

Література

1. Кузьмук В.В., Супруненко О.О. Модифицированные сети Петри и устройства моделирования параллельных процессов: Монография. – К.: Маклаут, 2010. – 260 с.
2. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределённых программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.
3. Petri C.A. Kommunikatoin mit Automaten. – Bonn: Institut fr Instrumentelle Mathematik, 1962. – 89 S.
4. W. Reisig. Petrinetze. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden GmBH, 2010, - 247S.
5. Бройнль Томас. Паралельне програмування: Початковий курс: / Пер. з нім. В.А. Святного. – К.: Вища школа, 1997. – 358 с.
6. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация, применение. – СПб: БВХ - Петербург, 2003. – 1104 с.
7. Супруненко О.О., Онищенко Б.О. Стандартизація проектів впровадження інформаційних комп'ютерних систем та технологій в медицину. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 5/2 (47). – С. 42-45.

*Запропоновано математичний опис системи штучного мікроклімату. Враховано нелінійність масообмінних процесів підготовки повітря. Може використовуватися спеціалістами із автоматизації для аналізу та настройки параметрів системи керування промислових кондиціонерів*

*Ключові слова: модель, динамічна система, штучний мікроклімат*

*Предложено математическое описание системы искусственного микроклимата. Учтена нелинейность массообменных процессов подготовки воздуха. Может использоваться специалистами по автоматизации для анализа и настройки систем управления промышленных кондиционеров*

*Ключевые слова: модель, динамическая система, искусственный микроклимат*

*The mathematical description of system of an artificial microclimate is offered. A nonlinearity mass-transfer process of preparation of air is considered. It can be used by experts from automation for the analysis and tuning of control systems of industrial conditioners*

*Key words: model, dynamic system, artificial microclimate*

УДК 681.5.015.8:519

# СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЛЯ ШТУЧНОГО МІКРОКЛІМАТУ

**І. М. Голінко**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів  
Національний технічний університет України "Київський  
політехнічний інститут"  
пр. Перемоги 38, м. Київ, Україна, 03056  
Контактний тел.: (044) 332-21-89  
E-mail: igor.golinko@conislab.net

**А. П. Ладанюк**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих  
технологій  
Національний університет харчових технологій  
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033  
Контактний тел.: (044) 289-52-83  
E-mail: Ladanyuk@nuft.kiev.ua

## Вступ

Сьогодні практично неможливо уявити сучасні технології без систем штучного мікроклімату (СШМ). Спектр СШМ дуже різноманітний - від побутових кондиціонерів до систем мікроклімату (МК) промислових приміщень харчової, фармацевтичної, радіоелектрон-

ної промисловостей із високими вимогами не тільки до стабільності температури та вологості, а низки інших параметрів повітря. Однією із важливих характеристик СШМ є питоме енергоспоживання. З цих причин розробники інтенсифікують процеси тепло- та масопередачі обладнання та вдосконалюють методи керування кондиціонерами.

**Постановка завдання**

Досягнення необхідних параметрів МК у приміщенні, а також забезпечення певних показників ефективності обладнання можливо тільки за допомогою коректного керування процесом. Проведений літературний огляд [1 - 6] стосовно керування МК виділяє три основних методи: керування за температурою “точки роси”; кількісне регулювання у СШМ; керування за оптимальним режимом СШМ. Реалізація останнього методу є найбільш перспективним направленням, так як дозволяє: уникнути повторного нагрівання повітря; раціонально використовувати тепло рециркуляційного повітря (порівняно із першими двома методами). Аналіз показав, що в межах автоматичної системи керування (АСК) відомі різноманітні схемні рішення контурів керування процесом МК в залежності від типу та кількісного складу технологічного обладнання кондиціонера. Проте питання синтезу взаємопов'язаних контурів керування для СШМ розглянуто недостатньо і потребує подальших досліджень, що передбачає математичне моделювання процесу.

**Математична модель СШМ**

Обладнання СШМ для реалізації енергозберігаючих алгоритмів керування складається із чотирьох апаратів [5-7]: калорифери 1-го та 2-го підігріву, охолоджувач та парозволожувач. Для стабілізації температури та вологості (два параметри) у приміщенні необхідно керувати чотирма апаратами (два калорифери, охолоджувач, парозволожувач) та регулювати співвідношення повітря рециркуляції (всього п'ять керуючих впливів). Тобто, для стабілізації двох параметрів необхідно синтезувати алгоритмічні зв'язки між п'ятьма керуючими впливами, які однозначно (і бажано оптимально в енергозберігаючому сенсі) повинні впливати на процес МК за наявності збурюючих факторів.

Для синтезу алгоритмічних зв'язків системи керування проведено аналіз процесу штучного мікроклімату як об'єкта керування із використанням і-д діаграми Рамзіна [4-7] рис. 1.

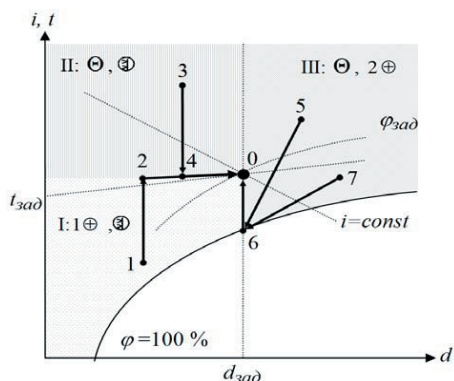


Рис. 1. Робочі зони технологічного обладнання кондиціонера за різних значень температури  $t$  та відносної вологості  $\phi$  навколишнього середовища

Розглянемо можливі варіанти параметрів зовнішнього повітря:

- зимовий період – низька температура та абсолютна вологість (точка 1);
- перехідний період – середня температура ( $12^\circ\text{C} < t < 20^\circ\text{C}$ ), висока абсолютна вологість;
- літній період – висока температура, низька абсолютна вологість (точка 3) або висока відносна вологість (точка 5).

Аналіз тепло- та масообмінних процесів у СШМ [1-7] дозволяє виділити три робочі зони – I, II, III (рис. 1). Підготовка повітря навколишнього середовища до заданих параметрів приміщення  $t_{зад}$ ,  $\phi_{зад}$  (точка 0) проводиться за відповідними прямими і- $d$  діаграми.

В зимовий період (робоча зона – I) перехід у точку 0 проходить у два етапи: 1) повітряна суміш нагрівається за допомогою калорифера  $1\oplus$  до температури, що характеризується точкою 2 (пряма 1-2); 2) збільшується вологість повітря за допомогою парозволожувача  $\oplus$  (пряма 2-0).

У літній період (робоча зона – II) необхідно: 1) охолодити повітря охолоджувачем  $\Theta$  (пряма 3-4); 2) зволожити на парозволожувачі  $\oplus$  повітряну суміш до заданого значення  $d_{зад}$  (пряма 4-0).

У перехідний період (робоча зона – III) необхідно: 1) сконденсувати надмірну вологість повітря за допомогою охолоджувача  $\Theta$  до “точки роси” (пряма 5-6) або (пряма 7-6); 2) далі, повітря нагрівається до заданої температури  $t_{зад}$  калорифером  $2\oplus$  (пряма 6-0).

Описаний процес обробки повітря у кондиціонері можна забезпечити за допомогою АСК, що представлена на спрощеній функціональній схемі автоматизації рис. 2. Для стабілізації вологості (рис. 2) використовується парозволожувач  $\oplus$  (збільшення вологості) або охолоджувач  $\Theta$  (зменшення вологості). Для стабілізації температури використовуються калорифери  $1\oplus$  або  $2\oplus$  (збільшення температури в залежності від робочої зони) або охолоджувач  $\Theta$  (зменшення температури). Охолоджувач  $\Theta$  використовується для керування температурою та вологістю. Вибір обладнання відбувається за допомогою комутаторів, ступінь рециркуляції визначається обслуговуючим персоналом.

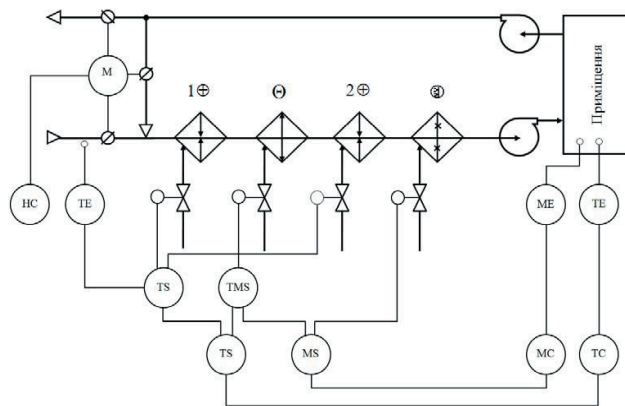


Рис. 2. Функціональна схема автоматизації обладнання кондиціонера

Працездатність запропонованої ФСА перевірялася за допомогою аналітичних методів моделювання [9]. Враховуючи структурну і функціональну складність СШМ, математичне моделювання тепло- та масообмінних процесів здійснювалося у вигляді функціональних блоків, де виходи одного блоку є входами

іншого. Динамічну модель СШМ декомпановано на блоки калориферів 1-го та 2-го підігріву, охолоджувача, парозволожувача, приміщення, блоку змішування навколишнього та рециркуляційного повітря, ПІД-регуляторів температури та зволоження.

Розглянемо функціональні зв'язки для кожного із блоків. Динамічні моделі тепло- та масообмінних процесів технологічного обладнання та приміщення ідентичні рис. 3, відрізняються лише коефіцієнтами передаточних функцій  $W_1(p) \dots W_5(p)$ . Як видно із схеми (рис. 3), динаміку температурного режиму апаратів та приміщення моделювали із використанням передаточних функцій (класичний підхід теорії автоматичного керування). Масообмінні процеси моделювалися із застосуванням  $i-d$  діаграми, що дозволило враховувати нелінійність масообміну за незначних похибок динамічного моделювання (2 – 5%) [1, 2].

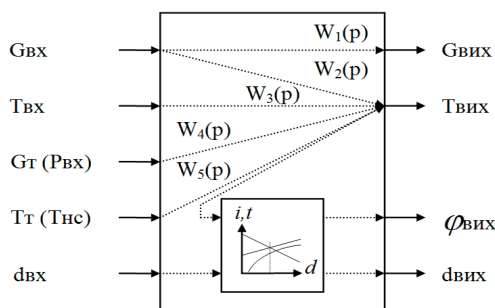


Рис. 3. Структурна схема функціональних блоків для обладнання та приміщення.  $W_1(p) = 1$  – передаточна функція зв'язку для витрати повітря;  $W_2(p)$  – передаточна функція впливу витрати на температуру повітря;  $W_3(p)$  – передаточна функція впливу температури повітря входу на вихід;  $W_4(p)$  – передаточна функція впливу витрати теплоносія на температуру повітря (для приміщення – вплив потужності технологічного обладнання на температуру приміщення);  $W_5(p)$  – передаточна функція впливу температури теплоносія на температуру повітря (для приміщення – вплив температури навколишнього середовища на температуру в приміщенні)

Для спрощення моделі відсутня динамічна складова блоку змішування навколишнього повітря та повітря рециркуляції, враховуючи малу інерційність даного елемента. Фактично, представлений блок розраховує температуру і вологість пропорційно ступеню рециркуляції (0...100%) [4].

Функціональні блоки ПІД-регуляторів температури та зволоження реалізують рекурентний алгоритм цифрового ПІД-регулювання [8].

Моделювання СШМ із використанням розглянутих функціональних блоків проводилося за допомогою пакету моделювання [9]. Структурна схема СШМ, що моделювалася представлена на рис. 4.

Дослідження розробленої АСК показали, що система керування кондиціонером добре відпрацьовує температурні збурення та збурення вологості повітря навколишнього середовища у різні пори року. Для моделювання взято числові значення параметрів моделі СШМ із технічних каталогів обладнання кондиціонерів фірми VTS CLIMA та довідкових даних [1–6]. Синтез параметрів ПІД-регуляторів проводили згідно

методик налагодження багатомірних систем із перехресними зв'язками [8]. Спрощену схему такої АСК представлено на рис. 5.

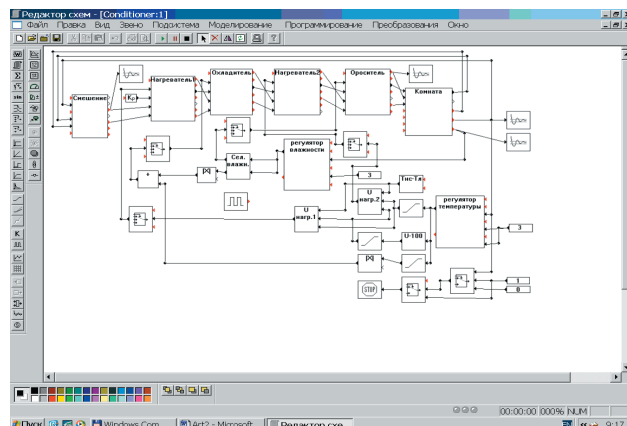


Рис. 4. Структурна схема СШМ, що моделювалася

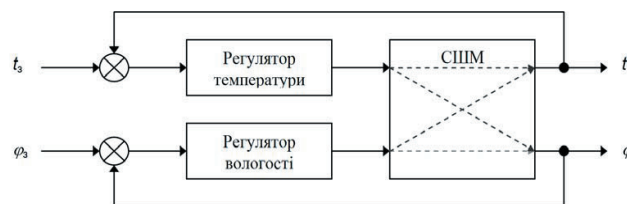


Рис. 5. Спрощена структурна схема системи керування мікрокліматом у приміщенні

### Висновки

Таким чином, отримана математична модель СШМ, за допомогою якої перевірено адекватність функціонування системи керування кондиціонером. Звичайно, весь комплекс взаємозв'язків реальної системи не моделювалася (мається на увазі підсистеми: сигналізації, блокування і т.і.). Проте проведений аналіз дав змогу виявити та усунути певні неточності та помилки на стадії проектування АСК. Також розглянута модель СШМ дозволила “оцінити” субоптимальні параметри ПІД-регуляторів із врахуванням суттєвої нелінійності масообміну для двоконтурної АСК. Як перспективний напрямок вдосконалення СШМ слід відмітити АСК із програмно-параметричною настройкою регуляторів температури та вологості, що дозволить оптимізувати якість перехідних процесів у різні пори року.

### Література

1. Бондарь Е.С., Гордиенко А.С., Михайлов В.А., Нимич Г.В. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / -К.: Видавничий будинок “Аванпост-Прим”, 2005, -560с.: ил.
2. Roger W. Haines, Douglas C. Little Control Systems for Heating, Ventilating, and Air Conditioning. / - New York: Springer Science+Business Media Inc., 2006, - 366р.
3. Голинко И.М. Методы управления системами искусственного микроклимата / -К.: ЭСТА, 2003, -39с.: ил.

4. Нефелов С.В., Давыдов Ю.С. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. –М.: Стройиздат, 1984. –328 с.: ил.
5. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. / –М.: Стройиздат, 1990 –300 с., ил.
6. Корбут В. Зональні системи кондиціонування повітря. / –К.: М+Т № 3–4, 1999. с.38–41.
7. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. / –М.: АВОК–ПРЕСС, 2002. –194 с.: ил.
8. Р. Дорф, Р. Бишоп Современные системы управления. / Пер. с англ. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. –832с.: ил.
9. Айзенберг Д.Е., Гемба В. Н., Голинко И. М. Разработка компьютерных моделей технологических систем. / –К.: Энергозберігачі технології та автоматизація №1, 2003. с.42–44.

*Отримана удосконалена залежність питомих сумарних витрат на розробку 1 т залізної руди від показника її міцності. Запропоновано структуру системи підтримки прийняття рішень для оптимізації параметрів буро-вибухових робіт в кар'єрі гірничо-видобувного підприємства*

*Ключові слова: буро-вибухові роботи, система підтримки прийняття рішень*

*Получена усовершенствованная зависимость удельных суммарных затрат на разработку 1 т железной руды от показателя ее прочности. Предложена структура системы поддержки принятия решений для оптимизации параметров буровзрывных работ в карьере горнодобывающего предприятия*

*Ключевые слова: буровзрывные работы, система поддержки принятия решений*

*Advanced dependence of total cost per unit of development 1 ton iron ore from an index of its hardness is received. Pattern of decision support system for optimization of drilling-and-blasting parameters in mine career is proposed*

*Keywords: drilling-and-blasting operations, decision support system*

УДК 004.896:622

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БУРО- ВИБУХОВИХ РОБІТ В ОПТИМІЗАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

**А.І. Купін**

Доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри\*

Контактний тел.: (056) 409-17-20

E-mail: kupin@mail.ru

**І.О. Музика**

Аспірант\*

Контактний тел.: (056) 409-17-20, 096-406-66-12

E-mail: MusicVano@mail.ru

\*Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Криворізький технічний університет

вул. XXII партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

## 1. Вступ

На сьогоднішній день в арсеналі гірничо-видобувних підприємств є досить багато продуктів інформаційних технологій (ІТ), які використовуються для оптимальної організації гірничих робіт: від планування і моделювання кар'єру до безпосередньо процесу видобування та переробки породи. Слід зазначити, що рівень програмного забезпечення у галузі гірничої справи за останні 20 років суттєво підвищився. Проте зараз ріст продуктивності в гірничій промисловості істотно уповільнився, оскільки гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК) застосовують ІТ

для покращення окремих процесів, а не виробництва в цілому [1].

За даними Геологічної служби США [2] світові запаси залізної руди складають майже 160 млрд. т та містять більше 80 млрд. т чистого заліза. Світовий видобуток залізняку за 2007 р. склав близько 2 млрд. т. В Україні зосереджені достатньо великі запаси заліза. У перерахунку на вміст заліза наша країна поступається лише Росії, Бразилії та Австралії. Проте в умовах ринкової економіки для збереження конкурентоздатності до продукції вітчизняних ГЗК висуваються особливо високі вимоги. Так, наприклад, вміст заліза у вихідному концентраті повинен сягати 68-70%. Зважаючи на