

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
биофизики и биотехнологии



В.Г. Артюхов

21.03.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б.1.В.04 Физика ферментов**

**1. Шифр и наименование направления:**

06.03.01 Биология

**2. Профиль подготовки:**

биофизика

**3. Квалификация (степень) выпускника:**

бакалавр

**4. Форма обучения:**

очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра биофизики и биотехнологии

**6. Составители программы:**

Калаева Елена Анатольевна, канд. биол. наук

**7. Рекомендована:** Научно-методическим советом медико-биологического факультета,  
протокол № 2 от 21.03.2022 г.

**8. Учебный год:** 2023/2024

**Семестр(ы):** 4

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

**Цель:** формирование системы знаний о структуре, самоорганизации и функционировании ферментов с точки зрения физики.

**Задачи:**

- ознакомление с физическими аспектами структурной организации ферментов, механизмов ферментативного катализа, внутриклеточной локализации ферментов и их кинетических свойств; регуляции активности ферментов.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к блоку Дисциплины (Б.1), часть, формируемая участниками образовательных отношений (Б.1.В).

Студенты должны иметь базовые знания по молекулярной биологии, биохимии, физике.

Дисциплина предшествует курсам «Компьютерные исследования и моделирование биопроцессов», «Структура и функции биомакромолекул и их комплексов».

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической (научной) информации, необходимой для решения профессиональных задач, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПК-1.1	Обеспечивает сбор научно-технической (научной) информации, необходимой для решения задач исследования, поставленных специалистом более высокой квалификации	Знать: современное состояние проблемы и достижения в изучаемой области. Уметь: анализировать структурно-функциональные свойства ферментов; применять современные экспериментальные методы работы с биообъектами в лабораторных условиях; Владеть (иметь навык(и)): совокупностью лабораторных и компьютерных методов исследования белков и их комплексов:
ПК-4	Способен применять теоретические знания о молекулярных основах и механизмах физических и физико-химических процессов для решения отдельных практических задач в области биофизики и биотехнологии	ПК-4.1	Демонстрирует системные теоретические знания о молекулярных основах и механизмах физических и физико-химических процессов в живых системах	Знать: молекулярные основы и механизмы физических и физико-химических процессов в живых системах. Уметь: применять теоретические знания о молекулярных основах и механизмах физических и физико-химических процессов в живых системах при решении практических задач. Владеть: навыками системного анализа при решении практических задач
		ПК-4.2	Применяет современные методы биофизического эксперимента, исследования физических и физико-химических процессов на разных уровнях организации живой материи для решения	Знать: теоретические основы методов исследования биомакромолекул; Уметь: выбрать оптимальный в заданных условиях метод исследования, адекватный поставленной задаче. Владеть: навыками эксплуатации современного научного оборудования.

			отдельных практических задач в области биофизики и биотехнологии	
--	--	--	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 4 ЗЕТ / 144 ч.**

**Форма промежуточной аттестации** экзамен, курсовая работа

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра 4	№ семестра	...
Аудиторные занятия	48	48		
в том числе:	34	32	34	
	16	16	16	
Самостоятельная работа	58	58		
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 36 час.)	36	36		
Итого:	144	144		

**13.1. Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Строение и физико-химические свойства аминокислот. Протеиногенные аминокислоты	Строение аминокислот. Стереохимия аминокислотных остатков. L- и D-аминокислотные остатки. Классификация аминокислот. Физико-химические свойства аминокислот. Константа ионизации. Изоэлектрическая точка. Протеиногенные аминокислоты.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.2	Строение и физико-химические свойства белков. Первичная структура белка	Первичная структура белка. Пептидная группа. Пептидная связь и ее свойства. Валентные связи и углы между ними. Ван-дер-ваальсово взаимодействие. Разрешенные конформации аминокислотного остатка (карты Рамачандрана). Мезомерия пептидной связи.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.3	Вторичная структура белков	Вторичная структура полипептидов. Спираль: 2 <sub>7</sub> , 3 <sub>10</sub> , α, poly(Pro). Антипараллельная и параллельная β-структура. β-изгибы. Стабильность α-спирали и β-структуры в воде. Водородные связи. Гидрофобные взаимодействия. Дисульфидные связи.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.4	Надвторичная	Роль доменов в	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>

	структура белка. Домены	пространственной организации молекул ферментов. Структурные мотивы	<i>id=2553</i>
1.5	$\beta$ -структурные белки. $\alpha$ -структурные белки	Фибриллярные белки, их функции и их периодичные первичные и вторичные структуры. Мембранные белки. Глобулярные белки.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.6	Высшие типы пространственной организации белка. Третичная и четвертичная структура.	Принципы пространственной организации молекул ферментов, проблема сворачивания полипептидной цепи в нативную конформацию. Шапероны. Краудинг. Роль четвертичной структуры в стабилизации молекулы фермента и регуляции активности ферментов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.7	Ферменты. Классификация ферментов	Катализ и катализаторы. Ферменты как особые представители катализаторов. Принцип классификации ферментов. Классы ферментов: оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы, лигазы. Характеристика классов и важнейших групп ферментов	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.8	Механизм реакции ферментативного катализа	Активный центр ферментов. Субстратсвязывающий и каталитический сайты активных центров. Активные центры простых и сложных ферментов. Формирование активного центра на границе между доменами.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.9	Кинетика ферментативных реакций	Особенности каталитического действия ферментов. Единицы ферментативной активности. Факторы, определяющие активность ферментов: концентрация фермента, концентрация субстрата, температура, pH среды, активаторы и ингибиторы. Влияние температуры на кинетику ферментативных реакций. Закон Вант-Гоффа. Предстацонарная и стационарная фазы ферментативного процесса. Понятие начальной скорости. Роль необратимых реакций в стратегии метаболизма. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Отклонение от уравнения Михаэлиса-Ментен. Значение $k_{cat}$ , $K_m$ , $V_m$ , $K_s'$ . Методы расчета каталитических констант. Уравнение Лайнуивера-Берка и другие.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.10	Ингибиторный анализ. Влияние активаторов и других факторов на	Типы ингибирования. Графическое представление ингибирования. Влияние	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>

	скорость ферментативной реакции	активаторов на кинетику ферментативных реакций. Графическое представление активации. Значение $K_a$ и постоянных. Примеры ингибирования и активирования ферментативных реакций.	
1.1 1	Ферменты в клетке и в организованных системах	Локализация ферментов в клетке. Понятие компартментализации. Уровни организации ферментов. Надмолекулярные комплексы: мультиферментные комплексы, мультиферментные конъюгаты; ферментные ансамбли. Метаболонны – мультиферментные ансамбли, фиксированные на мембранах и структурных элементах клетки. Функциональные преимущества, возникающие в результате белок-белковых взаимодействий в составе молекулы полифункциональных ферментов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
1.1 2	Механизмы регуляции активности ферментов	Регуляция активности ферментов внутриклеточными сигналами. Изостерическая регуляция. Аллостерические механизмы регуляции. Кооперативные эффекты.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
Не предусмотрены			
<b>3. Лабораторные работы</b>			
3.1	Строение и физико-химические свойства аминокислот. Протеиногенные аминокислоты	Определение индивидуальных аминокислот качественными и полуколичественными методами. Исследование спектральных свойств ароматических и серосодержащих аминокислот.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.2	Строение и физико-химические свойства белков. Первичная структура белка	Качественные реакции на пептидную связь. Образование пептидной связи между аминокислотами. Построение карт Рамачандрана	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.3	Вторичная структура белков	Исследование спектральных свойств смесей аминокислот и простых белков	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.4	Надвторичная структура белка. Домены	Решение задач по теме "Строение белковой молекулы"	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.5	$\beta$ -структурные белки. $\alpha$ -структурные белки. Смешанные и неупорядоченные структуры	Методы определения упорядоченных и неупорядоченных структур в молекуле белка методом ИК-спектроскопии	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.6	Высшие типы пространственной организации белка. Третичная и четвертичная	Исследование спектральных свойств сложных белков на примере гемоглобина и хлорофилла	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>

	структура.		
3.7	Ферменты. Классификация ферментов	Исследование активности ферментов в биологических жидкостях	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.8	Механизм реакции ферментативного катализа	Исследование функциональных свойств ферментов при различных концентрациях субстрата	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.9	Кинетика ферментативных реакций	Решение задач по теме "Кинетика ферментативного катализа"	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.10	Ингибиторный анализ. Влияние активаторов и других факторов на скорость ферментативной реакции	Исследование влияния ингибиторов и активаторов на активность ферментов в биологических жидкостях	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.11	Ферменты в клетке и в организованных системах	Исследование активности мембрансвязанных ферментов	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>
3.12	Механизмы регуляции активности ферментов	Исследование аллостерической регуляции активности белка и кооперативных взаимодействий в сложных белках на примере гемоглобина	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Строение и физико-химические свойства аминокислот. Протеиногенные аминокислоты	2	—	1	3	8
2	Строение и физико-химические свойства белков. Первичная структура белка	2	—	1	5	8
3	Вторичная структура белков	2	—	1	5	8
4	Надвторичная структура белка. Домены	2	—	1	5	8
5	$\beta$ -структурные белки. $\alpha$ -структурные белки	2	—	1	5	8
6	Высшие типы пространственной организации белка. Третичная и четвертичная структура.	4	—	1	5	10
7	Ферменты. Классификация ферментов	2	—	1	5	8
8	Механизм реакции ферментативного катализа	4	—	1	5	10
9	Кинетика ферментативных реакций	2	—	2	5	9
10	Ингибиторный анализ. Влияние активаторов и других факторов на скорость ферментативной реакции	4	—	2	5	10
11	Ферменты в клетке и в	4	—	2	5	9

	организованных системах					
12	Механизмы регуляции активности ферментов	4	—	2	5	11
	Контроль					36
	Итого:	34	—	16	58	144

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение содержания дисциплины осуществляется с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ) – электронного учебного курса «Физика ферментов», расположенного по адресу: <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553> на портале «Электронный университет ВГУ». Перед началом учебных занятий обучающийся должен:

1. Проверить наличие доступа к курсу. В случае выявления проблем своевременно обратиться к преподавателю или в службу технической поддержки.

2. Изучить интерфейс курса, знать способы взаимодействия с преподавателем в рамках ЭУК: сообщение на форуме, отправка личного сообщения, чат.

3. Ознакомиться с целью и задачами дисциплины, перечнем формируемых компетенций и результатов обучения, программой дисциплины, календарным планом, траекторией освоения дисциплины, комплексом вопросов и требований для промежуточной аттестации.

4. Ознакомиться с перечнем основной и дополнительной литературы, а также списком электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины. Получить доступ к электронным библиотечным системам, на которые оформлена подписка ФГБОУ ВО «ВГУ».

##### Проработка конспектов лекций, материалов учебника:

Внимательно ознакомьтесь с программой, учебным и календарным планами, с вопросами к аттестации. Изучая эти документы, постарайтесь вспомнить соответствующий учебный материал общих дисциплин – физики, химии, биологии и др. Выпишите в рабочую тетрадь те понятия, идеи и проблемы, которые вам незнакомы или встретились при изучении этих документов впервые. Изучайте учебный материал последовательно, соответственно рабочему плану. В случае необходимости возвращайтесь к учебникам по общим дисциплинам, обращайтесь к рекомендованной учебной литературе. При изучении каждой темы выписывайте новые понятия и термины в рабочую тетрадь. Используя глоссарий, учебники, энциклопедические словари, Интернет-ресурсы и другие информационные источники, раскройте их смысл. Внимательно ознакомьтесь с контрольными вопросами. Постарайтесь на них ответить. В случае затруднений вновь вернитесь к теоретическому материалу и постарайтесь вникнуть в него более глубоко. При необходимости обращайтесь к рекомендованной для изучения учебной литературе. Из перечня тестов выберите те, которые относятся к изучаемой теме. Выполните их. Если Вы не можете ответить на тестовый вопрос, вновь обратитесь к теоретическому материалу. Вычленили концептуальные идеи, заложенные в учебном материале, раскройте их смысл, обоснуйте и выпишите в рабочую тетрадь. Составьте по теме опорный конспект в виде плана-ответа на вопросы, выносимые на аттестацию.

##### Подготовка к лабораторным занятиям

Ознакомьтесь с планом занятия и списком рекомендованной к нему литературы. Изучите рекомендованную литературу. Начинайте с оглавления. Выберите в нем темы, непосредственно относящиеся к проблеме занятия. Изучите их. Обдумайте ответы на вопросы. Используя дополнительную литературу, а также другие информационные источники, найдите примеры, подтверждающие варианты ваших ответов.

##### Курсовая работа

Выполнение курсовой работы является одним из основных видов работы студентов и направлено: на закрепление, углубление и обобщение знаний по изучаемым дисциплинам; развитие профессиональной подготовки; овладение методами научных исследований; формирование навыков решений творческих задач в ходе научного

исследования. Курсовая работа представляет собой самостоятельное исследование по теме, закрепленной за студентом. В курсовой работе на основе изучения литературы и проведения собственного экспериментального исследования решается профессиональная задача, поставленная специалистом более высокой квалификации (научным руководителем). Курсовая работа выполняется в соответствии с планом и графиком под управлением научного руководителя. Преподавателями, осуществляющими руководство работой обучающихся, при необходимости проводятся консультации, на которых студенты могут задать вопросы по структуре и ходу выполнения работы. Курсовая работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к курсовым и выпускным квалификационным работам, подписана исполнителем, научным руководителем и заведующим кафедрой. Защита курсовой работы проходит на заседании кафедры в конце семестра и является частью промежуточной аттестации.

#### Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Внимательно ознакомьтесь с вопросами. Постарайтесь на них ответить. В случае затруднений вновь вернитесь к теоретическому материалу и постарайтесь вникнуть в него более глубоко. При необходимости обращайтесь к рекомендованной для изучения учебной литературе. Из перечня тестов выберите те, которые относятся к изучаемой теме. Выполните их. Если не можете ответить на тестовый вопрос, вновь обратитесь к теоретическому материалу.

### **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Калаева Е.А. Биофизические аспекты строения, функционирования и регуляции активности ферментов :учебник ВГУ / Е.А. Калаева, В.Г. Артюхов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019. – 2016 с.
2.	Артюхов В.Г. Молекулярная биофизика: механизмы протекания и регуляции внутриклеточных процессов: учеб. пособие / В.Г. Артюхов, О.В. Башарина. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012. – 220 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	Биофизика: учебник для вузов / под ред. В.Г. Артюхова. – М.: Деловая книга: Академический проект, 2009. – 294 с.
4.	Артюхов В.Г. Структурно-функциональное состояние биомембран и межклеточные взаимодействия: учеб. пособие / В.Г. Артюхов, М.А. Наквасина. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – 156 с.
5.	Артюхов В.Г. Оптические методы анализа интактных и модифицированных биологических систем / В.Г. Артюхов, О.В. Путинцева. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1996. – 240 с.
6.	Артюхов В.Г. Биологические мембраны: структурная организация, функции, модификация физико-химическими агентами: учеб. пособие / В.Г. Артюхов, М.А. Наквасина. - Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000. – 296 с.
7.	Жеребцов Н.А. Биохимия: учеб. / Н.А. Жеребцов, Т.Н. Попова, В.Г. Артюхов. - Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. - 696 с.
8.	Ленинджер А. Основы биохимии / А. Ленинджер. - М.: Мир, 1985. - Т. 1. - 365 с.
9.	Ленский А.С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию / А.С. Ленский. - М.: Высш. шк., 1989. - 256 с.
10.	Олигомерные белки: структурно-функциональные модификации и роль субъединичных контактов / В.Г. Артюхов [и др.]. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1997. – 264 с.
11.	Рубин А.Б. Биофизика / А.Б. Рубин. - М.: Высш. шк., 1987. - Т. 1. - 319 с.
12.	Рубин А.Б. Биофизика / А.Б. Рубин. - М.: Высш. шк., 1987. - Т. 2. - 303 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет):

№ п/п	Ресурс
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ

2	<a href="http://www.viniti.msk.su">http://www.viniti.msk.su</a> - Всероссийский Институт Научной и Технической Информации (ВИНИТИ РАН).
3	<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Pubmed">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Pubmed</a> - База научных данных в области биомедицинских наук.
4	<a href="http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb">www.chem.qmul.ac.uk/iubmb</a> - Биохимическая классификация и номенклатура ферментов. Свободный доступ на сайте Международного союза биохимии и молекулярной биологии.
5	<a href="http://www.molbiol.ru">www.molbiol.ru</a> , <a href="http://www.nature.ru">www.nature.ru</a> - Учебники, научные монографии, обзоры, лабораторные практикумы в свободном доступе на сайтах практической молекулярной биологии.
6	<a href="http://www.swissprot.com">www.swissprot.com</a> – свободный доступ к международной базе данных по первичным и 3D структурам ферментов
7	Рубин, А.Б. Биофизика : в 2 т. Т. 1. Теоретическая биофизика / А.Б. Рубин .— Москва : МГУ, 2004 .— <URL: <a href="http://www.studmedlib.ru/book/ISBN5211061101.html">http://www.studmedlib.ru/book/ISBN5211061101.html</a> >
8	Артюхов В.Г. Биологические мембраны: структурная организация, функции, модификация физико-химическими агентами : Учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Биология" / В. Г. Артюхов, М. А. Наквасина .— Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000 .— 294 с.— <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/books/b27489.djvu">http://www.lib.vsu.ru/elib/books/b27489.djvu</a> >.
9	ЭУК «Физика ферментов» на платформе «Электронный университет ВГУ» – <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2553</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Практикум по биофизике / В.Г. Артюхов [и др.]; под общ. ред. В.Г. Артюхова ; Воронежский государственный университет. - Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. - 314 с.
2	Финкельштейн А.В. Физика белка: Курс лекций с цветными и стереоскопическими иллюстрациями и задачами. 3 изд. испр. и доп. / А.В. Финкельштейн, О.Б. Птицын. - М.: КДУ, 2012. - 456 с. <a href="http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_66115#365">http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_66115#365</a>

## 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

При реализации дисциплины используются элементы электронного обучения и дистанционные образовательные технологии.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория	394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, Учебный корпус №1 ауд. 59.	Ноутбук Asus X55A/X55A, проектор Sanyo, специализированная мебель, экран для проектора
Учебная аудитория, лаборатория	394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, Учебный корпус №1 ауд. 61	Специализированная мебель, лабораторная посуда, рН-метр портативный HI83141, шейкер-инкубатор для планшета Elmi SHAKER ST 3, микроскопы Микмед, Спектрофотометр ПЭ-54-00 УФ.
Дисплейный класс	394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, Учебный корпус №1 ауд. 67.	Компьютеры Celeron, Pentium, проектор Sanyo, экран для проектора, специализированная мебель
Учебная аудитория, лаборатория	394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, Учебный корпус №1 ауд. 68	Специализированная мебель, лабораторная посуда, центрифуга MPW-340, центрифуга Eppendorf, биохемилюминометр БХЛ-07, блок оптико-механический спектрофотометра СФ-2000, суховоздушный термостат ТС-1/80 СПУ (Россия).
Учебная аудитория, лаборатория	394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, Учебный корпус №1 ауд. 349	Специализированная мебель, набор лабораторной посуды и штативов, вытяжной шкаф, микроскопы Биомед-2

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Строение и физико-химические свойства аминокислот. Протеиногенные аминокислоты	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-4.1 ПК-4.2	Ситуационные задачи № 1 - 3
2.	Строение и физико-химические свойства белков. Первичная структура белка			Ситуационные задачи № 4 - 5
3.	Вторичная структура белков			Ситуационная задача № 6
4.	Надвторичная структура белка. Домены			Ситуационные задачи № 7 - 9
5.	$\beta$ -структурные белки. $\alpha$ -структурные белки			Ситуационные задачи № 10 - 11
6.	Высшие типы пространственной организации белка. Третичная и четвертичная структура.			Ситуационные задачи № 12 - 13
7.	Ферменты. Классификация ферментов			Ситуационная задача № 23, 27, 28
8.	Механизм реакции ферментативного катализа			Ситуационная задача № 19
9.	Кинетика ферментативных реакций			Ситуационные задачи № 14-15, 20 - 22
10.	Ингибиторный анализ. Влияние активаторов и других факторов на скорость ферментативной реакции			Ситуационные задачи № 16 - 17
11.	Ферменты в клетке и в организованных системах			Ситуационная задача № 18
12.	Механизмы регуляции активности ферментов			Ситуационные задачи № 24 - 26
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен, курсовая работа				Вопросы к экзамену Темы курсовых работ

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Перечень практических заданий (ситуационных задач)

1. Каплю раствора, содержащего смесь аминокислот гли, ала, глу, арг, гис нанесли на середину электрофоретической бумаги, смочили буфером pH 6,0 и приложили электрическое напряжение. Укажите, в каком направлении (к катоду, аноду или останутся на старте) будут двигаться отдельные аминокислоты.

2. Олигопептид, выделенный из мозга животного, имеет последовательность глу-гис-три-сер-тир-гли-лей-арг-про-гли. Определите суммарный заряд молекулы при pH 3,0; 5,5; 11,0. В какой области pH лежит изоэлектрическая точка пептида?

3. При составлении пищевого рациона рыбу хотели заменить горохом, поскольку содержание белка в них почти одинаково. Физиологична ли эта замена?

3. Приведите структурную формулу лейцина. Является ли лейцин оптически активным? Если да, изобразите и назовите энантиомеры. Какую среду покажет раствор лейцина в дистиллированной воде? При каком значении pH раствор этой кислоты не проводит электрический ток? К какому электроду мигрирует эта аминокислота при pH = 10?

4. Трипептид, выделенный из токсина змей, состоит из трех незаменимых аминокислот – серосодержащей, гетероциклической и гидроксилсодержащей. Напишите этот трипептид и определите его изоэлектрическую точку.

5. Вспомните карты разрешенных состояний для L-аланина и глицина. Как выглядят карты разрешенных состояний для D-стереоизомеров тех же аминокислот?

6. Какие из аминокислот (Ala, Lys, Asp, Val, Gly, Pro) наиболее вероятно будут располагаться в молекуле белка в месте резкого поворота цепи? (Правая  $\alpha$ -спираль один из важнейших структурных элементов белков и полипептидов. На один полный оборот спирали приходится 3,6 аминокислотных остатка. Структура спирали стабилизирована системой водородных связей. На стабильность спиральной конформации могут влиять стерические затруднения, электростатические и гидрофобные взаимодействия).

7. Разделить домены в белке, изображенном на рисунке:



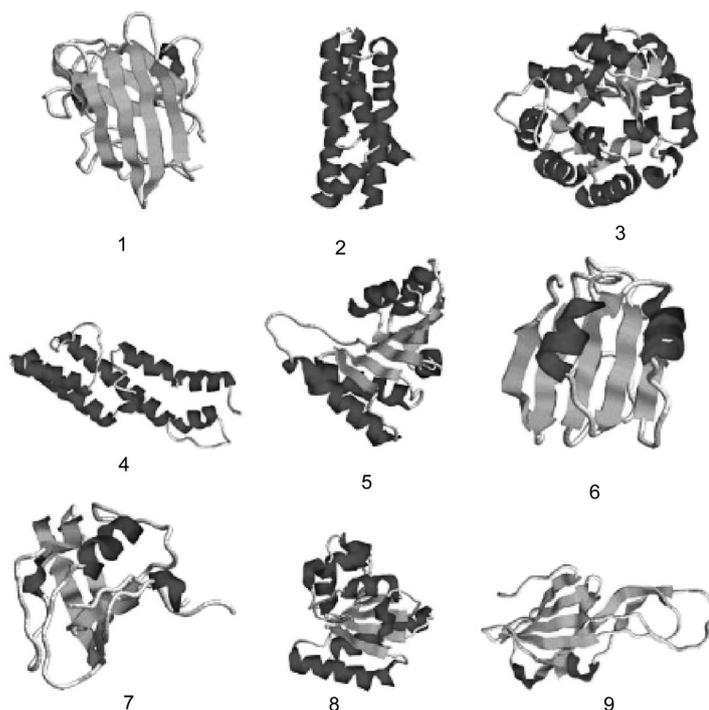
8. Последовательность участков вторичной структуры ( $\alpha$  и  $\beta$ ) выглядит как  $\beta\alpha\beta\alpha\beta\alpha\beta\alpha\beta$  в одном домене и как  $\beta\beta\alpha\beta\beta\alpha\alpha\alpha$  - к другому. Какой из них принадлежит к классу  $\alpha/\beta$ -белков, какой - к классу  $\alpha+\beta$ -белков?

9. Изображенные на схеме белковые домены принадлежат к 4 главным для водорастворимых глобулярных белков классам ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha/\beta$ ,  $\alpha+\beta$ ). Они выбраны так, что часть из них принадлежит к наиболее "популярным" мотивам укладки цепи в данном классе, а часть - к наименее "популярным".

а) К какому классу принадлежит каждый из доменов?

б) Какие домены имеют "популярные" мотивы укладки цепи, а какие - редкие?

в) Какой из доменов имеет укладку Россмана?



10. Какая из приведенных ниже последовательностей может кодировать фибриллу из перевитых  $\alpha$ -спиралей, фибриллу коллагена,  $\beta$ -структурный фибриллярный белок:

- а) Gly - Ala - Gly - Thr - Gly - Ala - Gly - Thr - Gly - Ala;  
 б) Gly - Ala - Pro - Gly - Pro - Pro - Gly - Thr - Pro - Gly - Ala - Pro - Gly - Pro - Pro;  
 в) Gly - Ala - Glu - Ser - Leu - Gly - Asn - Gly - Gly - Ala - Glu - Ser - Leu - Gly - Asn - Gly - Ala

11. Почему типичный мембранный белок выглядит либо как пучок  $\alpha$ -спиралей, идущий от одного края мембраны до другого, либо как  $\beta$ -цилиндр, также идущий от одного края мембраны до другого?

12. Может ли внутри мембраны лежать не  $\beta$ -цилиндр, а  $\beta$ -лист?

13. Может ли внутри мембранного белка, в самой середине его пространственной структуры, лежать большой нерегулярный участок?

14. Фермент глутаматдегидрогеназа катализирует реакцию глутамат +  $\text{NAD}^+ \rightarrow \alpha$ -оксоглутарат +  $\text{NH}_3$  +  $\text{NADH}$  +  $\text{H}^+$ . Кинетические данные:

Концентрация L-глутамата, ммоль/л	Начальная скорость (изменение поглощения при 360 нм/мин за счет образования NADH)
1,68	0,172
3,33	0,250
5,00	0,286
6,67	0,303
10,00	0,334
20,00	0,384

Начальная концентрация  $\text{NAD}^+$  во всех опытах постоянна. Найдите  $K_M$  и  $V_{\max}$  этой реакции путем построения классической зависимости по Михаэлису-Ментен и по методу Лайнуйвера-Берка.

15. В присутствии насыщающих количеств субстрата 1,4 мг фермента вызывает образование продукта со скоростью 6,2 ммоль/мин. Если молярная масса фермента 52 000 г/моль, какова молярная активность фермента?

16. После инкубации с п-хлормеркурийбензоатом связывание фермента с субстратом не изменилось по сравнению с необработанным ферментом, но каталитическая активность фермента уменьшилась на 40%. Какой вывод можно сделать из этого наблюдения?

17. Измеряли кинетику ферментативной реакции в зависимости от концентрации субстрата в присутствии или в отсутствие ингибитора. Были получены следующие данные:

[S], Моль	Скорость реакции, мкмоль/мин	
	без ингибитора	с ингибитором
$0,3 \cdot 10^{-5}$	10,4	4,1
$0,5 \cdot 10^{-5}$	14,5	6,4

$1,0 \cdot 10^{-5}$	22,5	11,3
$3,0 \cdot 10^{-5}$	33,8	22,6
$9,0 \cdot 10^{-5}$	40,5	33,8

Чему равны  $K_M$  и  $V_{max}$  в отсутствие ингибитора и в присутствии его? б) Каков тип ингибирования?

18. Внутриклеточная концентрация ферментов. Чтобы оценить в первом приближении фактическую концентрацию ферментов бактериальной клетке, предположим, что она содержит 1000 разных ферментов, растворенных в цитозоле. Мы можем сильно упростить задачу, предположив, что молекулярная масса каждого из них составляет 100000 и что все 1000 ферментов присутствуют в одинаковой концентрации. Рассчитайте среднюю молярную концентрацию ферментов в такой гипотетической клетке, исходя из следующих условий: в бактериальной клетке (она представляет собой цилиндр диаметром 1 мкм и высотой 2 мкм) цитозоль (удельный вес 1,20) содержит 20% (по весу) растворимого белка и весь этот растворимый белок полностью состоит из различных ферментов.

19. Активный центр ферментов обычно представляет собой «карман» на поверхности фермента, выстланный боковыми цепями аминокислот, необходимыми для связывания субстрата и его химического превращения. Молекула карбоксипептидазы состоит из одной полипептидной цепи (307 аминокислотных остатков). Три главные каталитические группы в активном центре - это аргинин 145, тирозин 248 и глутаминовая кислота 270.

а) Объясните, каким образом эти три аминокислоты, расположенные так далеко друг от друга в полипептидной цепи, могут катализировать реакцию, участники которой занимают пространство размером в несколько десятых долей нанометра.

б) Если в процессе гидролиза участвуют только эти три каталитические группы, для чего ферменту необходимо иметь так много аминокислотных остатков?

20. Рассчитать, при какой концентрации субстрата фермент, для которого максимальная скорость превращения субстрата составляет 30 ммоль/мин • мг, а величина  $K_M$  равна 0,005 Моль, будет работать со скоростью, равной 1/4 максимальной? Определите, какую долю  $V_{max}$  составит скорость реакции при концентрациях субстрата, равных 1/2  $K_M$ ,  $2K_M$  и  $10 K_M$ .

21. Карбоангидраза эритроцитов, имеющая молекулярную массу 30000, - один из самых активных ферментов. Рассчитайте число оборотов этого фермента, если при оптимальных условиях 10 мкг чистой карбоангидразы катализируют гидратацию 0,30 г  $CO_2$  в 1 мин при 37°C.

22. Гидролиз ацетилхолина катализируется ферментом ацетилхолинэстеразой, число оборотов которой составляет 25000 с<sup>-1</sup>. Сколько времени потребуется ферменту для расщепления одной молекулы ацетилхолина?

23. Сравните специфичность действия двух групп пептидаз – пищеварительного тракта и свертывающей системы крови. В каком случае специфичность выше?

24. В среде находится аллостерический фермент и его ингибитор. В результате специфической обработки (не влияющей на третичную структуру) фермент диссоциирует на субъединицы. Изменится ли при этом его активность? Если да, то как?

25. Фермент триглицеринлипаза в жировой ткани может находиться в двух формах с различной активностью: в виде простого белка и фосфопротеина. Объясните, каким путем одна форма фермента переходит в другую? Почему этот переход сопровождается изменением активности фермента?

26. Высокие концентрации субстрата могут ускорять собственную утилизацию. За счёт чего это происходит?

27. Раствор, содержащий высокомолекулярные вещества различной природы (полисахариды, белки, нуклеиновые кислоты), проявляет каталитическую активность по отношению к какой-либо определенной реакции. Природа катализатора неизвестна. Установлено, что он обладает следующими свойствами: а) снижает энергию активации; б) ускоряет прямую и обратную реакции; в) обладает высокой специфичностью; г) ускоряет момент достижения равновесия, не сдвигая его; д) прекращает каталитическое действие после добавления в раствор вещества, разрушающего пептидные связи. Какие из свойств служат прямым доказательством белковой природы катализатора?

28. Ферментами аденилатциклазной системы являются: аденилатциклаза, фосфодиэстераза, протеинкиназа, протеинфосфатаза. К каким классам относятся перечисленные ферменты?

## Описание технологии проведения

Практико-ориентированные задачи обучающиеся разбирают и решают на лабораторных занятиях по дисциплине.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Четкое понимание сути задачи и пути ее решения. Доказательства проведены на основе знания физических законов. Ответ самостоятельный, при ответе использованы знания, приобретённые ранее. Твёрдые практические навыки.	<i>Отлично</i>
Общее понимание сути задачи и пути ее решения. Ответ самостоятельный. Материал изложен неполно, допущены неточности при формулировании выводов и использовании терминов. Практические навыки нетвёрдые.	<i>Хорошо</i>
Фрагментарное понимание сути задачи и пути ее решения. Определения и понятия даны не чётко. Допущены ошибки при промежуточных математических выкладках в выводах. Неумение использовать знания полученные ранее. Практические навыки слабые.	<i>Удовлетвори-тельно</i>
Отсутствие понимание сути задачи и пути ее решения. Не даны ответы на дополнительные вопросы преподавателя. Допущены грубые ошибки в определениях. Нет практических навыков в использовании материала.	<i>Неудовлетвори-тельно</i>

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Перечень вопросов к экзамену:

1. Строение аминокислот. Физико-химические свойства аминокислот. Стереохимия аминокислотных остатков. L- и D-аминокислоты.
2. Механизмы регуляции активности ферментов. Типы регуляции метаболических путей. Каскады ферментативных реакций.
3. Первичная структура белка. Пептидная группа. Пептидная связь и ее свойства. Валентные связи и углы между ними. Ван-дер-ваальсово взаимодействие. Разрешенные конформации аминокислотного остатка (карты Рамачандрана). Мезомерия пептидной связи.
4. Классификация ферментов.
5. Вторичная структура полипептидов. Спирали:  $2_7$ ,  $3_{10}$ ,  $\alpha$ , poly(Pro). Антипараллельная и параллельная  $\beta$ -структура.  $\beta$ -изгибы.
6. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Методы расчета каталитических констант.
7. Структурные мотивы молекул белков.
8. Влияние ингибиторов на кинетику ферментативных реакций. Типы ингибирования. Неконкурентное ингибирование.
9. Домены. Роль доменов в пространственной организации молекул ферментов.
10. Активаторы и либераторы ферментов.
11. Фибриллярные, мембранные, глобулярные белки: особенности пространственной организации, функции.
12. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Отклонение от уравнения Михаэлиса-Ментен.
13. Принципы пространственной организации молекул ферментов, проблема сворачивания полипептидной цепи в нативную конформацию.
14. Особенности каталитического действия ферментов. Единицы ферментативной активности. Факторы, определяющие активность ферментов.
15. Принципы организации третичной структуры белка. Модель "хребты и лоцины". Требования к топологии  $\alpha$ -,  $\beta$ -структурных доменов и неупорядоченных участков. Роль квазислучайных и редких последовательностей в стабилизации глобулы.
16. Механизмы регуляции активности ферментов. Адсорбционная регуляция активности ферментов. Понятие о компартиментализации. Метаболон.
17. Модели белковой глобулы. Квазикристаллическая модель. Модель армированной капли.

18. Механизмы регуляции активности ферментов. Ассоциативно-диссоциативный механизм регуляции. Ковалентная модификация белков.

19. Самоорганизация белковых молекул. Спонтанная самоорганизация. Краудинг. Роль шаперонов в фолдинге белков. Парадокс Левинталя. Термодинамические аспекты фолдинга белков.

20. Механизмы регуляции активности ферментов. Изостерическая и аллостерическая регуляция. Кооперативный эффект.

21. Четвертичная структура белка. Роль четвертичной структуры в стабилизации молекулы фермента и регуляции активности ферментов.

22. Условия, необходимые для протекания химической реакции. Энергия активации реакции. Способы увеличения скорости химической реакции. Понятие о катализе. Сущность действия катализаторов.

23. Строение аминокислот. Биологическая роль D-аминокислот. Заменяемые и незаменимые аминокислоты.

24. Активный центр ферментов. Термодинамические аспекты ферментативного катализа.

25. Классификация аминокислот. Константа ионизации. Изоэлектрическая точка.

26. Влияние ингибиторов на кинетику ферментативных реакций. Типы ингибирования. Конкурентное ингибирование

### Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация по дисциплине "Физика ферментов" проводится в форме устного экзамена. Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя 2 теоретических вопроса, позволяющих оценить уровень полученных знаний и 1 практическое задание (задачу), позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков. На подготовку ответа дается 45 минут.

### Пример контрольно-измерительных материалов для промежуточной аттестации (экзамен)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
биофизики и биотехнологии  
  
В.Г. Артюхов  
21.03.2022 г.

Направление подготовки 06.03.01 Биология

Дисциплина Б.1.В.04 Физика ферментов

Форма обучения очная

Вид контроля экзамен

Вид аттестации промежуточная

#### Контрольно-измерительный материал № 1

1. Строение аминокислот. Физико-химические свойства аминокислот. Стереохимия аминокислотных остатков. L- и D-аминокислоты.

2. Механизмы регуляции активности ферментов. Типы регуляции метаболических путей. Каскады ферментативных реакций.

3. Какая из приведенных ниже последовательностей может кодировать фибриллу из перевитых  $\alpha$ -спиралей, фибриллу коллагена,  $\beta$ -структурный фибриллярный белок:

а) Gly - Ala - Gly - Thr - Gly - Ala - Gly - Thr - Gly - Ala;

б) Gly - Ala - Pro - Gly - Pro - Pro - Gly - Thr - Pro - Gly - Ala - Pro - Gly - Pro - Pro;

в) Gly - Ala - Glu - Ser - Leu - Gly - Asn - Gly - Gly - Ala - Glu - Ser - Leu - Gly - Asn - Gly - Ala

Преподаватель



Е.А. Калаева

### Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Полно раскрыто содержание материала в объёме программы. Чётко и правильно даны определения и раскрыто содержание. Доказательства проведены на основе знания физических законов. Ответ самостоятельный, при ответе использованы знания, приобретённые ранее. Твёрдые практические навыки.	<i>Отлично</i>
Раскрыто основное содержание материала. В основном правильно даны определения, понятия. Ответ самостоятельный. Материал изложен неполно, допущены неточности при формулировании выводов и использовании терминов. Практические навыки нетвёрдые.	<i>Хорошо</i>
Усвоено основное содержание материала, но изложено фрагментарно, не всегда последовательно. Определения и понятия даны не чётко. Допущены ошибки при промежуточных математических выкладках в выводах. Неумение использовать знания полученные ранее. Практические навыки слабые.	<i>Удовлетворительно</i>
Основное содержание учебного материала не раскрыто. Не даны ответы на дополнительные вопросы преподавателя. Допущены грубые ошибки в определениях. Нет практических навыков в использовании материала.	<i>Неудовлетворительно</i>

### Примерные темы курсовых работ

1. Исследование структурно-функциональных свойств иммунокомпетентных клеток крови человека в условиях воздействия различных физико-химических факторов;
2. Исследование структурно-функциональных свойств свободных и мембрансвязанных белков крови человека в условиях УФ-облучения и различного микроокружения;
3. Исследование биофизических аспектов апоптоза клеток крови человека, индуцированного воздействием физико-химических факторов;
4. Исследование механизмов трансдукции внешнего сигнала в лимфоцитарные клетки человека в условиях воздействия физико-химических факторов;
5. Исследование влияния УФ-света на интенсивность гликолиза и энергетический обмен в митохондриях иммуноцитов;
6. Исследование изменений физико-химических и структурно-функциональных характеристик компонентов системы крови мышей-опухоленосителей и клеток асцитной карциномы Эрлиха в условиях фотодинамического воздействия;
7. Исследование биофизических основ оксидативного стресса;
8. Исследование структурно-функциональных изменений молекул транспортных белков крови, индуцированных вакуумным УФ-излучением;
9. Исследование физико-химических свойств гомогенных и гетерогенных катализаторов на основе инулиназы и липазы;
10. Исследование механизмов действия наночастиц и токсинов на биологические системы с привлечением молекулярного моделирования;
11. Исследование структурно-функциональных свойств гемоглобина человека, модифицированного воздействием физико-химических факторов различной природы;
12. Компьютерное моделирование биофизических систем и процессов.

### Описание технологии проведения

Курсовая работа выполняется в течение 4 семестра в соответствии с планом и графиком под руководством научного руководителя. Курсовая работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к курсовым и выпускным квалификационным работам, подписана исполнителем, научным руководителем и

заведующим кафедрой. Защита курсовой работы проходит на заседании кафедры в конце семестра и является частью промежуточной аттестации. Обучающийся докладывает основные результаты своего научного исследования. Доклад сопровождается презентацией. Время, отводимое на доклад, составляет 7-10 минут. По окончании доклада обучающийся отвечает на вопросы. По результатам защиты выставляется оценка по 4-балльной шкале.

#### **Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)**

Для оценивания результатов защиты курсовой работы используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Основными критериями оценки курсовой работы являются:

- актуальность и научная значимость темы исследования, уровень грамотности при их обосновании;
- уровень теоретико-практического анализа рассматриваемой проблемы (ситуации);
- полнота описания характеристик объекта исследования в рамках поставленной цели и решаемых задач;
- наличие взаимосвязи между частями исследования, логической последовательности и системности изложения материала;
- уровень проведения экспериментальных исследований (точность количественных измерений, репрезентативность выборки);
- адекватность и соответствие выводов, представленных в работе, полученным результатам, сформулированной цели и задачам исследования;
- степень полноты охвата информационных источников по теме работы, качественный уровень анализа и обобщения информации;
- качество интерпретации решаемой задачи с точки зрения современной научной парадигмы, применение актуальных и адекватных поставленным задачам методов исследования;
- степень самостоятельности выполнения курсовой работы и уровень аргументированности суждений при изложении собственного мнения по изучаемому вопросу (проблеме или объекту);
- уровень оформления текста курсовой работы и презентационных материалов при ее защите;
- степень правильности ответов на дополнительные вопросы.