**Модели нелинейного мира. От макромолекул до эпидемий.**

***Models of Nonlinear World. From macromolecules to epidemics.***

**Трудоемкость:** 24 аудиторных часа (12 лекций).

**Форма отчетности:** зачет.

**Лектор:** Ризниченко Галина Юрьевна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры биофизики биологического факультета МГУ, riznich46@mail.ru

**Программа курса:**

**Лекция №1.** Понятие модели. Системно-динамические и агентные модели. Модели в разных науках: физике, химии, биологии, экономике, гуманитарных науках. Линейность и нелинейность Динамические свойства нелинейных моделей. Самоорганизация в пространстве и во времени. Нелинейное мышление и экологическое сознание

**Лекция №2.** Классификация моделей. Модели роста. регрессионные, качественные (базовые), имитационные. Мягкие и жесткие модели (По Арнольду). Модели искусственного интеллекта. Понятие переменных и параметров. Исследование модели, представляющей собой одно автономное дифференциальное уравнение. Рост популяции. Рост капитала. Модель роста человечества. Непрерывные и дискретные модели. Динамические режимы в дискретных моделях. Роль запаздывания

**Лекция №3.** Математический аппарат моделирования. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Поведение системы во времени. Уравнения в частных производных. Пространственно-временная динамика. Понятие фазовой плоскости и фазового пространства. Понятие стационарного состояния. Понятие устойчивости стационарного состояния. Модель военного соперничества (Неймарк).

**Лекция №4.** Примеры базовых моделей. Модели видов взаимодействия. Фазовый портрет. Устойчивость стационарных состояний. Модели химических реакций. Модель Вольтерра взаимодействия двух видов типа хищник-жертва. Модели конкуренции. Базовая модель эпидемии «восприимчивые-инфицированные-удаленные» (SIR: Susceptible – Infected - Removed). Применение моделей для выработки стратегий борьбы с COVID-19.

**Лекция №5.** Иерархия времен процессов в сложной системе. Пример1 – фотосинтез. Пример 2 - эпидемия. Метод квазистационарных концентраций в химии. Теорема Тихонова. Иерархия времен процессов в живых системах. Иерархия процессов в моделях экосистем. Глобальные модели. Методы моделирования и исследования

**Лекция №6.** Мультистационарные системы. Понятие триггера. Типы эволюции неживых и живых систем. Модели отбора. Конкуренция биологических видов. Генетический триггер Жакоба и Моно. Конкуренция в экономике. Триггерная модель высоко- и низкопродуктивной экономики (Д.С.Чернавский). Понятие бифуркаций. Типы бифуркаций. Катастрофы типа складки и сборки. Философские понятия катастроф

**Лекция №7.** Периодические процессы в физике, химии, биологии, экономике. Гармонический осциллятор и нелинейный осциллятор. Представление моделей процессов в виде рядов периодических функций (Ряды Фурье). Представление колебаний на фазовой плоскости. Предельный цикл. Мягкое и жесткое рождение колебаний. Колебания в биологических системах: фотосинтез, гликолиз, регуляция кальция в клетке, клеточный цикл. Бумы и спады в экономике. Циклы Леонтьева. Циклы солнечной активности и их влияние на историю.

**Лекция №8.** Детерминированный хаос. Модель Лоренца (из метеорологии). Понятие странного аттрактора. Горизонт предсказуемости. Понятие устойчивости траектории системы. Критерии оценки устойчивости. Показатель Ляпунова. Понятие фрактала и фрактальной размерности. Примеры фрактальных систем. Фрактальная геометрия природы (Мандельброт)

**Лекция №9.** Поведение систем в пространстве и во времени. Распространение фронтов, импульсов и волн. Механические колебания струны. Распространение акустической волны. Распространение пламени в степи. Распространение эпидемии. Автоволновые процессы в физических и химических системах. Уравнение Петровского-Колмогорова-Пискунова-Фишера. Реакция Белоусова-Жаботинского. Распространение нервного импульса. Модели сердечной активности

**Лекция №10.** Модели формообразования. Философское понятие морфогенеза. Книга Р. Тома «Теория морфогенеза». Модель Тьюринга. Брюсселятор – базовая модель нелинейного пространственно-временного поведения. Модели школы И.Р.Пригожина. Раскраска шкур животных (J.Murry). Формообразование морских звезд и раковин (Майнхардт). Структуры расселения растительности (Лефевр). Модели образования городов.

**Лекция №11.** Модели процессов на нано-уровне. Бионаноструктуры. Молекулярная динамика. Моделирование конформационных движений в белках и других биомакромолекулах. Силовые поля. Докинг. Многочастичные броуновские модели. Концепция белок-машина. Молекулярные моторы и их модели. Молекулярные «энергетические фабрики»: хлоропласты (фотосинтез) и митохондрии (дыхание). Модели электрон-транспортных цепей в фотосинтетической и дыхательной мембранах.

**Лекция №12.** Модели рождения информации и сетевые модели. Способы передачи информации. Информационные сети. Транспортные сети. Регуляторные генные и метаболические сети в живой клетке. Понятие ценности информации. Синергетические модели деятельности мозга (Хакен). Нейрокомпьютинг. Искусственный интеллект. Модели художественного творчества. Сети взаимоотношений персонажей художественных произведений.

**Вопросы к зачету по курсу:**

1. Что такое модель. Для чего строятся модели. В чем отличие качественных и имитационных моделей. Что такое агентные модели? Понятие линейной и нелинейной системы, линейного и нелинейного мышления. Что такое экологическое сознание? В чем связь нелинейного мышления и экологического сознания?

2. Что такое дифференциальные уравнения. В чем отличие переменных и параметров. Что такое стационарное состояние. Как определить, устойчиво ли стационарное состояние. Привести примеры устойчивых и неустойчивых стационарных состояний. Что такое фазовое пространство? Что такое аттрактор?

3. Что такое линейный рост. Как выглядит зависимость численности от времени при линейном росте. Чем может быть вызвано ограничение роста? Определить понятия: дискретный и непрерывный. Почему в дискретной модели возможны различные динамические режимы (колебания, хаос). Как может проявляться запаздывание. Как растет человеческая популяция?

4. Какие виды взаимодействий вы знаете? Чем отличаются взаимодействия типа хищник-жертва и типа конкуренции. Приведите примеры конкуренции в биологии и экономике. Какие еще типы взаимодействия возможны (на примере биологических видов). В чем сходство процессов взаимодействия молекул и

взаимодействия видов? Какой основной процесс определяет скорость распространения эпидемии?

5. Привести примеры иерархии процессов в сложных системах. Организм человека. Растение. Экологическая система. Страна. Эпидемия инфекционного заболевания. Какие процессы можно считать квазистационарными? В чем отличие эпидемий гриппа (COVID 19) от эпидемии спида? Как должна строиться стратегия борьбы?

6. Привести примеры систем, в которых имеет место отбор. Какую роль играет отбор в эволюции? Что такое триггерная система. В каких системах возможны переключения. Как выглядит триггерная система на фазовой плоскости.

7. Приведите примеры периодических (колебательных) процессов в Вашей области знания. Представление периодических процессов на фазовой плоскости. Как могут возникнуть колебания? Что представляет собой аттрактор, который является изображением колебаний с постоянными периодом и амплитудой на фазовой плоскости? Приведите примеры различных аттракторов.

8. Что такое детерминированный хаос? В чем причина хаотического поведения траекторий системы? Что такое горизонт предсказуемости? Понятие странного аттрактора. Почему он странный? Чем характеризуются фрактальные системы?

9. Приведите примеры пространственно-временной динамики систем, которые Вы изучаете? Как распространяется эпидемия? Может ли «волна концентраций» распространяться быстрее, чем идет процесс диффузии? В чем причина такого явления?

10. Существуют ли в системах, которые Вы изучаете, пространственно-однородные стационарные распределения? Автоволны? Каким образом получается, что наличие диффузии и флуктуаций делает пространственно однородную систему гетерогенной? Как возникают структуры?

11. В чем специфика процессов на нано-уровне? Как физические процессы обуславливают биологические функции? Приведите аналогии технических устройств и живых систем. В чем сходство и различие?

12. Как рождается новая информация? Что такое сетевые структуры? Приведите примеры информационных сетей. В чем сходство регуляторных, метаболических и информационных сетей? Что такое нейрокомпьютинг? Чем характеризуются когнитивные процессы? Как соотносятся модели нейрокомпьютинга и работа мозга животного и человека? Приведите примеры сетевых взаимоотношений персонажей художественных произведений.