

УДК 621.5.012.2

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ
АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СПИРАЛЬНОГО
КОМПРЕССОРА С ДВУХФАЗНЫМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ**

Егоров П. А. (Университет ИТМО), **Михайлова Е. Н.** (Университет ИТМО),
Жилкин А. Ю. (Университет ИТМО)

Научные руководители – **к.т.н., доцент Кованов А. В.** (Университет ИТМО),
д.т.н., профессор Пронин В. А. (Университет ИТМО)

Введение. Спиральные компрессоры (СПК) широко применяются в холодильных установках и системах кондиционирования благодаря высокой эффективности и компактности. Применение впрыска рабочего тела в полость сжатия позволяет расширить рабочую область компрессора. Однако моделирование СПК с двухфазным рабочим телом сопряжено с рядом сложностей, связанных с нелинейностью рабочих процессов и значительным влиянием различных факторов на характеристики компрессора. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет эффективно аппроксимировать сложные зависимости, упрощая расчетную и экспериментальную части при изучении параметров работы СПК [1, 2]. К основным рабочим характеристикам СПК следует отнести: производительность, потребляемую мощность, коэффициент подачи, изоэнтропный КПД. При компримировании двухфазного рабочего тела может изменяться характер потерь, связанных с протечками, с подогревом рабочего вещества из-за влияния свойств смеси и фазовых переходов. Что требуют учета и рассмотрения термо- и газодинамики процессов на системном и элементном уровнях, включая влияние геометрии спиралей, параметров впрыска и свойств рабочего тела. Библиографический анализ показывает высокую апробированность применения ИНС и методов машинного обучения для моделирования характеристик компрессоров, однако в данной области мало работ посвященных изучению СПК и практически отсутствуют работы по компримированию в них двухфазного рабочего тела.

Основная часть. В качестве ИНС был разработан персептрон с двумя скрытыми слоями, между которыми были добавлены слои пакетной нормализации для борьбы с переобучением [3]. В качестве активационной функции была выбрана сигмоида для добавления нелинейности в модель. Модель была разработана с использованием фреймворка машинного обучения TensorFlow на языке программирования Python. В качестве функции потерь была использована среднеквадратичная ошибка (MSE),

которая показывает, где отклонение в данных наиболее сильное из-за возведения ошибки в квадрат. Также дополнительно для оценки качества модели была использована метрика — средняя относительная ошибка (MRE), поскольку она достаточно легко поддается интерпретации. Набор данных для обучения был собран из открытых источников, а часть получена с помощью эксперимента над СПК. В качестве входного параметра принимали давление и температуру на всасывании, частоту вращения вала компрессора, интервал впрыска, а выходные - давление и температура нагнетания, массовый расход рабочего тела, потребляемая мощность.

Выводы. По итогам работы получены следующие выводы:

- 1) Апробация нейросетевого подхода для моделирования характеристик СПК показала хорошие результаты. Предсказанные данные хорошо соотносятся с экспериментальными и полученными с использованием математической модели. При этом из-за несложной топологии модели время обучения составляет порядка нескольких минут.
- 2) Величина средней относительной ошибки находилась в диапазоне 0,33% - 1,58%. А среднее время обучения модели составило меньше одной минуты.
- 3) Данный подход показал перспективность, но требует дальнейшего изучения - апробации иных архитектур ИНС и совершенствование модели в части учета влияния дополнительных факторов на работу СПК.
- 4) Необходимо дальнейшее совершенствование математической модели и проведения серии натурных экспериментов для обогащения датасета - это напрямую позволит улучшить качество предсказаний.

Список литературы:

1. Z. Tian, B. Gu, L. Yang, Y. Lu. Hybrid ANNePLS approach to scroll compressor thermodynamic performance prediction // Applied Thermal Engineering, Vol. 77, 2015, P. 113-120.
2. Singh S., Dasgupta M.S. Performance evaluation of a CO2 scroll expander for work recovery using artificial neural network // Science and Technology for the Built Environment – 2018, Vol. 24 (6), P. 580–587.
3. Jeff Prosise. Applied Machine Learning and AI for Engineers // O'Reilly Media, Inc. 2022, ISBN: 9781492098058.
4. П. И. Пластинин. Поршневые компрессоры. Том 1 // Колос, Санкт-Петербург 2006, ISBN: 5-9532-0428-0.