Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Высший колледж информатики

Согласовано

Директор ВКИ НГУ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.Г. Окунев

*подпись*

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Методы и алгоритмы вычислительной томографии**

направление подготовки: *15.03.06 Мехатроника и робототехника*

направленность (профиль): *Мехатроника и робототехника*

Форма обучения: очная

Разработчики:

доцент кафедры компьютерных технологий ФИТ,

доктор технических наук А.В. Лихачев \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель программы:

д.ф-м. н., Назаров А.Д. . \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Новосибирск, 2020

**Содержание**

[1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 3](#_Toc52878902)

[2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4](#_Toc52878903)

[3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося 4](#_Toc52878904)

[4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 4](#_Toc52878905)

[5. Перечень учебной литературы 6](#_Toc52878906)

[6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины 7](#_Toc52878907)

[7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине 7](#_Toc52878908)

[8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине 7](#_Toc52878909)

[9. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине 8](#_Toc52878910)

Приложение 1 Аннотация по дисциплине

Приложение 2 Оценочные средства по дисциплине

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

| Результаты освоения образовательной программы  (компетенции) | В результате изучения дисциплины обучающиеся должны: | | |
| --- | --- | --- | --- |
| знать | уметь | владеть |
| ОПК-3 **владение современными информационными технологиями, готовность применять современные средства автоматизированного проектирования и машинной графики при проектировании систем и их отдельных модулей, а также для подготовки конструкторско-технологической документации, соблюдать основные требования информационной безопасности** | методы алгоритмизации, языки и технологии программирования, пригодные для практического применения в области проектировании систем и их отдельных модулей:  *- языки программирования С++ и С#; математические библиотеки, входящие в стандартную комплектацию систем MATLAB, Mathcad, LabVIEW; средства работы с графикой в программном комплексе OpenCV.* | применять методы алгоритмизации, языки и технологии программирования при решении профессиональных задач в области проектировании систем и их отдельных модулей:  *- разрабатывать вычислительные программы на языках программирования С++ и С#; пользоваться математическими и графическими библиотеками, входящими в стандартную комплектацию наиболее распространённых систем программирования.* | навыками программирования, отладки и тестирования прототипов программно-технических комплексов задач в области проектировании систем и их отдельных модулей:  - *основными приемами написания и отладки программ в среде Visual Studio; навыками подключения статических и динамических библиотек к программам на языках С++ и С#, а также навыками разработки собственных библиотек.* |
| ПК-2 **способность разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования** | основные методы проектирования и разработки программного обеспечения, необходимого для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах:  - *функции управления и возможности предварительной обработки проекционных данных, реализованные в стандартном программном обеспечении томографов.* | проектировать и разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах:  - *разрабатывать процедуры предварительной обработки данных, осуществляющие их нормировку, привязку к системе координат, а также устранение систематических ошибок.* | навыками проектирования и разработки программного обеспечения, необходимого для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах:  - *навыками работы в системах LabVIEW и MATLAB Simulink для разработки имитационных моделей управления движущимися узлами томографа.* |

# 

# 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Методы и алгоритмы вычислительной томографии» реализуется в 7 семестре в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 дисциплин (модулей) и является дисциплиной по выбору.

Для успешного освоения дисциплины необходимы базовые знания, приобретенные в результате освоения предшествующих дисциплин «Введение в алгебру и анализ», «Введение в дискретную математику и математическую логику», «Модели вычислений» «Объектно-ориентированное программирование».

# 3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Трудоемкость дисциплины – 4 з.е. (144 ч)

Форма промежуточной аттестации: 6 семестр – экзамен.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Вид деятельности | Семестр |
| 4 |
| 1 | Лекции, ч | 32 |
| 2 | Практические занятия, ч |  |
| 3 | Лабораторные работы ч | 32 |
| 4 | Занятия в контактной форме, ч  из них | 68 |
| 5 | из них аудиторных занятий, ч | 64 |
| 6 | в электронной форме, ч | - |
| 7 | консультаций, час. | 2 |
| 8 | промежуточная аттестация, ч | 2 |
| 9 | Самостоятельная работа, час. | 76 |
| 10 | **Всего, ч** | **144** |

# 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

***6 семестр***

**Лекции (32 ч)**

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование темы и их содержание | Объем,  час |
| **Лекция 1.** Общие принципы томографии. Медицинская рентгеновская томография (историческая справка, предпосылки возникновения, пре-имущества перед обычной рентгеноскопией). Методы медицинской диагностики SPECT и PET. ЯМР томография (физические принципы, лежащие в её основе). Краткий обзор других областей приложения. | 4 |
| **Лекция 2.** Лучевое приближение. Интегральные преобразования, лежащие в основе лучевой томографии (Абеля, Радона), их свойства. Условие Кавальери. Вывод формулы обращения преобразования Абеля. | 2 |
| **Лекция 3.** Элементы теории некорректно поставленных задач. Корректность по Адамару. Корректность по Тихонову. Регуляризованное решение. Псевдорешение. Стабилизирующий функционал. Параметр регуляризации, методы его определения. | 2 |
| **Лекция 4.** Связь между преобразованием Радона и преобразованием Фурье. Теорема о центральном слое. Двумерное преобразование Радона. Алгоритм Фурье-синтеза. Алгоритм Гершберга–Папулиса. Вывод формулы обращения двумерного преобразования Радона. | 2 |
| **Лекция 5.** Алгоритмы фильтрации и обратного проецирования. Ramp-фильтр. Теорема о свёртке. Различные способы аппроксимации ramp-фильтра. Фильтр Шеппа–Логана. Ошибки фильтрации проекций. Спектр дискретизованной функции. Частота Найквиста. Теорема Котельникова–Шенона. Дискретное обратное проецирование. | 4 |
| **Лекция 6.** Веерная томография. Процедура пересортировки проекционных данных. Формула обращения для веерной геометрии. | 2 |
| **Лекция 7.**  Текущий контроль успеваемости | 2 |
| **Лекция 8**Трёхмерная томография. Лучевое преобразование. Томография для круговой траектории источника. Алгоритм Фельдкампа. Условия Кириллова–Туя. Формулы реконструкции для спиральной траектории источника. Трёхмерное преобразование Радона. Теорема Гранжа. | 4 |
| **Лекция 9.** Алгебраические алгоритмы реконструкции. Дискретизация задачи томографии. Итерационные методы. Простая итерация, алгоритм SIRT. Алгоритм ART, его геометрическая интерпретация Метод максимума энтропии. Алгоритмы MART и MENT. | 4 |
| **Лекция 10.** Статистические методы в томографии. Метод Байесовской оценки. Статистическая регуляризация. | 2 |
| **Лекция 11.** Лучевая эмиссионная томография при наличии поглощения. Случай постоянного коэффициента ослабления. Экспоненциальное пре-образование Радона, формула его обращения. Алгоритм Третьяка–Метца. Случай угловой зависимости коэффициента ослабления, алгоритм Кучмента–Шнейберга. | 4 |
| **Итого:** | **32** |

**Лабораторные работы (32 ч.)**

|  |  |
| --- | --- |
| Содержание лабораторного занятия | Объем, час |
| **Лабораторное занятие 1.** Знакомство с принципами построения математических фантомов для исследования алгоритмов томографической реконструкции. Изучение фантома Шеппа-Логана. Разработка компьютерной программы для вычисления двумерных и трехмерных фантомов. | 4 |
| **Лабораторное занятие 2.** Изучение лучевой модели регистрации проекционных данных. Разработка компьютерной программы для их вычисления в параллельном и веерном случае. Построение синограмм параллельных и веерных данных. | 4 |
| **Лабораторное занятие 3.** Изучение алгоритмов численного интегрирования. Дискретное преобразование Фурье. Знакомство с алгоритмами быстрого преобразования Фурье. Разработка компьютерной программы для вычисления дискретного преобразование Фурье. | 4 |
| **Лабораторное занятие 4.** Программная реализация алгоритма Фурье-синтеза. Исследование его точности путём вычислительного эксперимента. | 2 |
| **Лабораторное занятие 5.** Разработка компьютерной программы, осуществляющей двумерное обратное проецирование. | 4 |
| **Лабораторное занятие 6.** Изучение алгоритмов аппроксимации ramp-фильтра. Программная реализация метода фильтрации и обратного проецирование. Сравнение различных аппроксимаций ramp-фильтра. путём вычислительного эксперимента. | 4 |
| **Лабораторное занятие 7.** Изучение принципов построения алгебраических алгоритмов реконструкции. Программная реализация алгоритма ART. Исследование его точности и сходимости путём вычислительного эксперимента | 4 |
| **Лабораторное занятие 8.** Обсуждение алгоритмов трёхмерной томографии. Разработка компьютерной программы, реализующей алгоритм Фельдкампа. | 6 |
| **Итого:** | **32** |

**Самостоятельная работа студентов (76 ч)**

|  |  |
| --- | --- |
| Перечень занятий на СРС | Объем, час |
| Изучение разделов дисциплины по учебной литературе, в том числе вопросов, не освещаемых на лекциях. Изучение предлагаемых теоретических разделов в соответствии с настоящей Программой. Учебно-методические материалы по дисциплине «Методы и алгоритмы вычислительной томографии» выложены на странице курса в сети Интернет. | 15 |
| Подготовка к практическим занятиям и текущему контролю знаний. | 25 |
| Подготовка к промежуточной аттестации. Повторение теоретического материала по вопросам, которые рассматривались в лекциях. | 36 |
| **Итого:** | **76** |

# 5. Перечень учебной литературы

***5.1 Основная литература***

1. Лихачев А.В. Алгоритмы томографической реконструкции: учебное пособие / А.В. Лихачев. — Новосибирск: Изд-во НГУ, 2013. 117 с.

***5.2 Дополнительная литература***

1. Лаврентьев М.М. Численное моделирование в томографии и условно-корректные задачи / М.М. Лаврентьев, С.М. Зеркаль, О.Е. Трофимов. — Новосибирск: Изд-во ИДМИ НГУ, 1999.
2. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии / Ф. Наттерер. — М.: Мир, 1990. (перевод с английского).
3. Хермен Г.Т. Восстановление изображений по проекциям. Основы реконструктивной томографии / Г.Т. Хермен. — М.: Мир, 1983 (перевод с английского).

# 6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);

- образовательные интернет-порталы;

- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (как синхронное, так и асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС.

* 1. ***Современные профессиональные базы данных:***

- Полнотекстовые журналы SpringerJournals за 1997-2015 гг., электронные книги (2005-2016 гг.), реферативная БД по чистой и прикладной математике zbMATH.;

- Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ) .

***6.2. Информационные справочные системы***

- электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI

- БД Scopus (Elsevier)

# 7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

***7.1 Перечень программного обеспечения***

Для обеспечения реализации дисциплины «Методы и алгоритмы вычислительной томографии» используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows, MS Office, Visual Studio, MATLAB и другое. Кроме того, используется свободно распространяемая библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом OpenCV, https://opencv.org.

# 8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины «Методы и алгоритмы вычислительной томографии» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

# 9. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень результатов обучения по дисциплине «Методы и алгоритмы вычислительной томографии» и индикаторов их достижения представлен в виде знаний, умений и владений в разделе 1.

***9.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине***

***Текущий контроль успеваемости:***

Текущая аттестация по дисциплине «Методы и алгоритмы вычислительной томографии» проводится в форме портфолио, состоящего из доклада, отчётов по лабораторным работам, реферата, контрольной работы.

**Устные доклады** организуются следующим образом:

* прослушивается выступление студента по избранной теме;
* студент, выступивший с докладом, отвечает на вопросы от группы или преподавателя, которые возникают после выступления;
* преподаватель дает общую оценку выступлению, в котором указывает на его достоинства и недостатки и ставит оценку студенту за выступление.

**Отчёты по лабораторным работам** включают изложение задания, краткие сведенья из теории, код разработанной программы, результаты вычислительного эксперимента (в случае, если он входит в задание), выводы. Отчёт оценивается по качеству предоставленного кода программы, верности выводов полноте изложения.

**Работа над рефератом** начинается с выбора исходного материала, в качестве которого могут быть печатные издания, источники из сайтов Internet. После анализа материала составляется краткое оглавление по теме. Затем следует скомпоновать содержание реферата в соответствии с оглавлением.

Качество выполнения оценивается по степени соответствия содержания реферата теме, полноте и глубине охвата, четкости и ясности изложения материала. Реферат оформляют печатным способом в формате «DOC», с оглавлением и титульным листом. Сдача реферата на проверку возможна либо лично, либо в вложения по e-mail.

**Контрольная работа** выполняется по заданиям, выданным обучающимся. Особых требований к оформлению ответов не предъявляется. Ответ пишется на отдельных листах бумаги формата А4 и кроме содержательной части должен иметь реквизит исполнителя (группа, Ф.И.О.). Время выполнения КР не более девяноста минут (1.5 часа).

***Промежуточная аттестация:***

Промежуточная аттестация по дисциплине производится: в 6 семестре

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и включает 2 этапа: портфолио и экзамен. Необходимым условием для прохождения промежуточной аттестации является оценка «зачтено» по результатам выполненного портфолио. Для оценивания портфолио студенту необходимо сдать все работы, входящие в структуру портфолио.

Экзамен проводится в устной форме. Во время проведения экзамена студенту разрешается использовать справочники, калькуляторы. В процессе ответа на вопрос студенту могут быть заданы дополнительные вопросы по темам дисциплины.

По результатам аттестации выставляется оценка по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

***Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине*** «Методы и алгоритмы вычислительной томографии»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код компетенции** | **Результат обучения по дисциплине** | **Оценочное средство** |
| ОПК-3  ПК -2 | Знать физические принципы, лежащие в основе томографической диагностики, и основные модели процесса регистрации проекционных данных.  Знать интегральные преобразования, используемые для разработки алгоритмов реконструкции, а также структуру этих алгоритмов.  Знать основы теории некорректно поставленных задач и методов их регуляризации. | Портфолио  Экзамен |
| Уметь разрабатывать компьютерные программ, реализующие наиболее известные алгоритмы томографической реконструкции: Фурье-синтеза, фильтрации и обратного проецирования, ART. | Портфолио  Экзамен |
| Владеть приёмами теоретического анализа алгоритмов реконструкции, включая проверку их устойчивости.  Владеть навыками планирования и осуществления вычислительного эксперимента по изучению характеристик алгоритмов. | Портфолио  Экзамен |

|  |  |
| --- | --- |
| **Критерии оценивания результатов обучения** | **Шкала**  **оценивания** |
| **Портфолио**  Обучающийся сдал все работы, входящие в структуру портфолио (доклад, отчёты по лабораторным работам, реферат, контрольная работа).  **Экзамен**  Отвечая на вопросы билета, обучающийся демонстрирует четкое и целостное знание основных физических принципов, лежащих в основе томографической диагностики, математических методов, используемых для построения алгоритмов томографической реконструкции, а также самих этих алгоритмов, их преимуществ и недостатков. Помимо этого обучающийся умеет, проанализировать на количественном уровне любой из изученных в рамках дисциплины алгоритмов. | *Отлично* |
| **Портфолио**  Обучающийся сдал не менее 70% работ, входящие в структуру портфолио, в том числе, обязательно доклад, реферат и контрольную работу.  **Экзамен**  Отвечая на вопросы билета, обучающийся демонстрирует незначительные погрешности в знании основных физических принципов, лежащих в основе томографической диагностики, математических методов, используемых для построения алгоритмов томографической реконструкции, а также самих этих алгоритмов. Может проанализировать на качественном уровне большинство алгоритмов, изученных в рамках дисциплины. | *Хорошо* |
| **Портфолио**  Обучающийся сдал не менее 50% работ, входящие в структуру портфолио, в том числе, обязательно реферат и контрольную работу.  **Экзамен:**  Отвечая на вопросы билета, обучающийся демонстрирует лишь фрагментарные знания основных физических принципов, лежащих в основе томографической диагностики, математических методов, используемых для построения алгоритмов томографической реконструкции, а также самих этих алгоритмов. Не может проанализировать большинство алгоритмов, изученных в рамках дисциплины | *Удовлетворительно* |
| **Портфолио**  Если обучающийся выполняет 50% (или менее) работ, входящие в структуру портфолио, или же не сдаёт реферат либо контрольную работу, то он не получает допуск к экзамену по дисциплине.  **Экзамен:**  Отвечая на вопросы билета, обучающийся не знает физических и математических основ томографии, затрудняется охарактеризовать алгоритмы, изученные в рамках дисциплины, а также не даёт удовлетворительных ответов на дополнительные вопросы. | *Неудовлетво-рительно* |

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

Примерные темы рефератов.

1. Развитие методов рентгеновской томографии в области медицины.
2. Значение теории некорректно поставленных задач для развития медицинской диагностики.
3. Перспективы позитронной эмиссионной томографии.

Примеры теоретических вопросов для экзамена

1) Томография: определение, области приложения. Примеры.

2) Преобразование Абеля. Формула его обращения.

3) Процедура фильтрации одномерных проекций. Примеры фильтров.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 2), предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**

**«Название дисциплины»**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа) | Дата и №  протокола Ученого совета факультет/институт | Подпись  ответственного |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |