

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ СИСТЕМ ИНФОРМАТИКИ ИМ. А.П. ЕРШОВА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИСИ СО РАН)**

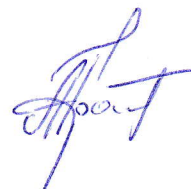
**УТВЕРЖДАЮ**  
И.о. директора ИСИ СО РАН  
д.ф.-м.н.,  
А.Ю. Пальянов  
«27» февраля 2024 г.



**ПРОГРАММА**

**Кандидатского экзамена по научной специальности  
1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение**

Согласовано:  
Зам. директора по научной работе, к.ф.-м.н.



А.В. Промский

**Новосибирск 2024**

Программа составлена на основе паспорта специальности, согласно Номенклатуре научных специальностей, утвержденной Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 24 февраля 2021 г. № 118.

Составители программы:

Ответственный исполнитель:

Загорюлько Ю.А., к.т.н., заведующий лабораторией искусственного интеллекта.

Исполнители:

Сидорова Е.А., к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории искусственного интеллекта;

Мигинский Д.С., к.ф.-м.н., и.о. заведующего лабораторией моделирования сложных систем;

Батура Т.В., к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории моделирования сложных систем;

Апанович З.В., к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории смешанных вычислений.

Программа одобрена на заседании Ученого совета ИСИ СО РАН, протокол №2-2024-2 от 27.02.2024 г.

## **Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: проектирование и разработка интеллектуальных информационных систем, инженерия знаний, теория вероятностей, математическая статистика, математическая логика, математический анализ, линейная алгебра, теория графов, вычислительные методы, компьютерное моделирование, компьютерная лингвистика, методы хранения и доступа к данным.

Программа разработана в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН.

### **1. Представление знаний и моделирование рассуждений**

Проблемы представления знаний. Классификация моделей представления знаний.

Логическая модель представления знаний. Понятие формальной системы. Исчисление высказываний. Исчисление предикатов первого порядка. Метод резолюции. Использование метода резолюций для доказательства теорем в исчислении высказываний и логике первого порядка.

Сетевая модель представления знаний. Понятие семантической сети. Классификация семантических сетей. Основные виды отношений в семантических сетях. Фреймы. Представление знаний на основе фреймов.

Продукционная модель представления знаний. Формальные и программные системы продукции. Структура программной системы продукции (СП). Цикл работы системы продукции. Конфликтное множество правил. Способы разрешения конфликта. Управляющие стратегии. Стратегии применения правил. Простые и управляемые системы продукции.

Представление знаний на основе онтологий. Онтология: основные определения, классификация и назначение онтологий. Задачи, решаемые с помощью онтологий. Формальные средства представления онтологий. Особенности дескриптивных логик. Основные понятия дескриптивной логики. Языки дескриптивной логики. Вывод в дескриптивной логике. Предположение об открытости мира. Достоинства и недостатки дескриптивных логик.

Семантический Web и онтологии. Языки описания онтологий: RDF, RDFS, OWL. Язык описания ресурсов RDF: модель данных, графическое представление, синтаксис. Язык описания RDF-схем (RDFS). Язык описания онтологий OWL. Особенности диалектов OWL1 и OWL2. Структура OWL-онтологии. Базовые элементы семейства языков OWL: классы, свойства, индивиды. Язык запросов SPARQL. Язык задания правил вывода в онтологии SWRL (Semantic Web Rule Language).

Хранилища данных и знаний. Реляционные, графовые и мультимодальные базы данных. RDF-хранилища. Доступ к данным на основе онтологий (OBDA) и виртуальные графы знаний. Проблемы интеграции разнородных источников данных. Стандарты R2RML и RML. Задача выравнивания сущностей (entity alignment) для объединения структурированных данных из множественных источников.

Представление знаний в виде графов знаний. Онтологическое моделирование графов знаний. Стандартные словари и онтологии для описания графов знаний: PROV, DC-TERMS, SKOS, FOAF и др. Множество словарей Linked Open Vocabularies (LOV).

Лингвистическое моделирование. Морфологический, синтаксический, семантический анализ текста. Лингвистические ресурсы: словари, тезаурусы, корпуса. Типовые задачи анализа ЕЯ. Языковые модели. Тематическое моделирование. Векторные представления текста. Гипотеза дистрибутивной семантики. Модель word2vec: CBOW и SGNS. Модели ELMO, FastText, doc2vec, Glove.

Модели представления и обработки неопределенных знаний. Многозначные логики. Коэффициенты уверенности Шортлиффа. Нечеткие множества. Лингвистическая переменная. Нечеткая логика, область применения нечеткой логики. Нечеткий вывод. Методы дефаззификации. Композиционное правило вывода. Байесовские сети.

Эволюционный поиск. Особенности алгоритма эволюции. Простой генетический алгоритм. Применение генетических алгоритмов.

## **2. Интеллектуальные системы**

Интеллектуальные системы. Классификация интеллектуальных систем.

Экспертные системы. Понятие экспертной системы (ЭС), задачи, свойства, функции. Основные особенности, архитектура и классификация ЭС. Этапы разработки и стадии жизненного цикла ЭС. Приобретение знаний в экспертных системах. Классификация методов извлечения знаний.

Системы поддержки принятия решений (СППР). Определение, общие характеристики, сфера применения. Методология и этапы разработки СППР. Использование онтологий при проектировании систем, методы описания процессов в системе, базовые технологии, методы и средства обеспечения работоспособности систем, оболочки и техническая реализация систем. Построение СППР на основе многоагентного подхода.

Мультиагентные системы. Структура и основные свойства мультиагентных систем. Программные агенты. BDI-агенты. Организация взаимодействия между агентами. Приложения многоагентных систем.

Интернет вещей. Основные понятия и методы. Цифровые двойники. Прикладные решения.

### 3. Машинное обучение

Обучение в системах ИИ. Обучение с учителем (supervised learning). Обучение без учителя (unsupervised learning). Обучение с подкреплением. Задачи ИИ по предметным областям: компьютерное зрение, автономный транспорт и БПЛА, обнаружение объектов, анализ движения и отслеживание объектов, восстановление изображений, анализ естественного языка, анализ и распознавание сигналов, распознавание речи.

Оценка качества моделей. Кросс-валидация. Подбор гиперпараметров. Матрица ошибок. Ошибки 1-го и 2-го рода. Чувствительность, специфичность, точность, полнота, F1-мера. ROC-кривая. Площадь под ROC-кривой. Микроусреднение и макроусреднение.

Классификация, регрессии. Наивный Байес. Метод опорных векторов (SVM). Логистическая регрессия. Метод наименьших квадратов. Метрические методы. Деревья решений, критерий Джини. Стохастический градиентный спуск (SGD). Регуляризация.

Постановка задачи кластеризации. Критерии качества кластеризации. Алгоритмы плоской кластеризации: k-ближайших соседей, k(c)-средних, DBSCAN, инкрементный алгоритм. Иерархическая кластеризация.

Ансамбли в машинном обучении. Смещение и разброс. Бэггинг. Случайный лес. Градиентный бустинг (gradient boosting). Теорема о сходимости бустинга. Сравнение бэггинга и бустинга. Основные алгоритмы. Стекинг (stacking). Смесь алгоритмов (квазилинейная композиция), область компетентности, примеры функций компетентности. Методы построения смесей: последовательный и иерархический.

Вероятностные модели. Вероятностный подход в ML. Экспоненциальный класс распределений и принцип максимальной энтропии. Обобщенные линейные модели. Генеративный подход к классификации. Байесовский подход к оцениванию. Модели с латентными переменными.

Постановка задачи понижения размерности. Сингулярное разложение (SVD). Метод главных компонент (PCA). Анализ независимых компонент (ICA). Линейный дискриминантный анализ (LDA).

Данные для машинного обучения. Проблемы подготовки: выбросы, пропуски, ошибки разметки, дрейф данных (data drift). Краудсорсинг, самостоятельное обучение (self-supervised learning). Аугментация данных. Методы перефразирования, обратного перевода. Метрики оценки качества: визуальное и смысловое сходство, оценка осмысленности текста.

### 4. Нейронные сети и глубокое обучение

Нейронные сети. Биологический нейрон, модель МакКаллока-Питтса как линейный классификатор. Принцип организации нейронных сетей. Функции активации. Проблема полноты. Полнота двухслойных сетей в пространстве булевых функций. Алгоритм обратного распространения ошибок. Проблема взрыва градиента и эвристика gradient clipping. Метод случайных отключений нейронов (Dropout). Проблема «паралича» сети.

Глубокие нейронные сети: выразительные возможности, скорость сходимости при избыточной параметризации. Свёрточные нейронные сети (CNN) для изображений. Свёрточный нейрон. Pooling нейрон. Сквозные связи между слоями (skip connection). Рекуррентные нейронные сети (RNN). Обучение рекуррентных сетей: Backpropagation Through Time (BPTT). Сети долгой кратковременной памяти (Long short-term memory, LSTM).

Генеративный искусственный интеллект. Задачи обработки и преобразования последовательностей (sequence to sequence). Модели внимания и трансформеры. Разновидности моделей внимания. Особенности архитектуры кодировщика и декодировщика. Критерии обучения и оценивание качества (предобучение). Генеративные состязательные сети (GAN).

Большие языковые модели (LLMs). Семейство моделей BERT. Прикладные задачи: машинный перевод, аннотирование изображений. Мультимодальные модели. Поколение ChatGPT. Техники обучения: предобучение, дообучение (fine-tuning и transfer-learning) и адаптация (instructions tuning и alignment tuning). Критерии адаптации: правдивость, безвредность, полезность. Гипотеза поверхностного выравнивания (superficial alignment hypothesis). Инженерия подсказок (prompt-engineering), настройка подсказок (prompt-tuning).

Представление графовых нейронных сетей (graph neural network, GNN). Модели случайных блужданий DeepWalk, node2vec.

## Основная литература

1. Загорюлько Ю.А., Загорюлько Г.Б. Инженерия знаний: учеб. пособие. Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. 93 с. URL: <http://e-lib.nsu.ru/dsweb/Get/Resource-1052/page001.pdf>
2. Сергей Горшков. Введение в онтологическое моделирование. – 2016. <https://trinidata.ru/files/SemanticIntro.pdf>
3. Сергей Горшков, Станислав Кралин, Оксана Муштак, Сергей Гумеров, Максим Мирошниченко. Онтологическое моделирование предприятий: методы и технологии. Издательство Уральского университета, – 2019. <https://trinidata.ru/files/EnterpriseModeling.pdf>

4. Курс лекций по Графам Знаний (Knowledge Graphs). Михаил Галкин, Вадим Сафронов, Сергей Иванов, Дмитрий Муромцев. – 2021. URL: <https://migalkin.github.io/kgcourse2021/>
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М., 1976. – 166 с. (Б)
6. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред. В.М. Курейчика. — 2-е изд., исправл. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 368 с. — ISBN 978-5-9221-0510-1. [http://techlibrary.ru/b2/2k1m1a1e1l1p1c\\_2t.2h.,\\_2s1u1r1f1k1y1j1l1\\_2j.2j.,\\_2s1u1r1f1k1y1j1l1\\_2j.2u.\\_2k1f1o1f1t1j1y1f1s1l1j1f\\_1a1m1d1p1r1j1t1n2c.\\_2010.pdf](http://techlibrary.ru/b2/2k1m1a1e1l1p1c_2t.2h.,_2s1u1r1f1k1y1j1l1_2j.2j.,_2s1u1r1f1k1y1j1l1_2j.2u._2k1f1o1f1t1j1y1f1s1l1j1f_1a1m1d1p1r1j1t1n2c._2010.pdf)
7. Эвристические методы оптимизации. Учебное пособие. Составитель А.А. Мицель. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – 2022. – 73 с. <https://asu.tusur.ru/learning/090401e/d17/090401e-d17-lect.pdf>
8. Bob DuCharme. Learning SPARQL, 2nd Edition Publisher(s): O'Reilly Media, Inc. ISBN: 9781449371470
9. Хобсон Лейн, Ханнес Хапке, Коул Ховард. Обработка естественного языка в действии. — СПб.: Питер, 2020. — 576 с.: ил. — (Серия «Для профессионалов»). ISBN 978-5-4461-1371-2 <https://lab314.brsu.by/kmp-lite/kmp2/2019/sum/NLP-BOOK/NLP%20%D0%9A%D0%9D%D0%98%D0%93%D0%90.pdf>
10. Dan Jurafsky, James H. Martin. Speech and Language Processing. 2024. URL: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slpdraft/>
11. Апресян Ю.Д. Идеи и методы современной структурной лингвистики (краткий очерк). - М.: Просвещение, 1966. — 301 с. (Б)
12. Мельчук И.А. Опыт теории лингвистических моделей Смысл-Текст. - М.: Школа «Языки русской культуры», 1999 — 346 с (Б).
13. Маркус С. Теоретико-множественные модели языков. - М.: Наука, 1970. 332 с. (Б)
14. Батура Т.В., Мурзин Ф.А. Машинно-ориентированные логические методы отображения семантики текста на естественном языке // Моногр. / Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН. – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2008. – 248с. (Б)
15. Батура Т.В. Математическая лингвистика и обработка текстов на естественном языке : учеб. пособие. - Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. - 166 с. (Б)
16. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. - СПб.: Питер, 2000. - 384 с.(Б)
17. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект. Учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. –176 с. (Б)

18. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. - М.: Мир, 1973. — 273 с. (Б)
19. Рассел Стюарт, Норвиг Питер. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. — 1408 с.: ил. (Б)
20. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е изд.: Пер. с англ. - М.: Изд-во Вильямс, 2003. - 864 с. (Б)
21. Бостром Ник. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии : Пер. с англ. — М. : Манн, Иванов и Фербер, 2016. - 404 с. (Б)
22. Джарратано Джозеф, Райли Гари. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание. : Пер. с англ. — М. : 000 "И.Д. Вильямс", 2007. — 1152 с. : ил. (Б)
23. Машинное обучение (курс лекций, К.В.Воронцов).
24. Учебник по машинному обучению. Школа анализа данных. 2023. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml>
25. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. Учеб. пособие. 2-е изд. - М.: Высшая школа, 1984. - 208 с.
26. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. — 270 с.
27. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.
28. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации : Пер. с польского И.Д.Рудинского. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.: ил.
29. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. - М. Издательский дом "Вильямс", 2006. - 1104 с. : ил.
30. Гафаров Ф.М Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.
31. Deep Learning на пальцах. <https://dlcourse.ai/>
32. Сет Вейдман. Глубокое обучение: легкая разработка проектов на Python Серия «Бестселлеры О’Reilly» Перевели с английского И. Рузмайкина, А. Павлов
33. Дэвид Фостер. Генеративное глубокое обучение. Творческий потенциал нейронных сетей Перевел с английского А. Киселев. <https://www.piter.com/product/generativnoe-lubokoe-obuchenie-tvorcheskiy-potentsial-neyronnyh-setey>
34. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация, применение — СПб: БХВ-Петербург, 2003. — 1104 с.: ил.