

© А.В. Бубликов¹, О.О. Бойко¹, Є.К. Воскобойник¹, І.Ю. Колисниченко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ У ПРИМІЩЕННІ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО РЕГУЛЯТОРА

© A. Bublikov¹, O. Boyko¹, Ye. Voskoboinyk¹, I. Kolysnychenko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

AUTOMATIC CONTROL OF TEMPERATURE IN THE ROOM OF THE BUILDING USING THE COMBINED REGULATOR

Мета. Підвищення якості автоматичного керування температурою у приміщенні будівлі за рахунок сумісного використання оптимального за швидкодією та пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регуляторів.

Методика досліджень. Для дослідження автоматичного керування температурою у приміщенні будівлі використано імітаційне моделювання даного процесу. При цьому створена імітаційна модель системи автоматичного керування з використанням запропонованого комбінованого регулятора на основі оптимального за швидкодією та ПІД законів керування. Для доведення ефективності роботи системи автоматичного керування температурою у приміщенні за запропонованим алгоритмом за допомогою імітаційного моделювання досліджений перехідний процес на виході системи керування за умови різних ситуацій.

Результати дослідження. Доведена можливість ефективного використання різних типів регулятора для дискретного об'єкта керування з широтно-імпульсною модуляцією керуючого сигналу. Обґрунтовані параметри широтно-імпульсного модулятора керуючого сигналу з урахуванням інерційності об'єкта керування. Визначені залежності параметрів регулятора від характеристик перехідного процесу на виході системи керування для різних динамічних властивостей об'єкта керування.

Наукова новизна. Встановлено, що залежність часу перехідного процесу від часу перемикачання між регуляторами є пропорційною та носить приблизно експоненціальний характер. У свою чергу залежність перерегулювання у перехідному процесі на виході системи керування від часу перемикачання між регуляторами носить приблизно параболічний характер з мінімальним екстремумом. При цьому виявлені залежності є нестационарними та змінюють своє розташування відносно осей координат без зміни своєї форми за умови зміни параметрів об'єкта керування.

Практичне значення. Встановлені залежності параметрів регулятора від характеристик перехідного процесу на виході системи керування дозволяють для різних динамічних властивостей об'єкта керування визначити оптимальні параметри комбінованого регулятора за умови отримання найбільш швидкого перехідного процесу без перевищення допустимого перерегулювання керованої величини. Це дозволяє підвищити якість відпрацювання системою керування заданої користувачем термограми та, за рахунок цього, підвищити комфортність перебування у приміщенні. Крім того, за рахунок запобігання коливання керованої величини зменшуються питомі енерговитрати на опалення приміщення.

Ключові слова: температура у приміщенні, автоматичне керування, комбінований регулятор

Вступ. Світовим трендом теперішнього століття з урахуванням кліматичних проблем є так звана “зелена” енергетика, а також ефективні та екологічні способи її використання. Цей тренд спостерігається в усіх галузях економіки високорозвинених країн, де передбачається генерування або споживання енергії. Не виключенням є й галузь житлово-комунального господарства, для якої питання енергоефективного опалення приміщень будівлі, з оглядом на суттєву енергоемність даного процесу, є досить актуальним.

В розвинених країнах частка електричного опалення приміщень є набагато більшою, ніж в Україні, оскільки там вже давно має місце повноцінний ринок енергоресурсів, на якому газ не є дешевим ресурсом [1]. У зв’язку з цим електричне опалення за витратами є приблизно співрозмірним способом опалення у порівнянні з опаленням за допомогою газу [2]. Але, при електричному опаленні відпадає необхідність створення та утримання системи газопостачання. Крім того, саме електричне опалення приміщень дуже добре поєднується з “зеленою” енергетикою, та є більш екологічним способом використання енергії. Особливо, з урахуванням технологій ефективного зберігання “зеленої” електроенергії, що швидко розвиваються [3]. Тож, у розвинених країнах, у тому числі і в Україні, які піклуються посиленням своєї енергетичної безпеки, у найближчій час більш перспективним способом опалення приміщень буде електричне опалення. Тому створення інформаційних технологій, що сприяють підвищенню енергоефективності електричного опалення приміщень будівлі, є дійсно актуальним науковим напрямом.

Завдання керування енергоспоживанням у будинку чи квартирі з участю людини з метою досягнення більш економічного споживання електроенергії вирішується у рамках концепції “розумного будинку”. Згідно цій концепції, розроблений окремий клас систем, що керують енергоспоживанням у будинку, – Smart Home Energy Management (SHEM). У роботі [4] зазначено, що пошук ефективних підходів щодо управління енергоспоживанням у системах SHEM досі є актуальним питанням, тому що запропоновані рішення не можуть забезпечити мінімальне споживання електроенергії за умови комфортних температур у приміщеннях.

Згідно з класичним підходом, для створення систем клімат-контролю використовується принцип автоматичного керування температурою за відхиленням фактичної температури у приміщенні від бажаної. При цьому вирішується завдання оптимальної настройки ПІ чи ПІД-регулятора за інтегральними критеріями якості роботи системи керування [5]. Однак, використання класичних регуляторів в умовах значної мінливості динамічних властивостей процесу теплообміну у приміщенні як об’єкта керування не дозволяє отримати найбільш швидкий та монотонний перехідний процес. Отже, потрібне використання нестандартного й модифікованого регулятора температури з розробкою методики щодо його налаштування.

Формування цілей статті. Метою у роботі є підвищення якості автоматичного керування температурою у приміщенні будівлі за рахунок сумісного використання оптимального за швидкодією та пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регуляторів.

Для досягнення мети в роботі поставлені і розв’язані такі наукові задачі:

- розробка імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою у приміщенні на основі експериментальних даних;
- встановлення залежностей критеріїв якості перехідного процесу від параметрів широтно-імпульсного модулятора керуючого сигналу та комбінованого регулятора температури у приміщенні.

Актуальність досліджень. Результати проведених досліджень процесів опалення трикімнатної квартири з використанням сучасних інформаційних технологій для підвищення енергоефективності електричного опалення показали для однакових умов суттєве зменшення вартості платежів до 30% у порівнянні з централізованим опаленням [2]. Зменшення вартості опалення відбулося за рахунок впровадження більш ефективних алгоритмів керування електричним опаленням та розподіленням електроенергії між обігрівачами.

Отже, з урахуванням значної кількості наявної та потенційної житлової площі в Україні, опалення якої відбувається з використанням електроенергії, а також суттєвої кількості енергії, необхідної для опалення приміщень будівель у житлово-комунальному господарстві країни [1], розробка та дослідження нових алгоритмів керування, що спрямовані на зменшення питомих енерговитрат на опалення, є **актуальною науково-технічною задачею**.

Основна частина. При розробці імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою у приміщенні будівлі за основу взята класична структурна схема системи за умови використання принципу керування за зворотним від'ємним зв'язком (рис. 1).

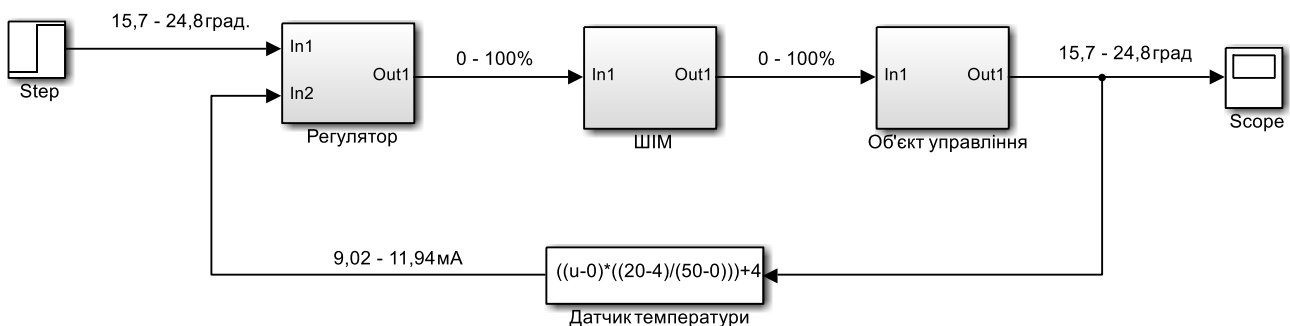


Рис. 1. Структурна схема системи автоматичного управління температурою у приміщенні у додатку Simulink програми MATLAB

У блоці “Step” на рис.1 користувачем задається бажана температура у приміщенні (уставка температури). Блок “Датчик температури” є імітацією безінерційного датчика температури, що вимірює температуру у діапазоні від 0 до 50 °С й створює при цьому пропорційний температурі струмовий електричний сигнал, відповідно, від 4 до 20 мА. Блок “Об’єкт управління” є підсистемою, в якій розміщена імітаційна модель об’єкта управління, що визначена на основі процедури ідентифікації за експериментальною кривою розгону (рис.2), отриманою в одній з аудиторій університету НТУ “Дніпровська політехніка”.

З рис.2 видно, що об’єкт керування описується передаточною функцією у вигляді трьох послідовно з’єднаних ланок – двох аперіодичних ланок, що мають

постійні часу 1377,6 с⁻¹ та 231,7 с⁻¹, а також ланки транспортного запізнення з запізненням 102,8 с. Коефіцієнт підсилення передаточної функції об'єкта керування дорівнює 0,092 °C/%.

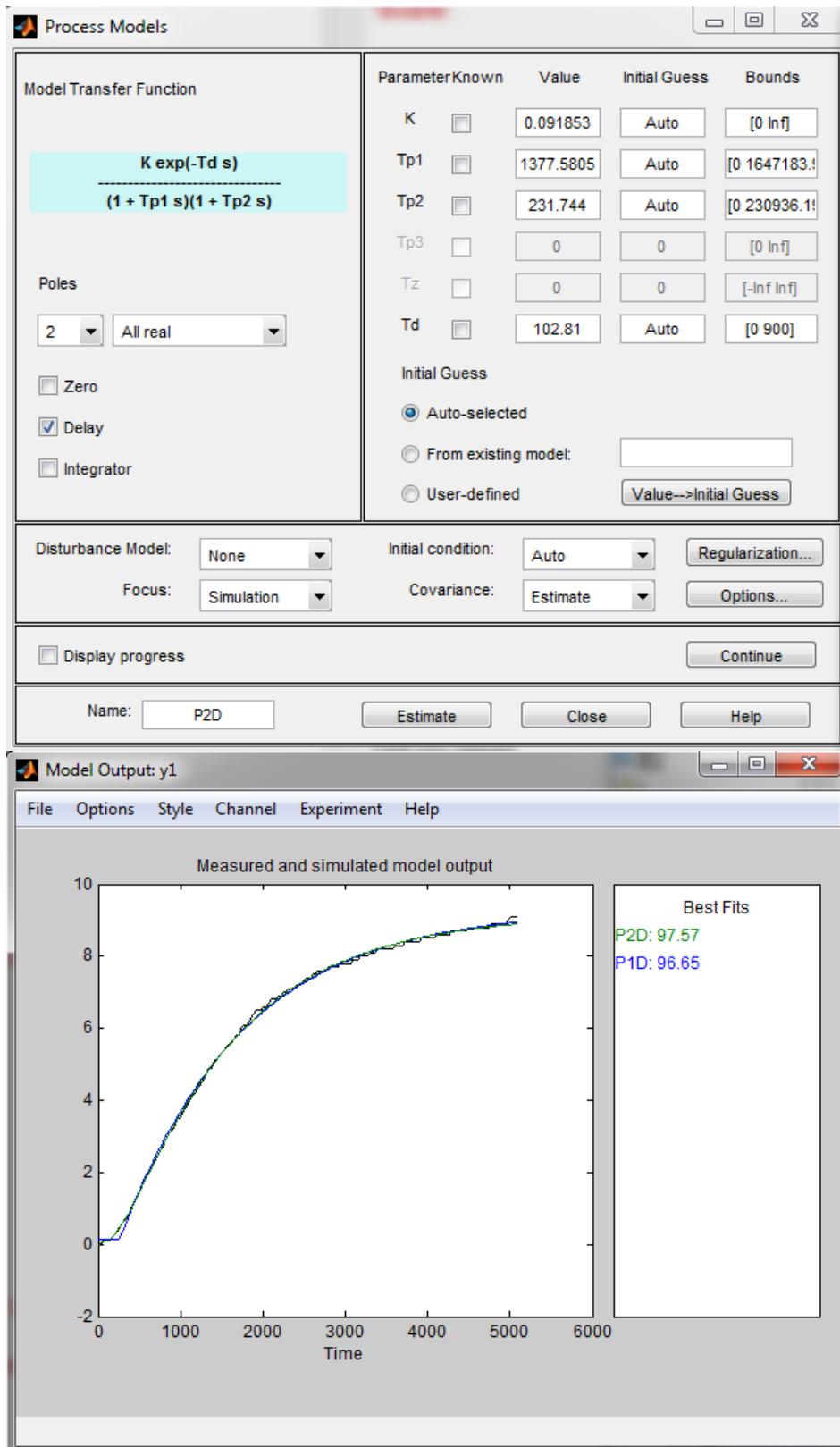


Рис. 2. Результат ідентифікації об'єкта управління за умови двох дійсних від'ємних коренів характеристичного рівняння

Блок “ШІМ” на рис.1 – це програмна імітаційна модель широтно-імпульсного модулятора, що генерує імпульси, у яких відношення їх тривалості до періоду задається вхідною величиною таким чином, щоб середнє значення вихідної величини дорівнювало значенню вхідної величини.

З метою обґрунтування періоду зміни імпульсів на виході широтно-імпульсного модулятора, за допомогою обчислювальних експериментів на імітаційній моделі модулятора проведено дослідження залежності часу усереднення $T_{ус}$ імпульсного сигналу від його періоду $T_{пер}$. Причому за час усереднення прийнятий час, коли середнє значення імпульсного сигналу відрізняється від значення вхідної величини модулятора не більше ніж на 5% у відносних одиницях. Графік цієї залежності представлений на рис.3.

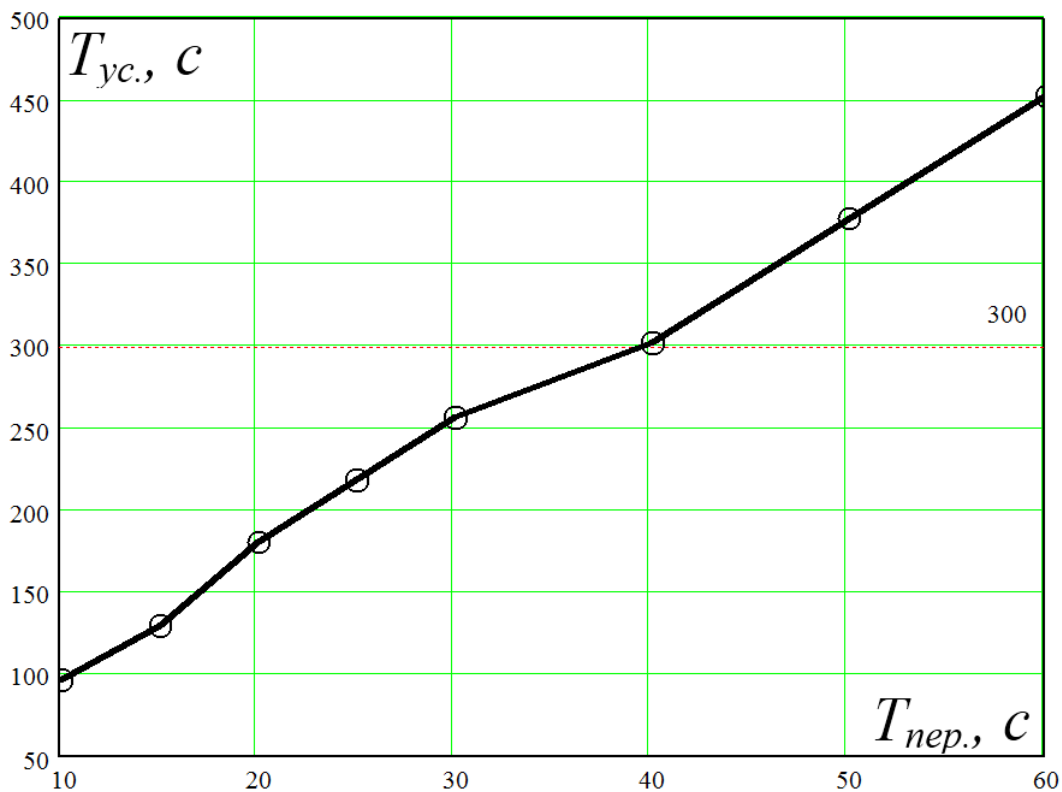


Рис. 3. Графік залежності часу усереднення імпульсів на виході ШІМ від періоду імпульсів

З рис.3 видно, що між періодом імпульсів та часом усереднення за умови входження середнього значення у діапазон $\pm 5\%$ від математичного очікування спостерігається практично пряма лінійна залежність. Введемо критичне значення часу усереднення, при перевищенні якого інерційність ШІМ починає суттєво впливати на перехідний процес на виході системи керування. Прийmemo за критичне значення часу усереднення, яке не можна перевищувати, 10% від часу перехідного процесу на виході об'єкта керування – 300 с (показано на рис.3 пунктирною лінією). Отже, як видно з рис.3, для того, щоб час усереднення імпульсів, що визначає інерційність широтно-імпульсного модулятора, не перевищував критичне значення (10% перехідного процесу на виході об'єкта управління),

необхідно, щоб період імпульсів був не більше 40 с. Таким чином, прийmemo період імпульсів на виході моделі ШІМ рівним 30 с.

Основним завданням системи автоматичного керування температурою у приміщенні є переведення фактичної температури з одного рівня уставки до іншого. Тобто, річ йде про відпрацювання східчастої зміни уставки у часі. Для такого завдання автоматичного керування основними критеріями якості роботи системи є основні критерії якості перехідного процесу на її виході за умови східчастої зміни уставки. Такими критеріями є час перехідного процесу t_p , перерегулювання $A1$ та статична похибка $E_{ст}$.

Ідея принципу роботи запропонованого комбінованого регулятора полягає у використанні на початку перехідного процесу оптимального за швидкодією релейного регулятора температури з переключенням на кінцевій стадії перехідного процесу на ПІД-регулятор. З урахуванням нестационарних динамічних властивостей процесу нагріву приміщення пропонується для різних параметрів динамічної моделі процесу нагріву використовувати різні моменти перемикавання з оптимального за швидкодією релейного регулятора на ПІД-регулятор.

Схема комбінованого регулятора з реалізацією алгоритму перемикавання між оптимальним за швидкодією релейним регулятором та ПІД-регулятором представлена на рис.4.

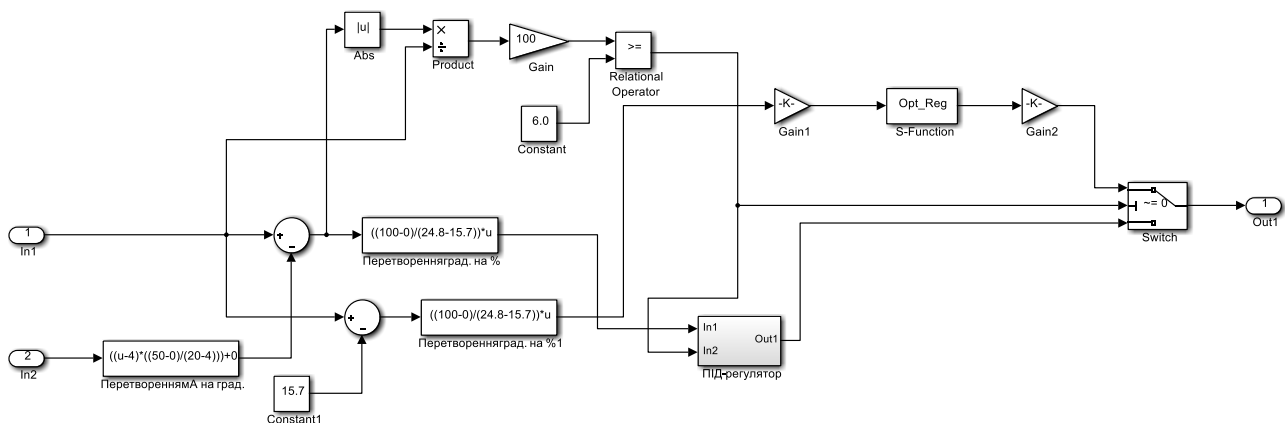


Рис. 4. Схема моделі комбінованого регулятора температури у приміщенні у додатку Simulink

З алгоритму розрахунку інтервалів переключення оптимального за швидкодією релейного регулятора температури [6] виходить, що в залежності від умов переходу (початковий рівень уставки, кінцевий рівень уставки) змінюються вхідні дані для розрахунку інтервалів переключення. А саме – величина зміни уставки (різниця між новим та старим значеннями уставки), максимальна величина керуючого впливу (різниця між одиницею (це 100% в умовних одиницях) та старою уставкою) та мінімальна величина керуючого впливу (стара уставка). Таким чином, після кожної зміни уставки у реальному часі треба перераховувати інтервали перемикавання оптимального за швидкодією регулятора температури. Це означає, що необхідно програмно реалізувати алгоритм розрахунку інтервалів переключення оптимального за швидкодією регулятора температури. Для цього

розроблена програма на мові програмування MATLAB, що інтегрована в імітаційну модель системи автоматичного управління температурою у приміщенні, яка розроблена у додатку Simulink, за допомогою S-функції "Opt_Reg" (рис.4).

Синтез системи автоматичного керування температурою у приміщенні на основі ПІД регулятора проведений на основі спеціалізованого додатку програми MATLAB «PID Tune», що входить до складу блоку "PID Controller" додатку «Simulink» [7]. ПІД-регулятор в імітаційній моделі комбінованого регулятора температури у приміщенні реалізований на основі підсистеми "ПІД-регулятор" (рис.4).

Алгоритм перемикавання між регуляторами реалізований на рис.4 на основі блоків "Abs", "Product", "Gain" та "Relational operator". Причому алгоритм перемикавання наступний – якщо відносне відхилення фактичної температури від уставки більше за величину у блоці "Constant", то працює оптимальний за швидкістю регулятор, а якщо ні – ПІД-регулятор.

Нижче представлені дослідження залежності критеріїв якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, для різних змін другої постійної часу об'єкта керування.

З рис.5,а видно, що у випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20% залежність часу перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, носить практично експоненціальний зворотний характер з мінімальним екстремумом, що відповідає відхиленню 4%. На рис.5,б видно, що залежність перерегулювання від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, носить непропорційний параболічний характер з мінімальним екстремумом, що також відповідає відхиленню 4%.

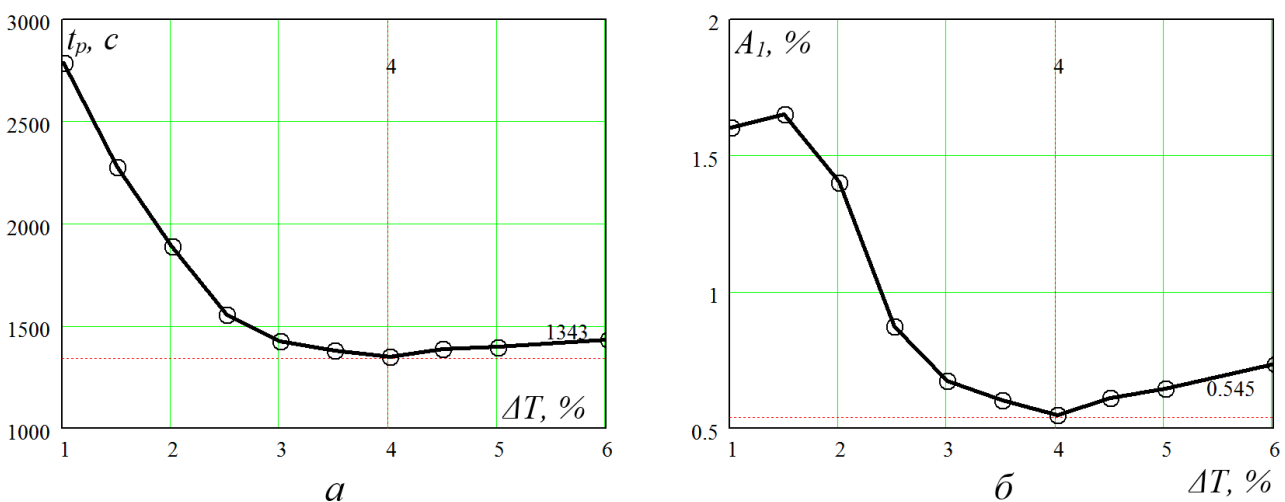


Рис. 5. Залежності від умови перемикавання: а – часу перехідного процесу; б – перерегулювання у відносних одиницях за умови збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20%

Тож робимо висновок, що у випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20% оптимальним моментом перемикавання з оптимального за швидкодією релейного регулятора температури на ПД-регулятор є 4%-не відхилення фактичної температури від уставки. Перехідний процес за умови перемикавання регуляторів при 4%-му відхиленні фактичної температури від уставки показаний на рис.6.

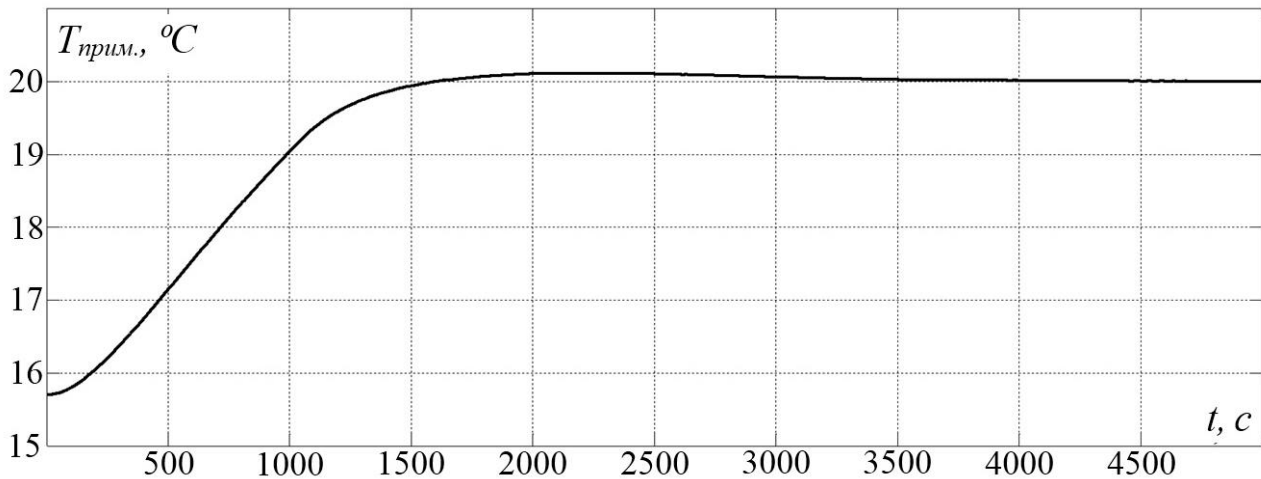


Рис. 6. Перехідний процес на виході системи автоматичного управління за умови комбінованого способу управління температурою у випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20%

Проведемо дослідження залежності критеріїв якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, для збільшеної на 10% другої постійної часу об'єкта керування.

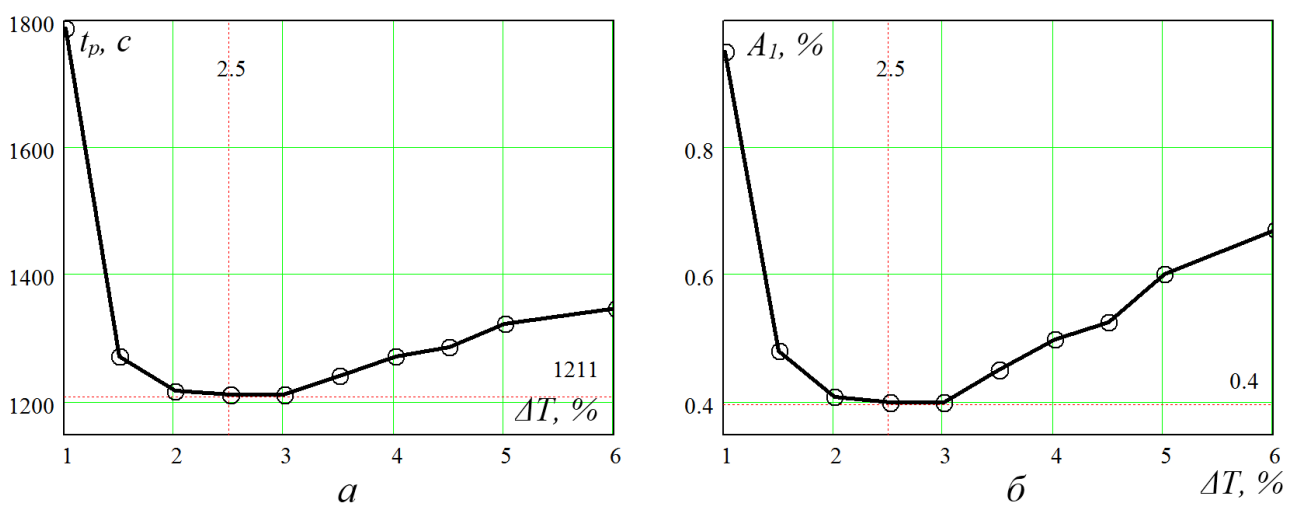


Рис. 7. Залежності від умови перемикавання: а – часу перехідного процесу; б – перерегулювання у відносних одиницях за умови збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10%

З рис.7,а видно, що у випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10% залежність часу перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикання між регуляторами, носить непропорційний параболічний характер фактично з певним діапазоном мінімальних значень критерію від 2 до 3% замість мінімального екстремуму. На рис.7,б видно, що залежність перерегулювання від відносного відхилення фактичної температури від уставки температури, за умови якого відбувається перемикання між регуляторами, носить аналогічний характер.

Тож робимо висновок, що у випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10% оптимальним моментом перемикання з оптимального за швидкодією релейного регулятора температури на ПІД-регулятор є значення відхилення фактичної температури від уставки, що знаходиться у діапазоні від 2 до 3%. Перехідний процес на виході системи автоматичного управління за умови перемикання регуляторів при 3%-му відхиленні фактичної температури від уставки показаний на рис.8.

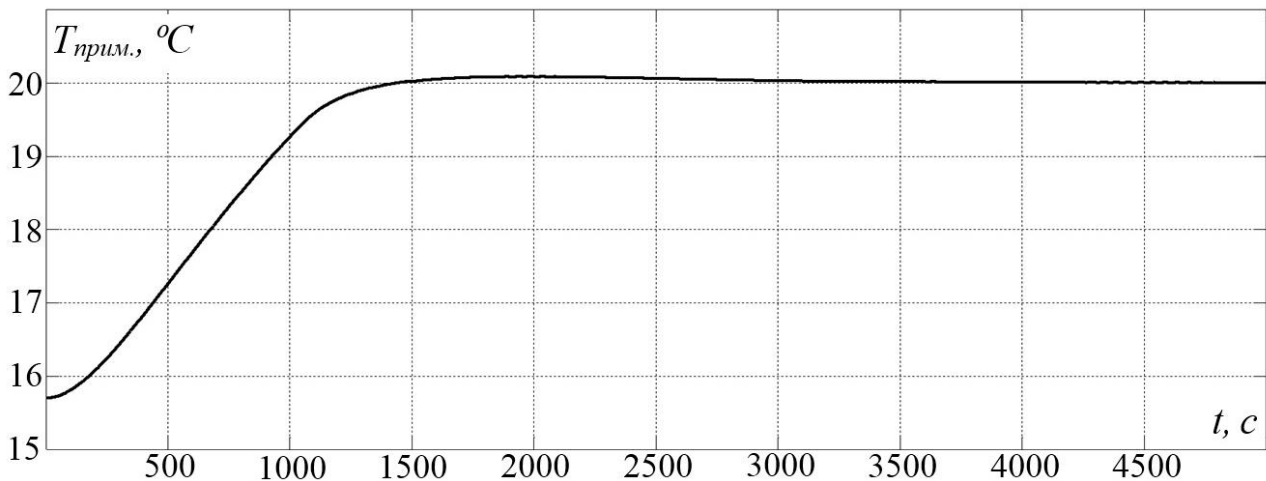


Рис. 8. Перехідний процес на виході системи автоматичного управління за умови комбінованого способу управління температурою у випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10%

Проведемо дослідження залежності критеріїв якості перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикання між регуляторами, для зменшеної на 10% другої постійної часу об'єкта керування (рис.9).

З рис.9,а видно, що у випадку зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10% залежність часу перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикання між регуляторами, можна розбити на два різних за своїм характером графіка – експоненціальний до значення відхилення 3%, та лінійний після значення відхилення 3%. На рис.9,б видно, що залежність перерегулювання від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикання між регуляторами, носить непропорційний параболічний характер з мінімальним екстремумом, що відповідає відхиленню 3%.

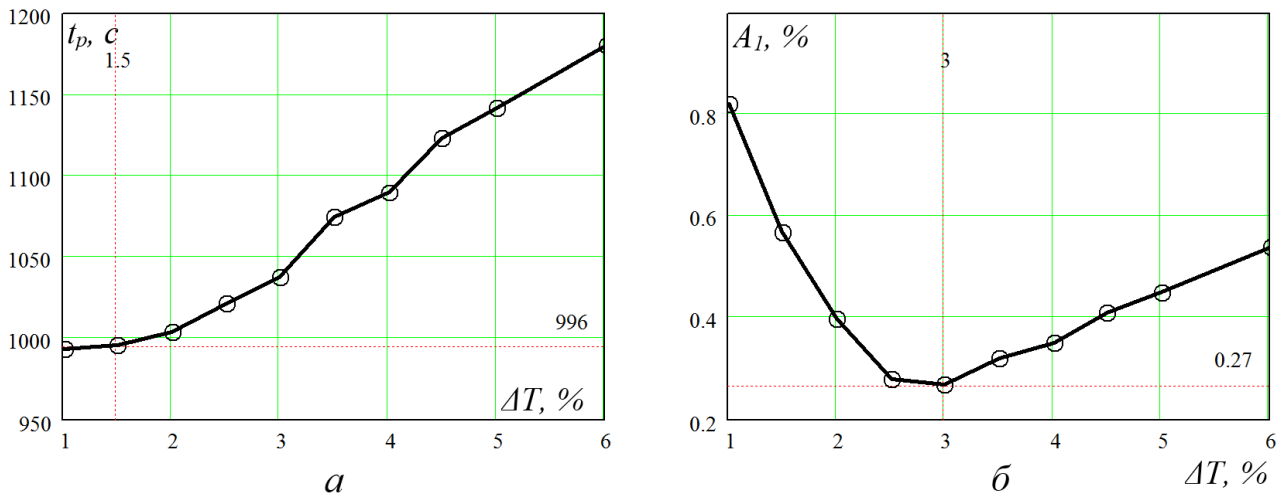


Рис. 9. Залежності від умови перемикавання: a – часу перехідного процесу; b – перерегулювання у відносних одиницях за умови зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10%

Тож робимо висновок, що у випадку зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10% оптимальним моментом перемикавання з оптимального за швидкодією релейного регулятора температури на ПІД-регулятор є значення відхилення фактичної температури від уставки у діапазоні від 1 до 1,5%, оскільки перерегулювання у всьому діапазоні зміни значень відхилення залишається менше 1%. Перехідний процес на виході системи автоматичного керування за умови перемикавання регуляторів при 1,5%-му відхиленні фактичної температури від уставки показаний на рис.10.

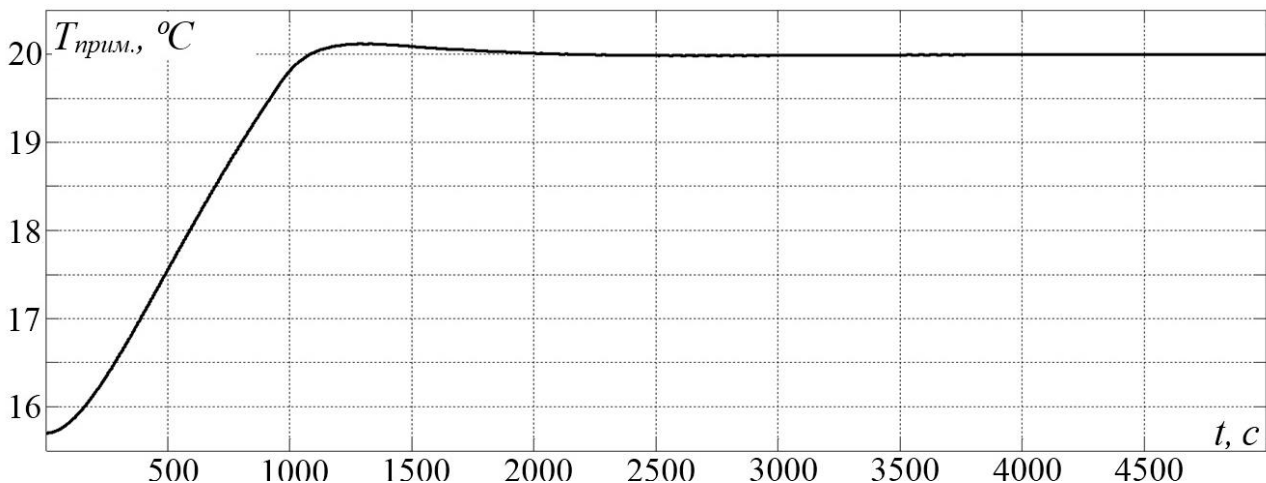


Рис. 10. Перехідний процес на виході системи автоматичного управління за умови комбінованого способу управління температурою у випадку зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10%

Проведемо дослідження залежності критеріїв якості перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого

відбувається перемикання між регуляторами, для зменшеної на 20% другої постійної часу об'єкта керування (рис.11).

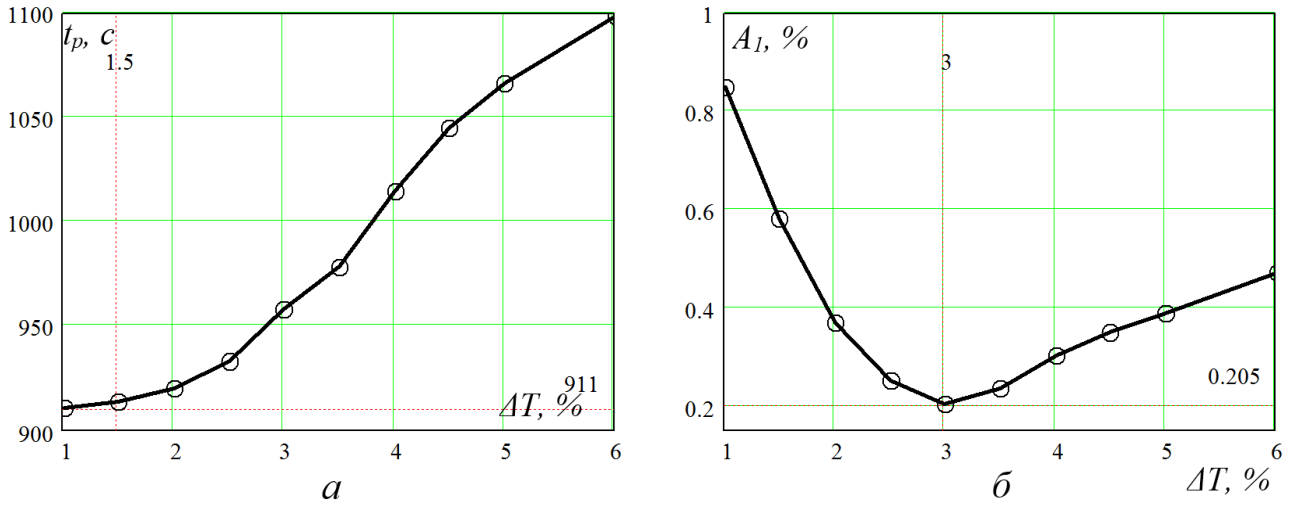


Рис. 11. Залежності від умови перемикання: *a* – часу перехідного процесу; *б* – перерегулювання у відносних одиницях за умови зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20%

З рис.11,а видно, що у випадку зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20% залежність часу перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикання між регуляторами, носить аналогічний характер, як у випадку зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10%. Такий самий висновок можна зробити й про залежність перерегулювання від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикання між регуляторами (рис.11,б).

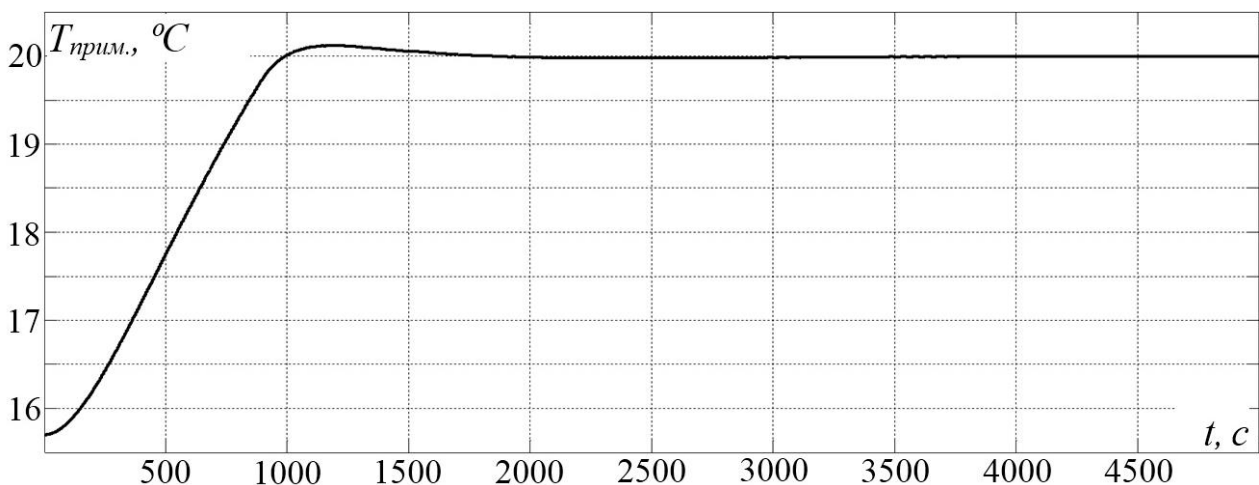


Рис. 12. Перехідний процес на виході системи автоматичного управління за умови комбінованого способу управління температурою у випадку зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20%

Тож робимо висновок, що у випадку зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20% оптимальним моментом перемикавання з оптимального за швидкодією релейного регулятора температури на ПД-регулятор є значення відхилення фактичної температури від уставки у діапазоні від 1 до 1,5%. Перехідний процес на виході системи автоматичного управління за умови перемикавання регуляторів при 1,5%-му відхиленні фактичної температури від уставки показаний на рис.12.

Висновки. В результаті обчислювальних експериментів встановлено, що між періодом імпульсів керуючого сигналу за умови керування температурою у приміщенні та часом їх усереднення при входженні середнього значення у діапазон $\pm 5\%$ від математичного очікування спостерігається практично пряма лінійна залежність. Ця залежність використана для обґрунтування періоду імпульсів на виході програмного широтно-імпульсного модулятора керуючого сигналу, що дозволяє представити некерований тепловий вентилятор неперервним об'єктом управління.

У випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 20% оптимальним моментом перемикавання з оптимального за швидкодією релейного регулятора температури на ПД-регулятор є 4%-не відхилення фактичної температури від уставки. При цьому залежність часу перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, носить практично експоненціальний зворотний характер з мінімальним екстремумом, що відповідає відхиленню 4%. Залежність перерегулювання від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, носить непропорційний параболічний характер з мінімальним екстремумом, що також відповідає відхиленню 4%.

У випадку збільшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10% оптимальним моментом перемикавання з оптимального за швидкодією релейного регулятора температури на ПД-регулятор є значення відхилення фактичної температури від уставки, що знаходиться у діапазоні від 2 до 3%. При цьому залежність часу перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, носить непропорційний параболічний характер фактично з цілим діапазоном мінімальних значень критерію від 2 до 3% замість мінімального екстремуму. Залежність перерегулювання від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, носить аналогічний характер.

У випадках зменшеної другої постійної часу об'єкта керування на 10 та 20% оптимальним моментом перемикавання з оптимального за швидкодією релейного регулятора температури на ПД-регулятор є значення відхилення фактичної температури від уставки у діапазоні від 1 до 1,5%. При цьому залежність часу перехідного процесу від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, можна розбити

на два різних за своїм характером графіка – експоненціальний до значення відхилення 3%, та лінійний після значення відхилення 3%. Залежність перерегулювання від відносного відхилення фактичної температури від уставки, за умови якого відбувається перемикавання між регуляторами, носить непропорційний параболічний характер з мінімальним екстремумом, що відповідає відхиленню 3%.

Обчислювальний експеримент показав, що у порівнянні з запропонованим комбінованим регулятором температури класичний ПІД-регулятор на 21,3% повільніше. При цьому маємо 1% перерегулювання, запас стійкості системи за амплітудою 45,3 Дб, а запас стійкості за фазою – 90 градусів, що є набагато більше за значення, що рекомендовані (10 Дб та 40 град. відповідно).

Перелік посилань

1. Маслов, І. О. (n.d.) *Електроопалення як енергоефективний захід*. ТОВ “ДТЕК” <https://dtek.com/content/files/ihor-maslov.pdf>
2. Бубликов, А.В., Заславський, О.М., Проценко, С.М., & Ткачов, В.В. (2018). *Розумні теплові поля: монографія*. НТУ «Дніпровська політехніка». <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/153009/CD1008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Patel, P. (2021). White-Hot Blocks as Renewable Energy Storage? *IEEE Spectrum*. <https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/batteries-storage/could-storing-electricity-in-whitehot-blocks-give-supercheap-renewables-storage>
4. Pau, G., Collotta, M., Ruano, A., & Qin, J. (2017). Smart Home Energy Management. *Energies*, 10(3), 382. <https://doi.org/10.3390/en10030382>
5. Golinko, I. M. (2014). Optimal tuning of a control system for a second-order plant with time delay. *Thermal Engineering*, 61(7), 524–532. <https://doi.org/10.1134/S0040601514070039>
6. Зайцев, Г.Ф. (1989). *Теория автоматического управления и регулирования*. – 2-е изд., перераб. и доп. Выща шк. Головное изд-во.
7. Aniekan E., I., Ikechukwu, O., & Paul, S. (2019). Comparative Analysis of a PID Controller using Ziegler- Nichols and Auto Turning Method. *International Academic Journal of Science and Engineering*, 06(01), 51–66. <https://doi.org/10.9756/IAJSE/V6I1/1910005>

АННОТАЦИЯ

Цель. Повышение качества автоматического управления температурой в помещении здания за счет совместного использования оптимального по быстродействию и пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регуляторов.

Методика исследований. Для исследования автоматического управления температурой в помещении здания использовано имитационное моделирование данного процесса. При этом создана имитационная модель системы автоматического управления с использованием предложенного комбинированного регулятора на основе оптимального по быстродействию и ПИД законов управления. Для доказательства эффективности работы системы автоматического управления температурой в помещении по предложенному алгоритму с помощью имитационного моделирования исследован переходный процесс на выходе системы управления при различных ситуациях.

Результаты исследования. Доказана возможность эффективного использования различных типов регулятора для дискретного объекта управления с широтно-импульсной модуляцией

управляющего сигнала. Обоснованы параметры широтно-импульсного модулятора управляющего сигнала с учетом инерционности объекта управления. Определены зависимости параметров регулятора от характеристик переходного процесса на выходе системы управления для различных динамических свойств объекта управления.

Научная новизна. Установлено, что зависимость времени переходного процесса от времени переключения между регуляторами пропорциональная и носит примерно экспоненциальный характер. В свою очередь зависимость перерегулирования в переходном процессе на выходе системы управления от времени переключения между регуляторами носит примерно параболический характер с минимальным экстремумом. При этом выявленные зависимости являются нестационарными, и меняют свое расположение относительно осей координат без изменения своей формы при изменении параметров объекта управления.

Практическое значение. Установленные зависимости параметров регулятора от характеристик переходного процесса на выходе системы управления позволяют для различных динамических свойств объекта управления определить оптимальные параметры комбинированного регулятора с целью получения наиболее быстрого переходного процесса без превышения допустимого перерегулирования управляемой величины. Это позволяет повысить качество отработки системой управления заданной пользователем термограммы и, за счет этого, повысить комфортность пребывания в помещении. Кроме того, за счет предотвращения колебаний управляемой величины уменьшаются удельные энергозатраты на отопление помещения.

Ключевые слова: температура в помещении, автоматическое управление, комбинированный регулятор

ABSTRACT

Objective is to improve the quality of automatic temperature control in the building through the combined use of optimal regulator on speed criterion and Proportional Integral Derivative (PID) regulator.

Research methodology. The simulation of process of automatic temperature control in the building was used to study this process. At the same time, a simulation model of the automatic control system was created using the proposed combined regulator based on the optimal on speed criterion and PID control laws. To prove the efficiency of the automatic temperature control system in the room according to the proposed algorithm, with the help of simulation the transient process at the output of the control system under different situations is investigated.

Findings. The possibility of efficient use of different types of regulator for a discrete control object with pulse-width modulation of the control signal is proved. The parameters of the pulse-width modulator of the control signal are substantiated, taking into account the inertia of the control object. The dependences of the regulator parameters on the characteristics of the transient process at the output of the control system for different dynamic properties of the control object are determined.

Originality. It is established that the dependence of the transition process time on the switching time between the regulators is proportional and is approximately exponential. In turn, the dependence of overshoot in the transient process at the output of the control system on the switching time between the regulators is approximately parabolic with a minimum extremum. At the same time, the detected dependencies are non-stationary and change their location relative to the coordinate axes, without changing shape, when changing parameters of the control object.

Practical implications. The established dependences of the regulator parameters on the characteristics of the transient process at the output of the control system allow to determine the optimal parameters of the combined regulator for different dynamic properties of the control object, provided the fastest transient process without exceeding the allowable overshoot of the controlled value. This allows to improve the quality of working off of the user-defined thermogram by the control system and, due to this, to increase the comfort of being in the room. In addition, by preventing fluctuations of the controlled value, the specific energy consumption for room space heating is reduced.

Keywords: *temperature at the room, automatic control, combined regulator.*