистров.

Кафедра БМТ2 «Медико-технические информационные технологии» ежегодно набирает две учебные группы бакалавров и одну учебную группу магистров.

Кафедра БМТ4 «Медико-технический менеджмент» ежегодно набирает одну учебную группу магистров.

Более подробную информацию об условиях поступления и процессе обучения можно получить на сайтах университета, факультета и кафедр.

В настоящее время практически все выпускники факультета, получившие дипломы специалиста или магистра, работают по специальности. Типичные места работы:

- представительства зарубежных медико-технических фирм, оперирующих на российском рынке;
- технические службы клиник и других лечебных учреждений;
- организации-разработчики отечественной медицинской техники.

На факультет постоянно поступают предложения работы для выпускников и студентов старших курсов.

2.2. Примеры актуальных научно-исследовательских тем и технических разработок факультета «Биомедицинская техника» (с краткой аннотацией)

Разработка методики расчета медицинского роликового насоса

Медицинский роликовый насос создает поток крови и диализата в аппаратах искусственного кровообращения и гемодиализа.

Необходимо разработать методику расчета производительности насоса в зависимости от диаметра магистрали, диаметра ролика, количества роликов, скорости их вращения.

Разработка установки для измерения производительности медицинского роликового насоса

Медицинский роликовый насос создает поток крови и диализата в аппаратах искусственного кровообращения и гемодиализа.

Необходимо разработать установку в виде замкнутого гидроконтра, содержащую имитаторы венозного и артериального резервуаров (с возможностью регулирования давления в них) и измеритель расхода рабочей жидкости (смеси «вода-глицерин») для лабораторных исследований и испытаний роликовых насосов.

Исследование возможности применения мембранного насоса в аппаратах искусственного кровообращения и гемодиализа

Мембранные насосы широко применяются в различных технологических процессах и в быту (например, для полива садового участка). Их преимуществами являются отсутствие клапанов, питание непосредственно от сети переменного тока, высокие значения производительности и разности давлений (напора).

Необходимо разработать технические требования и облик конструкции малоразмерного мембранного насоса, пригодного для использования в аппаратах искусственного кровообращения и гемодиализа.

Разработка прибора для контроля медицинской капельницы

Постановка капельницы является распространенным методом оказания экстренной медицинской помощи (в реаниматологии, токсикологии и т.п.). Капельница устанавливается на оптимальный для клинической ситуации поток, однако из-за тромбирования канюли (или по другим причинам) расход может резко падать.

Необходимо разработать устройство экстренной сигнализации (световой, звуковой) падение расхода капельницы и вызова медсестры.

Разработка устройства экстренного вызова медицинского персонала

Больному, находящемуся в палате, при ухудшении самочувствия бывает необходимо срочно вызвать врача или медсестру. Однако из-за сильной боли, при нарушениях сознания ему затруднительно даже нажать «тревожную кнопку». Необходимо разработать устройство объективного контроля и сигнализации, содержащее датчик ухудшения состояния, срабатывающий независимо от волевых усилий пациента.

Разработка методики акустического мониторинга сна

Человек, храпящий во сне, не только создает неудобства окружающим. Храп может быть связан с серьезными нарушениями дыхания, быть причиной нарушения непрерывности и ухудшения качества сна. Однако объективные методики мониторинга храпа находятся в стадии разработки.

Необходимо разработать методику регистрации и мониторинга сна на основе портативного диктофона с большой продолжительностью записи, алгоритмы ручной и компьютерной обработки записи с выделением эпизодов храпа, оценкой их количества и длительности и т.д.

Разработка «умного» инъектора

Инъекции (в просторечии – уколы) являются типовой медицинской процедурой и подразделяются на три вида: подкожные, внутримышечные, внутрисосудистые. И в наш вы-

сокотехнологичный век применяются шприц и игла-инъектор, часто, вызывающие страх у больного.

Предлагается провести комплекс исследований и разработок в двух направлениях:

- Создание безыгольных инъекторов, использующих новые физические принципы перфорации кожи и тканей (лазер, ультразвук, струя высоко давления и др.)
- создание средств контроля процесса инъекции, обеспечения заданной глубины, точности попадания в объект-мишень (сосуд, опухоль и т.д.).

2.3. Список рекомендуемой литературы для чтения

1. *Березовский А.А., Колотилов Н.Н.* Биофизические характеристики тканей человека. Киев: Наукова думка, 1990. 223 с.
2. Биомеханика кровообращения: Учеб. пособие / Под ред. С.И. Щукина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 224 с.: ил. (Сер. Биомедицинская инженерия в техническом университете).
3. *Бранков Г.* Основы биомеханики: Пер. с болг. М.: Мир, 1981.
4. *Волькенштейн М.В.* Биофизика. 2-е изд. М: Наука, 1988.
5. *Дубовой Л.В.* Магнитная терапия – современное состояние и перспективы // Вестник Академии медико-технических наук. СПб., 2003. № 7. С. 71.
6. *Жорина Л.В., Змиевской Г.Н.* Основы взаимодействия физических полей с биологическими объектами: Воздействие ионизирующего и оптического излучения: Учеб. пособие / Под ред. С.И. Щукина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 240 с.: ил. (Сер. Биомедицинская инженерия в техническом университете).
7. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы (справочник) / Под ред. Т.С. Виноградовой. М.: Медицина, 1986. 416 с.
8. Механика кровообращения. Пер. с англ. / К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид. М.: Мир, 1981.
9. *Педли Т.* Гидродинамика крупных кровеносных сосудов: Пер. с англ. М.: Мир, 1983.