

АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

А.А. Казакова, Н.А. Лавров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ

ANALYSIS OF TRANSIENT PROCESSES IN LOW- TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS USING CONCENTRATED PARAMETERS MODELS

A.A. Kazakova, N.A. Lavrov

KEYWORDS

HEAT EXCHANGE APPARATUS, MATHEMATICAL
MODELING

Рациональное ведение регулирования нестационарных режимов работы энергетических установок, в том числе и криогенных, необходимо для решения задач энергосбережения [1]. Для этого применяются различные расчётные нестационарные модели криогенных установок, поскольку полномасштабное экспериментальное исследование крайне трудоёмко и затратно. При реализации традиционно используются «тяжёлые» пакеты вычислительных программ, такие как ANSYS и HYSYS, нейронные сети [2], различные численные [3], аналитические или полуаналитические модели, дающие результат с различной степенью точности. Поскольку наиболее инерционными частями криогенной установки являются теплообменные аппараты, то их расчётные

моделі грають превалюючу роль при моделюванні всієї криогенної установки.

Одномерна нестационарна модель двохпоточного теплообмінника складається з системи трьох диференціальних рівнянь в частних похідних першого порядку, описуюча тепловий баланс потоків і теплопередаючої стінки [4], аналітичного рішення якої в загальному вигляді отримати практично неможливо. Для отримання аналітичного рішення такої системи можна використовувати метод зосередження параметрів по координаті [5], в результаті чого система диференціальних рівнянь в частних похідних зводиться до системи диференціальних рівнянь першого порядку відносно тільки часу. Отримати рішення такої системи можна чисельно при використанні простішого методу інтегрування Рунге-Кутти з урахуванням змінності теплофізичних властивостей або навіть аналітично в разі їх усереднення. Отримане аналітичне рішення дає можливість оцінити хід часового процесу, що дозволяє його використовувати при програмуванні контролерів, входять в систему регулювання і управління криогенними установками.

Оскільки контролери мають малий об'єм внутрішньої «пам'яті» (десятки і до сотні Кб) і такого ж порядку оперативну «пам'ять», то використання таких аналітичних рішень для теплообмінних апаратів і всієї установки як раз придатно для програмування контролерів. В результаті криогенна установка описується аналітичною моделлю з експоненціальними рішеннями по часу відносно температур в її основних точках, що не потребує великого об'єму «пам'яті» контролера і дозволить побудувати швидкодіючу систему регулювання і управління на основі контролерів.

ВИВОДИ:

1. Метод зосередження параметрів по координаті хоча і дає певну похибку результатів, але дозволяє визначити часову направленість нестационарного процесу.

2. Отримана при використанні запропонованої моделі система диференціальних рівнянь першого порядку є лінійною, рішення якої можна отримати аналітично, або при урахуванні змін теплофізичних властивостей потоків в теплообмінних апаратах чисельним методом Рунге-Кутта.

3. Представлена нестационарна модель теплообмінного апарата в силу відносної простоти дозволяє її використовувати для програмування контролерів, використовуваних в системі регулювання низькотемпературної установки, в склад якої входять теплообмінні апарати.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Архаров А.М., Архаров І.А., Беляков В.П. і др. Криогенні системи: підручник для студентів вузів. В 2-х т. Т. 2. Основи проектування апаратів, установок і систем /под общ. ред. А.М. Архарова і А.І. Смородина. М.: Машиностроение. 1999. 720 с.
2. Lavrov N. A., Khutsieva S. I., Shananin V. A. Use of neural networks for dynamic heat exchanger modeling// Chemical and Petroleum Engineering. 2023. Т. 58. № 3-4. Р. 917-924.
3. Lavrov N.A., Khutsieva S.I., Butkevich I.K. Mathematical modeling of non-stationary modes of a helium liquefier // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. Т. 56. № 3-4. Р. 302-309.
4. Козлов В.Н., Лавров Н.А. Моделирование динамического режима работы теплообменного аппарата // Известия ВУЗОВ. Машиностроение. 1988. № 8. С.56-60.
5. Козлов В.Н., Лавров Н.А. Система оптимизации с сосредоточенными параметрами для исследования работы криогенного ожижителя // Известия ВУЗОВ. Машиностроение. 1992. № 10-12. С.71-75.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Казакова А.А. – кандидат технических наук, доцент. Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., дом 5. e-mail: kazakova@bmstu.ru

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Лавров Н.А. – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0003-2324-8247). Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., дом 5. e-mail: lavrovna@bmstu.ru.