

УДК 697.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМЕ  
УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ**

**Дмитрий Валерьевич Гурьянов**

кандидат технических наук, доцент

[guryanov72@mail.ru](mailto:guryanov72@mail.ru)

**Максим Константинович Манаенков**

магистрант

[manaenkov.max@yandex.ru](mailto:manaenkov.max@yandex.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты моделирования нагрева помещения при использовании различных регуляторов в системе управления температурой. Показано, что наилучшие результаты управления температурным режимом достигаются при использовании ПИД- и нечеткого регуляторов. Последний обеспечивает меньшее перерегулирование.

**Ключевые слова:** тепловая модель здания, управление температурным режимом, регулятор термостата.

Термодинамическая модель здания позволяет моделировать изменение температуры внутри помещений в зависимости от температуры окружающей среды и работы систем отопления и кондиционирования под управлением регулятора [1].

Рассмотрим модернизированную тепловую модель здания (рисунок 1), построенную на основе библиотечной модели Matlab Simulink [2-5].

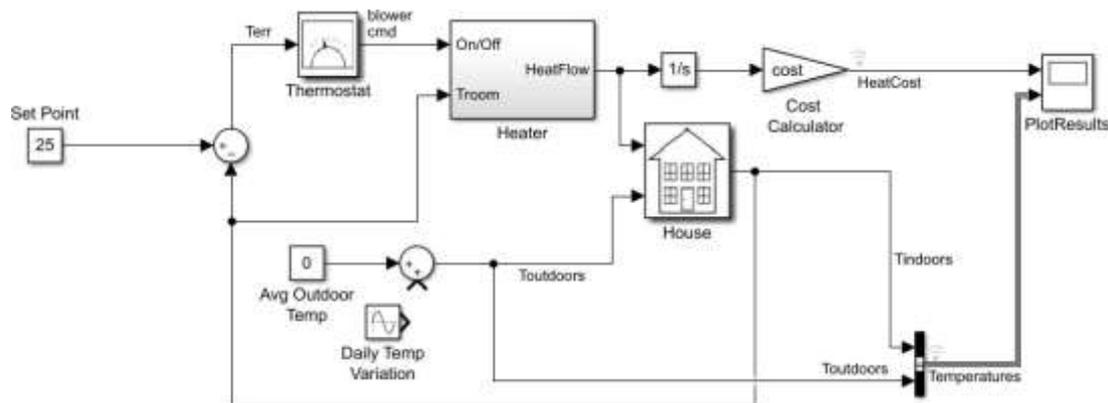


Рисунок 1 – Тепловая модель здания

Модель состоит из следующих компонентов системы управления:

1. Set Point (установленное значение) – блок указывает температуру, которую необходимо поддерживать в помещении. По умолчанию установлено значение 25°C.

2. Thermostat (Термостат) – это подсистема, которая содержит блок реле. Термостат допускает колебания на 0,5°C выше или ниже желаемой комнатной температуры (рисунок 2). Если температура воздуха опускается ниже 24,5°C, то термостат включает нагреватель.

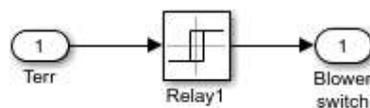


Рисунок 2 – Подсистема термостата

3. Heater (Нагреватель) – это подсистема с постоянной скоростью воздушного потока «Mdot», которая определяется в загрузочном файле sldemo\_househeat\_data.m (рисунок 3).

Сигнал термостата включает или выключает нагреватель.

Когда нагреватель включен, он нагнетает горячий воздух при температуре «THeater» с постоянной скоростью потока «Mdot» (по умолчанию

1 кг/сек=3600 кг/час).

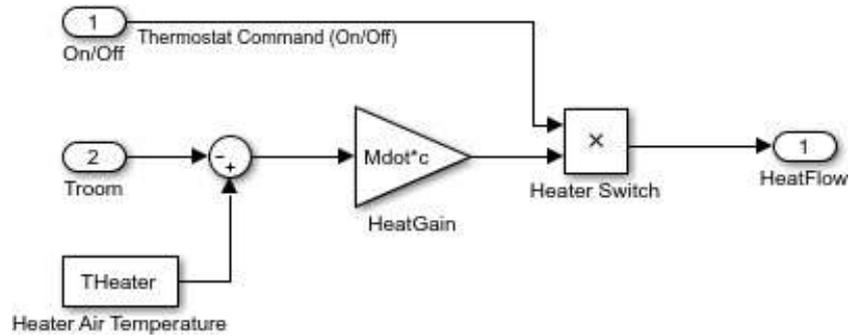


Рисунок 3 – Подсистема нагревателя

Тепловой поток выражается уравнением:

$$\frac{dQ}{dt} = (T_{heater} - T_{room})M_{dot}c, \quad (1)$$

где  $dQ/dt$  – тепловой поток;  $T_{heater}$  – температура горячего воздуха от нагревателя;  $T_{room}$  – текущая температура воздуха в помещении;  $M_{dot}$  – поток воздуха проходящий через нагреватель (кг/час);  $c$  – теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

4. Cost Calculator (калькулятор стоимости) – данный блок интегрирует тепловой поток во времени и умножает его на стоимость энергии. Стоимость энергии на отопление отображается на графике «PlotResults».

5. House (типовой дом) – это подсистема, которая вычисляет колебания температуры в помещении (рисунок 4).

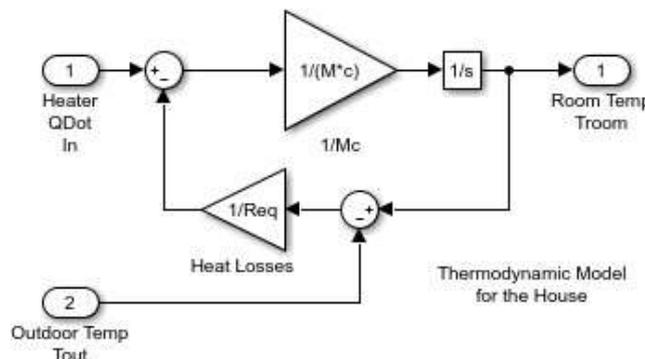


Рисунок 4 – Подсистема типового дома

Она учитывает тепловой поток от нагревателя и тепловые потери в окружающую среду. Тепловые потери выражаются уравнениями:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{T_{room} - T_{out}}{R_{eq}}; \quad (2)$$

$$\frac{dT_{room}}{dt} = \frac{1}{M_{air}c} \left( \frac{dQ_{heat}}{dt} - \frac{dQ_{losses}}{dt} \right), \quad (3)$$

где  $M_{air}$  – масса воздуха внутри здания;  $R_{eq}$  – эквивалентное тепловое сопротивление здания.

В тепловой модели использовались различные регуляторы: релейный, П-, ПИ-, ПИД регуляторы и фаззи регулятор [4].

Ниже приведены результаты моделирования нагрева помещения.

При использовании *релейного регулятора* температура в помещении с заданными параметрами устанавливается за 0,23 часа, затем термостат поддерживает двухпозиционное регулирование температуры от 24,5°C до 25,5°C (рисунок 5).

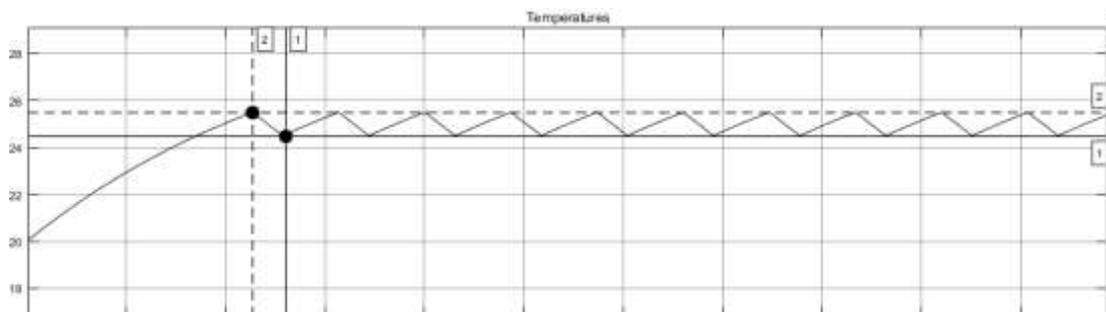


Рисунок 5 – Динамика нагрева помещения при использовании релейного регулятора с уставным значением  $\pm 0,5$

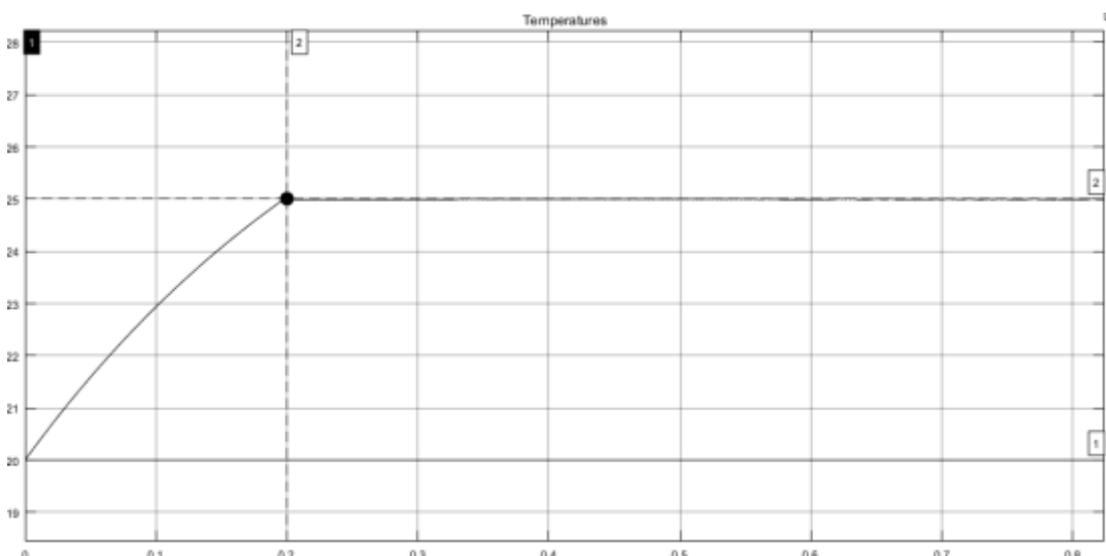


Рисунок 6 – Динамика нагрева помещения до заданной температуры с П-регулятором

При использовании *П-регулятора* в настройках блока установлены коэффициент регулирования 100 и пределы от -1 до 1.

При заданных параметрах температура в здании устанавливается за 0,21

часа, затем термостат поддерживает заданное значение  $25^{\circ}\text{C}$  (рисунок 6).

Из рисунка видно, что при использовании в термостате П-регулятора нагрев помещения происходит за более короткий период, чем с релейным регулятором.

Чем точнее будет выбран коэффициент регулирования в П-регуляторе, тем ближе будет установившееся значение к заданному, т.е. меньше погрешность. Так при низком коэффициенте регулирования, например, 1, установившееся значение достигает  $24,4^{\circ}\text{C}$  (рисунок 7) и увеличивается статическая ошибка.

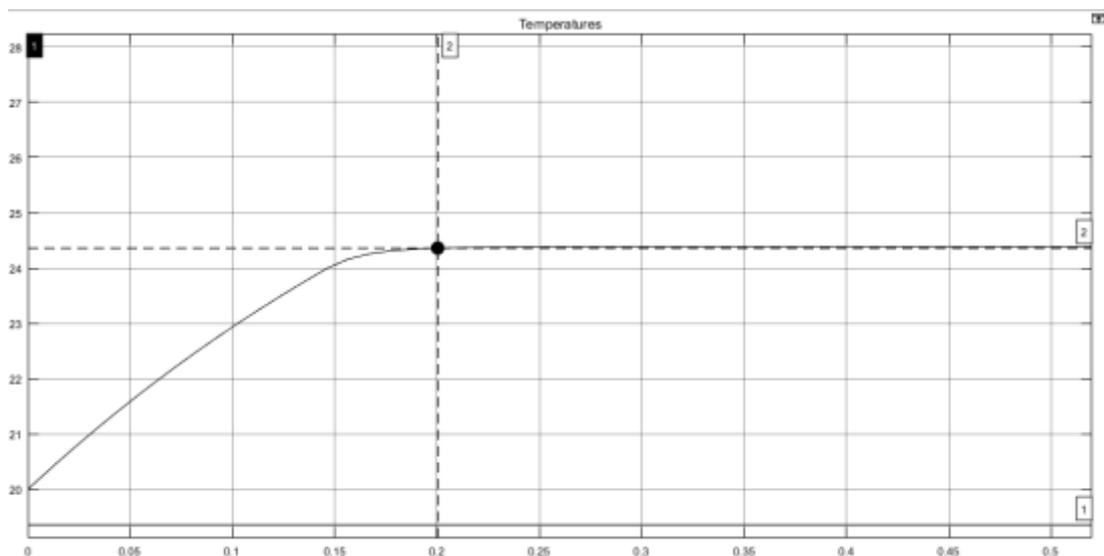


Рисунок 7 – Динамика нагрева помещения до заданной температуры с П-регулятором с коэффициентом регулирования 1

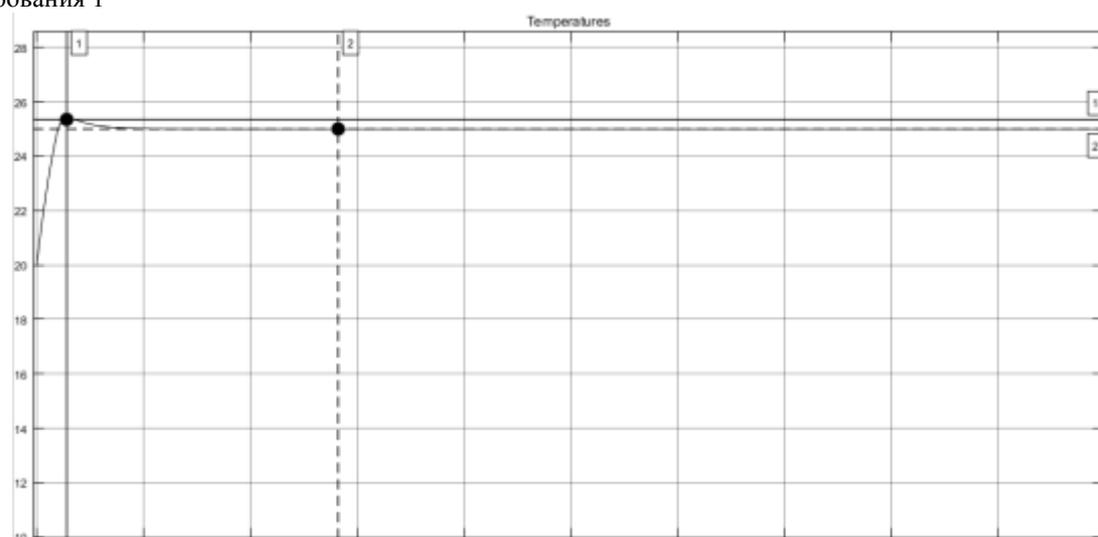


Рисунок 8 – Динамика нагрева помещения до заданной температуры с ПИ-регулятором

При использовании *ПИИ-регулятора* в настройках блока установлено время регулирования 0.07273 и степень устойчивости 0.838 (рисунок 8).

При использовании в термостате ПИИ-регулятора нагрев помещения

происходит за более длительный период – 0,286 часа, чем с релейным или П-регулятором. Установившееся значение равно заданному значению 25°C.

Максимальное отклонение управляемой величины от заданного – перерегулирование равно 1,4%.

При использовании *ПИД-регулятора* в настройках блока установлено время регулирования 0,1341 и степень устойчивости 0,5.

С ПИД-регулятором нагрев помещения происходит за 0,275 часа, установившееся значение равно заданному 25°C, как и с ПИ-регулятором (рисунок 9). Максимальное отклонение управляемой величины от заданного значения составляет 1,3%.

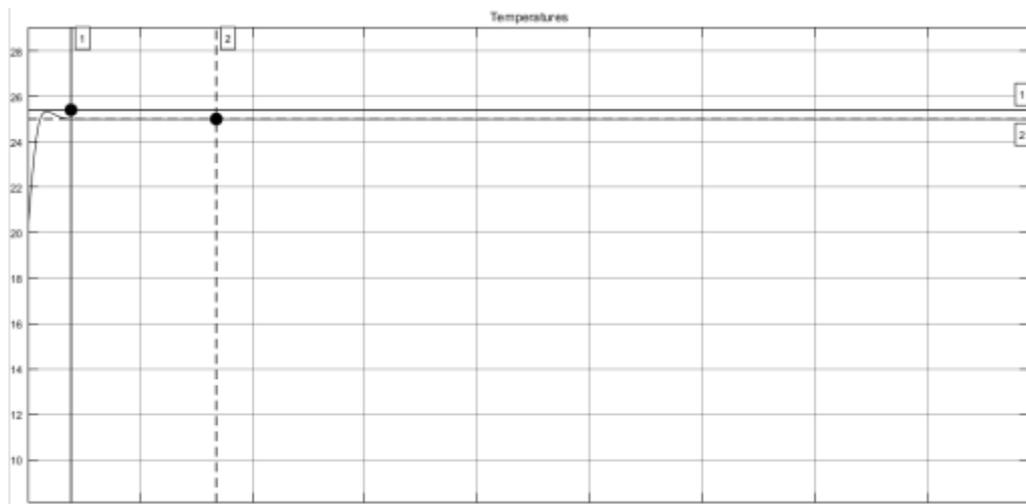


Рисунок 9 – Динамика нагрева помещения до заданной температуры с ПИД-регулятором

Результаты моделирования показывают, что ПИД-регулятор обеспечивает большее быстродействие, чем ПИ-регулятор.

При использовании *нечеткого регулятора* установившееся значение температуры достигает заданного 25°C за период 0,279 часа (рисунок 10). Максимальное отклонение управляемой величины от заданного значения равно 0,5%.

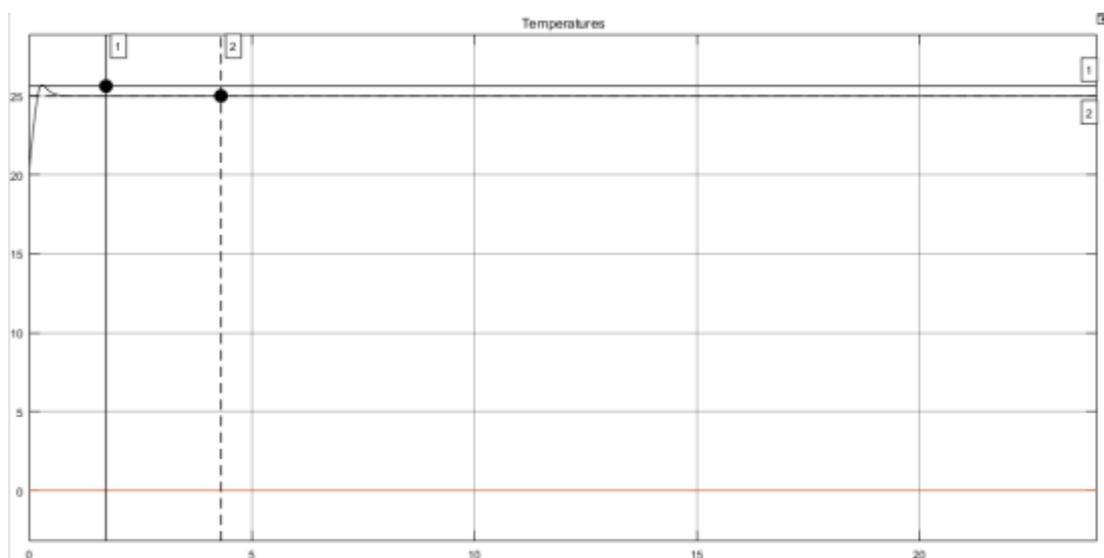


Рисунок 10 – Динамика нагрева помещения до заданной температуры нечетким регулятором

Результаты применения различных регуляторов при моделировании системы управления температурным режимом в помещении сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Сравнительные показатели регуляторов

№	Регулятор	Точность поддержания температуры, %	Время регулирования, час	Перерегулирование, %
1.	Релейный регулятор	98% - 102%	0,230	0%
2.	П- регулятор	97,6%	0,210	0%
3.	ПИ- регулятор	100%	0,286	1,4%
4.	ПИД- регулятор	100%	0,275	1,3%
5.	Нечеткий регулятор	100%	0.279	0,5%

Видно, что наилучшие результаты управления температурным режимом достигаются при использовании ПИД- и нечеткого регуляторов. И хотя нечеткий регулятор не дает явного преимущества по сравнению с ПИД-регулятором, он обеспечивает меньшее перерегулирование.

Имитационная модель автоматической системы управления температурой внутри помещения позволяет разработать алгоритмы работы и самообучения интеллектуального термостата на основе анализа тепловых параметров здания и поведения пользователя.

### Список литературы:

1. Ершов В.В. Оптимальное управление температурным режимом в офисных и жилых зданиях – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wila.ru/4/304/article32544>. (дата обращения 21.01.2022)
2. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. М.: ДМК-Пресс, 2008. 784 с.
3. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. М.: ДМК Пресс, 2007. 288 с.
4. На, D. L., Zamaï, S. P. E., and Jacomino, M., “A home automation system to improve household energy control,” 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Saint Etienne, France, 17–19 May 2006.
5. Шведко В.И., Гурьянов Д.В., Астапов А.Ю. Моделируемая система вентиляции в программах CODESYS И DESIGOINSIGHT // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Материалы международной научно-практической конференции. Сборник научных трудов. Мичуринск. 2017. С. 274-280.

**UDC 697.1**

### **SIMULATION OF ROOM HEATING WHEN USING VARIOUS REGULATORS IN THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM**

**Dmitriy V. Guryanov**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

[guryanov72@mail.ru](mailto:guryanov72@mail.ru)

**Maxim K. Manaenkov**

undergraduate

[manaenkov.max@yandex.ru](mailto:manaenkov.max@yandex.ru)

Michurinsk State Agrarian University

**Annotation.** The results of modeling the heating of a room using various regulators in a temperature control system are presented. It is shown that the best results of temperature control are achieved when using PID and fuzzy controllers. The latter provides less overshoot.

**Key words:** thermal model of the building, temperature control, thermostat controller.

Статья поступила в редакцию 15.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 25.03.2022.

The article was submitted 15.02.2021; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 25.03.2022.