

## Моделирование нелинейных систем, бифуркационные диаграммы

Научный руководитель – Куракин Вячеслав Александрович

*Бирюлин Егор Захарович*

*Студент (бакалавр)*

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

*E-mail: biryulin.e@mail.ru*

Бифуркация - качественное изменение поведения динамической системы при малом изменении параметров этой системы. К примеру, бифуркацией для последовательности, зависящей от параметра  $r$ , может быть количество частных пределов последовательности, зависящее от  $r$ . Один из известных примеров - последовательность  $x_n + 1 = 4rx_n(1 - x_n)$  - логистическое отображение. Меняя  $r$ , можно получить кардинально разные характеры последовательностей (от одного предела до хаоса). При этом на бифуркационной диаграмме (изображение смены динамических режимов системы) можно выделить "окна прозрачности" иначе "окна периодичности".

При значениях параметра  $r$ , принадлежащим тому или иному "окну хаотический режим сменяется на гармонический, когда последовательность имеет определенное количество частных пределов (наиболее заметные "окну" имеют периоды 3,5,6). Ввиду того, что параметры диаграммы аналитически можно рассчитать только приближенно, а в литературе "окну прозрачности" представлены только на качественном уровне, без указания значений параметра  $r$  на границах, была написана программа, с использованием языка Java, а также MatLab, моделирующая нелинейные системы. Для определения границ окна прозрачности был использован метод поиска периодических последовательностей, заключающийся в проверке последовательности на периодичность: каждый  $n$ -й член сходится к  $i$ -му частному пределу (в случае  $n$ -периодичного "окну"). Данный метод отличается от классического - метода оценки расходимости двух последовательностей, имеющих начало в близких начальных точках. Кроме вышесказанного, были исследованы другие особенности и свойства диаграммы.

## Список литературы

- [1] Harvey G., Jan T., Wolfgang C.: Computer simulation methods applications to physical systems: Pearson 2007.
- [2] Шустер Г.: Детерминированный хаос: Москва [laquo](#);Мир[raquo](#); 1988.
- [3] Булавин Л.А., Н.В.: Выгорницкий, Н.И.Лебовка Компьютерное моделирование физических систем: Издательский Дом [laquo](#);Интеллект[raquo](#); 2011.
- [4] Ю.Н. Прошин, М.А. Шакиров: Моделирование и визуализация нелинейных динамических систем: Казанский университет 2017.