



## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

приобретение студентами знаний и навыков применения методологических основ моделирования сложных систем и проведения вычислительных экспериментов

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

изучение сущности методов моделирования, применяемых при системных исследованиях, методологических основ имитационного моделирования сложных систем и методов моделирования случайных факторов, основ применения существующих аппаратно-программных средств для проведения вычислительных экспериментов, принципов моделирования и основных требований, предъявляемых к моделям сложных систем;

овладение в комплексе научно-методическим аппаратом моделирования сложных систем и планирования вычислительного эксперимента, методами постановки задач системного исследования, формализации исходной информации, разработки имитационной модели с использованием существующих аппаратно-программных средств, подготовки и обработки исходных данных для системного моделирования, планирования вычислительного эксперимента; знакомство с классификацией методов моделирования и моделей сложных систем, существующими методологическими подходами к построению моделей, методами получения наблюдений при моделировании сложных систем, повышения качества оцениваемых показателей.

### 1.3. Входные требования

При изложении дисциплины полностью используются подходы и методы, ранее изложенные в курсах концепции современного естествознания, исследования операций

## 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-3	ИД-1ОПК-3	Знает особенности математического моделирования сложных систем, а также методы вычислительной математики при решении соответствующих научных и прикладных задач	Знает особенности применения методов математического моделирования, а также методов вычислительной математики при решении научных и прикладных задач.	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-3	ИД-21ОПК-0	Умеет создавать математические модели сложных систем и использовать их в научной и познавательной деятельности, обосновывать применение методов вычислительной математики в научной и познавательной деятельности	Умеет создавать математические модели и использовать их в научной и познавательной деятельности, обосновывать применение методов вычислительной математики в научной и познавательной деятельности	Творческое задание
ОПК-3	ИД-31ОПК-0	Владеет навыками профессиональными навыками создания и использования в научной и познавательной деятельности математических моделей сложных систем, а также методов вычислительной математики.	Владеет навыками профессиональными навыками создания и использования в научной и познавательной деятельности математических моделей, а также методов вычислительной математики.	Творческое задание
УК-2	ИД-1УК-2	Знает методы представления и описания результатов проектной деятельности для сложных систем; методы, критерии и параметры оценки результатов выполнения проекта; принципы, методы и требования, предъявляемые к проектной работе.	Знает методы представления и описания результатов проектной деятельности; методы, критерии и параметры оценки результатов выполнения проекта; принципы, методы и требования, предъявляемые к проектной работе.	Экзамен
УК-2	ИД-2УК-2	Умеет обосновывать практическую и теоретическую значимость полученных результатов; проверять и анализировать проектную документацию; прогнозировать развитие процессов в проектной профессиональной области; выдвигать инновационные идеи и нестандартные подходы к их реализации в целях реализации проекта сложной системы;	Умеет обосновывать практическую и теоретическую значимость полученных результатов; проверять и анализировать проектную документацию; прогнозировать развитие процессов в проектной профессиональной области; выдвигать инновационные идеи и нестандартные подходы к их реализации в целях реализации проекта; рассчитывать качественные и количественные	Творческое задание

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		рассчитывать качественные и количественные результаты, сроки выполнения проектной работы.	результаты, сроки выполнения проектной работы.	
УК-2	ИД-ЗУК-2	Владеет навыками управления проектами в области, соответствующей профессиональной деятельности, в том числе: навыками распределения заданий и побуждения других к достижению целей; навыками управления разработкой технического задания проекта, управления реализацией профильной проектной работы; управления процессом обсуждения и доработки проекта; навыками разработки программы реализации проекта в профессиональной области; навыками организации проведения профессионального обсуждения проекта сложной системы, участия в ведении проектной документации; навыками проектирования план-графика реализации проекта; определения требований к результатам реализации проекта, участия в научных дискуссиях	Владеет навыками управления проектами в области, соответствующей профессиональной деятельности, в том числе: навыками распределения заданий и побуждения других к достижению целей; навыками управления разработкой технического задания проекта, управления реализацией профильной проектной работы; управления процессом обсуждения и доработки проекта; навыками разработки программы реализации проекта в профессиональной области; навыками организации проведения профессионального обсуждения проекта, участия в ведении проектной документации; навыками проектирования план-графика реализации проекта; определения требований к результатам реализации проекта, участия в научных дискуссиях	Контрольная работа

### 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:	56	56	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	36	36	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	88	88	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	180	

### 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				
Методы моделирования, применяемые при изучении сложных систем	4	0	8	12
Понятие системы. Сложности изучения систем. Основные методы моделирования сложных систем.				
Структурное моделирование и агрегаты систем	8	0	16	24
Применение структурного подхода. Модели черного, серого и белого ящика. Агрегирование и виды агрегатов. Разработка структурной модели системы				
Имитационные модели сложных систем	4	0	8	8
Знакомство с имитационным подходом в моделировании сложных систем				
Разработка модели сложной системы	0	0	4	44
Разработка собственной модели сложной системы по тематике научной работы				
ИТОГО по 1-му семестру	16	0	36	88
ИТОГО по дисциплине	16	0	36	88

## Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Разработка структурных моделей: черного, серого и белого ящика
2	Описание агрегатов модели
3	Построение имитационной модели
4	Разработка вычислительного эксперимента

### 5. Организационно-педагогические условия

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

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой 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 установления 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
-------	---	-------------------------------------

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. - Москва: Наука, 1978.	29
2	Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ : учебное пособие для вузов / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. - М.: Высш. шк., 1989.	10
3	Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. - М.: Физматлит, 2005.	14
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Николис Г. Познание сложного. Введение : пер. с англ. / Г. Николис, И. Пригожин. - Москва: УРСС, 2003.	3
2	Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов : пер. с англ. / И. Пригожин. - М.: Изд-во иностр. лит., 1960.	2
3	Таха Х.А. Введение в исследование операций : пер. с англ / Х.А.Таха. - Москва: Вильямс, 2001.	24
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<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)
Основная литература	Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов / В. Н. Ашихмин [и др.]. - Москва: Логос, 2004.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2392">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2392</a>	локальная сеть; авторизованный 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)

Вид ПО	Наименование ПО
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
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>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Видеопроектор	1
Лекция	Ноутбук	1
Практическое занятие	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	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  
«Моделирование сложных систем»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	01.04.02 Прикладная математика и информатика
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Математическое моделирование физико-механических процессов
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Магистр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Математическое моделирование систем и процессов
<b>Форма обучения:</b>	Очная

**Курс:** 1

**Семестр:** 1

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану:	5 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	180 ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Экзамен: 1 семестр

Пермь 2023

**Фонд оценочных средств** 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 1 учебного модуля. В модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические 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, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Промежуточный	
	КЗ	ТО		Т/КР	Т	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>3.1</b> знать особенности математического моделирования сложных систем, а также методы вычислительной математики при решении соответствующих научных и прикладных задач <b>3.2.</b> знать методы представления и описания результатов проектной деятельности для сложных систем; методы, критерии и параметры оценки результатов выполнения проекта; принципы, методы и требования, предъявляемые к проектной работе	КЗ	ТО1			Т	ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1.</b> уметь создавать математические модели сложных систем и использовать их в научной и познавательной деятельности, обосновывать применение методов вычислительной математики в научной и познавательной деятельности <b>У.2.</b> уметь обосновывать практическую и теоретическую значимость полученных результатов; проверять и анализировать проектную документацию; прогнозировать развитие процессов в проектной профессиональной области; выдвигать инновационные идеи и нестандартные подходы к их реализации в целях реализации проекта сложной системы;	КЗ					ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>						

<p><b>В.1</b> владеть профессиональными навыками создания и использования в научной и познавательной деятельности математических моделей сложных систем, а также методов вычислительной математики.</p> <p><b>В.2.</b> владеть навыками управления проектами в области, соответствующей профессиональной деятельности, в том числе: навыками распределения заданий и побуждения других к достижению целей; навыками управления разработкой технического задания проекта, управления реализацией профильной проектной работы; управления процессом обсуждения и доработки проекта; навыками разработки программы реализации проекта в профессиональной области; навыками организации проведения профессионального обсуждения проекта сложной системы, участия в ведении проектной документации; навыками проектирования план-графика реализации проекта; определения требований к результатам реализации проекта, участия в научных дискуссиях</p>	КЗ				Т	ПЗ
---	----	--	--	--	---	----

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена*

Итоговой оценкой достижения (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учётом результатов текущего 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 учебе 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 отчетов 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 в данном курсе предусмотрен в форме контрольных заданий. При этом студент за отведенное на занятии время должен разработать концептуальную и математическую постановку по предложенной ему содержательной постановке задачи.

### **2.4. Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска является положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

#### **2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента на практических занятиях по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС магистерской программы.

#### **2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных дисциплинарных компетенций.

#### **2.4.2.1. Типовые вопросы и практические задания для экзамена по дисциплине**

##### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Построение модели черного, серого и белого ящика.
2. Особенности построения агрегативных моделей.
3. Методика построение имитационной модели.
4. Проведение вычислительного эксперимента.

##### **Типовые практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Построить модели черного, серого и белого ящика для велосипеда
2. Построить агрегатную модель таймера времени.

##### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Привести пример дерева целей проекта по созданию компьютерной программы
2. Выполнить оценку достижимости цели проекта полета на луну.

Перечень типовых ситуационных заданий и кейсов для проверки умений и владений представлен в приложении 1 Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

#### **2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете**

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

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

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

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

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

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом 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 зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

## Приложение 1

### Типовые ситуационные задания и кейсы для проверки умений и владений

Задание № \_\_. (анализ кейс-стади)

Проверяемые результаты обучения: у1; у2; в1

Задание. Внимательно прочитайте текст предложенного кейса и ответьте на вопросы задания.

#### **Критерии оценки ситуационных заданий**

**Оценка «пять» ставится, если обучающийся осознанно излагает и оценивает суть данной ситуации, с аргументацией своей точки зрения, умеет анализировать, обобщать и предлагать верные пути решения складывающейся ситуации.**

**Оценка «четыре» ставится, если обучающийся понимает суть ситуации, логично строит свой ответ, но допускает незначительные неточности при определении путей решения.**

**Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в сущности складывающейся ситуации, но нуждается в наводящих вопросах, не умеет анализировать и не совсем верно намечает пути решения ситуации.**

**Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает суть данной ситуации, не может предложить путей ее решения, либо допускает грубые ошибки.**

#### **Ситуация 1**

Пчелы зимой не впадают в спячку, а ведут активный образ жизни (хотя и с пониженным обменом веществ). При активном движении температура пчелы в грудном отделе может подниматься до 40 градусов, но отдельная пчела во время холодов не может долго поддерживать необходимую среднюю температуру тела и погибает. Однако в улье зимой пчелы собираются в так называемый «клуб», имеющий шарообразную форму. Перемещаясь внутри клуба, меняя его размер, более или менее тесно прижимаясь друг к другу, пчелы в центральной части сохраняют постоянную температуру в 14<sup>0</sup>С и постоянную влажность. Плотность клуба неоднородна как по радиусу (снаружи плотнее), так и по вертикали (снизу плотнее для изоляции от холодного дна улья, сверху менее плотен для удаления углекислого газа и влаги).

- построить модель поведения пчелы внутри клуба;
- построить имитационную модель поведения пчел внутри клуба при отсутствии силы тяжести;
- построить модель, описывающую распределение температуры и влажности внутри пчелиного клуба при фиксированной температуре и влажности окружающего воздуха и днища улья.

#### **Ситуация 2**

Разработать математическую модель, позволяющую описать образование упорядоченных структур в сложной системе взаимодействующих между собой пингвинов в суровых условиях зимы Антарктиды. При очень низкой температуре (до -60<sup>0</sup>С) и сильных ветрах пингвины образуют вблизи берега крупные стаи и вынуждены периодически перемещаться от центра стаи к ее краю и обратно, обеспечивая возможность не замерзнуть членам стаи и выходить потомство.

- построить модель поведения отдельного пингвина;
- построить модель всей стаи.