

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

Андреев В.В., Орехова Е.Е., Абрамов А.А.

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия (Н. Новгород, ул. Минина, д. 24) e-mail: katrin_orehova@rambler.ru

В данной работе рассмотрено применение искусственных нейронных сетей (далее ИНС) к решению задачи определения теплофизических параметров воды и водяного пара на линии насыщения. Были созданы ИНС для определения температуры, энтальпии, энтропии и удельного объема воды и пара на линии насыщения по известному давлению. Выполнено сравнение результатов определения теплофизических параметров воды и водяного пара с использованием сетей различного типа, оценена точность определения искомых параметров. Рассмотрено несколько различных типов нейронных сетей и выявлены типы сетей, наиболее подходящих для решения поставленной задачи. В процессе исследования выявлено, что сеть типа РБФ решает рассматриваемую задачу лучше, чем сеть типа многослойный перцептрон. Предметом дальнейшего исследования предполагается определение оптимальных параметров сети типа РБФ для решения рассматриваемой задачи.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, теплофизические параметры, вода и водяной пар

CREATION OF NEURAL NETWORKS TO IDENTIFY THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF WATER AND STEAM

Andreev V.V., Orekhova E.E., Abramov A.A.

Nizhny Novgorod State University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, (Nizhny Novgorod, street Minina, 24), e-mail: katrin_orehova@rambler.ru

In this paper considered the application of artificial neural networks (hereinafter NN) to the solution of the problem of determining the thermophysical properties of water and steam at saturation line. Were created ANN for the definition of temperature, enthalpy, entropy and specific volume of water and steam at saturation line on known pressure. The comparison of the results of determining the thermophysical properties of water and steam using the networks of different types, estimated accuracy of determination of unknown parameters. Considered several different types of neural networks and identified the types of networks that are most suitable for the task solution. The study found that the network type RBF decides to solve the problem better than a chain-type multilayer perceptron. The subject of further research assumes determination of optimum parameters of a network such as the RBF for a solution of the problem.

Keywords: neural networks, thermal parameters, water and steam

Введение

За последние десятилетия в разных странах проведено большое количество работ с целью изучения термодинамических свойств воды и водяного пара. Но, несмотря на это, значительная область температур и давлений оставалась неизученной и необходимые данные в этой области получены только путем экстраполяции опытных результатов [1].

В последнее время увеличивается количество программных средств, позволяющих определить интересующие параметры при конкретных условиях [5]. Но в программных средствах представлены не все комбинации параметров, которые могут быть исходными при расчете, в связи с чем не всегда можно получить интересующие данные. Кроме того, используемые в программах уравнения связей могут совершенствоваться (уточняться), что приведет к необходимости модернизировать само программное средство. Решить указанные

проблемы с меньшими трудозатратами возможно с применением искусственной нейронной сети (ИНС). Создать новую ИНС или переобучить существующую быстрее и проще, чем внести изменения в программное средство при выявлении новых, более точных уравнений связи в случае уточнения значений параметров. Одна из первых попыток применения ИНС для определения значений теплофизических параметров была предпринята Катковским Е.А. [4].

Цель работы

Цель данной работы заключалась в определении теплофизических параметров воды и пара на линии насыщения с помощью нейронных сетей, в анализе полученных результатов и тем самым в обосновании возможности применения ИНС для определения параметров воды и водяного пара.

Описание нейронной сети

ИНС представляет собой совокупность нейроподобных элементов, определенным образом соединенных друг с другом. Основная часть нейронной сети – нейрон. Он состоит из элементов трех типов: умножителей (синапсов), сумматоров и нелинейного преобразователя. Сигнал, поступающий на вход нейрона, умножается на число, характеризующее силу связи (весовой коэффициент). Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих от других нейронов, и внешних входных сигналов. Нелинейный преобразователь реализует нелинейную функцию одного аргумента – выхода сумматора. Эта функция называется функцией активации нейрона (передаточной функцией) [3], [7]. На рисунке 1 представлена структурная схема нейрона.

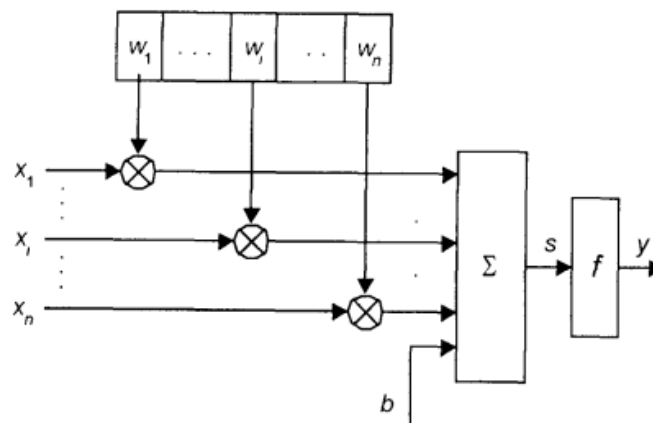


Рисунок 1 – Структурная схема нейрона

где w_i – вес синапса, $i=1\dots n$, b – значение смещения (порог), s – результат суммирования, x_i – входной сигнал нейрона, y – выходной сигнал нейрона, n – число входных нейронов, f – функция активации.

Главное отличие и преимущество нейросетей перед классическими средствами прогнозирования и классификации заключается в их способности к обучению. На этапе обучения происходит вычисление синаптических коэффициентов в процессе решения нейронной сетью задач, в которых нужный ответ определяется не по правилам, а с помощью примеров, сгруппированных в обучающие множества.

Решение поставленной задачи

Для реализации нейронных сетей всех выбранных типов необходимы обучающие данные. В данной работе обучающие данные представляют собой значения теплофизических параметров: тех, по которым определяем интересующий параметр, а также значения того параметра, который должна прогнозировать сеть [2]. Было создано несколько таблиц: одна таблица представляет собой набор значений параметров воды на линии насыщения, одна таблица – значения параметров пара на линии насыщения. Обучающие данные состояли из значений давлений в диапазоне от 800 кПа до 21,7 МПа.

В результате исследования были созданы нейронные сети для определения температуры, энтальпии, энтропии и удельного объема воды и пара на линии насыщения по известному давлению. Также была смоделирована сеть для определения давления насыщения при известной энтальпии воды, находящейся на линии насыщения.

В процессе решения каждой задачи моделировалось несколько нейронных сетей: многослойные персептрон (МСП) с одним скрытым слоем, МСП с двумя скрытыми слоями, радиальная базисная функция. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 Средняя ошибка определения нейронной сетью значения параметра воды (пара) на линии насыщения в диапазоне давлений от 0,005МПа до 22 Мпа

Задача, решаемая ИНС	Средняя ошибка, %		
	МСП с 1 скрытым слоем	МСП с 2 скрытыми слоями	РБФ
Определение температуры	10,45	8,22	0,02
Определение энтальпии воды	11,47	9,05	0,1
Определение энтропии воды	5,59	8,59	0,1
Определение удельного объема воды	4,2	0,55	0,05
Определение энтальпии пара	0,24	0,34	0,02
Определение энтропии пара	1,94	1,1	0,75

Полученные нейронные сети были протестированы. Анализ сетей проводился на основе сравнения результатов, полученных с применением нейросетей, с данными, полученными традиционными способами: по справочникам, а также по существующим программным средствам [1], [6], [5]. Из проведенного анализа было выявлено, что наибольшая ошибка определения любого параметра нейросетью находится в области низких (до 1 МПа) и высоких (свыше 20 МПа) давлений. Из сетей типа МСП для большинства рассматриваемых задач сеть с одним скрытым слоем работает лучше остальных сетей данного типа. Но лучше всего с рассматриваемыми задачами справляется сеть типа радиально-базисная функция. Ошибка определения значения параметра сетью типа РФБ для любой задачи не превышает 0,5% в любой области значений рассматриваемых параметров. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Создание ИНС для определения давления насыщения по известной энтальпии воды и анализ полученных результатов

Для создания данной сети в качестве входного параметра задавалась энтальпия воды, выходной параметр – значение давления воды на линии насыщения при заданной энтальпии. Диапазон энтальпий в обучающих данных: от 15,5 кДж/кг до 1950 кДж/кг.

Для данной задачи моделировалось несколько типов сетей: многослойный персептрон с одним, двумя и тремя скрытыми слоями нейронов, а также сеть типа радиально-базисная функция. При проверке оказывалось, что сети типа многослойный персептрон при любых конфигурациях выдают отрицательные значения давлений, и таким образом полноценную работоспособную сеть получить не удалось. Поэтому для решения данной задачи получена только сеть типа радиально-базисная функция. Подробные ее характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2 Характеристики нейронной сети по определению давления насыщения при известной энтальпии

Характеристика	Значение
Среднее ошибки	0,000
Стандартное отклонение ошибки	2,9
Среднее абсолютной ошибки	1
Корреляция	1

Ни в одном из существующих справочных и программных средств возможности определить давление по энтальпии на линии насыщения нет. Поэтому для оценки работы данной нейронной сети было взято несколько значений давлений насыщения воды с использованием справочника [6] и ПО WSP определена энтальпия насыщения воды при данном давлении, найдено среднее значение энтальпии. Для этого значения энтальпии при помощи нейронной сети было найдено давление насыщения. Это давление сравнивалось с

исходным значением, взятым по справочнику. Частично полученные результаты представлены в таблице 3. Из представленных результатов можно видеть, что ошибка определения значения давления на линии насыщения по энтальпии не превышает 0,5%, что вполне приемлемо при проведении расчетных работ.

Таблица 3 Анализ работы нейронной сети по определению значения давления насыщения при известной энтальпии

Искомое давление, МПа	Данные, полученные по справочнику [6]	WSP	среднее значение энтальпии	Давление, полученное ИНС	ошибка относительно среднего значения, %
0,008	173,87	173,9	173,885	0,008029	0,363
0,009	183,28	183,3	183,290	0,009029	0,318
0,01	191,84	191,8	191,820	0,010025	0,252
0,04	317,65	317,6	317,625	0,040105	0,263
0,1	417,51	417,44	417,475	0,100208	0,208
0,5	640,1	640,19	640,145	0,500541	0,108
1	762,6	762,68	762,640	1,000921	0,092
6	1213,6	1214	1213,800	6,005873	0,098
11	1451,2	1450	1450,600	11,015485	0,141
20	1828,8	1827	1827,900	20,036076	0,180
22	2007,7	2022	2014,850	21,948815	0,233

Выводы

В данной работе рассмотрено применение нейронных сетей для определения температуры, удельного объема, энтальпии и энтропии воды и водяного пара на линии насыщения по известному давлению. Из анализа полученных результатов было выявлено, что наибольшая ошибка определения любого параметра нейросетью находится в области низких (до 1 МПа) и высоких (свыше 20 МПа) давлений. Из сетей типа МСП для большинства рассматриваемых задач сеть с одним скрытым слоем работает лучше остальных сетей данного типа. Но лучше всего с рассматриваемыми задачами справляется сеть типа радиально-базисная функция. Ошибка определения значения параметра сетью типа РФБ для любой задачи не превышает 0,5% в любой области значений рассматриваемых параметров.

Также была смоделирована нейронная сеть для определения значения давления на линии насыщения при известной энтальпии жидкости. Данные задачи встречаются при определении параметров воды в точках регенеративного подогрева. В результате анализа полученных нейросетей было замечено, что ошибка определения значения параметра (давления насыщения) для данной задачи не превышает 0,5%. Также можно заметить, что в настоящее время данной возможности не существует ни в одном программном средстве, а

решение данной задачи с помощью справочников требует больше времени и, возможно, дополнительных математических расчетов.

В процессе исследований выявлено, что сеть типа РБФ решает рассматриваемую задачу лучше, чем сеть типа многослойный персептрон. В данной работе не рассматривалась оптимизация сети и ее параметров. Работы по оптимизации сети типа РБФ планируются в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Вукалович М.П. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Таблицы и диаграммы – 5-е изд. – М.: МАШГИЗ, 1955 – 93 с., ил.
2. Гнедова А.А., Свердлов М.Б., Орехова Е.Е., Андреев В.В. Оптимизация процесса обучения искусственной нейронной сети для расчета термодинамических свойств воды и водяного пара Будущее технической науки, 2009 г. – С. 76.
3. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика - 2-е издание – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с., ил.
4. ООО «Энергоавтоматика: Современные системы контроля и управления: Статьи: Методы нейронных сетей для расчетов на ЭВМ тепловых, гидродинамических и физико-химических процессов. // Катковский Е.А.»:
URL:<http://www.asuintegrator.ru/stat/Katkovski.pdf> (дата обращения 10. 04.2013).
5. Официальный сайт программы по определению теплофизических параметров воды и водяного пара WaterSteamPro. [Электронный ресурс]
URL:<http://twt.mpei.ac.ru/orlov/watersteampro/ru/#authors> (дата обращения 03. 12.2013).
6. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник – 2-е изд. перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80 с., ил
7. Саймон Хайкин Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский до «Вильямс», 2006, 1104 с., ил. – Парал. Тит. Англ.

Рецензенты:

Радионов А.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Кафедра общей и ядерной физики Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего профессионального образования «Нижегородский Государственный Университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н. Новгород.

Мисевич П.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Вычислительных систем и технологий»

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего профессионального образования «Нижегородский Государственный Университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н. Новгород.