



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Приборостроение и биомедицинская инженерия»

Сборник задач
для выполнения практической работ
по дисциплине

**«Биофизические основы
живых систем»**

Авторы
Хубиев Р. Х.,
Мороз К. А.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Сборник задач предназначен для студентов очной формы обучения направления 12.03.04. Биотехнические системы и технологии.

Авторы

старший преподаватель
кафедры «Приборостроение
и биомедицинская
инженерия»
Хубиев Р.Х.
к.т.н., доцент кафедры
«Приборостроение и
биомедицинская инженерия»
Мороз К.А.



Оглавление

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ..4	
ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ12	
БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ.....12	
БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ.....15	
БИОФИЗИКА СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ.....18	
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА20	
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ23	

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Уравнение Фика:

$$J = -D \cdot \frac{dC}{dx}, \quad (1)$$

где J – плотность потока диффундирующего вещества, D – коэффициент диффузии, $\frac{dC}{dx}$ – производная от концентрации диффундирующего вещества по направлению x (проекция градиента концентраций по направлению x).

Уравнение Теорелла:

$$J = -C \cdot U \cdot \frac{d\tilde{\mu}}{dx}, \quad (2)$$

где $\tilde{\mu}$ – электрохимический потенциал, U – подвижность частиц. Коэффициент проницаемости мембраны для данного вещества:

$$P = \frac{D}{l} \cdot K, \quad (3)$$

где l – толщина мембраны, K – коэффициент распределения вещества.

Формула Нернста:

$$\Delta\varphi = \frac{R \cdot T}{Z \cdot F} \cdot \ln \frac{C_0}{C_i}, \quad (4)$$

где $\Delta\varphi$ – равновесный мембранный потенциал, C_0 и C_i – концентрации данного иона снаружи и внутри клетки, F – постоянная Фарадея, R – универсальная газовая постоянная, Z – валентность иона.

Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца:

$$\varphi_m = -\frac{R \cdot T}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_{вн} + P_{Na} [Na^+]_{вн} + P_{Cl} [Cl^-]_{нар}}{P_K [K^+]_{нар} + P_{Na} [Na^+]_{нар} + P_{Cl} [Cl^-]_{вн}}, \quad (5)$$

где φ_m – мембранный потенциал, P – проницаемости мембраны для соответствующих ионов, $[K^+]_{вн}$, $[Na^+]_{вн}$, $[Cl^-]_{вн}$ – концентрация ионов внутри клетки, $[K^+]_{нар}$, $[Na^+]_{нар}$, $[Cl^-]_{нар}$ – концентрация ионов снаружи клетки.

$J_{\text{нар}}$ – концентрация этих же ионов снаружи клетки.

Среднее квадратичное перемещение молекул при диффузии:

$$S_{\text{кв}} = 2 \cdot \sqrt{D \cdot t}, \quad (6)$$

где D - коэффициент латеральной диффузии, t - время.

Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A \quad (7)$$

здесь Q – количество теплоты, переданное системе; ΔU - изменение внутренней энергии; A – работа, совершаемая системой.

Обмен веществ в живых организмах также подчиняется первому закону термодинамики. Определение энергетического обмена между живыми организмами и окружающей средой осуществляется с помощью калориметрии, которая подразделяется на прямую и непрямую. Более распространенной является непрямая калориметрия. В этом случае о суммарном тепловом эффекте реакций, протекших в организме, судят по калорическому коэффициенту кислорода. Он показывает, какое количество теплоты выделяется при полном окислении данного вещества до углекислого газа и воды на каждый литр поглощенного организмом кислорода. Однако в живом организме идет также синтез веществ, которые затем могут окисляться. Чтобы учесть общее количество теплоты, освобождаемое живым организмом за определенный промежуток времени, надо учитывать дыхательный коэффициент:

$$DK = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}}, \quad (8)$$

где V_{CO_2} - употребленный объем углекислого газа, V_{O_2} - объем кислорода. Существует связь между дыхательным и калорическим коэффициентами (см. приложение). Это позволяет устанавливать расход энергии организма, зная количество поглощенного кислорода и выделенного углекислого газа. В атмосферном воздухе содержится около 21% кислорода и 0,03% углекислого газа.

Количество теплоты для обратимого процесса:

$$Q = \int TdS. \quad (9)$$

Изменение энтропии при нагревании или охлаждении вещества от температуры T_1 до температуры T_2 :

$$\Delta S = n \cdot C_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (10)$$

где C_p – молярная теплоемкость при постоянном давлении.

Скорость изменения энтропии для стационарного состояния в живом организме:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} = 0, \quad (11)$$

где $\frac{dS_i}{dt}$ – скорость изменения энтропии, связанной с необратимыми процессами в биологической системе; $\frac{dS_e}{dt}$ – скорость изменения энтропии вследствие взаимодействия системы с окружающей средой.

Объем жидкости, переносимый за 1 с через сечение цилиндрической трубы радиуса R (формула Пуазейля) через переносное сечение:

$$Q = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{dP}{dl}, \quad (12)$$

где l – длина участка трубы, на концах которого поддерживается разность давления.

Гидравлическое сопротивление:

$$X = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot R^4} \cdot \quad (13)$$

Сила внутреннего трения, действующая на движущееся в жидкости сферическое тело (шарик) радиуса r (закон Стокса):

$$F_{тр} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v, \quad (14)$$

где v - скорость шарика.

Число Рейнольдса для трубы диаметра D :

$$Re = \frac{\rho_{жс} \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{v \cdot D}{\gamma}, \quad (15)$$

где v - скорость жидкости, $\gamma = \frac{\eta}{\rho_{жс}}$ - кинематическая вязкость. Для гладких цилиндрических труб критическое число Рейнольдса приблизительно равно 2300.

Дополнительное давление под сферической поверхностью жидкости:

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \sigma}{r}, \quad (16)$$

где σ - поверхностное натяжение жидкости, r – радиус сферической поверхности.

Закон Гука:

$$\sigma = \xi \cdot E , \quad (17)$$

где σ - механическое напряжение, ξ - относительная деформация, E – модуль упругости (модуль Юнга).

Для вязкого элемента:

$$\xi \cdot \eta = \sigma \cdot t , \quad (18)$$

где η – вязкость, t – время действия деформирующей силы.

При параллельном соединении упругого и вязкого элементов (модель Кельвина-Фойгта):

$$\xi = \frac{\sigma}{E} \cdot \left(1 - e^{-\frac{Et}{\eta}}\right) . \quad (19)$$

Механическое напряжение стенки кровеносного сосуда:

$$\sigma = P \cdot \frac{r}{h'} , \quad (20)$$

где r – радиус просвета сосуда, h – толщина стенки сосуда.

Скорость распространения пульсовой волны в крупных сосудах:

$$v = \sqrt{\frac{E \cdot h}{2 \cdot \rho \cdot r'}} , \quad (21)$$

где ρ – плотность крови.

Связь объемной Q и линейной $U_{кр}$ скоростей кровотока в сосуде:

$$Q = v_{кр} \cdot S, \quad (22)$$

где S – площадь просвета сосуда.

Работа, которая совершается левым желудочком сердца при каждом сокращении:

$$A = V_0 \cdot \left(P + \rho \frac{v^2}{2} \right), \quad (23)$$

где P - среднее давление, под которым кровь выбрасывается в аорту, ρ – плотность крови, V_0 - ударный объем, v - скорость движения крови.

Интенсивность волны (плотность потока энергии):

$$I = \omega_\rho \cdot v, \quad (24)$$

где ω_ρ - объемная плотность энергии колебательного движения, v - скорость волны.

Объемная плотность энергии упругой волны, распространяющейся в веществе:

$$\omega_\rho = \frac{\rho \cdot A^2 \cdot \omega_0^2}{2}, \quad (25)$$

где ρ – плотность вещества.

Связь интенсивности звука и звукового давления для плоской волны:

$$I = \frac{p^2}{2 \cdot \rho \cdot v}, \quad (26)$$

где ρ – плотность среды, в которой распространяется звук, v – его скорость.

Бел (Б) – в общем случае единица логарифмической относительной величины (логарифма отношения двух одноименных физических величин). Так, например:

$$L_B = \lg \frac{I}{I_0}, I = 10^{L_B} \cdot I_0, \quad (27)$$

где L_B – выраженный в белах уровень интенсивности I звука относительно I_0 , принятого за начальный уровень шкалы, или в децибелах (дБ):

$$L_{дБ} = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}, I = 10^{L_{дБ}/10} \cdot I_0. \quad (28)$$

Отсюда следует, что:

$$\lg \frac{I}{I_0} = \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 2 \lg \frac{p}{p_0}. \quad (29)$$

Считают, что шкалы громкости (E) и уровня интенсивности звука (L) совпадают на частоте 1 кГц:

$$E_B = L_B = \lg \frac{I}{I_0} \quad \text{или в фонах:}$$

$$E_\Phi = L_{\partial B} = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} \quad (30)$$

Соответствие между интенсивностью и громкостью звука на разных частотах можно найти по кривым равной громкости.

ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ.

1. Чему равна плотность потока формамида через плазматическую мембрану толщиной 9 нм, если коэффициент диффузии его составляет $1,6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$, концентрация формамида в начальный момент времени снаружи была равна $2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$, а внутри в десять раз меньше?

2. Бислояная липидная мембрана (БЛМ) толщиной 10 нм разделяет камеру на две части. Плотность потока метиленового синего через БЛМ постоянна и равна $3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot \frac{\text{см}}{\text{с}}$, причем концентрация его с одной стороны этой мембраны равна $10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$, а с другой $2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$. Чему равен коэффициент диффузии этого вещества через БЛМ?

3. Найдите коэффициент проницаемости плазматической мембраны *Mycoplasma* для формамида, если при разнице концентраций этого вещества внутри и снаружи мембраны, равной $0,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$, плотность потока его через мембрану равна $8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot \frac{\text{см}}{\text{с}}$.

4. Между внутренней частью клетки и наружным раствором существует разность потенциалов (мембранный потенциал покоя) порядка $U=80$ мВ. Полагая, что электрической поле внутри мембраны однородно, и считая толщину мембраны 8 нм, найдите напряженность этого поля.

5. Для изучения структуры и функции биологических мембран используют модели – искусственные фосфолипидные мембраны, состоящие из бимолекулярного слоя фосфолипидов. Толщина искусственной мембраны достигает около 7 нм. Найдите емкость такой мембраны, считая ее относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 3$. Сравните полученную емкость с аналогичной характеристикой конденсато-

ра, расстояние между пластинами которого 1мм .

6. Определите равновесный мембранный потенциал на мембране при отношении концентрации натрия снаружи и внутри клетки: 1) 1:1, 2) 10:1, 3) 100:1

7. Определите равновесный мембранный потенциал, создаваемый на бислойной липидной мембране ионами калия при температуре 20C^0 , если концентрация калия с одной стороны

мембраны равна $2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$, а с другой

$2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$.

8. Каков электрический заряд мембраны, если ее емкость 1мкФ , а равновесный мембранный потенциал 136мВ ?

9. Рассчитайте потенциал покоя гигантского аксона кальмара при температуре 20C^0 , если известно, что концентрация

ионов натрия снаружи равна $4,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$, а внутри его

$0,49 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$.

10. Потенциал покоя нерва конечности краба равен 89мВ . Чему равна концентрация ионов калия внутри нерва, если

снаружи она составляет $16 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$? Принять темпера-

туру равной 20C^0 .

11. Электрическое напряжение на мембране равно 60мВ , толщина мембраны 10нм . Найдите напряженность электрического поля в мембране и сравните ее с напряженностью электрического поля плоского конденсатора с напряжением 220В . Расстояние между пластинами конденсатора $0,1\text{мм}$.

12. В растворе поддерживается стационарное состояние распределения некоторого вещества. При этом на расстоянии 50см разность концентрации растворенного вещества составляет

$2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$. Коэффициент диффузии $3 \cdot 10^{-12} \frac{\text{М}^2}{\text{С}}$.

Найдите плотность потока диффузии и максимальный поток через площадку площадью 1см^2 .

13. При экспериментальном атеросклерозе у кроликов ко-

личественное соотношение молекул холестерина и фосфолипидов может составлять 1:3. средняя площадь поверхности эритроцита равна $140 \mu\text{м}^2$. Предполагая, что одна молекула холестерина занимает площадь $0,35 \text{нм}^2$, определите число молекул холестерина в одной клетке.

14. Среднее значение концентрации ионов калия, натрия и хлора в аксоплазме гигантского аксона кальмара равны соответственно $410,49 \text{и} 40 \frac{\text{моль}}{\text{м}^3}$. В морской воде концентрация

этих же ионов равна $10,460 \text{и} 540 \frac{\text{моль}}{\text{м}^3}$. Вычислите по-

тенциал Нернста для каждого из этих ионов при 27C^0 .

15. Бислойная липидная мембрана (БЛМ) толщиной 8 нм разделяет камеру на две части. Плотность потока метиленового синего через БЛМ постоянна и равна $5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot \frac{\text{см}}{\text{с}}$,

причем концентрация его с одной стороны этой мембраны равна $2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$, а с другой $4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$. Чему равен

коэффициент диффузии этого вещества через БЛМ?

16. Для изучения структуры и функции биологических мембран используют модели – искусственные фосфолипидные мембраны, состоящие из бимолекулярного слоя фосфолипидов. Толщина искусственной мембраны достигает около 8 нм. Найдите емкость 1см^2 такой мембраны, считая ее относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 5$. Сравните полученную емкость с аналогичной характеристикой конденсатора, расстояние между пластинами которого 1мм .

17. Потенциал покоя нерва конечности краба равен 96 мВ. Чему равна концентрация ионов калия внутри нерва, если снаружи она составляет $8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$? Принять температу-

ру равной 22C^0 .

18. Рассчитайте потенциал покоя гигантского аксона кальмара при температуре 23C^0 , если известно, что концентрация

ионов натрия снаружи равна $6,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$, а внутри его

$0,85 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}}$.

19. Удельная электрическая емкость мембраны аксона, измеренная внутриклеточным микроэлектродом, оказалась равной $0,5 \text{ мкФ/см}^2$. По формуле плоского конденсатора оценить толщину гидрофобного слоя мембраны с диэлектрической проницаемостью 2.

20. Какое расстояние на поверхности мембраны эритроцита проходит молекула фосфолипида за 1 секунду в результате латеральной диффузии? Коэффициент латеральной диффузии принять равным $10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$. Сравните с окружностью эритроцита диаметром 8 мкм.

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

21. Тело человека обладает емкостью около 30 пФ. Какого радиуса следует изготовить изолированный шарообразный проводник, чтобы он имел такую же ёмкость?

22. Потенциал конвейерной ленты при клейке галош достигает 8000 В. Работницы, сидящие на деревянных скамейках во время работы касаются ленты руками и получают заряд. Считая ёмкость тела работницы равной 25 пФ, определите заряд, сообщаемый её телу.

23. Найдите силу и мощность электрического тока, который пойдёт через организм человека, если он коснётся руками сетевых проводов, находящихся под напряжением 220 В. Сопротивление тела человека от конца одной руки до конца другой (при сухой неповрежденной коже рук) – 15 кОм.

24. При общей гальванизации больного (лечение постоянным током) в течение 1200 с. поддерживалась сила тока 0,05 А. Какое количество положительных ионов образовалось в электролите, если все ионы одновалентны?

25. При лечении электростатическим душем к электродам электрической машины приложена разность потенциалов 100000 В. Определить какой заряд проходит между электродами за время одной процедуры, если известно, что электрическое поле совершает при этом работу, равную 1800 Дж.

26. Сдвиг фаз между током и напряжением при прохождении переменного тока частотой 25 Гц через мышцу лягушки составил 35° . Чему равна емкость конденсатора в эквивалентной

схеме последовательно соединенных резистора и конденсатора, если активное сопротивление равно $0,5 \text{ кОм}$?

27. Сдвиг фаз между током и напряжением при прохождении переменного тока частотой 30 Гц через мышцу кролика составляет 65° . Чему равно сопротивление резистора в эквивалентной схеме последовательно соединенных конденсатора и резистора, если емкость конденсатора $3,6 \text{ мкФ}$?

28. Конечность, на которую наложены электроды, имеют активное сопротивление 1 кОм и емкость $0,2 \text{ мкФ}$. Определите угол сдвига фаз между током и напряжением для частоты 50 Гц , учитывая, что активное и емкостное сопротивления соединены последовательно.

29. Колебательный контур аппарата для терапевтической диатермии состоит из катушки индуктивности и конденсатора емкостью 30 пФ . Определите индуктивность катушки, если частота генератора равна 1 МГц .

30. Плоский конденсатор, расстояние, между пластинами которого $l=0,5 \text{ см}$, заряжен до разности потенциалов $U=700 \text{ В}$. Диэлектрик кровь. Определите объемную плотность энергии поля конденсатора.

31. Во сколько раз различаются энергетические светимости участков тела человека, имеющих температуру 32°C и $32,5^\circ \text{C}$ соответственно? Тело человека считать серым.

32. Для человека верхний предел безболезненно воспринимаемого потока световой энергии составляет $2 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}$. Сколько при этом попадает в глаз за 1 с . фотонов с длиной волны 555 нм ?

33. Зрительное ощущение у человека может возникнуть, если энергия падающего в глаз света составляет $2 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$. Сколько квантов красного света с длиной волны 700 нм должно одновременно попасть в глаз для создания зрительного ощущения?

34. Энергетическая светимость черного тела возросла на 15% . Какой была начальная температура тела, если указанное возрастание энергетической светимости произошло в результате увеличения температуры на два градуса?

35. При диагностике методом термографии опухоли молочной железы пациентке дают выпить раствор глюкозы. Через некоторое время регистрируют тепловое излучение поверхности тела. Быстро делящиеся клетки опухолевой ткани интенсивно поглощают глюкозу, при этом выделяется энергия. На сколько

градусов при этом изменяется температура участка тела, если излучение с поверхности возрастает в 1,3 раза по сравнению с исходным уровнем? Начальная температура участка тела равна 37°C .

36. Какой поток энергии излучает тело человека при температуре 37°C , если считать, что площадь излучающей поверхности тела равна $1,8\text{ м}^2$, а коэффициент поглощения при этой температуре равен 0,95?

37. На сколько увеличилась температура тела человека, если поток излучения с поверхности тела возрос на 4%? Начальная температура тела равна 35°C .

38. Площадь поверхности тела человека в 80 раз больше, чем у морской свинки. Сравните потоки теплового излучения и интенсивность теплового излучения человека и животного, принимая равными коэффициенты поглощения их тел. Считать температуру тела человека равной 37°C , а морской свинки 39°C .

39. Зрительное ощущение у человека может возникнуть, если энергия падающего в глаз света составляет $2 \cdot 10^{-13}$ Дж. Сколько квантов красного света с длиной волны 700 нм должно одновременно попасть в глаз для создания зрительного ощущения?

40. Во сколько раз различаются энергетические светимости участков тела человека, имеющих температуру 35°C и $35,5^{\circ}\text{C}$ соответственно? Тело человека считать серым.

41. Определите расход энергии человека в состоянии мышечного покоя, если за 10 мин он выдыхает 65 л воздуха, в котором содержится 14% кислорода и 6% углекислого газа.

42. Спортсмен, пробегая дистанцию, выделяет при выдохе за одну минуту 9 л воздуха, в котором содержится 12% кислорода и 8% углекислого газа. Определите энергию, расходуемую спортсменом за 5 мин пробега.

43. Кролик массой 1,5 кг поглотил за один час 1,5 л кислорода. Определите, сколько энергии расходует кролик за сутки на 1 кг веса, если средний калорический эквивалент кислорода 20,52 кДж.

44. Вычислить изменение энтропии при нагревании 100 г воды от 0 до 15°C .

45. Ежедневно с потребляемой пищей работник физиче-

ского труда получает около 17 МДж. В течение дня он выполняет работу 10 МДж. Какая доля получаемой с пищей энергии превращается в полезную работу?

46. Определите температуру мышцы, предполагая, что она работает как тепловая машина с $\eta = 30\%$ при температуре 25°C .

БИОФИЗИКА СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

47. По некоторым оценкам пловец на дистанции затрачивает 240 кДж энергии за минуту. При этом только четверть этой энергии идет на механическую работу его рук и ног. Чему равна средняя сила, препятствующая перемещению пловца, если за одну минуту он проплывает 100 м?

48. В кислородной подушке 9,93 г газа находится под некоторым давлением. Определите работу, которая совершается газом при изменении его объема от 2 до 6 л, если процесс происходит при постоянной температуре 20°C .

49. В кислородной подушке объемом 1 л содержится 2 моль кислорода под давлением 300 кПа. При открывании клапана газ расширяется, при этом его температура падает от 325 К до 275 К. Рассчитайте совершаемую при этом работу, если внешнее давление 100 кПа.

50. При какой температуре находилось 2 моль воды в сосуде, если при ее нагревании до 100°C энтропия увеличилась на 23,5 Дж/К?

51. Определите работу, совершаемую сердцем при сокращении левого желудочка, если в аорту со скоростью 0,5 м/с выбрасывается 60 мл крови против давления 13 кПа.

52. Найдите мощность, развиваемую сердцем человека при сокращении длительностью 0,3 с. Ударный объем крови равен 60 мл, скорость крови в аорте 0,5 м/с. Среднее давление, при котором кровь выбрасывается в аорту левым желудочком, равно 13,3 кПа. Учтите, что работа правого желудочка составляет 20% работы левого.

53. Во сколько раз меняется скорость оседания эритроцитов у людей, больных сфероцитозом, по сравнению с нормой, если средний радиус эритроцита при этом заболевании возрастает в 1,5 раза?

54. Определите эффективный модуль упругости портняжной мышцы лягушки, если при возрастании приложенного к

мышце напряжения от 10 кПа до 40 кПа длина ее увеличилась от 0,032 м до 0,034 м.

55. Как изменится модуль упругости бедренной кости человека, если при напряжении 5 Па относительная деформация составляет 0,025, а при увеличении напряжения до 11 Па она стала равной 0,55?

56. Каково гидравлическое сопротивление кровеносного сосуда длиной

0,12 м и радиусом 0,1 мм?

57. Скорость пульсовой волны в артериях составляет 8 м/с. Чему равен модуль упругости этих сосудов, если известно, что отношение радиуса просвета к толщине стенки сосуда равно 6, а плотность крови равна $1,152 / \text{см}^3$?

58. Найдите объемную скорость кровотока в аорте, если радиус просвета аорты равен 1,75 см, а линейная скорость крови в ней составляет 0,5 м/с?

59. Определите абсолютное удлинение сухожилия длиной 4 мм и площадью сечения 10^{-6} м^2 под действием силы 320 Н. Модуль упругости сухожилия принять равным 10^9 Па . Считать сухожилие абсолютно упругим телом.

60. Нагрузка на бедренную кость, составляющая 1800 Н, при сжатии вызывает относительную деформацию $3 \cdot 10^{-4}$. Найдите эффективную площадь поперечного сечения кости, если ее модуль упругости равен $23 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

61. Какая работа совершается при растяжении на 6 мм портняжной мышцы лягушки длиной 30 мм, если известно, что при нагрузке 1 г она растягивается на 3 мм? Принять портняжную мышцу за абсолютно упругое тело.

62. Средняя линейная скорость кровотока в сонной артерии диаметром 3 см равна 5 мм/с. Какова объемная скорость кровотока в этом сосуде?

63. При некоторых заболеваниях критическое число Рейнольдса в сосудах становится равным 1160. Найдите скорость движения крови, при которой возможен переход ламинарного течения в турбулентное в сосуде диаметром 2 мм.

64. Определите скорость оседания эритроцитов в плазме крови, предполагая, что эритроциты имеют шарообразную форму диаметром 8 мкм. Плотность вещества эритроцитов принять равной $1090 \text{ кг} / \text{м}^3$.

65. Вследствие потери упругих свойств сосудов при атеро-

склерозе число Рейнольдса существенно изменяется. Определите число Рейнольдса в сосуде диаметром 3 мм, в котором скорость движения крови равна 1,8 м/с.

66. Скорость течения крови в капиллярах составляет 0,005 м/с. Чему равна скорость в аорте, если суммарная площадь сечения капилляров в 800 раз больше площади сечения аорты?

67. Сердце взрослого человека за 1 сокращение прогоняет около 160 см³ крови. Оно сокращается примерно 70 раз в минуту, совершая работу 1 Дж за каждое сокращение. Какую работу совершает сердце за 1 день?

68. Чему равна мощность сердца спортсмена во время соревнований, если при одном ударе оно совершает работу 16 Дж, а ежеминутно делает 180 ударов?

69. Какую мощность развивает сердце человека, если при каждом биении, левый желудочек, сокращаясь, выталкивает в аорту около 70 г крови под давлением 26 кПа, а за время, равное 1 мин, происходит приблизительно 75 сокращений желудочка?

70. Определите максимальное количество крови, которое может пройти через аорту в 1 с, чтобы течение сохранялось ламинарным. Диаметр аорты 2 см.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

71. Известно, что человеческое ухо воспринимает упругие волны в интервале частот от 20 Гц до 20 кГц. Каким длинам волн соответствует этот интервал в воздухе? в воде?

72. Изучение движения барабанной перепонки показало, что скорость колебания ее участков оказывается величиной одного порядка со скоростью смещения молекул воздуха при распространении плоской волны. Исходя из этого, вычислите приблизительно амплитуду колебания участков барабанной перепонки для порога слышимости. Частота 1 кГц.

73. Определите среднюю силу, действующую на барабанную перепонку человека (площадь 66 мм²) для порога слышимости. Частота 1 кГц.

74. Изучение движения барабанной перепонки показало, что скорость колебания ее участков оказывается величиной одного порядка со скоростью смещения молекул воздуха при распространении плоской волны. Исходя из этого, вычислите приблизительно амплитуду колебания участков барабанной перепонки для порога болевого ощущения. Частота 1 кГц.

75. Определите среднюю силу, действующую на барабан-

ную перепонку человека (площадь 66 мм^2) для порога болевого ощущения. Частота 1 кГц .

76. Два звука одинаковой частоты 1 кГц отличаются по громкости на 20 фон . Во сколько раз отличаются их интенсивности?

77. Два звука одинаковой частоты отличаются по интенсивности на 30 дБ .

Найдите отношение амплитуд звукового давления.

78. По условиям некоторого производства определен допустимый предел шума $E=70 \text{ фон}$. Определите максимально допустимую интенсивность звука. Условно считать, что шум соответствует звуку частотой 1 кГц .

79. Разрыв барабанной перепонки наступает при уровне интенсивности звука 150 дБ . Определите интенсивность, амплитудное значение звукового давления и амплитуду смещения частиц в волне для звука частотой 1 кГц , при которых может наступить разрыв барабанной перепонки.

80. Нормальный разговор человека оценивается уровнем громкости звука 50 фон , для частоты 1 кГц . Определите уровень громкости звука, соответствующего трем одновременно говорящим людям.

81. Шуму на оживленной улице соответствует уровень громкости звука $E_1=70 \text{ фон}$, крику $E_2=80 \text{ фон}$. Какой будет уровень громкости звука, полученного в результате сложения крика и шума улицы? Считать частоту равной 1 кГц .

82. Два звука частотой 1 кГц отличаются по громкости на 1 фон . Во сколько раз отличаются их интенсивности?

83. Уровень громкости звука частотой 5 кГц равен $E=50 \text{ фон}$. Найдите интенсивность этого звука.

84. Определите интенсивности звуков с частотами 100 Гц и 500 Гц и 1000 Гц , если уровень громкости звуков одинаков и равен $E=40 \text{ фон}$.

85. Источник ультразвука создает в воздухе волну длиной $4,4 \text{ мкм}$. Как изменится длина волны при переходе ультразвука в воду, если принять скорость распространения ультразвука в воде равной 1500 м/с , а в воздухе 330 м/с ?

86. Сравните длины волн в воздухе для ультразвука частотой 1 МГц и звука частотой 1 кГц . Чем определяется нижняя граница длин волн ультразвука в среде?

87. В физиотерапии используется ультразвук частотой 800 кГц и интенсивностью 1 Вт/м^2 . Найдите амплитуду колебаний молекул при воздействии таким ультразвуком на мягкие ткани (во-

ду).

88. Человек с нормальным слухом способен ощущать различие в громкости звуков в 1 фон. Во сколько раз изменяется при этом интенсивность звука частотой 1 кГц?

88. Человек с нормальным слухом способен ощущать различие в громкости звуков в 1 фон. Во сколько раз изменяется при этом интенсивность звука частотой 1 кГц?

89. Разность фаз звуковых волн с частотой 1 кГц, проходящих от одного источника к разным ушам, равна 0,2 рад. Определите разность хода волн, проходящих в правое и левое ухо человека.

90. Система косточек среднего уха человека работает как рычаг с выигрышем в силе со стороны внутреннего уха в 1,3 раза. Во сколько раз среднее ухо увеличивает передачу наружного слухового давления внутреннему уху, если площадь барабанной перепонки равна 64 мм^2 , а площадь овального окна 3 мм^2 ?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антонов В.Ф., Черныш А.М., Пасечник В.И., Вознесенский С.А., Козлова
2. Е.К. Биофизика: учебник для студентов, специализирующихся в области биофизики. - М.: Владос, 2000г.
3. Костюк П.Г. Биофизика: учебник для студентов биологических специальностей вузов. - Киев.Выща школа, 1988г.
4. Владимиров Ю.А. Биофизика: учебник для студентов медицинских институтов. - М.Медицина, 1983г.
5. Волькенштейн М.В. Биофизика: Учебник для студентов, специализирующихся в области биофизики и физико-химической биологии. - М.: Наука, 1988г.
6. Рубин А.Б. Биофизика: - М.: Высшая школа, 1987
7. Губанов П.Г. Медицинская биофизика: - М.: Высшая школа, 1987г.
8. Медицинская биофизика / Под ред. Самойлова В.О. – СПб., 1992г.
9. Ремизов А.Н. Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике.: Учебное пособие для вузов. - М.: Дрофа, 2001г.
10. Регирер С.А. Лекции по биологической механике. - М.: МГУ, 1980г.
11. Деев Ю.А. и др. Медицинская биофизика. – М.: Медицина, 1984г.