

## Нейросетевая модель расчета геометрических параметров поверхностных интенсификаторов теплообмена

Научный руководитель – Гильфанов Камиль Хабибович

*Шажиров Руслан Айварович*

*Аспирант*

Казанский государственный энергетический университет, Институт теплоэнергетики,  
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Казань, Россия

*E-mail: ruslan6399@yandex.ru*

Проектирование интенсифицированных теплообменников с оптимальными характеристиками затрудняется проблемой обобщения результатов исследований. Анализ литературных источников показывает, что обобщить характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена общепринятыми уравнениями сохранения не удастся ввиду сложности тепловых и гидромеханических процессов. Последнее обуславливается также многочисленностью конструктивных параметров интенсификаторов в виде полусферических (сегментных) выемок [3]. Определенный выход из ситуации предлагают системы искусственного интеллекта. Искусственная нейронная сеть реализована при помощи нейропакета «NeuroSolutions». Обобщение и анализ данных по теплоотдаче проведенный в работе [1] позволили составить выборку данных для нейросетевого моделирования, представленную на рисунке 1. На основе представленных данных создается структура сети и производится ее обучение. В процессе обучения можно наблюдать уменьшение ошибки, которое зависит от количества уроков. Это можно наглядно увидеть на рисунке 2, где представлены тренды показывающие, какие значения выдает на нашей истории сеть в процессе обучения, и какие там были значения на самом деле. Таким образом, по данным графикам видно, что ошибка обучения мала и результаты работы сети на основе обучающих данных практически совпадают с действительными значениями выборки. Это позволяет сделать вывод, что обучение сети прошло успешно, и можно приступить к тестированию. В качестве тестовой матрицы используем матрицу с «неизвестными данными», которые также отобраны из [1-3], но не вошли в массив «учителя». Результаты тестирования обученной сети представлены на рисунке 3, где показаны действительные значения тестовой матрицы (Des) и значения, спрогнозированные нашей сетью (Out). Таким образом, представлена возможность построения искусственных нейронных сетей для моделирования поверхностных интенсификаторов теплообмена в виде сферических выемок. Тестирование разработанной нейросети показало погрешность моделирования 0,2%, что можно считать удовлетворительной, учитывая разброс в выборке данных, связанных с погрешностью базовых экспериментальных (5-15%).

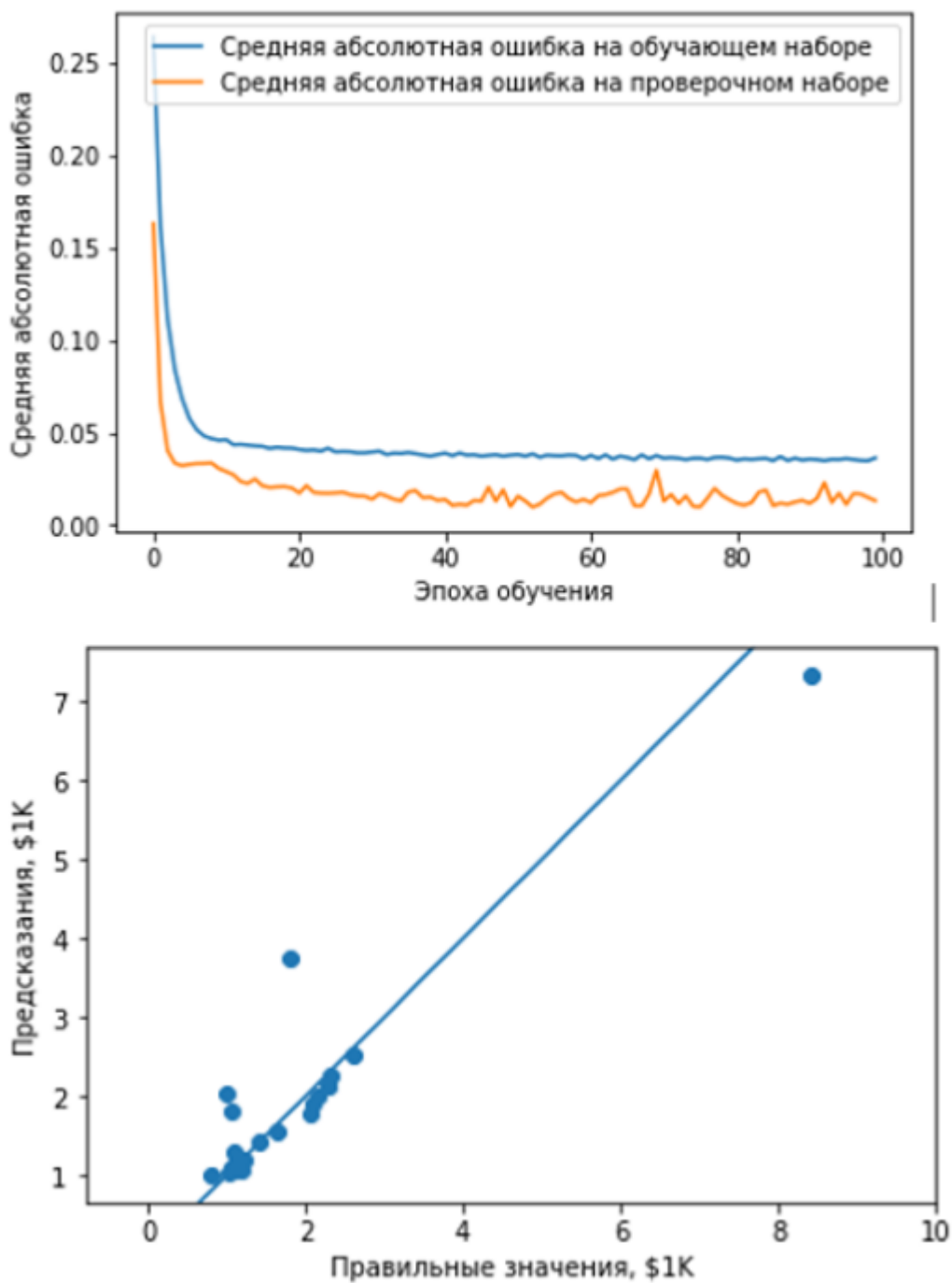
### Источники и литература

- 1) Гортышов Ю Ф, Попов И А, Щелчков А В, Рыжков Д В 2008 Теплогидравлические характеристики теплообменных аппаратов с поверхностной интенсификацией теплообмена в виде сферических выемок и выступов (Москва: МЭИ)
- 2) Шанин Ю И, Шанин О И 2004 Интенсификация теплоотдачи нанесением сферических лунок на стенки каналов Конвективный теплообмен (Минск: ИТМО им.А.В. Лыкова АНБ)
- 3) Borisov I, Khalatov A, Kobzar S, Glezer B 2004 Comparison of thermal hydraulic characteristics for two types of dimpled surfaces ASME Paper № GT2004-54204

### Иллюстрации

L	t	t/h	d	теплоноситель	t/h	t/D	d/D	Pr	ReD	Nu/Nu0
1	0,0025	22,7273	0,00978	1	22,727	0,250	0,978	3,56	650	1,02
1	0,0025	5	0,009	1	5,000	0,250	0,900	3,56	650	1,08
1	0,0025	4,16667	0,0088	1	4,167	0,250	0,880	3,56	650	1,09
1	0,005	10	0,009	1	10,000	0,500	0,900	3,56	650	1
1	0,005	5	0,008	1	5,000	0,500	0,800	3,56	650	1,27
1	0,004	4	0,0056	1	4,000	0,526	0,737	3,56	650	1,02
0,76	0,01	66,6667	0,0097	1	66,667	1,000	0,970	3,56	650	1,34
1	0,01	22,2222	0,0091	1	22,222	1,000	0,910	3,56	650	1,1
1	0,01	20	0,009	1	20,000	1,000	0,900	3,56	650	1,12
1	0,01	14,2857	0,0086	1	14,286	1,000	0,860	3,56	650	1,14
1	0,01	10	0,008	1	10,000	1,000	0,800	3,56	650	1,1
0,76	0,0075	7,5	0,0056	1	7,500	0,987	0,737	3,56	650	1,08
1	0,0025	22,7273	0,00978	1	22,727	0,250	0,978	3,56	1000	1,1
1	0,0025	5	0,009	1	5,000	0,250	0,900	3,56	1000	1,14
1	0,0025	4,16667	0,0088	1	4,167	0,250	0,880	3,56	1000	1,21
1	0,005	10	0,009	1	10,000	0,500	0,900	3,56	1000	1,01
1	0,005	5	0,008	1	5,000	0,500	0,800	3,56	1000	1,21
1	0,004	4	0,0056	1	4,000	0,526	0,737	3,56	1000	2,61
0,76	0,01	66,6667	0,0097	1	66,667	1,000	0,970	3,56	1000	1,06
1	0,01	22,2222	0,0091	1	22,222	1,000	0,910	3,56	1000	1,02
1	0,01	20	0,009	1	20,000	1,000	0,900	3,56	1000	1,12
1	0,01	14,2857	0,0086	1	14,286	1,000	0,860	3,56	1000	1,1
1	0,01	10	0,008	1	10,000	1,000	0,800	3,56	1000	1,81
0,76	0,0075	7,5	0,0056	1	7,500	0,987	0,737	3,56	1000	3,8
1	0,0025	22,7273	0,00978	1	22,727	0,250	0,978	3,56	1500	1,03
1	0,0025	5	0,009	1	5,000	0,250	0,900	3,56	1500	1,27

Рис. 1. Выборка данных для обучения



**Рис. 2.** Скриншоты снижения среднеквадратической ошибки (Mean Squared Error) в зависимости от количества уроков и графики прогнозируемых и действительных значений сети

Сеть сказала: 3.7382038 , а верный ответ: [1.81] ,разница: [1.92820376]  
Сеть сказала: 1.8068848 , а верный ответ: [1.06] ,разница: [0.74688477]  
Сеть сказала: 2.0363445 , а верный ответ: [1.] ,разница: [1.03634453]  
Сеть сказала: 0.99570954 , а верный ответ: [0.81] ,разница: [0.18570954]  
Сеть сказала: 1.0598671 , а верный ответ: [1.18] ,разница: [-0.12013286]  
Сеть сказала: 1.0389569 , а верный ответ: [1.03] ,разница: [0.00895688]  
Сеть сказала: 7.341921 , а верный ответ: [8.41] ,разница: [-1.06807915]  
Сеть сказала: 1.7847742 , а верный ответ: [2.05] ,разница: [-0.26522582]  
Сеть сказала: 2.003033 , а верный ответ: [2.16] ,разница: [-0.15696708]  
Сеть сказала: 2.5406952 , а верный ответ: [2.6] ,разница: [-0.05930481]  
Сеть сказала: 2.1356359 , а верный ответ: [2.28] ,разница: [-0.14436415]  
Сеть сказала: 1.9036533 , а верный ответ: [2.08] ,разница: [-0.17634674]  
Сеть сказала: 2.265496 , а верный ответ: [2.33] ,разница: [-0.06450398]  
Сеть сказала: 1.0613965 , а верный ответ: [1.1] ,разница: [-0.03860352]  
Сеть сказала: 1.1077651 , а верный ответ: [1.07] ,разница: [0.03776508]  
Сеть сказала: 2.1434407 , а верный ответ: [2.28] ,разница: [-0.13655928]  
Сеть сказала: 1.4323883 , а верный ответ: [1.43] ,разница: [0.00238831]  
Сеть сказала: 1.2199821 , а верный ответ: [1.23] ,разница: [-0.01001785]  
Сеть сказала: 1.5697461 , а верный ответ: [1.63] ,разница: [-0.06025386]  
Сеть сказала: 1.2040939 , а верный ответ: [1.15] ,разница: [0.05409393]  
Сеть сказала: 1.2473962 , а верный ответ: [1.12] ,разница: [0.12739623]  
Сеть сказала: 1.2973114 , а верный ответ: [1.1] ,разница: [0.19731143]

Рис. 3. Скриншоты действительных значений экспериментальной матрицы и результаты тестирования сети