

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ**

Попов Н.С. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Новотельнова А.В.  
(ИТМО)

**Введение.** Моделирование процессов, происходящих при хранении криогенной жидкости, например СПГ или жидкого азота, в резервуаре является одной из основных задач, решаемых при разработке оборудования для хранилищ таких веществ. При этом такие процессы как, например, температурная стратификация, возникающая в подобном резервуаре, а также динамические процессы, возникающие при заправке и опустошении контейнеров, часто усложняют процесс алгоритмизации и разработки достаточно точной, универсальной и при этом в достаточной степени упрощённой модели[1-4]. При этом часто возникают процессы, которые сложнее моделировать в силу их более непредсказуемой природы. Основные существующие методы решения подобных задач, как правило, заключаются в моделировании нестационарных и неравновесных процессов.

**Основная часть.** В ходе изучения источников была предположена теоретическая возможность применения методов машинного обучения для прогнозирования определённых переменных в рамках криогенного хранилища. Поскольку методы машинного обучения уже показали свою эффективность в рамках прогнозирования поведения термодинамических систем, однако с разной эффективностью, в зависимости от конкретного метода[5], было решено создать программу для обучения искусственной нейронной сети, которая, основываясь на ранее полученных экспериментальных данных, могла бы прогнозировать значение целевой переменной, основываясь на тех или иных данных сенсоров. Основываясь на данных одного из экспериментальных исследований[2], был сформирован массив данных в форме электронной таблицы, включающий как данные сенсоров температуры, давления и соответствующих им моментов времени, так и данные сенсоров, фиксирующих скорость испарения хранимого продукта. Данные были подготовлены и обработаны в соответствии с существующей практикой работы с искусственными нейронными сетями. Модель нейронной сети была обучена и протестирована.

**Выводы.** Полученные прогнозы при моделировании одного эксперимента согласуются с практическими результатами с высокой точностью. При моделировании серий экспериментов, моделирование начинает терять точность, но среднее отклонение результатов прогнозирования от экспериментальных данных остаётся достаточно малым.

**Список использованных источников:**

1. Daigle M. J. et al. Temperature stratification in a cryogenic fuel tank //Journal of thermophysics and heat transfer. – 2013. – Т. 27. – №. 1. – С. 116-126.
2. Perez F. et al. Measurements of boil-off gas and stratification in cryogenic liquid nitrogen with implications for the storage and transport of liquefied natural gas //Energy. – 2021. – Т. 222. – С. 119853.
3. Wang Z., Sharafian A., Mérida W. Non-equilibrium thermodynamic model for liquefied natural gas storage tanks //Energy. – 2020. – Т. 190. – С. 116412.
4. Kang M. et al. Experimental investigation of thermal stratification in cryogenic tanks //Experimental Thermal and Fluid Science. – 2018. – Т. 96. – С. 371-382.
5. Nateghi H. et al. A machine learning approach for thermodynamic modeling of the statically measured solubility of nilotinib hydrochloride monohydrate (anti-cancer drug) in supercritical CO<sub>2</sub> //Scientific Reports. – 2023. – Т. 13. – №. 1. – С. 12906.

Автор \_\_\_\_\_ Попов Н.С.

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Новотельнова А.В.