

Правительство Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»"

**Программа кандидатского экзамена
по научной специальности 5.12.4 «Когнитивное моделирование»**

Авторы программы:

Осадчий А.Е., доктор физико-математических наук, профессор, alexeyossadtchiy@hse.ru
Захаров Д.Г., кандидат физико-математических наук, dgzakharov@hse.ru

Одобрена на заседании Академического совета аспирантской школы по когнитивным наукам, протокол № 6.16-30.6.22/01 от 10.02.2025

Москва – 2025

Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения разработчика программы.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Программа предназначена для аспирантов и лиц, прикрепленных к НИУ ВШЭ для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 5.12.4 «Когнитивное моделирование».

Содержание (программа кандидатского экзамена)

ТЕМА 1. Общие подходы к математическому моделированию

- Основы математического моделирования. Область применимости математической модели объекту. Классификация математических моделей. Этапы математического моделирования. Численный эксперимент.

ТЕМА 2. Моделирование нейронной активности.

- Электрофизиологические подходы к моделированию нейронной активности. Ионные каналы. Потенциал действия. Типы нейронной активности (возбудимый режим, спайковая и пачечная активность). Формализм Ходжкина-Хаксли.
- Классификация нейронной возбудимости Ходжкина. Интеграторы и резонаторы. Связь нейронных свойств с типами бифуркаций при переходе от возбудимого режима к генерации спайков и назад. Кривая фазовой переустановки.
- Динамические системы на прямой. Модель нейрона «Накопление-Сброс», квадратичная модель нейрона «Накопление-Сброс».
- Динамические системы на плоскости. Модели Морриса-Лекара и ФитцХью-Нагумо.
- Пачечная активность. Модель Хиндмарша-Розе.

ТЕМА 3. Подходы к моделированию активности нейронных сетей

- Модели электрических и химических синапсов. Синаптическая пластичность.
- Матрица смежности. Топологии связей в нейронных сетях: регулярные, случайные, малый мир, безмасштабная топология.
- Синхронизация двух нейронов: полная синхронизация, синфазная и противофазная синхронизация, частотная синхронизация, фазовая синхронизация, обобщенная синхронизация.
- Режимы синхронизации в нейронных сетях: полная синхронизация, кластерная синхронизация, волны, химерные состояния. Методы идентификации режимов синхронизации: параметр порядка Курамото, сила некоррентности, адаптивная мера когерентности.
- Модели наблюдений ЭЭГ и МЭГ. Токовый диполь.

ТЕМА 4. Вычислительная когнитивная наука

- Модели принятия решений: модель идеального наблюдателя для сенсорного декодирования и классификации, дрейфово-диффузионная модель принятия решений, модель обучения с подкреплением для мотивированного поведения (Rescola Wagner, TDRL)
- Классификация макроскопических ритмов мозга. Модели их генерации.
- Классификация вызванных потенциалов. Модели их генерации.

ТЕМА 5. Искусственный интеллект (ИИ).

- Задачи искусственного интеллекта.
- Классический искусственный интеллект. Пространство признаков. Методы сокращения пространства признаков (линейное разделение, метод главных компонент).
- Формальные нейронные сети. Многослойный персептрон.
- Машинное обучение. Методы машинного обучения (обучение с учителем, обучение без учителя, обучение с подкреплением).
- Сверточные нейронные сети.
- Рекуррентные нейронные сети для обработки временных последовательностей.
- Автоэнкодеры.
- Генеративные адверсальные сети.
- Психологические и этические аспекты искусственного интеллекта.
- Проблемы интерпретируемых нейронных сетей

ТЕМА 6. Интерфейс мозг-компьютер

- Понятие человеко-машинного взаимодействия. Нейрокомпьютерные интерфейсы. Неинвазивные ИМК
- Методы обработки сигналов в интерфейсах мозг-компьютер. ЭЭГ. Вызванные потенциалы головного мозга.
- Идеомоторные интерфейсы. Интерфейсы на основе Р-300 и других когнитивных потенциалов. Нейроинтерфейсы на основе устойчивых вызванных зрительных потенциалов (SSVEP).
- Инвазивные ИМК
- Нейрообратная связь
- Методы нейровизуализации
- Психологические и этические аспекты взаимодействия человек-машина

Вопросы к кандидатскому экзамену по специальности 5.12.4 «Когнитивное моделирование»

1. Этапы математического моделирования. Численный эксперимент.

2. Электрофизиология нейронной активности. Ионные каналы. Потенциал действия.
3. Формализм Ходжкина-Хаксли.
4. Классификация нейронной возбудимости Ходжкина. Интеграторы и резонаторы. Связь нейронных свойств с типами бифуркаций при переходе от возбудимого режима к генерации спайков и назад. Кривая фазовой переустановки.
5. Спайковая активность нейронов. Модель «Накопление-Сброс». Квадратичная модель «Накопление-Сброс».
6. Спайковая активность нейронов. Модели Морриса-Лекара и ФитцХью-Нагумо.
7. Пачечная активность. Модель Хиндмарша-Розе.
8. Модели электрических и химических синапсов.
9. Виды синаптической пластичности и их математические модели.
10. Матрица смежности. Топологии связей в нейронных сетях: регулярные, случайные, безмасштабные, малый мир.
11. Типы синхронизации: полная синхронизация, синфазная и противофазная синхронизация, частотная синхронизация, фазовая синхронизация, обобщенная синхронизация.
12. Режимы синхронизации в нейронных сетях. Методы идентификации режимов синхронизации: параметр порядка Курамото, сила некоррентности, адаптивная мера когерентности.
13. Модель Rescola Wagner. Опишите различия между обучением с подкреплением без модели и на основе модели.
14. Опишите моделирование идеального наблюдателя для одного и двух нейронов
15. Распределение времени реакции, полученное в результате модели дрейфа-диффузии принятия решений. Как это распределение меняется при изменении параметров модели?
16. Опишите принципы, лежащие в основе методик неинвазивной нейровизуализации. ЭЭГ\МЭГ, фМРТ, fNIRS, ПЭТ. Сравните пространственное и временное разрешение этих модальностей.
17. Понятия прямой и обратной задачи в ЭЭГ и МЭГ. Какова роль понятия «эквивалентный токовый диполь» в задаче локализации нейрональных источников по ЭЭГ\МЭГ данным?
18. Что такое функция гемодинамического отклика? Как она используется при обработке фМРТ данных?
19. Основные ритмы, наблюдаемые в ЭЭГ\МЭГ\ЭКоГ. Опишите базовые механизмы их генерации.
20. Перечислите основные меры синхронизации, используемые при исследовании функциональных нейронных сетей по ЭЭГ и МЭГ данным. В чем особенности каждой из них. Что такое «объемная проводимость» и что было бы, если б ее не было?
21. Чем отличаются задачи регрессии и классификации? Какие метрики лучше использовать для каждой из них?
22. Что такое обучение с учителем и обучение без учителя? Чем они отличаются? Приведите примеры алгоритмов
23. Какие существуют способы борьбы с несбалансированностью набора данных?
24. Что такое многослойный перцептрон? Как вычисляется один слой данной модели?
25. Зачем нужны функции активации в многослойном перцептроне?
26. Приведите примеры функций активации и опишите в каком контексте их лучше использовать.
27. Опишите основную идею метода обратного распространения ошибки (backpropagation).

28. Какие существуют функции потерь и в каких задачах какие функции лучше использовать?
29. Что такое проблема переобучения? Какие существуют способы борьбы с ней?
30. Что такое сверточные слои? Какие их преимущества над линейными (полносвязными) слоями?
31. Как связаны сверточные нейроны и фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ), широко используемые в цифровой обработке сигналов? Какая существует аналогия между рекуррентными нейронными сетями и цифровыми фильтрами с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ)?
32. Что такое рекуррентные нейронные сети? Какие их преимущества над многослойным перцептроном?
33. В чем ключевое отличие RNN от LSTM?
34. Как устроен автоэнкодер? Приведите ситуации, в которых нужно его использовать.
35. Опишите устройство UNet.
36. Как обучаются генеративные адверсальные сети? Чем отличается генератор от дискриминатора?
37. Как работает механизм внимания в трансформерных сетях? Чем отличаются attention от self-attention?
38. Почему некоторые нейронные сети называют “черными ящиками”? Приведите примеры интерпретируемых архитектур/слоев или алгоритмов интерпретации.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Базовый учебник:

нет

Литература основная

1. Звонарев С.В. Основы математического моделирования. Екатеринбург, 2019.
2. Ижикевич Е.М. Динамические системы в нейронауке. Геометрия возбудимости и пачечной активности. Перевод с английского. М. – Ижевск, 2018.
3. Izhikevich E.M. Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting. Cambridge: the MIT Press, 2010.
4. Пиковский А., Розенблум М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003.
5. Destexhe A., Mainen Z.F. and Sejnowski T.J. Kinetic models of synaptic transmission, Chapter 1 in: Methods in Neuronal Modeling. MIT Press, Cambridge, MA, 1998.
6. Barrat A., Barthélemy M. and Vespignani A. Dynamical Processes on Complex Networks. Cambridge University Press, 2008.
7. Gopal R., Chandrasekar V. K., Venkatesan A., Lakshmanan M. Observation and characterization of chimera states in coupled dynamical systems with nonlocal coupling. Physical Review E, 89, 052914, 2014. doi:10.1103/physreve.89.052914.
8. Dogonasheva O., Kasatkin D., Gutkin B., Zakharov D, Robust universal approach to identify travelling chimeras and synchronized clusters in spiking networks. Chaos, Solitons & Fractals, 153, 111541, 2021. Doi:10.1016/j.chaos.2021.111541.

9. Dayan P. and Abbott L.F. Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems, 2001.
10. Ilmoniemi R.J., Sarvas J. Brain Signals: Physics and Mathematics of MEG and EEG. The MIT Press: 2019.
11. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. П.: 2020.

Литература дополнительная

12. Strogatz S. H. Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering (Vol. 1st pbk. print). Cambridge, MA: Westview Press, 2000.
13. Nekorkin, V. I. Introduction to Nonlinear Oscillations. Weinheim: Wiley-VCH, 2015.

ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Тип контроля	Форма контроля	Второй год	Параметры
Итоговый	Кандидатский экзамен	+	Устный экзамен

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа базируется на самостоятельной подготовке аспирантов (и консультациях с преподавателями и научными сотрудниками департамента и лабораторий при необходимости).

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДИСЦИПЛИНЫ

Критерии оценивания кандидатского экзамена

Продолжительность испытания: аспиранту в начале экзамена предлагается взять билет, после чего ему дается 30 минут на подготовку. Устный ответ членам экзаменационной комиссии длится 20-25 минут.

Структура вступительного экзамена: экзамен состоит из ответа на вопросы экзаменационного билета. Он включает в себя два любых вопроса из нижеперечисленных тем программы и третьего вопроса: «Историко-теоретические основы диссертационного исследования» или «Методологические основы и методические средства диссертационного исследования».

Оценка уровня знаний (баллы): каждый вопрос оценивается по десятибалльной шкале. Итоговая оценка выставляется по пятибалльной шкале по следующему принципу пересчета:

«Отлично»: 8-10 баллов (по десятибалльной шкале).

«Хорошо»: 6-7 баллов (по десятибалльной шкале).

«Удовлетворительно»: 4-5 баллов (по десятибалльной шкале).

«Неудовлетворительно»: 0-3 балла (по десятибалльной шкале).

Критерии оценивания

	Баллы
Ответ полный, логичный, конкретный, без замечаний, продемонстрированы знания психологической проблематики и терминологии.	8-10
Ответ полный, логичный, конкретный, присутствуют незначительные замечания в отношении знания психологической проблематики и терминологии.	6-7
Ответ неполный, отсутствует логичность повествования, допущены существенные фактологические ошибки.	4-5
Ответ на поставленный вопрос не дан.	0-3

Невыполнение одного из заданий (или отказ от его выполнения) является, как правило, основанием для выставления неудовлетворительной оценки за кандидатский экзамен в целом.

Пример устного билета:

НИУ «Высшая школа экономики»

Институт когнитивных нейронаук

«УТВЕРЖДАЮ»

Академический директор
АШ по когнитивным наукам

_____ Захаров Д.Г.
«___» _____ 2025 г.

Специальность 5.12.4. «Когнитивное моделирование»

БИЛЕТ № 7

1. Виды синаптической пластичности и их математические модели.
2. Чем отличаются задачи регрессии и классификации? Какие метрики лучше использовать для каждой из них?

Экзаменаторы _____