

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 14 » июня 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Основы моделирования технологических процессов  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 144 (4)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 19.04.01 Биотехнология  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Ресурсо- и энергосберегающие экобиотехнологии  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цели: Формирование профессиональных знаний, умений и навыков в области моделирования биотехнологических процессов, усвоение методических основ расчёта кинетических, массообменных и гидродинамических параметров процессов биотехнологии.

Задачи:

- изучение методов моделирования биотехнологических процессов;
- изучение математических моделей биотехнологических процессов;
- изучение подходов к масштабированию биореакторов;
- изучение математического описания кинетики биопроцессов;
- изучение математического описания массопереноса и гидродинамики в биореакторах;
- формирование умения составлять простейшие математические модели биотехнологических процессов;
- формирование навыков нахождения решения математических моделей биотехнологических процессов.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- методы математического описания биотехнологических процессов;
- математические модели биотехнологических процессов.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-2	ИД-1ОПК-2	Знает основы современных информационно-коммуникационных технологий, научные приборы и оборудование, используемые при научных исследованиях и разработках в области биотехнологии, методы автоматизации при проведении экспериментов и обработке экспериментальных данных, методы математического моделирования биотехнологических процессов;	Знает основы современных информационно-коммуникационных технологий, научные приборы и оборудование, используемые при научных исследованиях и разработках в области биотехнологии, методы автоматизации при проведении экспериментов и обработке экспериментальных данных, методы математического моделирования биотехнологических процессов;	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-2	ИД-2ОПК-2	Умеет применять современные информационно-коммуникационные технологии, специализированные программы, новейшие методы и технику исследований в области биотехнологий;	Умеет применять современные информационно-коммуникационные технологии, специализированные программы, новейшие методы и технику исследований в области биотехнологий;	Экзамен
ОПК-2	ИД-3ОПК-2	Владеет навыками использования современных информационно-коммуникационных технологий, новейших методов и техники исследований в рамках профильной деятельности в области биотехнологии.	Владеет навыками использования современных информационно-коммуникационных технологий, новейших методов и техники исследований в рамках профильной деятельности в области биотехнологии.	Экзамен
ОПК-5	ИД-1ОПК-5	Знает принципы обоснования, планирования и разработки инновационных биотехнологий, методы оценки экономической эффективности технологических процессов в области биотехнологии	Знает принципы обоснования, планирования и разработки инновационных биотехнологий, методы оценки экономической эффективности технологических процессов в области биотехнологии	Экзамен
ОПК-5	ИД-2ОПК-5	Умеет использовать методы математического моделирования и возможности современной компьютерной техники при разработке инновационных биотехнологий, проводить разработку новых технологий с учетом их технико-экономического обоснования	Умеет использовать методы математического моделирования и возможности современной компьютерной техники при разработке инновационных биотехнологий, проводить разработку новых технологий с учетом их технико-экономического обоснования	Экзамен
ОПК-5	ИД-3ОПК-5	Владеет навыками применения инновационных решений при совершенствовании существующих и разработке новых	Владеет навыками применения инновационных решений при совершенствовании существующих и разработке новых	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		биотехнологий с учетом экономических, социальных и экологических ограничений	биотехнологий с учетом экономических, социальных и экологических ограничений	

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	44	44	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	24	24	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	64	64	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
1-й семестр				
Введение	1	0	0	0
Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины. Современный этап развития моделирования в биотехнологии.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Теоретические основы моделирования биотехнологических процессов	8	0	10	32
Методы моделирования и область их применения. Основные принципы построения и решения математических моделей. Моделирование роста и отмирания микроорганизмов в биохимических реакторах. Моделирование биосинтеза продуктов и потребления субстратов. Оптимизация ферментационных сред и условий ведения биотехнологического процесса. Методы оценки кинетических констант биотехнологических процессов.				
Моделирование и масштабирование биотехнологических процессов	8	0	14	32
Физико-химические особенности ферментационных сред. Модели структуры потоков в биореакторах. Гидродинамика газожидкостных потоков в биореакторах. Моделирование процессов массопереноса в биореакторах. Моделирование процессов биокатализа с участием ферментов.				
Заключение	1	0	0	0
Состояние и перспективы развития математического моделирования процессов биотехнологии – общие выводы на основе теоретического материала лекций, материала практических занятий и информации, полученной в ходе самостоятельной работы студентов.				
<b>ИТОГО по 1-му семестру</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>64</b>
<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>64</b>

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Методы решения математической модели
2	Проверка математической модели на адекватность
3	Построение модели биосинтеза продукта и потребления субстрата
4	Оптимизация ферментационных сред и условий ведения процесса с использованием экспериментального метода моделирования.
5	Идентификация биокинетических констант
6	Определение физико-химических характеристик ферментационной среды с использованием корреляционных зависимостей.
7	Методы исследования структуры потоков в биореакторах

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
8	Расчёт мощности, необходимой на перемешивание в биореакторе
9	Расчёт коэффициента массопередачи кислорода в биореакторе
10	Методы масштабирования в биотехнологии
11	Моделирование ферментативного процесса в биореакторе

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Бирюков В. В. Основы промышленной биотехнологии : учебное пособие для вузов / В. В. Бирюков. - М.: КолосС, Химия, 2004.	86

2	Варфоломеев С. Д. Биокинетика : практический курс : учебное пособие для вузов / С. Д. Варфоломеев, К. Г. Гуревич. - Москва: ФАИР-ПРЕСС, ГРАНД, 1999.	46
3	Чхенкели В. А. Биотехнология : учебное пособие / В. А. Чхенкели. - Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2014.	4
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов / В.Н. Ашихмин [и др.]. - М: Логос, 2005.	31
2	Гумеров А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие / А. М. Гумеров. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2014.	11
3	Кафаров В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств : учебное пособие для академического бакалавриата / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. - Москва: Юрайт, 2019.	2
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Биотехнология : теоретический и научно-практический журнал / Академия биотехнологии. - Москва: Академия биотехнологии, 1985 - .	1
2	Микробиология : журнал / Российская академия наук. Отделение биологических наук. - Москва: Наука, 1932 - .	1
3	Прикладная биохимия и микробиология : журнал / Российская академия наук. Отделение биологических наук. - Москва: Наука, 1965 - .	1
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
1	Мошев Е. Р. Моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие / Е. Р. Мошев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006.	10
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	А.А. Туганбаев, В.Г. Крупин. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]: учеб. пособие - СПб.: Лань, 2011. - 320 с.	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=652">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=652</a>	локальная сеть; свободный доступ

### **6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 8.1 (подп. Azure Dev Tools for Teaching )
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Электронно-библиотечная система ЮРАЙТ	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	<a href="http://www.diss.rsl.ru/">http://www.diss.rsl.ru/</a>

### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Мультимедиа-проектор, компьютер, экран, доска	1
Практическое занятие	компьютер	10

### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**Пермский национальный исследовательский политехнический университет**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Основы моделирования технологических процессов»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	19.04.01 «Биотехнология»
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	«Ресурсо- и энергосберегающие экобиотехнологии»
<b>Квалификация выпускника:</b>	Магистр
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Оборудование и автоматизация химических производств
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс: 1</b>	<b>Семестр: 1</b>
<b>Трудоёмкость:</b>	
Кредитов по рабочему учебному плану:	4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	144 ч.
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	
Экзамен:	1 семестр

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (1-го семестра учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В первом модуле – «Методы моделирования и области их применения», предусмотрены аудиторские лекционные занятия и самостоятельная работа студентов. Во 2-м – «Типовые гидродинамические модели потока», 3-м – «Основы статистического анализа эксперимента» и 4-м модулях – «Планирование эксперимента», предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов лабораторных работ и экзамена.

Таблица 1.1 Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	ТК		ПК		Экзамен
	С	ТО	ОЛР	ТВ	
В результате освоения дисциплины студент					
<b>Знает:</b>					
– преимущества и недостатки физического и математического видов моделирования;	С				ТВ
– способы получения математических моделей биотехнологических процессов;		ТО			ТВ
– основные гидродинамические модели структуры потока в биореакторах;		ТО			ТВ
– основы статистического анализа биотехнологических экспериментов и методы проверки моделей на адекватность;		ТО			ТВ
– методы планирования многофакторных биотехнологических экспериментов;		ТО			ТВ
– методы обработки результатов многофакторных биотехнологических экспериментов;		ТО			ТВ
– способы оптимизации биотехнологических экспериментов;		ТО			ТВ
<b>Умеет:</b>					
– выбирать соответствующий структуре потока в биореакторе тип модели;			ОЛР	ТВ	ПЗ
– составлять алгоритмы решения математических моделей биотехнологических процессов;			ОЛР	ТВ	ПЗ
– находить оптимальные условия протекания биотехнологических процессов;			ОЛР	ТВ	ПЗ
– проверять полученные модели на адекватность;			ОЛР	ТВ	ПЗ
<b>Владеет:</b>					

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	ТК		ПК		Экза- мен
	С	ТО	ОЛР	ТВ	
– навыками физического и математического моделирования процессов отрасли;			ОЛР	ТВ	КЗ
– навыками математического планирования экспериментов для создания моделей биотехнологических процессов;			ОЛР	ТВ	КЗ
– навыками работы с программными средствами автоматизации математических расчётов.			ОЛР	ТВ	КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание экзамена; КЗ – комплексное задание экзамена.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и промежуточного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учёбе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчётов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретённых владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 5 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Запланировано 4 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю – «Методы моделирования и области их применения», вторая КР по модулю – «Типовые гидродинамические модели потока», третья КР – по модулю «Основы статистического анализа эксперимента» четвёртая КР – по модулю «Планирование эксперимента».

#### **Типовые задания первой КР:**

1. Физическое моделирование (ФМ) и его сущность.
2. Теория подобия как научная основа физического моделирования.
3. Преимущества и недостатки ФМ.
4. Примеры физических моделей.
5. Математическое моделирование и его сущность.
6. Что такое математическая модель.
7. Преимущества и недостатки математического моделирования.

#### **Типовые задания второй КР:**

1. Область применения и требования, предъявляемые к модели ИП.
2. Математическое описание и отклики модели ИП на типовые возмущения.
3. Область применения и требования, предъявляемые к модели ИВ.
4. Математическое описание и отклики модели ИВ на типовые возмущения.
5. Область применения и требования, предъявляемые к ЯМ.
6. Математическое описание и отклики ЯМ на типовые возмущения.
7. Область применения и требования, предъявляемые к ЯМР.
8. Математическое описание и отклики ЯМР на типовые возмущения.
9. Область применения и требования, предъявляемые к ДМ.
10. Математическое описание и отклики ДМ на типовые возмущения.
11. Параметры ДМ и их экспериментальное определение. Решения ДМ.

#### **Типовые задания третьей КР:**

1. Случайные величины и законы распределения (Равномерное, Нормальное, Стюдента).
2. Определение квантилей по функции нормального распределения случайной величины.
3. Дисперсия, среднее квадратическое отклонение, доверительные интервалы и доверительная вероятность.
4. Адекватность и методы её оценки.

#### **Типовые задания четвёртой КР:**

1. Выбор области проведения биотехнологического эксперимента.
2. Построение плана полного факторного эксперимента первого порядка.
3. Построение плана полного факторного эксперимента второго порядка.
4. Общий вид уравнений регрессии и методика определения их коэффициентов.

### 2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретённых владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

#### 2.3.1. Типовые вопросы и задания по дисциплине

Типовые вопросы для **контроля усвоенных знаний:**

1. Назвать преимущества и недостатки физического и математического видов моделирования.
2. Перечислить способы получения математических моделей и область их применения.
3. Назвать основные гидродинамические модели структуры потока.
4. Перечислить требования к индикаторам. Виды индикаторов, применяемых для исследования структуры потока в аппарате.
5. Методы проверки адекватности моделей.
6. Написать уравнение регрессии 1-го (2-го) порядка.
7. Привести геометрическую интерпретацию плана эксперимента 1-го (2-го) порядка.

Типовые вопросы для **контроля усвоенных умений:**

1. Рассчитать адекватность математической модели.
2. По результатам исследования структуры потока индикаторным методом рассчитать среднее время пребывания частиц потока в аппарате.
3. Составить модель структуры потока для аппарата идеального перемешивания.
4. Составить матрицу планирования 2-х факторного эксперимента 1-го (2-го) порядка.

Типовые вопросы для **контроля приобретённых владений:**

1. Составить математическую модель процесса теплообмена в теплообменнике кожухотрубчатого типа.
2. Составить математическую модель процесса теплообмена в теплообменнике типа труба в трубе.
3. На основе методов математического моделирования рассчитать поверхность

теплообмена в теплообменнике типа труба в трубе.

4. Построить математическую модель биореактора идеального перемешивания.

5. Построить математическую модель биореактора идеального вытеснения.

### **2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учётом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведённые в общей части ФОС образовательной программы.

