



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

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры


А.А. Селянинов
д.т.н., профессор кафедры ВММБ

«20» «мая» 2022 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Биомеханика кровеносной системы»

Научная специальность	1.1.10. Биомеханика и биоинженерия
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Биомеханика и биоинженерия
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Вычислительная математика, механика и биомеханика (ВММБ)
Форма обучения	Очная
Курс: 3	Семестр (ы): 5
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 5 Диф.зачет

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Биомеханика кровеносной системы» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1 Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области биомеханики кровообращения.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Биомеханика кровеносной системы» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.1.10. Биомеханика и биоинженерия и выполнении научно-квалификационной работы (диссертации).

Кандидатский экзамен представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- основные уравнения механики жидкости для описания течения крови в различных элементах системы кровообращения;
- основные определяющие соотношения, описывающие механику течения крови с учетом влияния движения стенок кровеносных сосудов;
- законы механики неньютоновской жидкости;
- современные методы решения задач биомеханики кровообращения.

Уметь:

- применять методы исследования биомеханики кровообращения;
- применять уравнения движения вязкой неньютоновской жидкости;
- применять методы построения линий тока;
- осуществить математическую постановку задачи вычислительной гидродинамики течения крови с учетом влияния стенок сосуда и стента с памятью формы.

Владеть:

- методами и приёмами самостоятельного мышления при выборе математических моделей и расчетных схем для решения задач биомеханики кровообращения.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		5 семестр
1	Аудиторная работа	17
	В том числе:	
	Лекции (Л)	5
	Практические занятия (ПЗ)	6
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	6
	Самостоятельная работа (СР)	55
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Сосуды. Кровь

(Л – 2, ПР – 2, СР – 20)

Тема 1. Состав и реология крови. Биомеханика течения крови.

Ключевые слова: строение кровеносной системы; аорта; вена; капилляры; сердце; состав крови; большой и малый круги кровообращения; модели, описывающие реологию крови; ньютоновские и неньютоновские жидкости; модель Кассона; гематокрит.

Тема 2. Структурные особенности и определяющие соотношения для моделирования артериальных сосудов и вен.

Ключевые слова: медиа; адвентиция; интима; waviness; распределение коллагеновых волокон; вязкоупругие модели; гиперупругие модели; гипоупругие модели; методы определения параметров определяющих соотношений.

Раздел 2. Применение методов вычислительной гидродинамики для решения задач биомеханики кровообращения

(Л – 3, ПР – 4, СР – 35)

Тема 3. Вычислительная гидродинамика.

Явные и неявные расчётные схемы. Метод конечных элементов.

Тема 4. Решение задач биомеханики кровообращения с учётом взаимодействия «жидкость – твердое тело».

Ключевые слова: взаимодействие жидкость – твердое тело.

Тема 5. Решение задачи о течении крови в сосуде с установленным стентом с памятью формы.

Ключевые слова: стент; материалы с памятью формы.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Биомеханика течения крови.	Собеседование.	Вопросы по

		Течение крови с учётом распространения волны.	Творческое задание.	темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	2	Математические модели и определяющие соотношения для описания механического поведения сосудов.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	3	Вычислительная гидродинамика.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	4	Решение задач биомеханики кровообращения с учётом взаимодействия «жидкость – твердое тело».	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
5	5	Решение задачи о течении крови в сосуде с установленным стентом с памятью формы.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1-3	Влияние толщины стенки, осевой деформации и граничных условий на зависимость «давление – площадь сечения» в коллапсирующих трубках	Собеседование.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	3	Численное моделирование неустойчивого течения крови в двумерном коллапсирующем сосуде	Собеседование.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	5	Влияние стеноза на движение стенки – численный анализ возможного механизма развития ишемической болезни	Собеседование.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	1	Влияние неньютоновских свойств крови на течение в	Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам

		бифуркации сонной артерии		дисциплины. Темы творческих заданий.
5	2	Численное моделирование ньютоновской и неньютоновской моделей крови для графтового анастомоза дистального конца	Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
6	3	Зависимость давление – скорость жидкости в коллапсирующих трубках	Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Биомеханика кровеносной системы» аспирантам 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. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;
4. К выполнению практических заданий приступать после самостоятельной работы по изучению теоретических вопросов.

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание: (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	Biomechanics at Micro- and Nanoscale Levels / The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan; Ed. by H. Wada. – New Jersey: World Scientific, 2005-2007 (Singapore). – ISBN 978-9-8127-0814-4. – Vol. 4. – 2007. – 172 p.	1+Электронная библиотека ПНИПУ
2	Biomechanics at Micro- and Nanoscale Levels / The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan; Ed. by H. Wada. – New Jersey: World Scientific, 2005-2007 (Singapore). – ISBN 978-9-8127-0814-4. – Vol. 1. – 2005. – 173 p.	1+Электронная библиотека ПНИПУ
3	The World of Nano-Biomechanics. Mechanical Imaging and Measurement by Atomic Force Microscopy / A. Ikai [it el.]. – Amsterdam : Elsevier, 2008. – 283 p.	1+Электронная библиотека ПНИПУ

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
4	Modeling of Physiological Flows / Ed. by D. Ambrosi. – Milano: Springer-Verlag, 2012. – 414 с.	1+Электронная библиотека ПНИПУ
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебно-методические, научные издания		
1	Biomechanics. Mechanical Properties of Living Tissues / Y. C. Fung. – 2 ed. – New York : Springer-Verl., 1993. – 568 p.	1
2.2 Периодические издания		
1	Российский журнал биомеханики, 1997-2022	
2.3 Нормативно-технические издания		
1	не использ.	
2.4 Официальные издания		
1	не преусмотр.	

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии кн., журн. по гуманитар., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. Cambridge Journals [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge : Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	10	Оперативное управление	405 корп. В
2	Видеопроектор, экран	1	Оперативное управление	407 корп. В

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

• Собеседование

Для оценки знаний аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

• Защита отчета о творческом задании

Для оценки умений и владений аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

• **Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче зачета:**

Оценка результатов обучения по дисциплине по шкале оценивания «зачтено», «незачтено» путем выборочного контроля во время зачета.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала оценивания результатов освоения на зачете

Оценка	Критерии оценивания
Зачтено	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета правильно или с небольшими неточностями. Показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p>
Незачтено	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные знания при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично усвоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень творческих заданий, контрольных вопросов и заданий для оценивания результатов обучения по дисциплине «Биомеханика кровеносной системы» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Провести численное моделирование неустойчивого течения крови в двумерном коллапсирующем сосуде.

2. Исследовать влияние толщины стенки, осевой деформации и граничных условий на зависимость «давление – площадь сечения» в коллапсирующих трубках.
3. Провести численное моделирование ньютоновской и неньютоновской моделей крови для графтового анастомоза дистального конца.
4. Исследовать влияние неньютоновских свойств крови на течение в бифуркации сонной артерии.
5. Исследовать зависимость «давление – скорость» жидкости в коллапсирующих трубках.

Типовые контрольные вопросы:

1. Сосуды. Кровь. Гемодинамика.
2. Определяющие соотношения, описывающие механическое поведение сосудов.
3. Применение методов вычислительной гидродинамики для решения задач биомеханики кровообращения.
4. Математические модели для различного рода нарушений кровотока.

Типовые контрольные задания:

1. Перечислить математические модели для описания механического поведения сосудов.
2. Решить задачу биомеханики кровообращения с учётом взаимодействия «жидкость – твердое тело».
3. Решить задачу о течении крови в сосуде с установленным стентом с памятью формы.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «ВММБ».

Программа
Биомеханика и биоинженерия

Кафедра
Вычислительная математика, механика и
биомеханика

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

«Биомеханика кровеносной системы»

БИЛЕТ № 1

1. Определяющие соотношения, описывающие механическое поведение сосудов.
2. Сформулировать закон Стокса.
3. Рассказать о реологических свойствах крови. Роль структуры эритроцитов и их агрегации.

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

Фамилия И.О.

« _____ » _____ 202 _____ г.

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		