

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГРАФИТОВЫМИ СТЕРЖНЯМИ В АТОМНОМ РЕАКТОРЕ

Колпакова В.А.

Научный руководитель: Ю.Я. Кацман
Томский политехнический университет
E-mail: vak31@tpu.ru

Введение

На сегодняшний день моделирование является одним из самых распространенных методов исследования и прогнозирования поведения систем. В работе [1] решается задача управления работой графитовых стержней в ядерном реакторе. Модель [2] реализована в среде объектно-визуального проектирования MatLabStateflow, позволяющая моделировать логику функционирования системы с помощью машины состояний. Работа системы реализована как последовательность переходов из состояния в состояние, а переключение между ними регулируется логикой переходов.

Постановка задачи

Цель работы — исследование режимов работы устройства управления замедляющими стержнями в атомном реакторе. Рабочий диапазон температуры реактора составляет 510 — 550°C, который поддерживается за счёт использования двух графитовых стержней с разными замедляющими характеристиками. Изменение температуры внутри устройства описывается следующими уравнениями:

- Режим без стержней
— $\Delta T = 0,1 T - 50$;
- Режим работы первого стержня
— $\Delta T = 0,1 T - 56$;
- Режим работы второго стержня
— $\Delta T = 0,1 T - 60$.

Оба стержня не могут функционировать одновременно, после удаления стержень определенное время «отдыхает». При критическом режиме ($T > 550^\circ\text{C}$ и оба стержня «отдыхают») реактор отключается.

Модель системы

Для модели характерны 3 непрерывных и 4 дискретных состояния. Непрерывные состояния:

- Температура реактора;
- Таймер для первого стержня;
- Таймер для второго стержня.

Дискретные состояния системы:

- Не используется ни один из стержней;
- Используется первый стержень;
- Используется второй стержень;
- Остановка реактора.

В каждом состоянии производится расчёт температуры реактора, отслеживается «времяотдыха» стержня. Модель, описывающая

режимы работы графитовых стержней в атомном реакторе, представлена на рис. 1, логика переходов между состояниями реализована с помощью библиотеки Stateflow [3].

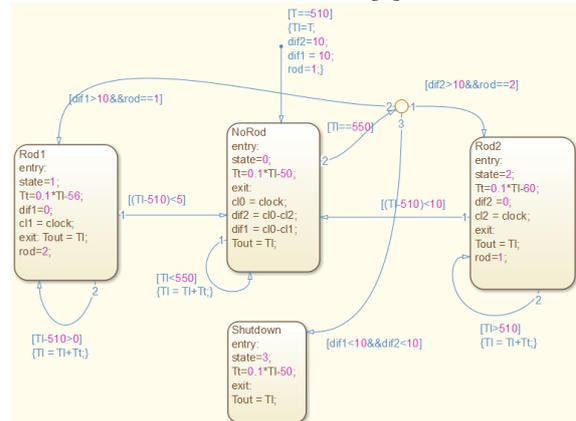


Рис. 1. Модель устройства управления

Алгоритм работы модели следующий:

Шаг 1. Инициализация переменных: T — начальная температура реактора; $dif1$, $dif2$ — «время отдыха» первого и второго стержня.

Шаг 2. «NoRod» ($state = 0$) — нулевое состояние реактора, в котором происходит его нагрев. В соответствии с уравнением определяется изменение температуры по событию «entry». По событию «exit» рассчитываются переменные $dif1$ и $dif2$. Для состояния характерны 3 перехода в другие состояния.

Шаг 2.1 Переход под номером 1. Система не переходит в другие состояния, если температура меньше 550°C . При каждом выполнении перехода температура увеличивается на величину Tt .

Шаг 2.2 Переход 2 в точку ветвления, если температура реактора $T1 = 550$.

Шаг 2.2.1 Переход 1 в «Rod2», если «время отдыха» второго стержня $dif2 > 10$.

Шаг 2.2.2 Переход 2 в «Rod1», если «время отдыха» первого стержня $dif1 > 10$.

Шаг 2.2.3 Переход 3 выполняется в состояние «Shutdown» (режим отключения реактора), если температура 550°C и «время отдыха» каждого из стержней меньше 10 минут, реактор глушится.

Шаг 3. В состоянии «Rod2» ($state = 2$), переменная $dif2$ обнуляется по событию «entry» (вход в состояние), рассчитывается температура. Система находится в состоянии пока температура реактора больше 510 (процесс реализуется переходом номер 2).

Шаг 3.1 Переход 1 выполняется в состояние «NoRod», если температура системы находится в диапазоне 510°C — 520°C.

Шаг 4. Состояние «Rod1» аналогично «Rod2» с поправкой на названия переменных.

Шаг 5. Состояние «Shutdown» (state = 3), реактор находится в заглушенном состоянии.

Модифицированная в ходе доработки система [2] претерпела следующие изменения:

1. Переключение режимов системы полностью зависит от модельного времени. В предыдущей версии модели «время отдыха» стержня было представлено в виде некоей переменной, значение которой увеличивалась на фиксированную величину, при каждом переходе в какое-либо состояние.

2. Реализован переход типа «ветвление» (см. рис. 1), представленный в виде точки, от которой идут 3 перехода в различные состояния. Это обусловлено частичным дублированием условий переходов из состояния «NoRod». При равных возможностях перехода в различные состояния в Stateflow реализован механизм приоритетов [4]. Данные изменения позволили сделать систему более управляемой, структурированной и простой для восприятия.

В ходе исследования модели получены статистические характеристики и параметры: коэффициент загрузки каждого стержня, режимы работы модели, «время отдыха» каждого стержня.

Поведение системы напрямую зависит от «времени отдыха» стержней, например, если установить эту характеристику для первого стержня (50) в несколько раз больше, чем для второго (5), то модель будет функционировать следующим образом (рис. 2). MatLab Stateflow позволяет установить приоритеты выполнения для переходов между состояниями, в данной работе приоритет у первого стержня перед вторым. Более приоритетный стержень 1 работает как основной, а второй используется как резервный. Поэтому пока «отдыхает» основной стержень, второй работает несколько раз подряд.

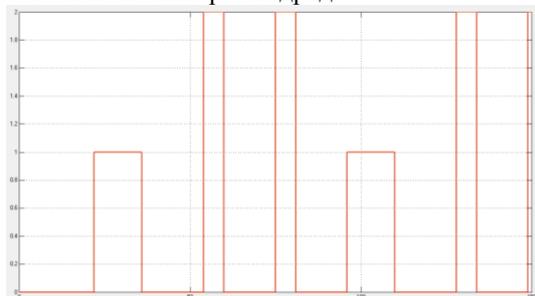


Рис. 2. Режим управления стержнями (основной + резервный)

Если сделать «время отдыха» основного стержня очень малым (5), меньшим, чем время разогрева реактора, то произойдет ситуация, изображенная на рис. 3, в использовании резервного (второго) стержня нет необходимости.

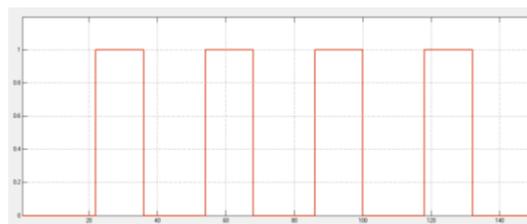


Рис. 3. Режим управления стержнями (основной)

Чтобы реализовать в системе строгое чередование первого и второго состояний, введена переменная rod, указывающая номер следующего режима (рис.4).

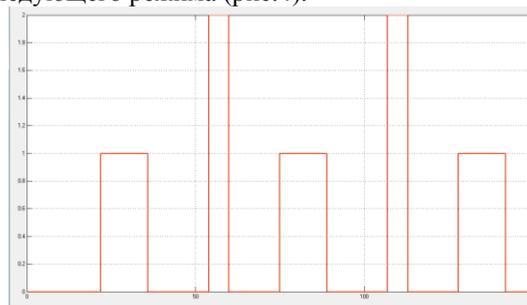


Рис. 4. Работа системы при строгом чередовании

Если исключить переменную rod, то произойдет чередование нулевого состояния и состояния с более высоким приоритетом.

Заключение

В статье дано описание модели управления замедляющими графитовыми стержнями ядерного реактора. Модель разработана в программном комплексе MatLab с использованием графической среды имитационного моделирования Simulink и инструмента численного моделирования систем Stateflow. В работе исследованы основные параметры и характеристики модели, влияющие на функционирование системы.

Список литературы

1. Морозов В. К., Рогачев Н. Г. Моделирование информационных и динамических систем. — М. Издательский центр «Академия», Москва, 2011. — 384с.
2. В.А. Колпакова. Разработка модели управления графитовыми стержнями в атомном реакторе//: Сборник научных трудов III Международной научной конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». Ч.1, Томск, Изд-во ТПУ — 2016. С. 143-146.
3. Stateflow. Model and simulate decision logic using state machines and flow. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.mathworks.com/products/stateflow/>
4. J.J. Katsman, X.N. Apachidi. Algorithm Simulation of Resource Allocation of the Queuing Systems, Based on the Priorities/ International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). (2014) P.1-6.