

## МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КУРСА «БИОФИЗИКА» В УНИВЕРСИТЕТЕ

### *Teaching Methods in the University Course “Biophysics”*

**Sergei Gango**

**Svetlana Pan’kova**

**Vladimir Solovyev**

**Alexander Vanin**

**Mikhail Yanikov**

Pskov State University, Russian Federation

**Abstract.** *The article presents some methods and results of experimental teaching biophysics at Pskov State University (Russian Federation). The goal of any university is to train highly qualified specialists. To achieve this aim, the authors suggest following interdisciplinary approach to the educational process. Some topics of the lecture presentations, video clips and demonstration educational experiments as well as examples of computer modelling of biophysical processes are considered. Subjects of the real and virtual biophysical, biological and medical experimental tasks for students working in an educational university physical laboratory are discussed.*

**Keywords:** *biophysics, educational university physical laboratory, teaching students.*

### **Введение**

#### ***Introduction***

В современной медицине широко применяются физические и физико-химические методы исследования биологических объектов. Качественное медицинское образование должно быть фундаментальным. На наш взгляд, повышение уровня фундаментальности медицинского образования должно быть связано не только с преподаванием биофизики на высоком научном уровне, но и с хорошей оснащённостью современным медицинским оборудованием физических лабораторий. При этом в основу преподавания должны быть положены хорошо известные дидактические принципы педагогики и методики обучения студентов естественным наукам – систематичность и последовательность изложения учебного материала, наглядность и доступность, интеграция наук и распространение

межпредметных связей в процесс образования на всех его ступенях, требования к проведению учебного эксперимента и др.

Цель данной статьи – познакомить читателей с опытом преподавания биологической и медицинской физики студентам Псковского государственного университета (Российская Федерация), обучающимся по направлению подготовки «Медицинская кибернетика».

В ходе работы был проведен анализ научно-методической литературы по проблеме исследования, на практике реализован междисциплинарный подход к методике обучения биофизике студентов университета.

### **Опыт организации и проведения университетского курса биофизики** *Experience of the biophysics university course organization and realization*

В 2013 году в Псковском государственном университете было открыто новое направление подготовки специалистов «Медицинская кибернетика». Одним из видов профессиональной деятельности выпускников является медицинская деятельность, в частности, они должны быть готовы к диагностике заболеваний и патологических состояний пациентов, а также способствовать профилактике возникновения заболеваний и укреплению здоровья.

Преподавание курса физики на данном направлении подготовки ведется в течение 6 семестров. Преподавание биологической и медицинской физики начинается на третьем курсе, когда изучен почти весь курс общей физики. Дисциплина «Общая биофизика» изучается в течение 160 аудиторных часов, которые включают 60 часов лекционных, 36 часов практических и 64 часа лабораторных занятий. По дисциплине «Медицинская биофизика» на лекции приходится 16 часов, на лабораторные занятия – 32 часа.

Рабочие программы дисциплин по общей и медицинской биофизике предусматривают решение в процессе преподавания следующих задач:

- формирование у студентов системных знаний и умений в области основных закономерностей и механизмов биофизических процессов и явлений в тканях, органах и их системах в процессе их функционирования; рассмотрение физических особенностей строения разных видов тканей организма (нервных, мышечных, скелетных и пр.);
- физическое истолкование функциональных явлений биомеханики, биореологии, биоэнергетики;
- теоретическое обоснование построения и использования специализированного оборудования для функциональной

диагностики и терапии, а также приобретение студентами умений использования оборудования для выполнения физических экспериментов медико-биологического назначения;

- ознакомление студентов с методологией биофизических исследований.

Решению этих задач способствуют мультимедийные курсы лекций, занятия в диалоговом режиме, выполнение лабораторных работ.

Практические занятия по курсу общей биофизики направлены на объяснение физических процессов, происходящих в биологическом организме человека. Студенты рассматривают вопросы, касающиеся кинетики биологических процессов, биофизики мембран, рецепции, фотобиологических процессов, термодинамики биологических процессов, изучают основы и механизмы радиационного поражения клетки и организма в целом; возможные способы защиты от радиационного воздействия.

Физика – наука экспериментальная, поэтому трудно добиться глубокого понимания предмета без выполнения лабораторных работ и проведения практикумов. Лабораторные работы являются одним из основных видов практических занятий со студентами. Они представляют собой средство приобретения студентами конкретных умений и навыков работы с лабораторным и медицинским оборудованием, использованием математических моделей физиологических систем для исследования свойств и поведения соответствующих систем в организме человека.

Лабораторные работы позволяют студенту под руководством преподавателя расширить и детализировать полученные знания, выработать и закрепить навыки их использования в профессиональной деятельности. Подготовка к лабораторным занятиям предполагает также предварительную самостоятельную работу студентов, выстраиваемую в соответствии с методическими рекомендациями преподавателя.

Лабораторные занятия формируют у студента навыки межличностного общения и работы в коллективе, исполнительские качества, мотивацию к профессиональному и личностному росту, интерес к профессии и потребность в непрерывном повышении квалификации.

Самостоятельная работа в процессе подготовки к лабораторным занятиям формирует системность мышления, волевые качества, повышает познавательный интерес. Использование такой формы занятий, как лабораторный практикум, позволяет развивать у студентов умение анализировать полученные экспериментальные результаты, делать выводы и обобщения, применять теоретические знания на практике.

На основе анализа лабораторных практикумов по биофизике (Антонов et al., 2001; Блохина et al., 2002; Демина et al., 2006; Добро & Богатов, 2009)

и имеющегося физического оборудования нами были разработаны описания 14 лабораторных работ по общей биофизике и 8 лабораторных работ по медицинской биофизике.

При преподавании курсов общей физики и биофизики авторы придерживаются принципов систематичности, преемственности, последовательности изложения учебного материала, наглядности и доступности.

Лабораторные работы по дисциплине «Общая биофизика» в первую очередь направлены на знакомство с приборами и методами определения физических величин. Так, например, студенты учатся определять коэффициент вязкого трения жидкости, характеризующий особенности течения крови по сосудам, кровоснабжение органов. Работая с сахариметром и рефрактометром Аббе, студенты учатся определять концентрацию оптически активного вещества (сахара) в растворе, изучают особенности процессов распространения света в оптических волокнах – световодах, широко используемых в медицине для обследования полостных органов тела человека.

Основы аудиометрии изучаются при работе со звуковым генератором. Определение размеров и концентрации эритроцитов лягушки и человека осуществляется двумя способами: с использованием биологического микроскопа и лазерной установки. Исследование спектра поглощения растворов осуществляется с помощью абсорбциометра-нефелометра. При выполнении лабораторных работ с радиоактивными элементами студенты изучают результаты воздействия источников ионизирующих излучений на биологические объекты, методы защиты от радиоактивных источников. При выполнении лабораторной работы по геометрической оптике студенты знакомятся с устройством человеческого глаза как оптической системы, с такими понятиями, как расстояние наилучшего зрения, аккомодация, близорукость, дальнозоркость.

Важную роль в жизнедеятельности животных и растений играет осмос. Обмен веществ в организме осуществляется посредством соков и крови – растворов, омывающих полупроницаемые перегородки растительных и животных клеток. В лабораторной работе «Определение осмотического давления» студенты готовят изотонические, гипертонические, гипотонические растворы, изучают процессы, происходящие в них.

При изучении биофизики используются разные виды моделей, которые помогают глубже понять внутренний механизм явления. С этой целью студенты выполняют виртуальные лабораторные работы. В основе работы нервной системы лежит перераспределение электрических зарядов в мембранах нервных клеток. В виртуальной лабораторной работе

«Моделирование калий - натриевого насоса» (Васильев, 2016) студенты исследуют, как электрические заряды перемещаются в нервных клетках, как меняется электрический потенциал на мембране, как параметры мембраны влияют на распространение нервного импульса (рисунок 1). Виртуальная лабораторная работа «Моделирование кровотока» (Харьков, 2016) позволит понять, как проходит процесс артериального кровообращения и изучить факторы, которые влияют на работу кровеносной системы в модели одного эластичного сосуда Франка и модели Ростона двух резервуаров с различными эластичностями и неупругими звеньями разного гидравлического сопротивления между резервуарами.

Лабораторные работы по дисциплине «Медицинская биофизика» предполагают знакомство студентов с биофизическими методами в диагностике и терапии заболеваний. Студенты изучают физические основы ультразвуковой диагностики, спирометрию (метод определения жизненной емкости легких и составляющих ее объемов воздуха), основы концентрационной фотокolorиметрии (находят концентрации различных веществ и скорость изменения оптической плотности); определяют параметры импульсных сигналов, используемых для электростимуляции органов и тканей, исследуют импеданс биологической ткани (в широком диапазоне частот от 0 до 1 МГц), измерение которого используется в трансплантационной хирургии, при биометрическом анализе тела человека, проводят комплексный анализ растворов по величине водородного показателя (рН).

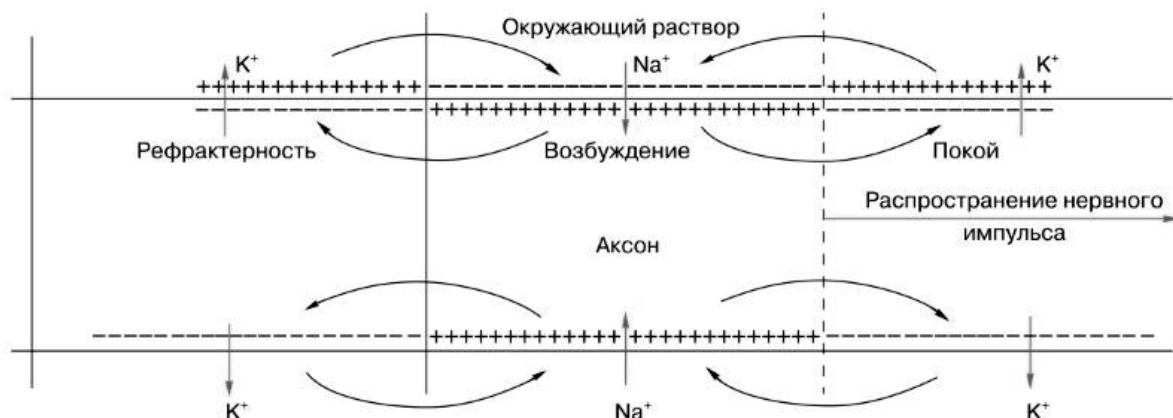
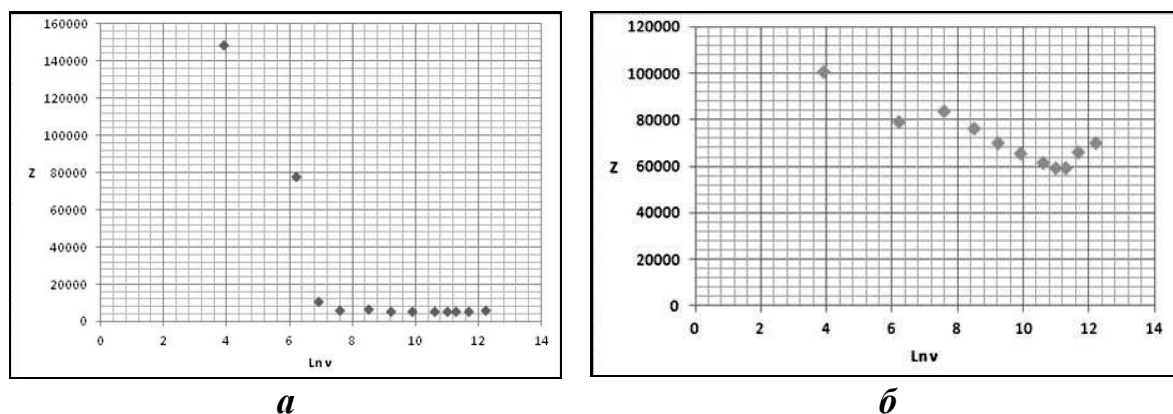


Рисунок 1. Схема распространения волны возбуждения  
*Figure 1. Scheme of the excitation wave propagation*



**а** **б**

Рисунок 2. Частотные зависимости импеданса  $Z$  здоровой (а) и поврежденной (б) биологических тканей руки человека в полулогарифмическом масштабе  
*Figure 2. Frequency dependences of the healthy (a) and damaged (b) human hand tissue impedance  $Z$  in semilogarithmic scale*

Мы согласны с мнением авторов (Копосов & Тарасова, 2010), что повышение уровня фундаментальности и профессиональной компетентности студентов при преподавании физики должно осуществляться, в частности, через рассмотрение физических методов исследования человека и других биологических объектов. В лабораторных работах «Спирометрия. Определение жизненной емкости легких и составляющих ее объемов» и «Импеданс биологической ткани» объектом исследования является сам студент. Так, в реальных условиях у студентов наблюдаются различные значения жизненной емкости легких, резервного объема вдоха, резервного объема выдоха (в частности, у студентов, имеющих легочные заболевания). При измерении частотной зависимости импеданса биологической ткани человека студенты наблюдают различные значения для неповрежденных тканей (рисунок 2, а) и тканей, в которых были повреждены кровеносные сосуды, нервные волокна и содержатся посторонние материалы (рисунок 2, б).

В последнее время в медицине широко используются методы лучевой диагностики, в частности рентгенодиагностика. Для рентгенодиагностики используют рентгеноскопию или рентгенографию с целью обнаружения опухолей, трещин в костях, переломов, металлических включений и для оценки состояния внутренних органов, кровеносных сосудов. Для диагностики применяют также и рентгеновскую компьютерную томографию. С лечебной целью (рентгенотерапия) рентгеновское излучение используется для подавления роста злокачественных опухолей и для лечения некоторых кожных заболеваний. В лабораторном практикуме по биофизике для ознакомления с устройством рентгеновской трубки, принципом её работы, применения рентгеновского излучения для

медицинских целей используется рентгеновский аппарат фирмы LD Didactic (Германия) (Аносова et al., 2017).

Рентгеновский аппарат может быть дополнен модулем компьютерной томографии, позволяющим с помощью компьютерной программы восстанавливать по проекциям объекта реконструкции исследуемого тела в 2D и 3D режимах, что позволяет исследовать внутреннюю структуру объекта и получать его томографические сечения в различных плоскостях. Несмотря на низкую энергию рентгеновского излучения (35 кэВ) этого учебного прибора, на нем могут быть получены компьютерные томограммы достаточно высокого разрешения для различных объектов и проведена их качественная и количественная оценка.

Рентгеновский аппарат используется в лабораторном практикуме третьего курса по дисциплине «Общая биофизика» для исследования зависимости ослабления рентгеновских лучей от природы поглощающего материала и толщины образца. В лабораторном практикуме четвертого курса аппарат используется для изучения теоретических основ рентгеновской компьютерной томографии, получения трехмерного изображения исследуемого биологического объекта (сублимированной лягушки) и работы с ним (определения размеров различных костей лягушки, линейных коэффициентов ослабления рентгеновских лучей и чисел Хаунсфилда различных биологических тканей объекта).

Исследуемый объект помещается в экспериментальную камеру аппарата на пути рентгеновских лучей. На противоположной стороне экспериментальной камеры расположен люминесцентный экран, который представляет собой свинцовое стекло, покрытое флуоресцентным материалом. На нем формируется рентгенограмма объекта исследования. Камера в блоке компьютерной томографии записывает рентгенограммы исследуемого объекта как функции угла поворота объекта, закрепленного на гониометре рентгеновской установки. Во время записи включенное программное обеспечение компьютерной томографии визуализирует процесс обратного проецирования в двух или в трех измерениях. После записи полное 3D изображение объекта исследования сразу доступно для просмотра. Чем больше число проекций исследуемого объекта, тем точнее его изображение.

С полученным 3D изображением объекта можно производить следующие операции: поворачивать, изменять масштаб, корректировать интенсивность, прозрачность и цветовую гамму, измерять расстояния в 2D плоскости сечения, величину коэффициента линейного ослабления  $\mu$  и числа Хаунсфилда  $N$ , менять освещенность объекта.

Сравнивая скелетное изображение лягушки с её трехмерной реконструкцией, можно определить размеры её скелетных костей,

внутренних структур объекта. Также можно посмотреть различные срезы, послойное изображение исследуемого объекта (рисунок 3). Если регулировать интенсивность изображения, то части объема объекта, имеющие более низкий коэффициент затухания, становятся невидимыми, пока, в конце концов, не остаются одни только кости.

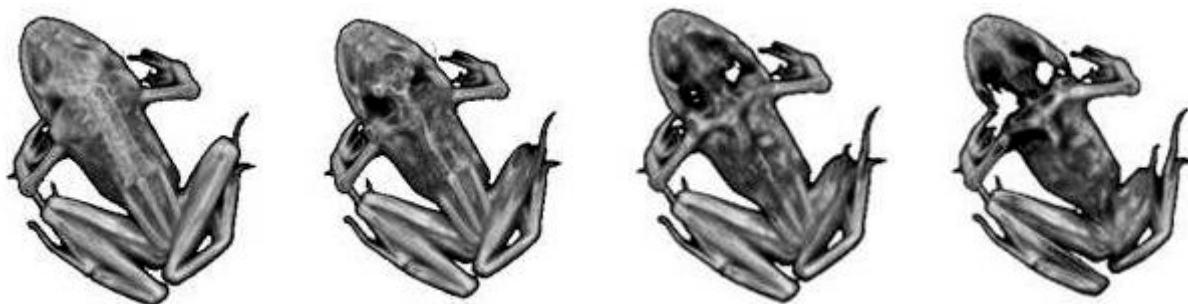


Рисунок 3. Послойные изображения лягушки  
*Figure 3. Layer by layer frog images*

Таким образом, студенты имеют возможность самостоятельно получить томографическое изображение практически любого биологического объекта размером не более  $8\text{ см} \times 8\text{ см} \times 8\text{ см}$  (лягушки, осы, пчелы, шмеля) и поработать с ним. Они определяют числа Хаунсфилда для различных органов и тканей разной плотности и делают выводы о связи этих величин между собой.

### **Результаты и их обсуждение** *Results and discussion*

Полученные нами результаты обучения позволяют сделать вывод о том, что предлагаемая методика преподавания биофизики в классическом университете позволяет повысить заинтересованность студентов в изучении дисциплины. Вместе с тем, учитывая общую проблему, связанную со слабой мотивационной стороной процесса обучения, нужно продолжать поиск новых инновационных методик обучения, способствующих активизации познавательной деятельности студентов.

### **Выводы** *Conclusions*

Системный подход к реализации преподавания учебных дисциплин в области физики, несомненно, способствует достижению фундаментальности образования будущих выпускников медицинских



специальностей. Этот подход, предполагающий рассмотрение как физики процессов, протекающих в биологических системах, так и физических принципов, на которых основаны методы медицинских исследований и работа медицинского оборудования широкого спектра применения, последовательно реализуется на лекционных, практических и лабораторных занятиях в Псковском государственном университете. При этом следует отдельно отметить перспективность использования на занятиях как реальных экспериментов биофизической направленности, так и компьютерного моделирования биофизических процессов.

### Summary

This research analyses some practical teaching methods applied in the educational process when students learn biophysics at Pskov State University (Russian Federation). Subjects of the real and virtual biophysical, biological and medical experimental tasks for students working in an educational university physical laboratory are described.

Third-year students studying “General Biophysics” course investigate viscosity of liquids, physical properties of sound and light, propagation of acoustic and electromagnetic waves, concentration of sugar in solutions, osmotic phenomena etc. Fourth-year students study “Medical Biophysics” course, when experimental tasks on impedance and optical spectroscopy, measurements of the pH-factor, ultrasonic diagnostics and X-ray tomography are carried out. Some examples of computer modelling of biophysical processes are also considered.

In order to enhance the effectiveness of the teaching methods applied for study purposes, as well as to make the educational process more interesting, the authors ask students to carry out some safe biophysical experiments on themselves.

According to our experience, the suggested teaching methods are rather effective and useful.

### Литература References

- Аносова, А. И., Иванова, М. С., Панькова, С. В., Соловьев, В. Г., & Цема, Г. С. (2017). *Лабораторный практикум по физике рентгеновских лучей*. Псков: Псковский государственный университет.
- Антонов, В. Ф., Черныш, А. М., Пасечник, В. И., Вознесенский, С. А., & Козлова, Е. К. (2001). *Практикум по биофизике: учебное пособие для студентов высших учебных заведений*. М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС.
- Баленко, Е. Г., Кочуева, Я. В., & Тарусова, Т. Ю. (2012). Инновационный подход к проведению лабораторно-практических занятий по дисциплине «Биофизика» для студентов факультета ветеринарной медицины. *Вестник Донского государственного аграрного университета*, 4, 115–119.
- Блохина, М. Е., Эссаулова, И. А., & Мансурова, Г. В. (2002). *Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике*. М.: Дрофа.

- Боциева, Н. И., & Боциев, И. Ф. (2013). Особенности физического практикума в медицинском вузе. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Педагогика, психология*, 4, 38-40.
- Васильев, С. А. (2016). *Разработка лабораторной работы «Моделирование калий-натриевого насоса»*: выпускная квалификационная работа. Псков: Псковский государственный университет.
- Демина, М. Ю., Кокина, Н. В., & Некипелов, С. В. (2006). *Руководство к лабораторным работам по физике для студентов медицинских вузов: учебное пособие*. Сыктывкар: Коми филиал Кировской государственной медицинской академии.
- Добро, Л. Ф., & Богатов, Н. М. (2009). *Биофизика: лабораторный практикум*. Краснодар: Кубанский государственный университет.
- Копосов, Г. Д., & Тарасова, А. В. (2010). Физический практикум в системе формирования профессиональной компетентности студента медицинского вуза. *Высшее образование сегодня*, 7, 45-48.
- Коренкова, Л. М., & Костышева, У. В. (2002). Особенности преподавания физики для специальности «Биотехнология». *Физическое образование в вузах*, 8, 48-56.
- Лещенко, В. Г., & Ильич, Г. К. (2012). *Медицинская и биологическая физика: учебное пособие*. Мн.: Новое знание; М.: ИНФРА-М.
- Маркович, В. Л., & Голёнова, И. А. (2014). Моделирование биофизических процессов в курсе биологической физики на фармфакультете. *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации: Материалы 69-й научной сессии сотрудников университета*. Витебск: ВГМУ, с. 222-223.
- Марусина, М. Я., & Казначеева, А. О. (2006). *Современные виды томографии*. СПб.: СПбГУ ИТМО.
- Ремизов, А. Н., Максина, А. Г., & Потапенко, А. Я. (2003). *Медицинская и биологическая физика*. М.: Дрофа.
- Харьков, Е. В. (2016). *Разработка лабораторной работы «Моделирование кровотока»*: выпускная квалификационная работа. Псков: Псковский государственный университет.