

УДК 621.3:621.1.016

А.І. МЕЛЬНИК
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький Національний Технічний Університет»
lethoss@mail.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОГОДОЗАЛЕЖНОГО УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ І КОНДИЦІОНУВАННЯМ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРИМІЩЕННЯ

Розглянуто систему автоматичного управління опаленням та кондиціонуванням окремих видів спеціалізованих приміщень. Для дослідження процесів управління запропоновано спрощену математичну модель спеціалізованого приміщення, на основі якої побудовано імітаційну модель у програмі моделювання Matlab Simulink. Синтезовано систему автоматичного управління, яка складається з двох контурів – контуру опалення та контуру кондиціонування, які керуються за допомогою МРС регуляторів. Наведені результати моделювання показують якісні перехідні процеси та точність стабілізації температури в запропонованій системі управління.

Ключові слова: система автоматичного управління, спеціалізовані приміщення, математична модель, МРС, регулятор, контур, опалення, кондиціонування, графік, перехідний процес, теплоносій, повітря, температура.

Загальна постановка проблеми

Оптимальне протікання багатьох видів технологічних процесів в різноманітних галузях промисловості потребує високоточної підтримки температури в спеціалізованих приміщеннях, де такі процеси виконуються. Наприклад, у фарбувальних автомобільних камерах в процесі сушіння сучасного лакофарбового покриття температурні коливання не повинні виходити за рамки амплітуди в 3,5 градусів. А температура у винному льосі повинна підтримуватись на рівні 13-15 градусів Цельсія, бо якщо в приміщенні буде хоча б трохи холодніше, то дозрівання вина буде помітно затримуватися. З іншого боку, якщо температура, навпаки, збільшиться, то напій втратить своїм смакові характеристики, а також позбудеться властивих йому особливостей. Є ще багато різновидів спеціалізованих приміщень, таких як лабораторії, бібліотеки, або приміщення для вирощування сортів сиру з пліснявою, де вимоги до температурної стабільності та вологості ще жорсткіші, а відхилення хоча б на декілька відсотків призводить до втрат та великих збитків. Завдання високоточної підтримки температури вирішується застосуванням систем автоматичного управління опаленням та кондиціонуванням спеціалізованих приміщень. Таким чином, проблема проектування точних та економічних систем управління температурою є актуальною.

Аналіз стану питання

Серед основних методів підтримки необхідної температури усередині будівель та приміщень можна виділити теплоізоляцію, опалення будівлі за допомогою всіляких обігрівальних приладів та систем, найбільшого поширення серед яких отримали котли опалення, та охолодження внутрішнього повітря, що виконуються системами побутового або промислового кондиціонування.

Теплоізоляція забезпечується встановленням спеціальних огорож, виконуваних з теплоізоляційних матеріалів у вигляді оболонки, покриттів і т. п., які зменшують теплопередачу. При переважному конвективному теплообміні для теплоізоляції використовують огорожі, які містять шари матеріалу, непроникного для повітря; при променистому теплообміні – конструкції з матеріалів, що віддзеркалюють теплове випромінювання (наприклад, з фольги, металізованої лавсанової плівки); при теплопровідності (основний механізм переносу тепла) – матеріали з розвиненою пористою структурою. Завдання теплоізоляції будівель - знизити втрати тепла в холодний період року і забезпечити відносну сталість температури в приміщеннях протягом доби при коливаннях температури зовнішнього повітря.

Застосовуючи для теплової ізоляції ефективні теплоізоляційні матеріали, можна суттєво зменшити товщину і збільшити допустимі розміри збірних елементів та суттєво заощадити на опаленні та кондиціонуванні.

Найбільш сучасною технологією опалення і системою автоматизованого управління температурою в спеціалізованих приміщеннях є система променистого забезпечення технологічних умов АСПЗТУ. Вона складається з інфрачервоних електричних випромінювачів, блоків керування параметрами інфрачервоного випромінювання та мережі електропостачання. Основними перевагами АСЛОТУ є: висока енергоефективність, безінерційність, низька рухливість повітря, легкість монтажу і простота обслуговування, можливість забезпечення індивідуальних параметрів мікроклімату в кожному приміщенні або на окремих ділянках, відсутність продуктів згоряння, безшумність роботи, високі гігієнічні показники. Серед недоліків треба підкреслити високу вартість як самої системи, так і електроенергії, яку вона потребує для роботи.

Різноманітні за конструкцією системи кондиціонування повітря призначені підтримувати мікроклімат в приміщенні, забезпечуючи відповідні задані параметри - чистоту повітря, температуру, швидкість руху, відносну вологість.

Неавтоматизовані системи опалювання та кондиціонування не забезпечують стабільні параметри в спеціалізованих приміщеннях. В зв'язку з цим останнім часом широкого поширення набули погодо залежні системи автоматичного управління, які регулюють температуру повітря в приміщенні залежно від різних зовнішніх і внутрішніх факторів.

Мета та задачі

Метою роботи є підвищення енергоефективності системи автоматичного управління опаленням та кондиціонуванням приміщення за рахунок розробки системи погодозалежного управління. Для досягнення мети необхідно:

- розробити математичну модель об'єкта управління;
- синтезувати погодозалежний регулятор;
- розробити імітаційну модель системи автоматичного управління;
- дослідити параметри САУ за допомогою імітаційного моделювання та дати рекомендації з використання.

Математична модель приміщення

Використовуючи закони термодинаміки і теплового балансу приміщення складемо математичну модель, яка дозволяє обчислити середню температуру внутрішнього повітря залежно від температури зовнішнього повітря та інших факторів. В основі математичної моделі лежить рівняння теплового балансу приміщення:

$$Q_{\text{опал}} + Q_{\text{огражд}} + Q_{\text{інф}} + Q_{\text{люд}} = 0, \quad (1)$$

де:

$Q_{\text{опал}}$ — Теплова потужність системи опалення;

$Q_{\text{огражд}}$ — Тепловтрати через огорожувальні конструкції;

$Q_{\text{інф}}$ — Втрати теплоти на інфільтрацію повітря; $Q_{\text{люд}}$ — Складова, що характеризує теплостачання від людей, що знаходяться в будівлі[1].

Так як у нашому випадку величина тепловтрат не дорівнює величині теплонадходжень, запишемо рівняння теплового балансу (1) у вигляді:

$$\rho_{\text{возд}} V_{\text{кімн}} c_{\text{возд}} \frac{dT}{dt} = Q_{\text{опал}} + Q_{\text{огражд}} + Q_{\text{інф}} + Q_{\text{люд}}, \quad (2)$$

де:

$V_{\text{кімн}}$ — об'єм повітря в кімнаті, м³;

$c_{\text{возд}}$ — теплоємність повітря, прийнята рівною 1005 Дж/(кг·°C);

T — температура повітря в приміщенні, °C;

$\rho_{\text{возд}}$ — густина повітря, кг / м³.

Складемо рівняння, що відображає залежність температури теплоносія від витрати газу в котлі за законом охолодження Ньютона[2](3):

$$\rho_{\text{води}} V_{\text{води}} c_{\text{води}} \frac{dT_{\text{в}}}{dt} = k_{\text{р}} F_{\text{р}} (T - T_{\text{в}}) + Q_{\text{нр}} \eta G_{\text{газ}}, \quad (3)$$

де:

$G_{\text{газ}}$ — витрата газу, м³ / с;

$Q_{\text{нр}}$ — нижня теплоємність природного газу, Дж / м³;

η — ККД газового котла, %;

$V_{\text{води}}$ — об'єм води, що нагрівається, м³;

$c_{\text{води}}$ — теплоємність води, прийнята рівною 4187 Дж / (кг·°C);

$\rho_{\text{води}}$ — густина води, кг / м³;

$k_{\text{рад}}$ — коефіцієнт теплопередачі опалювальних приладів, Вт / (м²·°C);

$F_{\text{рад}}$ — площа поверхні опалювальних приладів, м²;

$T_{\text{в}}$ — температура теплоносія, °C.

Рівняння, за яким відбувається передача теплоти від повітря, що виходить з кондиціонера, до повітря в приміщенні, побудовано за законом Ньютона-Ріхмана[3](4):

$$Q_{\text{конд}} = k_{\text{пов}} F_{\text{конд}} (T - T_{\text{пов}}), \quad (4)$$

де:

$Q_{\text{конд}}$ — кількість теплоти від кондиціонування, Дж;

$k_{\text{пов}}$ — коефіцієнт теплообміну, Вт / (м²·°C);

$F_{\text{конд}}$ — площа поверхні взаємодії повітря, м²;

$T_{\text{пов}}$ — температура повітря, що виходить з кондиціонера, °C.

У якості регулятора для контуру опалення обрано МРС регулятор, тому що він розраховує керуючий вплив не лише на підставі зворотного зв'язку, який у нашому випадку виражає температуру в середині приміщення, а й враховуючи збурюючий вплив, яким є зовнішня температура повітря. Для більш детального розуміння розглянемо саму стратегію МРС регулювання, яка здійснюється у декілька кроків: спочатку вибирається модель об'єкту у простору станів (або еквівалентна), що враховує внутрішні взаємозв'язки

між змінними стану, на основі якої будується прогноз в межах горизонту передбачення. Далі йде оцінка стану (включаючи збурення) в реальному масштабі часу. Після цього відбувається передбачення майбутніх станів на основі моделі. Після цього виконується оптимізація в реальному масштабі часу майбутньої траєкторії руху системи з урахуванням діючих обмежень методом квадратичного програмування. Останню дією є виконання першого кроку керуючої послідовності, після чого алгоритм повторюється.

Грунтуючись на рівняннях (2), (3) та (4), побудовано схему імітаційної моделі САУ з MPC регуляторами у програмному пакеті Matlab Simulink — рис 1. Модель складається з трьох основних частин — моделі ОУ, яким є спеціалізоване приміщення і моделей виконавчих пристроїв, в якості яких виступають котел опалення та кондиціонер. Збурюючими впливами є температура зовнішнього повітря, яка в побудованій моделі задається блоком Наружная температура, та кількість теплоти, яка передається приміщенню від людей, що знаходяться в приміщенні, та задається блоком Тепло от людей. Керуючим впливом буде витрата газу, що подається в котел опалення, яку у моделі розраховує MPC регулятор. За допомогою витрати газу регулюється температура теплоносія на виході з котла. Іншим керуючим впливом є температура повітря на виході з кондиціонера, за яку відповідає другий MPC регулятор. Далі нагрітий теплоносієм подається в систему опалення, що знаходиться в приміщенні, а повітря з кондиціонера – безпосередньо в приміщенні, для підтримки в ньому температури повітря в 22°C. Після того, як теплоносієм віддав частину тепла в приміщенні, він знову подається в котел, нагрівається, і продовжує циркулювати в системі. Для відповідності законам термодинаміки, а саме термодинамічній рівновазі та другому початку термодинаміки, які встановлюють, що теплота може переходити тільки від більш нагрітого тіла до менш нагрітого, у моделі використовуються блоки логіки If – else.

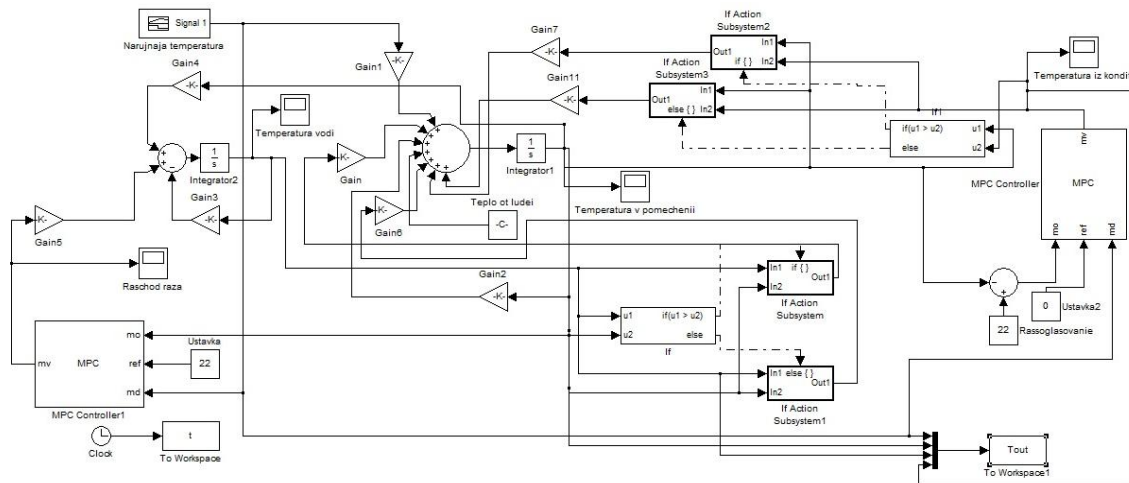


Рисунок 1 – Імітаційна модель САУ опаленням спеціалізованого приміщення

На рис. 2 представлено графіки залежності температури навколишнього середовища, температури теплоносія, температури повітря на виході з кондиціонера та температури всередині приміщення від часу. Як видно з цих графіків, система якісно відпрацьовує збурення, температура повітря в приміщенні виходить на сталий рівень встановленої уставкою температури 22°C та майже не відхиляється від нього незалежно від коливань зовнішньої температури повітря.

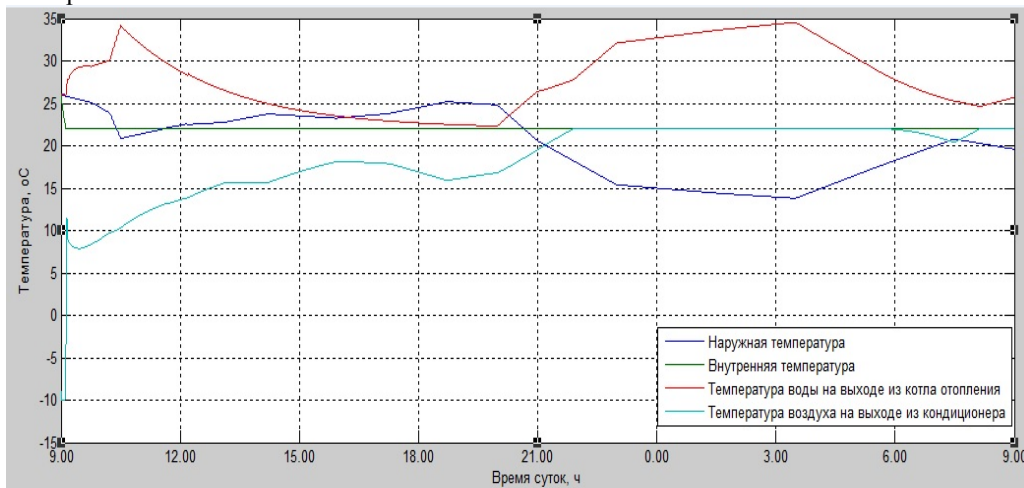


Рисунок 2 – Графіки залежності температури навколишнього середовища, температури теплоносія, температури повітря на виході з кондиціонера та температури всередині приміщення від часу

Висновки

Розроблено математичну модель системи опалення та кондеціонування спеціалізованого приміщення. Синтезовано систему автоматичного управління опалення та кондеціонування спеціалізованого приміщення на основі MPC регуляторів. Показано ефективність застосування MPC регуляторів для високоточних систем автоматичного управління температурою в спеціалізованих приміщеннях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ртіщева А. С. Моделирование тепловых режимов и системы оптимизации тепловтрат будівлі технічного університету, автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук — Ульяновськ — 2006.
2. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим / Г.М. Кондратьев // Государственное издательство технико-теоретической литературы. — Москва — 1954. — 378с.
3. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химической промышленности / И.И. Чернобыльский, А.Г. Бондарь, Б.А. Гаевский, // Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы.— Москва —1962. — 125с.

REFERENCES

1. Rtischeva, A.S. (2006), “Modeling of thermal conditions and system optimization heat buildings Technical University”, Abstract of Cand. Sci. (Tech) dissertation, Ulyanovsk state technical university, Ulyanovsk, Russia.
2. Kondratyev, G.M. (1954), Regularniy teplovoi rezhym [regular thermal mode], Hosudarstvennoe yzdatel'stvo tekhniko-teoretycheskoy lyteratury, Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo mashinostroitel'noy literatury, Moscow, Russia.
3. Chernobil'skiy, I.I. (1962), Maschini i apparati khimicheskoy promishlennosti [Machines and devices of chemical industry] Moscow, Russia.

Надійшла до редколегії 01.12.2015

Рецензент: Толочко О.І.

A.MELNYK

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Research and development of weather-dependent control of heating and air-conditioning specialist areas. The system of automatic control of heating and air conditioning of certain types of specialized facilities is examined. To study the processes of control we suggest a simplified mathematical model of specialized premises on which simulation model is built in program Matlab Simulink. Synthesized automatic control system consists of two circuits: heating circuit and circuit conditioning, governed via MPC regulators. The results of the simulation show the quality and accuracy of transient process of temperature stabilization in the proposed control system. These results demonstrate the effectiveness of MPC controllers to build high-precision temperature stabilization systems in specialized areas.

Key words: *Automation, specialized areas, MPC regulator, circuit, heating, air conditioning system, graphic, transition process, coolant, air temperature control.*