

УДК 621.5.012.2

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПИРАЛЬНОГО КОМПРЕССОРА В ЦИКЛАХ С CO<sub>2</sub> С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Жилкин А.Ю. (Университет ИТМО), Кованов А.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Пронин В.А.  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Спиральный компрессор (СПК) имеет возможность увеличения парных полостей, из-за чего перепад давления между ними снижается. Такая конструкция, хорошо подходит для работы в циклах с CO<sub>2</sub>, где высокие рабочие давления. Применение СПК в субкритическом цикле демонстрирует относительно лучшие объёмные показатели при сопоставимых энергетических затратах, с другими типами компрессоров [1]. Однако опыт применения компрессора в транскритическом цикле пока незначителен, а какие-либо данные расчёта или характеристик производителя в свободном доступе отсутствуют. Некоторые зарубежные исследовательские работы [2] и др. отмечают, что в закритической области проявляется неоднозначность свойств CO<sub>2</sub>, а температурный градиент на поверхности спиралей вызывает их тепловую деформацию, усиливая перетечки рабочего вещества в зазорах, что прежде всего оказывает влияние на энергетические характеристики спиральной машины. Также по имеющимся работам можно судить о проведённых экспериментальных исследованиях протечек CO<sub>2</sub>, установлено, что влияние окружной скорости на зазор иногда может быть значительнее, чем температуры. Имеются некоторые прикладные исследования, основная тема которых - доводка профиля спирали, однако встретить какие-либо математические модели рабочих процессов СПК в транскритической области трудно, в виду многофакторности вопроса и неоднозначности свойств среды. Таким образом, отталкиваясь от положительных результатов, полученных [2] используя теорию материала [3], нами построена и апробирована на гидрофторуглеродистой холодильной машине гибридная искусственная нейронная сеть (ИНС), которая может использоваться в дальнейшем в качестве универсального нелинейного аппроксиматора в оценке энергоэффективности СПК для циклов CO<sub>2</sub>.

**Основная часть.** На основе библиографического изучения, проведён анализ методик расчёта и построения характеристик спирального компрессора. Как известно экономичность работы компрессора объёмного действия, во многом определяется термодинамической эффективностью процесса сжатия, во время которого расходуется основная часть внешней работы, подводимой к компрессору. Принимая это во внимание, а также результаты, изложенные в ряде работ в т. ч. [2], проанализирована возможность аппроксимации характеристик СПК, как нелинейных функций, с целью построения характеристики изоэнтропического КПД. Для чего рассмотрено влияние различных рабочих параметров, таких как: массовый расход, давление всасывания, степень повышения давлений и частота вращения вала, температуры нагнетания на общую потребляемую мощность, составляющую индикаторных потерь, холодильный коэффициент. Выбрана и построена в среде Python гибридная нейросеть ANN – PLS. По данным [3] прогнозы ANN - PLS хорошо согласуются с экспериментальными значениями со средними относительными ошибками (MRES) в диапазоне 0,34-1,96%, коэффициенты корреляции (R<sup>2</sup>) в диапазоне 0.9703 - 0.9999 и очень низкие среднеквадратичные ошибки (RMSE). Использование метода частичных наименьших квадратов (PLS) позволяет моделировать линейную зависимость между набором выходных переменных и набором входных переменных, который может одновременно реализовывать регрессионное моделирование, упрощение структуры данных и корреляционный анализ. PLS соединяет свойства метода главных компонент и множественной регрессии. Сначала он выделяет набор скрытых факторов, которые объясняют, как можно больше ковариации между независимыми и зависимыми переменными. Затем на шаге регрессии предсказываются

значения зависимых переменных с использованием декомпозиции независимых переменных. Что касается проверочных данных, модель PLS демонстрирует лучшую производительность, чем распространённая нейросетевая модель обратного распространения (BPNN).

Для предварительной оценки работоспособности предлагаемого метода в качестве экспериментальной установки для съёма параметров выбрана действующая сателлитная централь с R404A на базе компрессоров ZB38-KCE-TFD и ZB114-K5E-TFD, работающих в высоко- и среднетемпературных режимах. Съём показаний давлений и температур производится с помощью тензодатчиков и датчиков температуры резистивного типа, подключенных к контролеру Danfoss АК-РС 551. Контролер, в том числе, осуществляет опрос, фиксацию и запись параметров. Регулирование частоты вращения вала компрессора и фиксация значений осуществляется с помощью частотного привода VLT Refrigeration Drive FC 103.

Для обучения и проверки модели ANN - PLS введено более 50 наборов данных, сеть определена с использованием 3 скрытых нейронов и 5 латентных переменных в процессе обучения.

**Выводы.** По итогам выполненной работы сделаны следующие выводы:

- 1) Интерполяция данных и построенный график зависимости позволяет спрогнозировать оптимальную частоту вращения при фактической разности давлений, для получения наименьших затрат электроэнергии. Данные хорошо соотносятся с экспериментальными, что говорит, о большой доли, вероятности величин, полученных при экстраполяции.
- 2) Оценка энергетической эффективности СПК в транскритической области CO<sub>2</sub>, аналогично может быть построена на экспериментальных данных снятых с компрессоров, работающих в субкритической зоне.
- 3) Такая методика может быть применена при проектировании новых компрессоров для CO<sub>2</sub> на стадии оценки их энергоэффективности и принятия решения о внесении конструктивных изменений связанных, например, с необходимостью дополнительной интенсификации процессов теплообмена.

#### **Список использованных источников:**

1. Pronin V.A., Kovanov A.V., Tsvetkov V.A., Mikhailova E.N. A Systematic Approach to Improve the Efficiency of a CO<sub>2</sub> Booster Refrigerating Machine by Optimising the Performance of the Scroll Compressor // Lecture Notes in Mechanical Engineering – 2023. – P. 174–184
2. Singh S., Dasgupta M.S. Performance evaluation of a CO<sub>2</sub> scroll expander for work recovery using artificial neural network // Science and Technology for the Built Environment – 2018, № 24 (6). P. 580–587
3. Солдатова О.П. Нейроинформатика // Учебное пособие. МОиНРФ, ФГБОУВПО «НИУ СГАУ им. С.П. Королёва». Самара, – 2013. С. – 130.