

УДК 681.515.4

В.В. Баранов, К.О. Беліков

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Порівняльний аналіз систем автоматичного регулювання температури

Мета дослідження полягає у порівнянні релейної системи регулювання температури резистивного нагрівача із системою з застосованим ПІД-регулятором, з навантаженням і без.

Для регулювання температурного режиму електричних нагрівачів застосовуються в основному системи автоматичної стабілізації (в яких регулятор підтримує постійне значення регульованого параметру) та системи програмного регулювання (які змінюють параметр по попередньо заданому закону в часі).

Системи автоматичного регулювання (САР) температури по принципу дії поділяються на групи перервного та неперервного регулювання. За функціональними особливостями поділяються на п'ять типів: релейні, пропорційні (П-регулятори), інтегральні (І-регулятори), пропорційно-інтегральні (ПІ-регулятори) та пропорційно-інтегральні з першою похідною (ПІД-регулятори). Релейні регулятори відносяться до перервних САР, інші типи – до САР неперервної дії. [1]

В даній статті розглядаються релейна та пропорційно-інтегральна системи.

При релейному регулюванні температури потужність нагрівача може встановлюватись тільки на двох рівнях – максимальному та мінімальному. Максимальна кількість тепла повинна бути більшою за необхідну для підтримки заданої регульованої температури, а мінімальна – менше. В такому випадку температура коливається в межах, приблизних до заданого значення, тобто встановлюється так званий автоколивальний режим. [2]

Також в деяких випадках для уникнення брязкоту контактів (процес небажаного замикання і розмикання контактів впродовж короткого часу (від декількох мілісекунд) виникає необхідність зробити так, щоб температури, при якій нагрівач вмикався і вимикався, відрізнялись. Цей прийом називається температурним гістерезисом. [3]

При пропорційному регулюванні величина виправлення в регульовану дію пропорційна величині відхилення. Це означає, що чим більше відхилення

температури від заданого рівня, тим сильніше необхідно змінити потужність нагрівача для компенсації. Однак, при такому виді регулювання виникають коливання, які можуть стати незатухаючими. В пропорційно-інтегральній системі, для того щоб прибрати цю статичну помилку, в регулятор вводять додатковий коефіцієнт з інтегралом. Інтегратор видає сигнал, що пропорційний накопиченій помилці, та сумується з сигналом із пропорційного каналу, що призводить до забезпечення необхідного заданого сигналу.

Для проведення експерименту була розроблена електрична схема наступного вигляду.

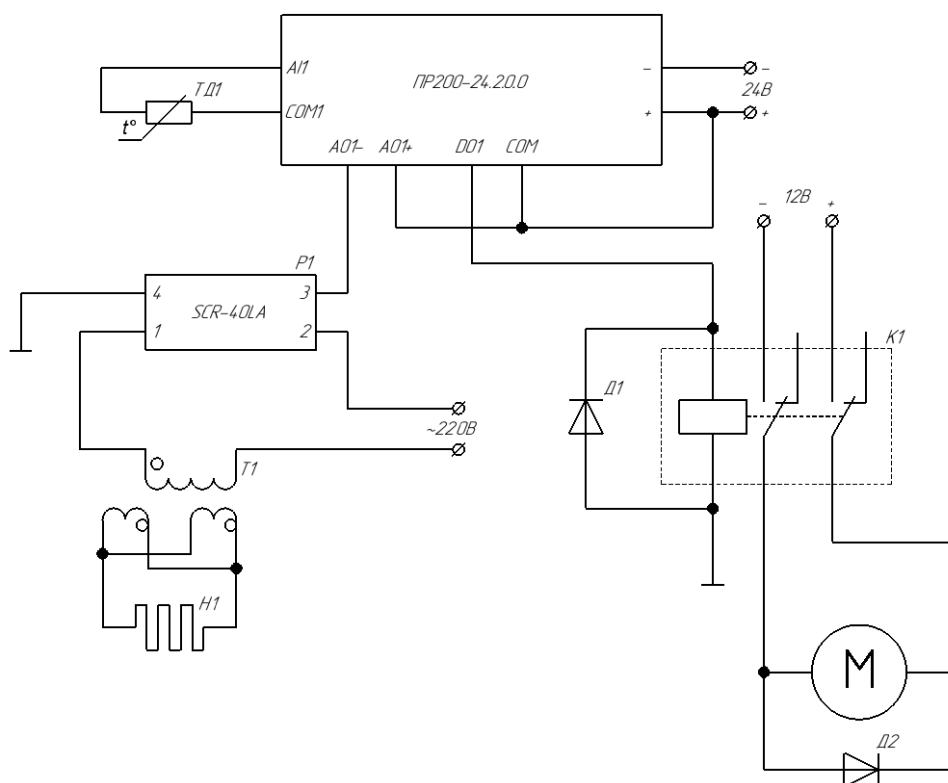


Рис. 1. Електрична схема експериментальної установки

Основним зчитуючим та керівним приладом у схемі слугує програмоване реле ОВЕН PR200. Реле зчитує сигнал з датчика ТД1, який зчитує температуру нагрівача, та в залежності від її значення подає сигнал певного струму в діапазоні 4...20 мА з аналогового виходу А01, який, в свою чергу, контролює фазне керування твердотільного реле Р1, від чого змінюється вихідна напруга цього ж реле, яка йде на трансформатор, від якого живиться електронагрівач. По такому ланцюжку отримуємо, що в залежності від сигналу з аналогового виходу програмованого реле змінюється потужність нагрівача.

Разом з тим, додатково підключений контактор К1 із діодом Д1, який потрібен для шунтування котушки. Цей контактор керує електродвигуном, який

слугує у якості навантаження. Двигун приводить в рух кулачковий механізм, що задає закон стрибкоподібної передачі тепла в робоче середовище.

Проводимо серію із двох експериментів: в першому випадку використовуємо релейне керування зі встановленою температурою в  $120^{\circ}\text{C}$ . В другому випадку застосовуємо ПІД-регулювання із тією ж уставкою. Для того, щоб проаналізувати поведінку нагрівача без впливу навантаження, зобразимо залежність температури від часу для системи, що підтримує температуру нагрівача, що охолоджується тільки через теплообмін з повітрям.

Експериментально було визначено що найкращі результати отримуються при гістерезисі 0 градусів і наступними коефіцієнтами ПІД:  $P = 5$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0$ .

ПІД-регулювання без навантаження:

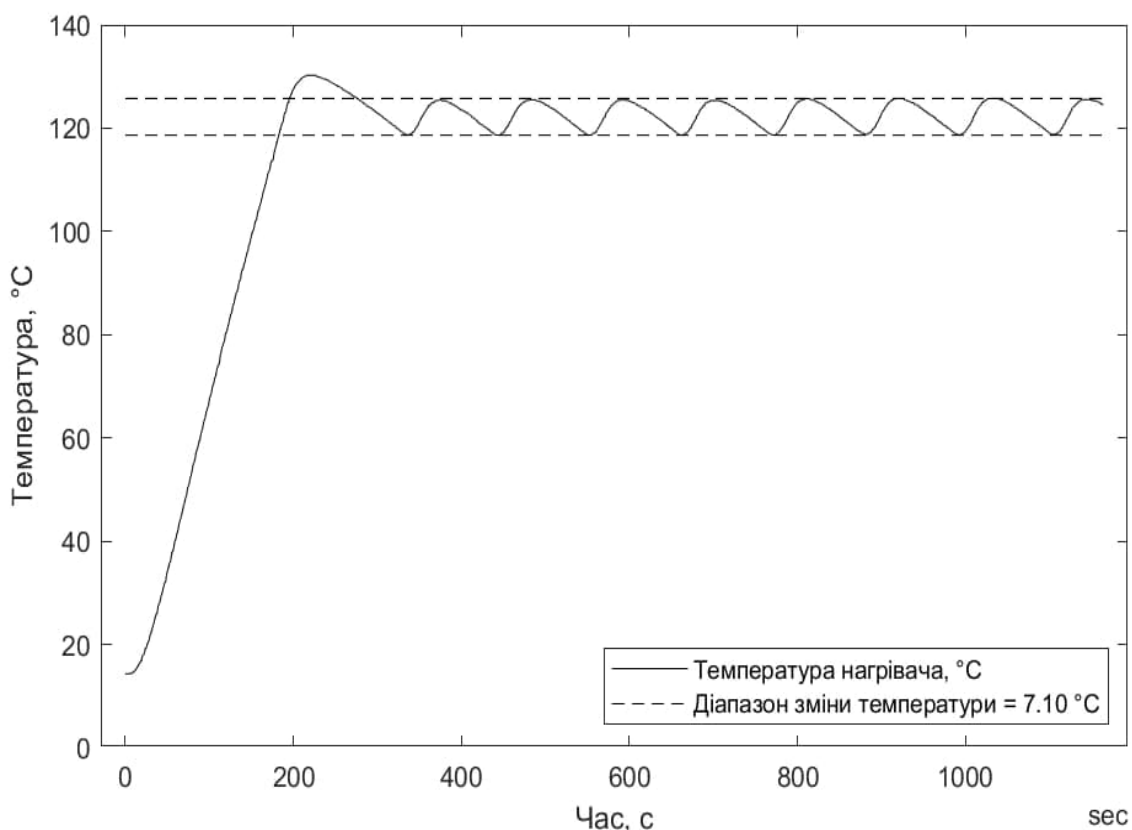
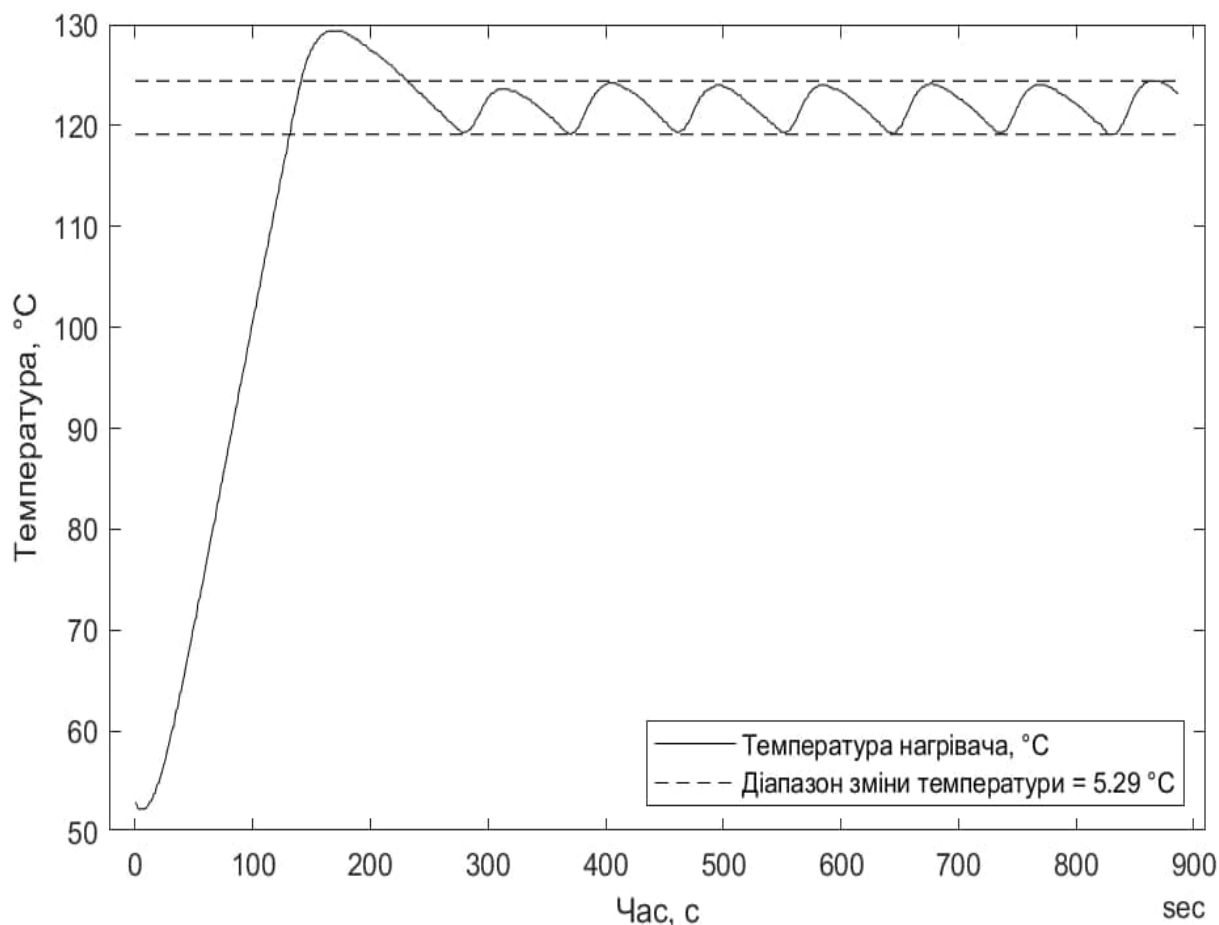


Рис. 2. ПІД-регулювання без навантаження

Результати наступні: максимальне коливання температури:  $7.10^{\circ}\text{C}$  (від 119.88 до 126.98), приблизний період коливань – 90 с.

При цьому перше коливання мало більшу амплітуду ніж інші за рахунок інерційності системи (затримка отримання датчиком поточної температури).

Релейне регулювання без навантаження:



256

Рис. 3. Релейне регулювання без навантаження

Отримуємо наступні результати: максимальне коливання температури –  $5.29^{\circ}\text{C}$  (від 119.82 до 125.01), приблизний період коливань – 80 с.

Аналогічно попередньому експерименту, підвищена амплітуда першого коливання викликана інерційністю системи.

Підводячи підсумки першого експерименту та порівнюючи отримані графіки, спостерігаємо, що коливання при релейному керуванні менші, ніж при застосуванні ПІД-регулятора. Для більш точного порівняння типів керування проведемо ще один експеримент, додавши в систему імітацію навантаження, що забезпечить більш наближені до реальних умови.

ПІД-регулювання під навантаженням:

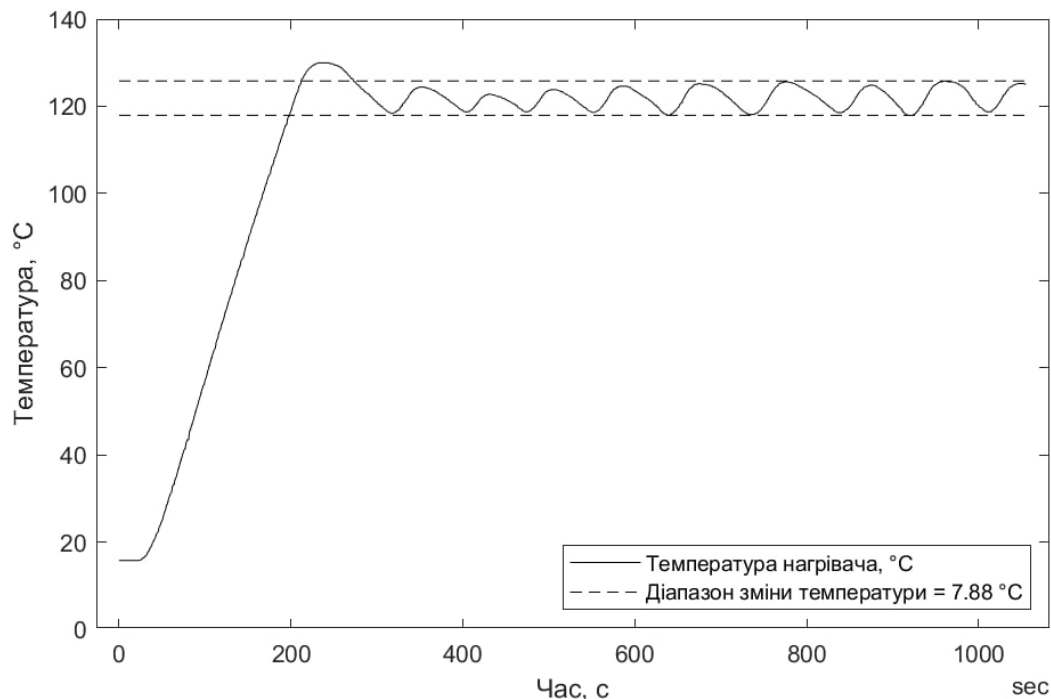


Рис. 4. ПІД-регулювання під навантаженням

Проводилось регулювання з коефіцієнтами  $P = 5$ ,  $I = 0.1$ ,  $D = 0$ , з уставкою  $120^{\circ}\text{C}$ . Максимальне коливання температури  $7.88$  (від  $117.91$  до  $125.79$ ), приблизний період коливань –  $90$  с. Помітна нестабільність періодичності кривих, викликана навантаженням.

257

Релейне регулювання під навантаженням:

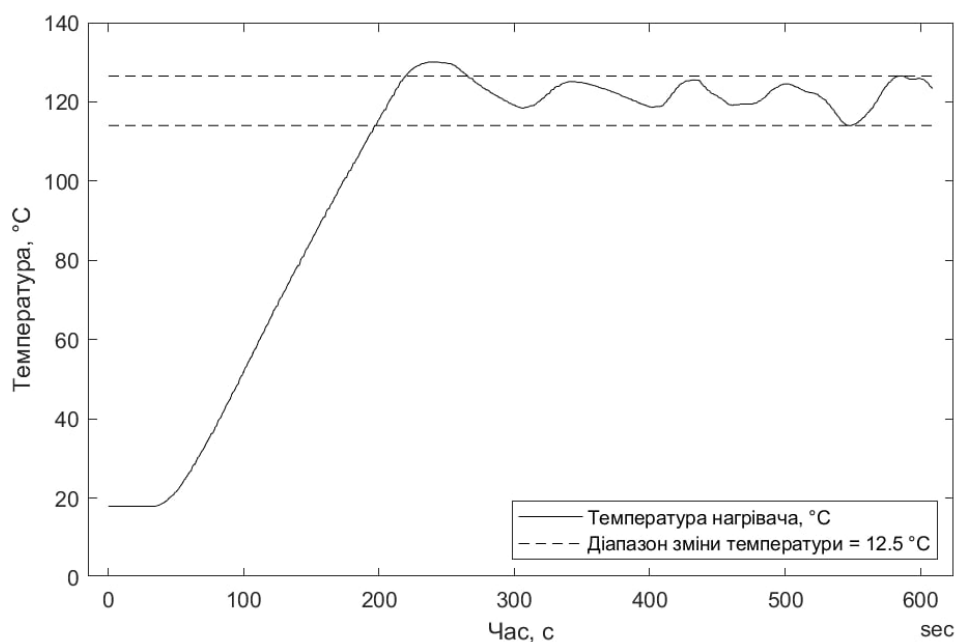


Рис.5. Релейне регулювання під навантаженням

Отримані результати: максимальне коливання температури – 12.5°C (від 116.02 до 128.51). За рахунок навантаження складно відрізнити періодичність коливань, які набули непостійної форми.

Системи температурного регулювання поділяються на різні типи, в нашому випадку застосовуються релейна та пропорційно-інтегральна системи. Метою було порівняння видів регулювання: релейного та за допомогою ПД-регулятора без навантаження і з ним. В якості основного управляючого приладу виступає програмоване реле, окрім цього в системі наявні такі елементи, як твердотільне реле, трансформатор, контактор з діодом та двигун в якості навантаження. Проводились дві серії експериментів, у першій у системах було відсутнє навантаження, у другому наявне. З цих експериментів можна зробити висновок, що хоча релейне регулювання більш стабільне за відсутності навантаження, проте при його наявності ПД-регулювання показує кращі результати, а саме менший діапазон зміни температури.

#### Список використаних джерел

258

1. Sadraey M. Automatic Flight Control Systems / Mohammad Sadraey., 2020. - ISBN: 9781681737294
2. Jenkins A. Self-oscillation / Alejandro Jenkins. // Physics Reports, Elsevier. – 2013.
3. Інтерфейс між обчислювальною машиною і технічним процесом. Терміни та визначення. ДСТУ 2231-93. – [Чинний від 01-07-1994]. - К.: Держспоживстандарт України - (Національний стандарт України)
4. Никулин Е. А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем / Учеб. пособие для вузов — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 640 с.:илл. ISBN 5-94157-440-1