

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SIMSCAPE ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ТЕОРИЕЙ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

Р.Р. МАМЕДЗАДЕ

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджан

Аннотация: В этой статье представлен педагогически обоснованный подход к обучению тепловым системам с использованием Simscape. Моделируя сценарий управления температурой и интегрируя нечеткий логический контроллер, студенты могут получить практический опыт как в управлении температурой, так и в интеллектуальном управлении. Установка была разработана для инженерных образовательных сред, где пересекаются визуальное моделирование и теория управления, предоставляя учащимся интуитивное понимание теплового поведения и управления.

Simscape это дополнение к MATLAB, которое позволяет пользователям создавать физические модели с помощью библиотек, которые поставляются с готовыми компонентами электрических, механических, жидкостных и тепловых систем, устраняя необходимость вручную решать дифференциальные уравнения [1]. В частности, тепловая библиотека упрощает моделирование теплового потока, изменений температуры и эффектов тепловой массы в интуитивно понятном формате [2]. Однако тепловые системы по-прежнему часто изучаются с помощью ручных вычислений и уравнений [3], в то время как моделирование обычно ограничивается базовым построением графиков. Это может помешать студентам полностью понять поведение динамической системы.

Аналогично, инструкции по системам управления часто в значительной степени фокусируются на ПИД-регуляторах и математических деталях, что может подавить новичков и ограничить практическое понимание. Нечеткие логические контроллеры в сочетании с тепловой моделью в Simscape могут предложить более интуитивный способ введения концепций управления, поскольку они работают на основе наборов правил, а не точных моделей, что упрощает понимание студентами [4].

В этой статье мы представляем базовую модель Simscape для процесса нагрева, управляемого системой нечеткой логики. Цель состоит в том, чтобы продемонстрировать, как студенты могут лучше понять поведение тепловой системы и логику управления с помощью моделирования, не полагаясь на сложную математику. Модель служит учебным пособием, которое объединяет физическое моделирование и интеллектуальное управление в простом визуальном формате.

Давайте рассмотрим сценарий поддержания температуры небольшой комнаты в холодную погоду в качестве примера [5], где физические параметры, такие как размеры комнаты, материалы стен, теплопроводность и площадь поверхности (таблица 1). С этой информацией задача студента обеспечить поддержание температуры выше минимальной заданной точки с помощью

источника тепла. Традиционно это включало бы ручные расчеты теплового баланса, пошаговое моделирование потерь энергии и моделирование с помощью электронных таблиц. Несмотря на свою полезность, этот подход часто кажется оторванным от реального поведения системы и дает ограниченное представление о том, как температура динамически изменяется или как контроллер будет реагировать в реальном времени [6].

Таблица 1 – параметры помещения и окружающей среды

Имя параметра	Значение параметра
Ширина комнаты	~10 метров
Длина комнаты	~12 метров
Высота комнаты	~3 метра
Толщина стены	~0.3 метра
Теплопроводность стены	~2 W/(m · K) (бетон от 0,4 до 2,5)
Заданная температура	18 градусов
Самая низкая расчетная температура наружного воздуха	~5 градусов
Удельная теплоемкость воздуха	~1005 J/(Kg · K)
Мощность нагревателя	~24000 Вт

В этой работе предлагается более интуитивный и наглядный метод с использованием Simscape. Система моделируется с использованием тепловых блоков, которые представляют нагреватель, воздушную массу и тепловые потери через стены. Это позволяет студентам наблюдать за изменением температуры без ручного решения уравнений (рисунок 1).

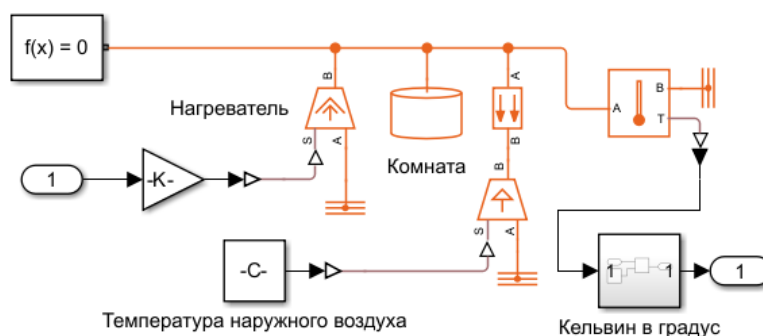


Рисунок 1 – Представления модели комнаты в Simscape

Именно здесь мощность нагревателя представлена блоком усиления, и ее можно контролировать, регулируя нормализованный сигнал. Это позволяет студентам напрямую наблюдать, как изменение мощности нагрева влияет на конечную температуру помещения, помогая им получить более интуитивное понимание управления температурой. Давайте рассмотрим два примера, где нагреватель используется на мощности 25% (рисунок 2) и 75% (рисунок 3).

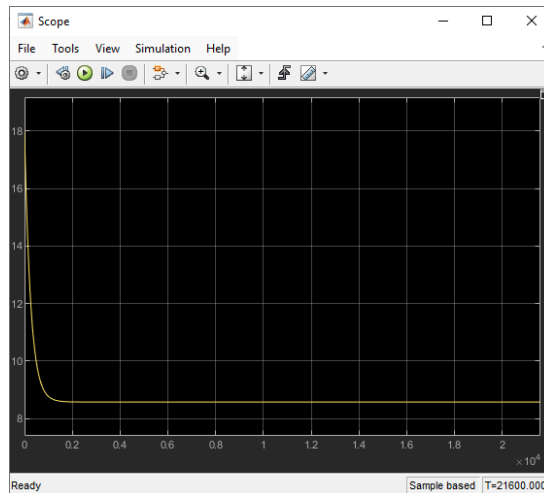


Рисунок 2 – Результаты использования обогревателя на мощности 25%

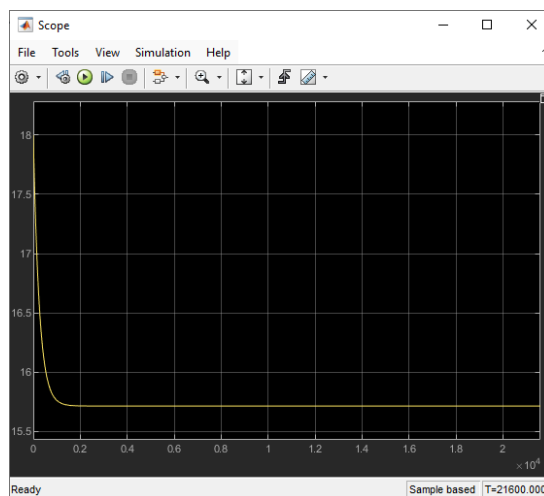


Рисунок 3 – Результаты использования обогревателя на мощности 75%

Хотя этот подход является отличным способом развития интуиции, и можно оценить требуемый уровень мощности нагревателя, пробуя различные уровни сигнала, целесообразно использовать данную информацию о системе для определения мощности нагревателя с помощью приведенного ниже уравнения:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d},$$

Где k — теплопроводность бетона, A — площадь поверхности стены, d — толщина стены, а T — максимальная разница температур между заданным значением и самой низкой расчетной температурой. После того, как будет получена требуемая мощность нагрева 21840 Вт, требуемый сигнал для вывода этой мощности нагрева может быть рассчитан путем деления требуемой мощности на максимальную мощность нагревателя:

$$u_{\text{Норм}} = \frac{P_{\text{Требуемый}}}{P_{\text{Максимум}}},$$

После расчета нормализованного управляющего сигнала 0.91 для поддержания желаемой температуры студенты могут предположить, что система

хорошо понята. Однако именно на этом этапе они могут упустить из виду влияние изменения внешней температуры на систему [7]. Именно тогда введение нечеткого логического контроллера может послужить ценным обучающим шагом [8]. Работая с четкой структурой правил, основанной на изменениях температуры, студенты могут развить более интуитивное понимание поведения управления. Пример базы правил показано (рисунок 4).

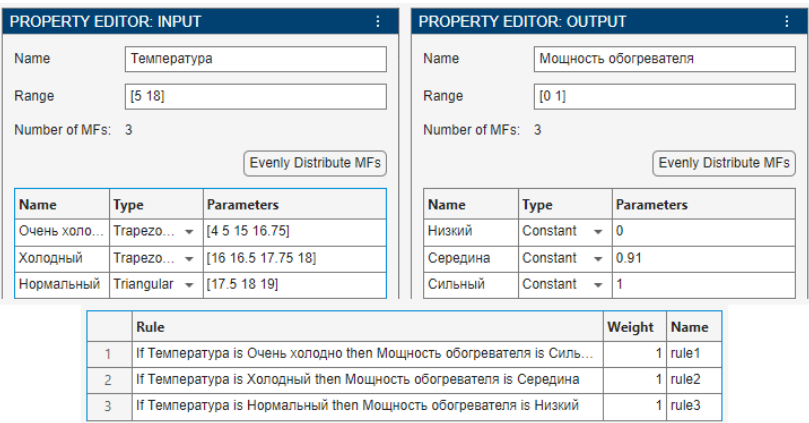


Рисунок 4 – Параметры, используемые в контроллере нечеткой логики

База правил показывает, что при понижении температуры увеличивается сигнал управления нагревателем. Когда холодно, контроллер увеличивает мощность, а когда тепло, он ее уменьшает. Но сила этого подхода заключается не только в самих правилах, но и в понимании системы. Поскольку требуемая мощность нагрева уже известна, эти знания могут помочь в проектировании более эффективного и отзывчивого контроллера. В качестве заключительной демонстрации обсуждаемый контроллер был сравнен с классическим контроллером (рисунок 5).

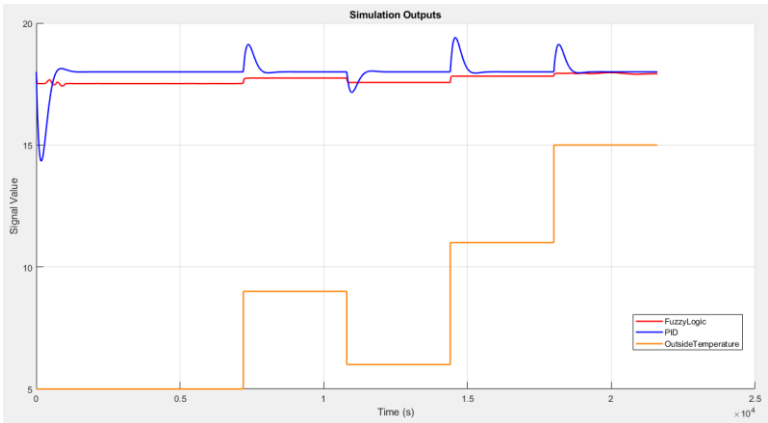


Рисунок 5 – Сравнение нечеткой логики и автоматически настраиваемого ПИД-регулятора

Simscare предлагает унифицированную среду для исследования тепловых систем, что делает ее идеальной для обучения теплотехническим и управляющим концепциям. В этой статье был продемонстрирован образовательный пример, включающий тепловую динамику, улучшенную нечеткой логикой и динамическим нагревом, чтобы обеспечить реалистичный и

увлекательный опыт обучения. Модель поощряет интуитивное понимание и системное мышление и может быть расширена для исследования более сложных много доменных систем.

Список использованных источников

1. Simscape [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/simscape/index.html> (дата обращения: 18.05.2025).
2. Simscape. Thermal Models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/simscape/thermal-models.html> (дата обращения: 18.05.2025).
3. Марьясин, А. А., Сидоров, А. А. Управление тепловым режимом зданий с использованием прогнозирующих моделей / А. А. Марьясин, А. А. Сидоров // *Вестник Самарского государственного технического университета*. Серия: Технические науки. – 2021. – № 3 (63). – С. 61–68. – DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.06
4. Abarkan M., M'Sirdi N.K., Errahimi F. Analysis and Simulation of the Energy Behavior of a Building Equipped with RES in Simscape // *Energy Procedia*. – 2014. – Vol. 62. – pp. 522–531. – DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.414
5. Simscape. House Heating System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/simscape/ug/house-heating-system.html> (дата обращения: 18.05.2025).
6. Lapusan C., Balan R., Hancu O., et al. Development of a Multi-Room Building Thermodynamic Model Using Simscape Library // *Energy Procedia*. – 2016. – Vol. 85. – pp. 320–328. – DOI: 10.1016/j.egypro.2015.12.258
7. Su Y., Lu X. Energy Saving Research on Temperature Control in Data Center Server Rooms // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2024. – Vol. 2800, No. 1. – Art. 012033. – DOI: 10.1088/1742-6596/2800/1/012033
8. Sheng T., Luo H., Wu M. Design and Simulation of a Multi-Channel Biomass Hot Air Furnace with an Intelligent Temperature Control System // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14, No. 3. – Art. 0419. – DOI: 10.3390/agriculture14030419

Сведения об авторах / Information about authors

Мамедзаде Рагим Расул оглы, кандидат наук, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, проспект Азадлик 34, AZ1010, Баку, Азербайджан, e-mail: rahim.mammadzada02@gmail.com. / Mammadzada Rahim Rasul, PhD at the Azerbaijan State Oil and Industry University, 34 Azadliq Ave., AZ1010, Baku, Azerbaijan, rahim.mammadzada02@gmail.com.