

# ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Михайлов Н.А., Николаев К.П.  
(Чебоксары, ООО «Релематика», ЧГУ)

## ПОСТРОЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА В ЗАДАЧЕ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Применение искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет получить сигнал с минимальной шумовой составляющей. Проблема данного метода заключается в невозможности полностью восстановить сигнал (свести шумовую составляющую к нулю). Здесь и далее сигнал с нулевым шумом обозначается как «чистый» сигнал.

В работе для решения этой задачи предлагается создать ИНС, способную проводить интервальную оценку [1] для точечных оценок значений «чистого» сигнала. В качестве такой ИНС предлагается использовать модель автоэнкодера [2], дополненного вторым декодером, который будет использовать данные скрытого пространства (рис. 1) для построения доверительного интервала [3].

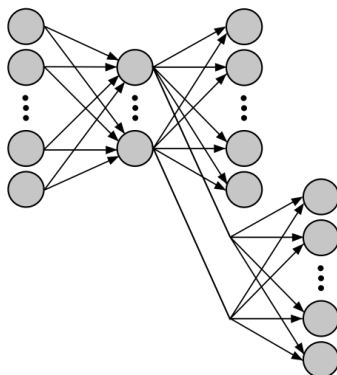


Рис. 1. Схема предлагаемой архитектуры автоэнкодера

Оптимизация функции потерь второго декодера  $L$ , позволит получить на его выходе интервал, равный одному стандартному отклонению,

$$L = \sum \left( x_{\text{пред}} - |u_{\text{пред}} - u_{\text{чист}}| \right)^2, \quad (1)$$

где  $u_{\text{пред}}$ , о.е. – выход первого декодера (точечная оценка «чистого» сигнала);  $x_{\text{пред}}$ , о.е. – выход второго декодера;  $u_{\text{чист}}$ , о.е. – чистый сигнал. Так, доверительный интервал с 95 % доверительной вероятностью заключён в следующих границах:

$$\left( u_{\text{пред}} - 2x_{\text{пред}}, u_{\text{пред}} + 2x_{\text{пред}} \right), \quad (2)$$

где чистый сигнал описывается следующим уравнением:

$$u_{\text{чист}}(t) = Ae^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $A$ , о.е. – амплитуда;  $\delta$ , 1/с – коэффициент затухания;  $\omega$ , рад/с – частота;  $\varphi$ , рад – начальная фаза.

Сигнал, поступивший на вход модели, представляет собой «чистый» сигнал с наложенным на него нормально распределённым шумом (3),

$$u(t) = u_{\text{чист}} + N(0, \sigma), \quad (3)$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение.

В соответствии с выражением (3) сформирована обучающая выборка из 100000 сигналов. Каждый сигнал содержит в себе 100 значений, полученных в промежутке времени от 0 до 0,05 с. Параметры сигналов получены с использованием генератора псевдослучайных чисел с равномерным распределением. Диапазоны параметров генерации сигнала представлены в таблице.

Таблица. Диапазоны параметров сигнала

параметр	диапазон
$A$ , о.е.	0,5 ... 1
$\delta$ , 1/с	10 ... 50
$\omega$ , рад/с	300 ... 400
$\varphi$ , рад	0 ... $2\pi$
$\sigma$	0,1 ... 0,2

Обученная ИНС способна предсказывать доверительный интервал для каждого значения сигнала, результат работы моде-

ли с построенным доверительным интервалом (2) представлен на рис. 2.

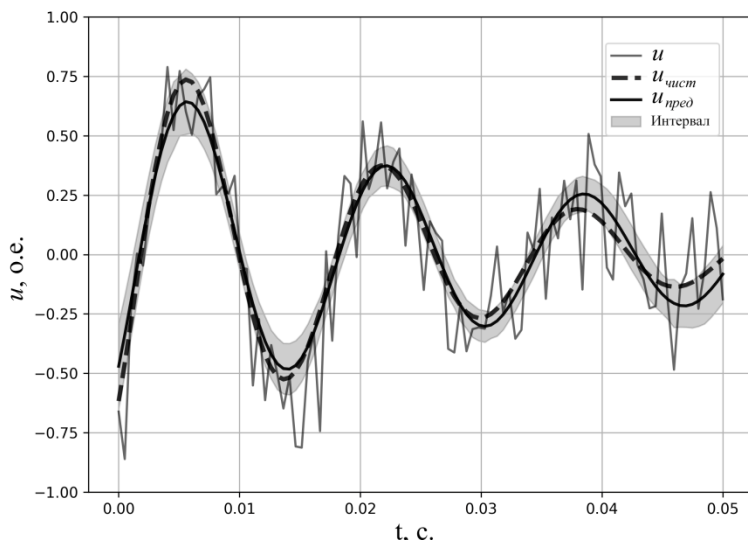


Рис. 2. Результат работы модели

Обученная модель способна построить доверительный интервал для значений точечных оценок «чистого» сигнала для любого сигнала с параметрами, близкими к параметрам генерации обучающей выборки.

#### Литература

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. Шк., 2003.
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Auto-encoders. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.deeplearningbook.org](http://www.deeplearningbook.org). (дата обращения 20.03.2022).
3. Славутский Л. А., Славутская Е. В. Выбор структуры нейронной сети для обработки сигналов как планирование эксперимента // Вестник чувашского университета. 2021. № 3. С. 123–132.