

**Построение законов обучения для динамической нейронной сети с гарантированной чувствительностью к внешним воздействиям****Чернозубов Данил Ярославич***Студент (магистр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет космических исследований, Москва, Россия

*E-mail: danilchernozubov66@gmail.com*

В прошлой работе рассматривалась модель аппроксимации системы с неопределенной динамикой, основанная на динамической нейронной сети (ДНС), в приложении к вестибуло-окулярному рефлексу (ВОР).

Структура ДНС задавалась следующим соотношением:

$$\frac{d}{dt}\hat{x}(t) = A\hat{x}(t) + W_1(t)\phi_1(\hat{x}(t)) + W_2(t)\phi_2(\hat{x}(t))u(t), \quad \hat{x}(0) = \hat{x}_0 \in \mathbb{R}^4. \quad (1)$$

Результаты, полученные по итогам исследования поставленной проблемы (прогнозирование ВОР), показали, что подобная модель имеет конструктивный недостаток. Он выражается в нечувствительности весовых коэффициентов по отношению к внешним воздействиям, и как следствие, неточности предсказания. Нечувствительность характеризуется малым вкладом в процесс идентификации второй компоненты весовых коэффициентов  $W_2$ .

Проблема относительной чувствительности компонент ДНС и является основным предметом настоящей работы.

Главным результатом данного исследования является новая архитектура непараметрической адаптивной приближенной модели, в основе которой лежат ДНС, применяемой для класса систем с неопределенной динамикой. Приближенная модель объединяет динамику ДНС и проектор состояния системы, используя расширенную форму состояния [1]. Имплементация недифференцируемого оператора проекции обеспечивает гарантированную чувствительность весовых коэффициентов модели к внешним воздействиям. Расширенная форма позволяет производить непрерывные динамики для проецируемой модели. Разработка законов обучения для настройки весов непрерывной проекционной ДНС велась с помощью управляемой функции, похожей на функцию Ляпунова [2]. Анализ устойчивости, основанный на функции похожей на функцию Ляпунова, приводит к определению свойства предельной ограниченности для ошибки идентификации. Применение метода притягивающих эллипсоидов (Attractive Ellipsoid Method) [3] позволяет проанализировать качество сходимости разработанной приближенной модели.

Для обеспечения ясного зрения человека во время движения, предполагается присутствие некой связи между вестибулярным аппаратом и окулomotorным механизмом (в ответ на вращение головы, глаза вращаются в противоположном направлении [4]). Однако на сегодняшний день не до конца ясна подобная связь между внешними ускорениями и угловыми скоростями и вестибулярным ответом. Данная проблема является одной из сфер применения предложенной в работе модели на основе динамической нейронной сети.

**Источники и литература**

- 1) Chairez, I., Andrianova, O., Poznyak, T., & Poznyak, A. (2022). Adaptive modeling of nonnegative environmental systems based on Projectional Differential Neural Networks Observer. *Neural Networks*, 151, 156–167. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2022.03.028>

- 2) Alejandro Guarneros-Sandoval и др. «Stable learning laws design for long short-term memory identifier for uncertain discrete systems via control Lyapunov functions». В: Neurocomputing 491 (2022), с. 144–159. doi: 10.1016/j.neucom.2022.03.070.
- 3) Poznyak, A. S., Polyakov, A., & Azhmyakov, V. (2016). Attractive ellipsoids in robust control. Springer.
- 4) Jay M. Goldberg и Kathleen E. Cullen. «Vestibular control of the head: Possible functions of the Vestibulocollic Reflex». В: Experimental Brain Research 210.3-4 (2011), с. 331–345. doi: 10.1007/s00221-011-2611-5.