**Как предсказать переломный момент в хаотической системе?**

***Ван Хунчжи, Сюй Чэнькай***

*Студенты (бакалавры)*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

*Институт русского языка и культуры, Москва, Россия*

1. *mail:* *3023425314@qq.com*

Хаотические системы характеризуются экспоненциальной чувствительностью к начальным условиям. Они встречаются повсеместно — от климатологии до медицины и экономики. Понимание закономерностей таких систем остается ключевой задачей науки.

В работе рассматривается классический пример хаотической системы — аттрактор Лоренца [1]. Изначально эта система описывала атмосферную конвекцию. Главная особенность системы — «чувствительная зависимость»: даже если два начальных состояния отличаются лишь незначительно, со временем их траектории могут разойтись экспоненциально. Это свойство делает долгосрочный прогноз поведения системы практически невозможным.

Обсуждаются различные подходы к изучению подобных систем. Показатель Ляпунова измеряет как быстро система «забывает» начальные условия [2]. Метод сечений Пуанкаре упрощает сложное движение до дискретных точек на плоскости. Теория бифуркаций демонстрирует, как плавные изменения параметров вызывают резкие переходы [3]. Эти методы мощны, но требуют глубоких математических знаний, что ограничивает их применение не специалистами.

Другой возможный подход к исследованию таких систем — машинное обучение. Так, реконструкция фазового пространства позволяет преобразовать одномерные временные ряды в многомерные геометрические фигуры, воссоздавая динамику системы. Метод опорных векторов помогает анализировать форму этих фигур, определяя, приближается ли система к критической точке. Рекуррентные нейронные сети выявляют скрытые паттерны в данных [4]. Эти технологии не требуют умения работать со сложными уравнениями, а «учатся» на самих данных, что дает новые возможности исследователям.

В будущем наиболее перспективным выглядит сочетание традиционных аналитических и современных компьютерных методов.

**Литература**

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. Издательство Массачусетского технологического института. 2016. (Goodfellow, I. Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. MIT Press. 2016.)
2. Лоренц Э. Детерминированный непериодический поток // Журнал атмосферных наук, 1963, 20, с.130–141. (Lorenz, E.N. Deterministic nonperiodic flow // Journal of the Atmospheric Sciences, 1963, 20, p. 130–141)
3. Строгац С. Нелинейные динамические системы и хаос. Тейлор&Френсис. 2014 (Strogatz, S. Nonlinear Dynamics and Chaos. Taylor&Francis. 2014.)
4. Такенс Ф. Выявление странных аттракторов в турбулентных системах, Уорик 1980. Лекции по математике, т. 898. Из-во Шпрингер. Берлин Хайдельберг, 1981. (Takens, F. Detecting strange attractors in turbulence. Dynamical Systems and Turbulence, Warwick 1980. Lecture Notes in Mathematics, vol 898. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1981.)