

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

« 18 » июля 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:** Биотехнология в освоении экономики замкнутого цикла  
(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-1 ОПК-2	Знает специализированное программное обеспечение и базы данных в области биотехнологии, имеет представление об элементах искусственного интеллекта применительно к решению задач профессиональной деятельности	Знает специализированное программное обеспечение и базы данных в области биотехнологии, имеет представление об элементах искусственного интеллекта применительно к решению задач профессиональной деятельности	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-2 ОПК-2	Умеет использовать специализированное программное обеспечение, базы данных, адаптировать программные продукты и элементы искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности	Умеет использовать специализированное программное обеспечение, базы данных, адаптировать программные продукты и элементы искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности	Отчёт по практическом у занятию
ОПК-2	ИД-3 ОПК-2	Владеет навыками работы с базами данных, программным обеспечением и известными программными продуктами в области биотехнологий, навыками применения элементов искусственного интеллекта для решения профессиональных задач	Владеет навыками работы с базами данных, программным обеспечением и известными программными продуктами в области биотехнологий, навыками применения элементов искусственного интеллекта для решения профессиональных задач	Отчёт по практическом у занятию
ОПК-3	ИД-1 ОПК-3	Знает алгоритмы, методы разработки специализированных компьютерных программ для решения задач профессиональной деятельности.	Знает алгоритмы, методы разработки специализированных компьютерных программ для решения задач профессиональной деятельности.	Экзамен
ОПК-3	ИД-2 ОПК-3	Умеет составлять алгоритмы, вести разработку соответствующих специализированных программ для решения конкретных задач в области профессиональной деятельности	Умеет составлять алгоритмы, вести разработку соответствующих специализированных программ для решения конкретных задач в области профессиональной деятельности	Отчёт по практическом у занятию
ОПК-3	ИД-3 ОПК-3	Владеет навыками разработки алгоритмов, участия в разработке соответствующих компьютерных программ и последующего использования в области биотехнологий	Владеет навыками разработки алгоритмов, участия в разработке соответствующих компьютерных программ и последующего использования в области биотехнологий	Отчёт по практическом у занятию

### 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.				
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.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
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.				
ИТОГО по 1-му семестру	18	0	24	64
ИТОГО по дисциплине	18	0	24	64

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Методы построения и решения моделей процессов биотехнологии.
2	Типовые модели структуры потока в оборудовании для осуществления биотехнологических процессов. Методы исследования структуры потока в биореакторах.
3	Применение методов математической статистики для определения адекватности моделей биотехнологических процессов.
4	Построение модели биосинтеза продукта и потребления субстрата.
5	Идентификация биокинетических констант.
6	Определение физико-химических характеристик ферментационной среды с использованием корреляционных зависимостей.
7	Математическое планирование многофакторных экспериментов. Факторы и параметры оптимизации эксперимента.
8	Расчёт коэффициента массопередачи кислорода в биореакторе.
9	Методы оптимизации ферментационных сред и условий ведения процессов с помощью эксперимента.
10	Методы масштабирования в биотехнологии.
11	Моделирование ферментативного процесса в биореакторе.
12	Основы теории искусственного интеллекта и модели баз данных.

## 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, лабораторным работам 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. М. : КолосС : Химия, 2004. 295 с.	86
2	Варфоломеев С. Д., Гуревич К. Г. Биокинетика : практический курс учебное пособие для вузов. Москва : ФАИР-ПРЕСС : ГРАНД, 1999. 716 с.	45
3	Чхенкели В. А. Биотехнология : учебное пособие. Санкт-Петербург : Проспект Науки, 2014. 335 с. 21 усл. печ. л.	4
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		

1	Беккер В. Ф. Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии : учебное пособие для вузов / В. Ф. Беккер. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010.	10
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 вузов / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. - Москва: Высш. шк., 1991.	18
4	Кутепов А. М. Общая химическая технология : учебник для вузов / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. - М.: Академкнига, 2007.	50
5	Самойлов Н. А. Примеры и задачи по курсу Математическое моделирование химико-технологических процессов. : учебное пособие / Н. А. Самойлов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2013.	5
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник компьютерных и информационных технологий : ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Издательство Машиностроение. - Москва: Машиностроение, 2004 - .	1
2	Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. З. Пойлова ; Под ред. В. Ю. Петрова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 - .	1
3	Прикладная информатика : научно-практический журнал / Маркет ДС Корпорейшн. - Москва: Маркет ДС Корпорейшн, 1992 - .	1
4	Теоретические основы химической технологии / И. П. Мухленов [и др.]. - Москва: Альянс, 2016. - (Общая химическая технология : учебник для вузов : в 2 частях; Ч. 1).	1
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
1	Закгейм А. Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. Ю. Закгейм. - Москва: Логос, 2017.	16
2	Мошев Е. Р. Моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие / Е. Р. Мошев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006.	2
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
1	Ахназарова С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии : учебное пособие / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. - Москва: Высш. шк., 1978.	3

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Гумеров А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов / Гумеров А. М. - Санкт-Петербург: Лань, 2014.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan41014">http://elib.pstu.ru/Record/lan41014</a>	локальная сеть; свободный доступ
Основная 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	Windows 10 (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>
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, экран, доска, компьютер	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>	Биотехнология в освоении экономики замкнутого цикла
<b>Квалификация выпускника:</b>	Магистр
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Химия и биотехнология
<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>	<b>Экзамен: 1 семестр</b>

**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 приобретённых владений осуществляется в рамках текущего и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчётов лабораторных работ и экзамена.

Таблица 1.1 Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий		Рубежный		Экзамен
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	
В результате освоения дисциплины студент					
<b>Знает:</b>					
– преимущества и недостатки физического и математического видов моделирования;	С			КР1	ТВ
– способы получения математических моделей биотехнологических процессов;		ТО			ТВ
– основные гидродинамические модели структуры потока в биореакторах;		ТО		КР2	ТВ
– основы статистического анализа биотехнологических экспериментов и методы проверки моделей на адекватность;		ТО		КР3	ТВ
– методы планирования многофакторных биотехнологических экспериментов;		ТО		КР4	ТВ
– методы обработки результатов многофакторных биотехнологических экспериментов;		ТО		КР4	ТВ
– способы оптимизации биотехнологических экспериментов;		ТО		КР4	ТВ
<b>Умеет:</b>					
– выбирать соответствующий структуре потока в биореакторе тип модели;			ОЛР1-4	КР2	ПЗ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				Экзамен
	Текущий		Рубежный		
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	
– составлять алгоритмы решения математических моделей биотехнологических процессов;			ОЛР1-6		ПЗ
– находить оптимальные условия протекания биотехнологических процессов;			ОЛР6		ПЗ
– проверять полученные модели на адекватность;			ОЛР6		ПЗ
<b>Владеет:</b>					
– навыками физического и математического моделирования процессов отрасли;			ОЛР1-6		КЗ
– навыками математического планирования экспериментов для создания моделей биотехнологических процессов;			ОЛР6	КР4	КЗ
– навыками работы с программными средствами автоматизации математических расчётов.			ОЛР1-6		КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчёт по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); 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 учётом 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, освоенных 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 идеального перемешивания (ИП).
2. Математическое описание и отклики модели ИП на типовые возмущения.
3. Область применения и требования, предъявляемые к модели идеального вытеснения (ИВ).
4. Математическое описание и отклики модели ИВ на типовые возмущения.
5. Область применения и требования, предъявляемые к ячеечной модели (ЯМ).
6. Математическое описание и отклики ЯМ на типовые возмущения.
7. Область применения и требования, предъявляемые к ячеечной модели с рециркуляцией (ЯМР).
8. Математическое описание и отклики ЯМР на типовые возмущения.
9. Область применения и требования, предъявляемые к диффузионной модели (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, Стьюдента).
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.

**Пример билета для экзамена**

15.04.02 «Технологические машины и оборудование»

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГАОУ ВО  
«Пермский национальный  
исследовательский политехнический  
университет» (ПНИПУ)**

**Кафедра  
«Оборудование и автоматизация химических  
производств»**

Дисциплина  
**Основы моделирования технологических процессов**

**БИЛЕТ № \_\_**

1. Параметры модели биореактора идеального перемешивания (ИП) и способы их экспериментального определения. Решения модели ИП.
2. Составить алгоритм решения модели ИП.
3. По заданным исходным данным аппарата и процесса подобрать тип модели биореактора и определить её параметры.

Составитель \_\_\_\_\_ Е.Р. Мошев  
(подпись)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Р. Мошев  
(подпись)

«    » \_\_\_\_\_ 20    г.