

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

канд. тех. наук, доц. В. Е. ПИТОЛИН, Аль Аджами ВИССАМ ХАЛЕД
(Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, Беларусь)

Аннотация. В докладе описывается применение рекуррентной нейронной сети в качестве модели управляющей системы для объекта с большим временем транспортного запаздывания. В качестве лага прогнозирования временного ряда выходных значений объекта выбирается значение времени транспортного запаздывания + времени регулирования, что позволяет обеспечить устойчивость регулятора и снизить среднеквадратичное отклонение ошибки регулирования.

Ключевые слова: система отопления, регулирование, рекуррентная нейронная сеть, персептрон.

Регулирование процессов с запаздыванием представляет принципиальные трудности для классических методов регулирования. Запаздывание приводит ПИД-регуляторы в неустойчивый режим работы. По этой причине регулирование таких процессов (например, систем отопления или теплообменников) выполняется релейными системами управления с использованием сигнум-функции величины отклонения регулируемого параметра, как указания направления срабатывания регулятора, что обычно приводит к пилообразному графику переходного процесса [1].

В докладе предлагается способ регулирования с использованием модели системы регулирования в виде рекуррентной нейронной сети (РНС). Главной задачей идентификации системы управления в виде РНС является наиболее точная прогнозная оценка положения регулирующего органа на базе априорной информации, сосредоточенной в базе знаний.

В качестве лага τ временной последовательности выходных значений рассматривается время транспортного запаздывания и время регулирования объекта.

Общая схема модели представлена на рисунке 1.

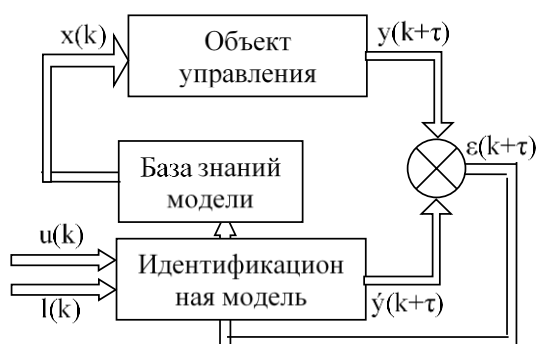


Рисунок 1. – Схема модели

На рисунке $u(k)$ и $l(k)$ – входные параметры температуры прямой сетевой воды и температуры окружающего воздуха соответственно.

$y(k+\tau)$ и $\dot{y}(k+\tau)$ – измеренные и заданные параметры температуры обратной сетевой воды, которые могут изменяться по определенному закону в зависимости от температуры окружающего воздуха.

$\varepsilon(k+\tau)$ – величина рассогласования.

$x(k)$ – величина открытия регулирующего клапана, зависящего не только от входных параметров, но в большей степени от характеристик самого объекта регулирования и конструкции самого клапана.

Массив значений величины открытия регулирующего клапана для различных сочетаний температуры прямой сетевой воды и температуры наружного воздуха представляет собой массив прогнозных значений модели.

Структура базы данных модели достаточно проста. Она представляет собой двухкоординатный массив [100, 50]. В качестве первой координаты используются измеренные значения температуры прямой сетевой воды, в качестве второй – температуры окружающего воздуха, смещенные на 35 градС и преобразованные в тип <unsigned integer>.

Идентификационная модель (РНС) содержит простой 2-хслойный персептрон для выбора из базы данных прогнозного положения регулирующего органа. Схема его показана на рисунке 2. Персептрон скрытых слоев не содержит.

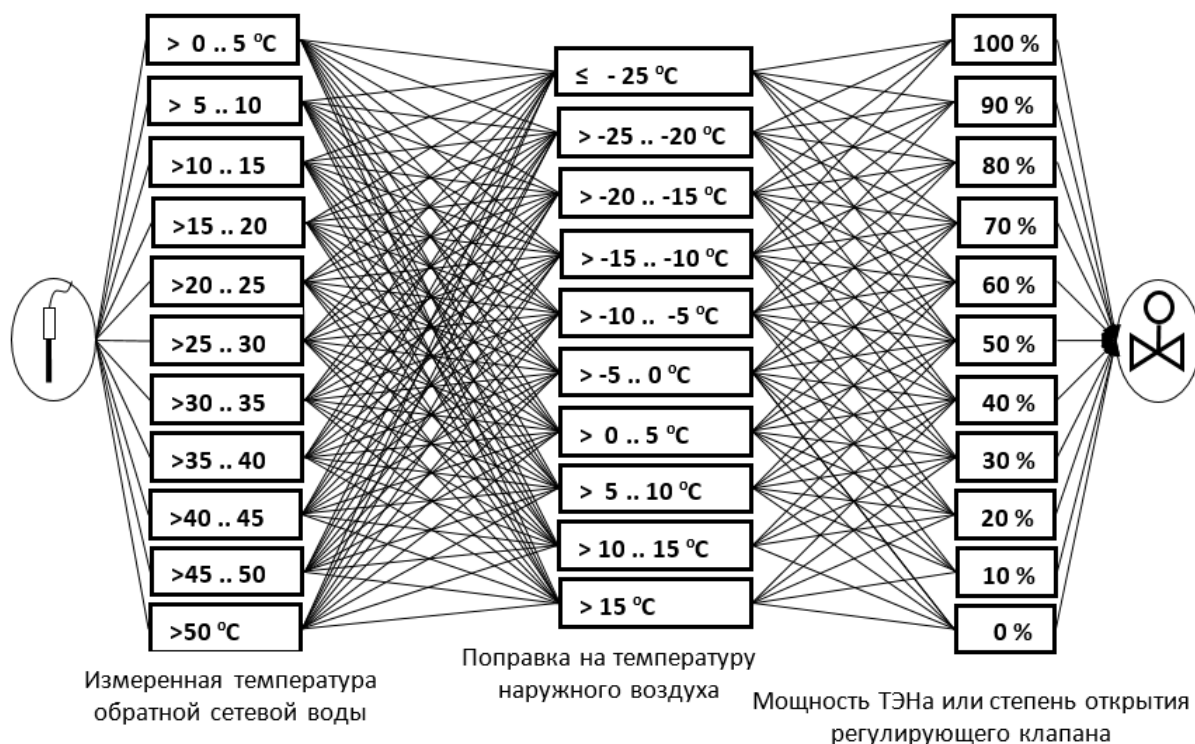


Рисунок 2. – Структурная схема радиальной базисной функции выбора состояния регулятора

В случае невозможности реализации персептрона в виде базы данных из-за небольшого объема памяти (требуется 40 килобайт оперативной памяти), можно реализовать его в программном виде. На языке «С» схема персептрона может быть реализована в виде вложенных процедур типа if .. elseif{if .. elseif{} .. }.

База данных подлежит постоянной корректировке: после установки клапана в заданное положение через лаг τ определяется величина рассогласования $\epsilon(k+\tau)$, а по ней в соответствии со структурной схемой нечеткой логики определяется величина корректировки всей базы данных.

Здесь вполне возможно использование результатов нечеткого вывода в качестве входных данных для последующих итераций, т.н. несинглетный нечеткий вывод. Однако в данной работе применялся метод обработки ряда значений без погружения с использованием достаточно простых методов математической обработки.

Схема фаззификации параметров представлена на рисунке 3.

Для фаззификации используются треугольные и S-образные функции принадлежности.

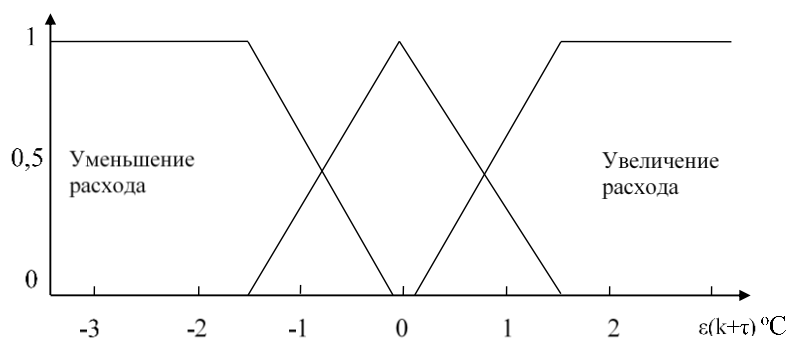


Рисунок 3. – График функции принадлежности системы регулирования

Дефаззификация выполняется по центру масс фигур графика [2].

Величина воздействия на регулятор в каждом цикле управления определяется по формуле (1).

$$F = -SL \frac{\sum \mu(x)\epsilon(k + \tau)}{\sum \mu(x)}. \quad (1)$$

В этой формуле величина полного открытия клапана L определяется по времени срабатывания регулятора от полного закрытия до полного открытия.

Знак « – » определяет отрицательную обратную связь регулятора.

Величина S – шаговое воздействия на регулятор в каждом цикле управления. При пуске регулятора оно равно 0,01. В последующих циклах управления эта величина уточняется по специально разработанному алгоритму (например: уменьшается или увеличивается через каждые 10 циклов в зависимости от величин Δt).

Алгоритм корректировки базы данных (обучение персептрона) строится в соответствии с законом изменения гидравлического сопротивления рабочего органа клапана. Для линейного закона изменения гидравлического сопротивления в зависимости от положения штока клапана алгоритм корректировки будет также линейным, в противном случае он наследует свойства этого закона.

Выбранный метод обучения использует алгоритм обратного распространения во всем объеме оперативной памяти, т.е. для всех возможных сочетаний температур. Он служит расширением стандартного алгоритма обратного распространения и может быть получен с помощью развертывания временных операций в том числе и в многослойной сети прямого распространения, топология которой расширяется на один слой для каждого шага времени. Алгоритм обратного распространения имеет ряд общих характеристик. Во-первых, он основан на методе градиентного спуска, тогда как мгновенное значение функции стоимости минимизируется по синаптическим весам сети. Во-вторых, этот метод довольно прост в реализации.

Представленный алгоритм управления позволяет получить достаточно стабильные результаты в отличие от используемого в настоящее время релейного метода регулирования с минимальными затратами энергии на регулирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Питолин В.Е. Применение имитационной модели для оптимизации параметров тепловой электростанции в составе энергосистемы. // *Фундаментальные науки. Серия С (Вестник ПГУ, Новополоцк)* – 2013. – № 4. – С. 40–45.
2. Питолин В.Е. «Автоматическое управление системами отопления». Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018) : электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 14–15 июня 2018 г. – URL: <http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/22283>.
3. Жусель, Д.В. Управление микроклиматом в помещении с помощью ПИД-регулятора и нечеткой логики управления / Д. В. Жусель, В. Е. Питолин // *Актуальные проблемы физики, электроники и энергетики [Электронный ресурс] : электронный сборник статей I Международной научно-практической конференции, Новополоцк, 27–28 окт. 2022 г. / Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой.* – Новополоцк, 2023. – С. 118–123.