

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Білоконь Сергій Анатолійович

УДК 681.51

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОВОЇ
ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця - 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Москвіна Світлана Михайлівна,
Вінницький національний технічний університет,
доцент кафедри комп'ютерних систем управління

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Усов Анатолій Васильович,
Одеський національний політехнічний університет,
завідувач кафедри вищої математики і моделювання систем;

доктор технічних наук, професор
Лисогор Василь Микитович,
Вінницький національний аграрний університет,
професор кафедри тракторів, автомобілів і електротехнічних систем.

Захист відбудеться “ 20 ” _____ 04 _____ 2013 р. о 9.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий “ 19 ” _____ 03 _____ 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Теплова обробка матеріалів сьогодні широко використовується в хімічній, металургійній, будівельній промисловості та, як правило, протікає в системах теплової обробки матеріалів (СТОМ), до яких в сучасних умовах розвитку промисловості в Україні висуваються вимоги високотехнологічності, надійності, енергоефективності. Процеси, що протікають у СТОМ, характеризуються рядом таких особливостей, як періодичність; нелінійність та нестационарність, розподіленість в просторі та зосередженість управляючих впливів; регламентовані вимоги та обмеження; неможливість моніторингу фізико-хімічних процесів, які протікають при нагріванні в матеріалах. Розробка математичних моделей, які адекватно описують такі процеси, є актуальною задачею.

Математично процеси в СТОМ описуються звичайними диференціальними рівняннями та рівняннями в частинних похідних високих порядків, для отримання яких використовують, в основному, три підходи: аналітичний – пов'язаний з результатами аналітичного аналізу процесів теплопередачі та теплопровідності; експериментальний – передбачає формування моделі на результатах моніторингу технологічного процесу та даних, отриманих в результаті лабораторних досліджень сировини та зразків вихідної продукції; імітаційний – базується на результатах імітаційного моделювання технологічних процесів. Однак до очевидних недоліків цих підходів відносять, по-перше, вузький характер отриманих моделей (лише для певних режимів роботи системи з певними значеннями відповідних параметрів процесів) та неврахування всіх особливостей процесу теплової обробки, наприклад, фізико-хімічних перетворень матеріалів при нагріванні, що суттєво впливають на якість вихідної продукції; по-друге, складність самих моделей та методів їх моделювання. Вирішенням цих проблем займалися Е. Я. Рапопорт, А. Г. Бутков-ський, Н. Д. Демиденко, А. В. Лагутін, І. В. Коц, К. Джуусо, Ю. Мун.

Для моделювання процесів, що відбуваються при тепловій обробці матеріалів, найбільшого поширення набули обчислювальні методи розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь та диференціальних рівнянь в частинних похідних, основані на роботах А. А. Самарського, В. В. Скопєцького, Є. П. Маркова, Однак і для обчислювальних методів характерні недоліки, пов'язані, перш за все, з великою трудомісткістю знаходження параметрів моделей, що зростає при підвищенні точності апроксимації, з обґрунтуванням збіжності та стійкості чисельних методів, з оцінкою похибки.

В останнє десятиріччя швидко розвиваються методи нечіткого аналізу та нейродинамічного моделювання, які працюють при неповній інформації про об'єкт дослідження, стійкі до завад, мають високу швидкодію. Так, в роботах О. П. Рот-штейна, С. Д. Штовби, С. А. Суботіна, О. Є. Біласа, В. І. Гостєва, Д. Ванхеммена запропоновані методи та шляхи використання інтелектуальних технологій, які дозволяють суттєво знизити складність моделей нелінійних нестационарних процесів та спростити процедуру їх моделювання. Також в Україні, відповідно до Концепції Загальнодержавної Цільової Програми розвитку промисловості до 2017 року, схваленої постановою Кабінету Міністрів України № 1174 від 28 липня 2003 року, передбачається впровадження новітніх комп'ютерних технологій в управлінні промисловими об'єктами.

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що основною проблемою при моделюванні процесів в СТОМ є складність і неточність існуючих математичних моделей й методів моделювання та, як наслідок, великі витрати машинних ресурсів при реалізації та розв'язанні на ЕОМ, що ускладнює їхнє використання в існуючих СТОМ, які працюють в реальному масштабі часу. З іншого боку, очевидно, що моделі технологічних процесів в СТОМ повинні відображати інформаційні та функціональні залежності між технологією виробництва та показниками якості кінцевої продукції, оскільки ефективність управління технологією виробництва та якістю визначається точністю та адекватністю синтезованих моделей технологічного процесу.

Таким чином, трудомісткість та складність задач моделювання процесів в СТОМ обумовлюють актуальність підвищення ефективності їх розв'язання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідних робіт і дослідно-конструкторських робіт Вінницького національного технічного університету в рамках госпдоговірної теми № 4604 «Розробка комплексу рекомендацій щодо вдосконалення системи управління технологічним процесом сушки будівельних виробів» (№ держреєстрації ДР 0110U000457, звіт 0210U006070), у якій автор брав участь як відповідальний виконавець у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки в Україні. Результати роботи також увійшли у звіт договору про співдружність № 93/06 «Розробка та впровадження технологічного процесу тепловологісної обробки бетонних виробів».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесів теплової обробки матеріалів та якості кінцевої продукції на основі нових та вдосконалених методів моделювання.

Для досягнення вказаної мети в роботі розв'язуються такі основні задачі:

- провести аналіз процесів в СТОН, моделей процесів в СТОН та сучасних методів моделювання процесів в СТОН;
- провести аналіз параметрів процесів у СТОН;
- розробити метод моделювання процесів в СТОН, який дає можливість отримувати більш точні та адекватні математичні моделі процесів меншої складності, придатні для застосування в АСУ ТП;
- розробити моделі процесів в системах теплової обробки матеріалів меншої складності з використанням лінгвістичних параметрів;
- вдосконалити метод прогнозування процесів теплової обробки матеріалів з урахуванням прогнозованих значень параметрів якості;
- алгоритм прогнозування параметрів процесів систем теплової обробки матеріалів;
- розробити методику моделювання і прогнозування процесів в СТОН на прикладі процесів, що відбуваються в сушильних агрегатах з рециркуляційним аеродинамічним нагрівальним пристроєм та в тунельних сушильних агрегатах будівельних матеріалів;
- розробити СППР для підвищення ефективності управління технологічним процесом теплової обробки матеріалів на прикладі технологічного процесу сушіння будівельних виробів;
- розробити комп'ютерну програму для моделювання і прогнозування процесів теплової обробки матеріалів.

Об'єкт дослідження – процеси теплової обробки будівельних матеріалів у сушарках.

Предметом дослідження є математичні моделі та методи моделювання і прогнозування процесів теплової обробки будівельних матеріалів у сушарках.

В дисертаційній роботі використані такі **методи дослідження**: положення та методи теорії диференціальних рівнянь для розробки та дослідження моделей теплових процесів, основи нечіткої логіки для розробки математичної моделі процесів, основи теорії нейронних мереж і нейронечіткої логіки для розробки методу моделювання та прогнозування теплових процесів, обчислювальні методи та методи математичного програмування для розробки методу визначення оптимальних параметрів моделі процесів, теорія оцінювання для дослідження адекватності розроблених математичних моделей та обчислювальної ефективності запропонованих алгоритмів.

Наукова новизна одержаних результатів. В ході розв'язання поставлених задач були отримані нові наукові результати.

1. Вперше розроблено метод моделювання процесів в системах теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, поєднує як чисельну, так і нечітку складову моделі процесів, що дозволяє отримувати адекватні моделі меншої складності, придатні для застосування в існуючих АСУ ТП.

2. Вперше розроблена модель процесів теплової обробки матеріалів, яка, на відміну від існуючих, враховує як вимірювальні, так і вербальні параметри процесів, що дозволяє знизити розмірність моделі та зменшити складність алгоритмів моделювання.

3. Вдосконалено метод прогнозування процесів в системах теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, враховує функціональну ефективність процесів у вигляді

прогнозованих значень параметрів якості, що дозволяє підвищити показники якості продукції при мінімальних питомих витратах ресурсів.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в нижчевикладеному: проведені дослідження та отримані наукові результати є основою для розробки простих і адекватних моделей процесів в системах теплової обробки матеріалів, які можуть бути використані у складі АСУ ТП реального часу. На базі цих методів і моделей розроблено:

- алгоритм прогнозування параметрів процесів систем теплової обробки матеріалів;
- методику моделювання і прогнозування процесів в системах теплової обробки матеріалів;
- інтелектуальну СППР для підвищення ефективності управління технологічним процесом теплової обробки матеріалів;
- комп'ютерну програму для моделювання і прогнозування процесів теплової обробки матеріалів.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено на ВЦЗ “Керамік” (впроваджений метод моделювання процесів у СТOM, модель тунельної сушарки та програмне забезпечення для моделювання процесів сушіння), ТОВ “Грань” (впроваджено моделі процесів та програмне забезпечення для моделювання процесів у СТOM), ПрАТ “Обласний завод ЗБВК” (впроваджено методику моделювання процесів в СТOM та програмне забезпечення для моделювання процесів теплової обробки) та у навчальний процес кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету (впроваджена лабораторна робота з дисципліни «Проектування комп'ютеризованих систем управління»). Впровадження результатів дисертаційних досліджень підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, які складають основний зміст дисертації, отримано здобувачем самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: розробка нейронечіткої моделі динамічного стану [1], розробка нейронечітких моделей та алгоритмів прогнозування [2], розробка підходу до моделювання стану ВТО [3], розробка моделі процесу випалювання [4]; розробка методу оптимізації процесу тепловологісної обробки будівельних виробів [5], розробка системи підтримки прийняття рішень для управління об'єктом [6], розробка алгоритму прогнозування параметрів теплотехнологічної системи [7], розробка моделі моделі температурних режимів та прогнозування якості [8], розробка моделі теплового об'єкта [9], розробка нейронечітких моделей та алгоритмів прогнозування [10], написання програм [11, 12].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на восьми науково-технічних конференціях: V, VI Міжнародних конференціях «Інтернет-Освіта-Наука» (ІОН) (м. Вінниця, 2006, 2008); Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (м. Євпаторія, 2010); Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» (м. Вінниця, 2010); Науково-технічній конференції «Енергозбереження в галузях національного господарства» (м. Вінниця, 2009); IX Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС) (м. Вінниця, 2008); конференції «Комп'ютерні системи в автоматизації виробничих процесів» (МНПК КСАВІ) (м. Хмельницький, 2007); XIII Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика» (м. Вінниця, 2006); шести науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу співробітників і студентів ВНТУ (м. Вінниця, 2005-2010).

Публікації

Результати теоретичних і експериментальних досліджень викладені в 12 наукових працях, серед яких 5 статей, що входять до переліку фахових видань, 2 статті у збірниках матеріалів конференції та 3 тези. Також було отримано 2 позитивних рішення Державного департаменту інтелектуальної власності України про авторські свідоцтва на комп'ютерні програми.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 167 сторінок,

з яких основна частина складає 147 сторінок. Дисертація містить 39 рисунків, 11 таблиць, 5 додатків, список джерел зі 159 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та задачі досліджень. Також наведено характеристики об'єкта і предмета досліджень, викладено основні наукові та практичні результати, наведено відомості про впровадження результатів роботи, їх апробацію та публікацію.

У **розділі 1** проведений аналіз сучасного стану методів моделювання процесів в системах теплової обробки матеріалів, складовими якого були: аналіз процесів в системах теплової обробки матеріалів, аналіз відомих моделей процесів в системах теплової обробки матеріалів, аналіз методів моделювання процесів у таких системах.

У даній роботі з множини СТОН, що використовуються у сучасній промисловості, було виділено клас сушарок, які використовуються у галузі будівництва.

Проведено аналіз сучасних систем теплової обробки будівельних матеріалів та аналіз процесів, що відбуваються в таких системах, надано їх класифікацію. Також було наведено класифікацію сучасних методів моделювання процесів в системах теплової обробки матеріалів. Були визначені наступні задачі, що виникають при моделюванні процесів в системах теплової обробки матеріалів класичними обчислювальними методами:

1) вибір або побудова моделі процесів у СТОН, у якій необхідно враховувати тепловий баланс, фазові перетворення, швидкості фізико-хімічних перетворень, гідродинамічні режими переміщення речовин, при цьому знадобиться знаходження компромісу між точним описом властивостей об'єкта та простотою моделі, що описує його;

2) уточнення моделі процесів у СТОН, при якому необхідно обрати сукупність параметрів технологічного процесу, більшість з яких розподілено у просторі й часі, що приводить до системи диференціальних рівнянь у частинних похідних великого степеня. Розв'язання такої системи є також складною задачею, оскільки потребує використання чисельних методів, проблемою яких є стійкість, що залежить від відношення кроку інтегрування за координатою простору до кроку інтегрування за координатою часу;

3) враховування стохастичності поведінки об'єкта управління, яка обумовлена наявністю ряду випадкових факторів (наявність джерела завод, непередбачуваність поведінки об'єкта на окремих етапах технологічного процесу тощо) – при цьому в модель необхідно додати випадкову складову. При експлуатації об'єкта параметри управління та середовища функціонування можуть змінюватись, тобто, необхідно також враховувати нестационарність динаміки технологічного процесу. Якщо враховувати нелінійність об'єкта управління, то складність моделі суттєво збільшується.

Звичайно одночасне врахування усіх вищезгаданих задач при побудові моделі процесів у СТОН значно її ускладнює.

Викладене вище і визначило зміст наукових досліджень, вказаний в задачах досліджень.

У **розділі 2** запропоновано метод моделювання процесів в системах теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, використовує як чисельну, так і нечітку складову моделі процесів, що дозволяє знизити розмірність моделі та зменшити складність алгоритмів моделювання. Процеси у системах теплової обробки матеріалів жорстко прив'язані до зміни рівнів температури, вологості, розрідження теплоносія чи тиску, ступеня гідратації матеріалів, матеріального, енергетичного балансів та енергоємності виробництва у часі.

В роботі запропонована узагальнена модель процесів, що виникають в системах теплової обробки матеріалів, яка в загальному вигляді в роботі подана так:

$$P = f(\tau, T, v, p, E, Gidr, Mbal, Enbal), \quad (1)$$

де P – модель процесів в системах теплової обробки матеріалів, τ – час, T – температура, v – вологість, p – тиск, E – енергоємність, $Gidr$ – ступінь гідратації матеріалу, $Mbal$ – матеріальний баланс, $Enbal$ – енергетичний баланс.

Математична модель процесу гідратації $Gidr$ має такий вигляд:

$$\frac{dm_y^x}{d\tau} = f(k_1^0, k_1, k_2, k_3, k_4, \alpha, \beta, n, m_y^0, m_y^x, m_y^e, m_e^0, m_e^x, m_e^n, m_e^a), \quad (2)$$

де $k_1^0, k_1, k_2, k_3, k_4$ – відповідно константи швидкості реакції в межах першої, другої, третьої стадій тверднення; α, β – відповідно константи порядку; n – порядок реакції; m_y^0 – початковий вміст цементу у бетонному виробі, кг; m_y^x – маса цементу, що вступив в реакцію гідратації з водою, кг; m_y^e – маса цементу, що не прореагував з водою, кг; m_e^0 – початковий масовий вміст води у бетонному виробі, кг; m_e^x – маса хімічно зв'язаної води, кг; m_e^n – маса води в пасивному стані, кг; m_e^a – маса води в активному стані, кг.

Математичну модель матеріального балансу $Mbal$ запропоновано у такому вигляді.

$$\frac{dM_{II}^K}{d\tau} = f(G_{II.vun}^{Be}, G_{II.kond}^{Be}, G_{II}^{\Phi}, G_{II}^{Bn}), \quad (3)$$

де M_{II}^K – маса пари у робочому просторі пропарювальної камери, кг; $G_{II.vun}^{Be}$ – кількість пари, утвореної за одиницю часу в результаті випаровування вологи з відкритої поверхні бетонних виробів; $G_{II.kond}^{Be}$ – відповідно маса пари, сконденсованої на верхній поверхні виробів за одиницю часу; $G_{II}^{\Phi}, G_{II}^{Bn}$ – маси пари відповідно, що утворюється в результаті нагрівання форми і передачі через неї теплоти нижній поверхні виробів за одиницю часу.

Математична модель енергетичного балансу $Enbal$ має такий вигляд:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = f(Q^{III}, Q^{PK}, Q^{OT}, Q_{ob}^{\Phi}, Q_{ob}^{IB}, Q_{ob}^{IH}, Q_{ob}^K, Q_{ob}^{KD}), \quad (4)$$

де h^y, M^y – значення, відповідно, ентальпії та маси пароповітряної суміші у вільному об'ємі установки; Q^{III} – тепловиділення потоку повітря, який надходить від аеродинамічного нагрівача, Дж/с; Q^{PK}, Q^{OT} – кількість теплоти, що вноситься в систему разом із розпиленою водою; Дж/с; Q_{ob}^{Φ} – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу формам виробів, Дж/кг; $Q_{ob}^{IB}, Q_{ob}^{IH}, Q_{ob}^K$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу верхній і нижній поверхні виробів, корпусу камери, Дж/кг; Q_{ob}^{KD} – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу конденсату, Дж/кг.

В результаті аналізу запропонованих вище моделей процесів, що виникають у будівельних матеріалах та у камері під час теплової обробки, було виявлено, що спільними параметрами для всіх розглянутих вище моделей, які можна отримати в процесі моніторингу технологічного процесу (тип 1), є температура в камері та час. Інші ж параметри моделей можна визначити лише або в лабораторних умовах, або в процесі імітаційного моделювання (тип 2). Використання нечіткої логіки та нейронечітких мереж дозволяє за допомогою сукупності термів параметрів, функцій належності та нечітких правил описати процеси у СТОМ таким чином, що моделі явно враховують параметри типу 1 та неявно параметри типу 2.

Типовий вигляд температурної кривої в системах теплової обробки матеріалів (рис. 1) є, як правило, ступінчастим, де кожна ланка є відповідним температурним режимом. Таких ланок може

бути 3, 7, 11, ..., n , де наступне значення n вираховується простою арифметичною дією:
 $n_{i+1} = n_i + 4$.

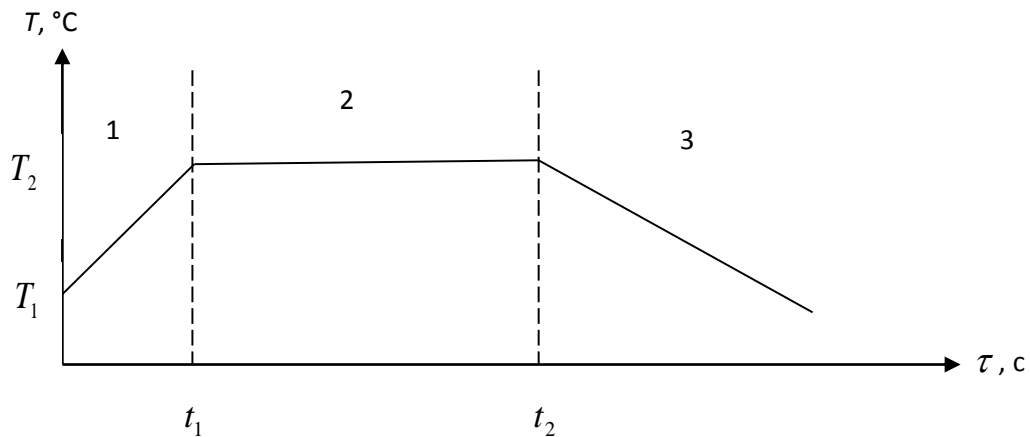


Рисунок 1 – Триступенева температурна крива процесів в СТОН

При виборі термів для параметрів моделі температурних режимів необхідно враховувати кількість режимів. Так, для систем з трьома температурними ланками для температури й часу було використано 3 терми: Н (низький), С (середній), В (високий). Функції належності даних термів обрано трикутного типу. Сформована база знань як модель недостатньо точно описує процеси та температурні режими у СТОН, оскільки необхідне остаточне налаштування у вигляді оптимізації функцій належності та ваг правил. Після оптимізації функцій належності та ваг правил бази знань моделі температурних режимів СТОН, беручи до уваги триетапну систему (рис. 1), результатом є функції належності, зображені на рис. 2.

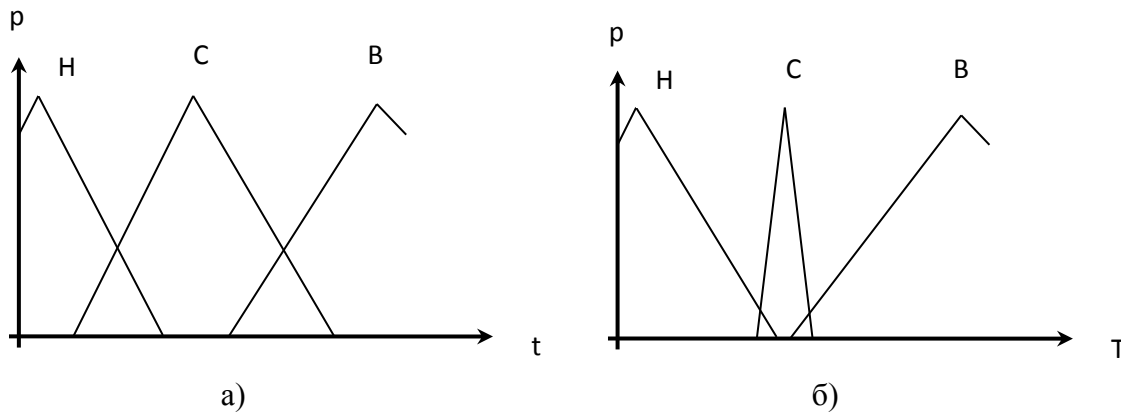


Рисунок 2 – Функції належності термів

а) часу (хв.)

б) температури (°C)

У табл. 1 показано систему правил з вагами після оптимізації ваг.

Також у роботі були розроблені нечіткі моделі зміни показників якості та енергетичних параметрів, які дозволяють суттєво знизити складність моделей нелінійних нестационарних процесів та спростити процедуру їх моделювання.

В роботі запропонований узагальнений підхід до моделювання та прогнозування процесів в СТОН, в основі якого пропонується використати такі етапи:

- 1) аналіз температурного режиму технологічного процесу у поточний та прогнозний моменти часу;
- 2) моделювання процесів, що виникають під час теплової обробки будівельних матеріалів у СТОН у поточний та прогнозний моменти часу;
- 3) прогнозування процесів у СТОН;
- 4) оптимізація теплового режиму всього ТП;

5) прийняття рішень щодо коригування поточного температурного режиму.

Таблиця 1 – База знань нечіткої моделі температурних режимів в СТОН

Поточний час	Поточна температура	Температура на попередньому кроці	Температура на наступному кроці	Вага правила
Н	Н	Н	Н	1
Н	С	Н	Н	0,5
Н	В	С	Н	0,1
С	Н	Н	В	0,1
С	С	Н	В	0,1
С	В	В	В	1
В	Н	Н	С	0,8
В	С	Н	С	1
В	В	С	С	0,1

Технологічні процеси теплової обробки будівельних матеріалів у СТОН жорстко прив'язані до зміни рівнів температури, вологості та розрідження теплоносія або тиску. Утримання даних параметрів у допустимих технологічним регламентом межах дає можливість зменшити відсоток продукції з браком. На основі цього в роботі запропонований алгоритм регулювання температурного режиму технологічного процесу, який дозволяє на основі прогнозних значень параметрів процесів утримувати температуру у допустимих межах.

Алгоритм регулювання температурного режиму технологічного процесу охоплює такі кроки.

1. Аналіз температурного режиму технологічного процесу містить визначення поточного значення температури T_i та аналізу відповідності його технологічному регламенту на певному кроці технологічного процесу (ТП), тобто $T_i \in [T_{i,\min}, T_{i,\max}]$, де $T_{i,\min}$ та $T_{i,\max}$ – відповідно, мінімально та максимально допустимі значення температури на поточному кроці ТП.

2. Прогнозування температури T_{i+1} у наступний (прогнозний) момент часу τ_{i+1} з використанням нечіткої моделі температурних режимів СТОН, яка створюється на основі даних моніторингу об'єкта дослідження та експертів.

3. Оцінювання швидкості зміни температури за формулою (5) й віднесення її до однієї з двох областей (6) або (7):

$$x_T = \frac{\Delta T}{\Delta \tau}, \quad (5)$$

де $\Delta T = T_{i+1} - T_i$ – різниця значень поточної й прогнозованої температур, $\Delta \tau = \tau_{i+1} - \tau_i$ – проміжок часу, що відповідає кроку прогнозування.

$$v_T \in [v_{\min}, v_{\max}], \quad (6)$$

$$v_T \notin [v_{\min}, v_{\max}], \quad (7)$$

де v_{\min}, v_{\max} – відповідно, мінімальна та максимальна швидкості зміни температури, характерні для певного етапу технологічного процесу.

4. Якщо виконується умова (6), то наступним кроком є прогнозування показників якості виробів та показників енергоспоживання, а також визначення та оптимізація керуючого впливу. Якщо виконується умова (7) (для даного моменту часу), то виконується процедура оптимізації теплового режиму.

Етап моделювання процесів, що виникають під час теплової обробки будівельних матеріалів у СТОН, оснований на розробленому в даній роботі методі моделювання та прогнозування процесів у СТОН, який використовує нечіткі моделі процесів, що досліджуються в роботі.

Алгоритм оптимізації теплового режиму містить такі кроки.

1. Відбір параметрів управління ТП, які впливають на температурний режим об'єкта теплової обробки виробів. Це можуть бути або зміна об'єму подачі газу, або зміна швидкості обертання електродвигуна, або зміна відсотка відкриття заслінок тощо – в залежності від типу розглядуваного об'єкта.

2. Визначення оптимального значення параметра управління ТП, тобто, на основі знань про швидкість зміни температури, поточне значення досліджуваного параметра управління, поточну та прогнозовану температуру, технологічного регламенту СТОН, що досліджується, розраховується оптимальне значення параметра управління.

Алгоритм прогнозування процесів складається з наступних кроків:

- прогнозування показників якості продукції (серед яких є міцність, морозостійкість, водопоглинення. Міцність на стиск визначає клас якості);
- прогнозування енергетичних показників.

Прийняття рішень у даному підході означає вибір оптимального рішення щодо значення параметра управління на основі отриманих результатів оптимізації. Цільовою функцією при цьому вважається мінімізація енергоспоживання при стабілізації або максимізації якості.

Процедура коригування призначена для безпосередньої зміни управляючого впливу.

В роботі запропоновано модель процесів в системах теплової обробки матеріалів, яка, на відміну від існуючих, поєднує як вимірювані, так і вербальні параметри процесів, що дозволило підвищити точність моделювання з точки зору отримання продукції заданого класу якості.

Очевидно, що ефективність управління технологією виробництва та якістю продукції визначається точністю та адекватністю синтезованих моделей технологічного процесу, яку можуть забезпечити нейромеревеві моделі. Використання нейронечітких мереж для СТОН пояснюється тим, що вони здатні навчатись апроксимувати багатомірні функції краще класичних методів. Математичний апарат теорії нечітких множин дозволяє побудувати модель об'єкта, ґрунтуючись на нечітких передумовах і правилах. Задача ідентифікації процесів у СТОН за допомогою нейронних мереж в роботі розглядалась у нижчеописаному вигляді.

Дано: $(X^P, y^P), p = \overline{1, P}$ – навчальна вибірка у вигляді P пар вхід-вихід, де $X^P = \{x_1^P, x_2^P, \dots, x_n^P\}$ – вхідний вектор (для моделі температурних режимів це час, температура у даний момент часу, температура у попередній момент часу; для моделі зміни показників якості це поточний час, поточна температура, градієнт температури, етап температурної обробки; для моделі енергетичних показників – поточний час, поточна температура, градієнт температури), y^P – вихідний параметр (для моделі температурних режимів це температура на наступному кроці; для моделі зміни показників якості – міцність на стиск; для моделі енергетичних показників це енергоспоживання).

Необхідно визначити такі параметри нейронної мережі, при яких забезпечується мінімальне відхилення моделі від експериментальної вибірки:

$$\sum_{p=1}^P (F(x_1^P, x_2^P, \dots, x_n^P) - y^P)^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

У загальному вигляді база знань в роботі описана таким чином:

$$\begin{aligned} & \text{Я} \left[\left(\frac{a_i^p}{w_{jp}} \right) \left(\frac{a_i^p}{w_{jp}} \right) \left(\frac{a_i^p}{w_{jp}} \right) \right] \text{в } \text{в } \text{в} \\ & \text{А} \left[\left(\frac{a_i^p}{w_{jp}} \right) \left(\frac{a_i^p}{w_{jp}} \right) \left(\frac{a_i^p}{w_{jp}} \right) \right] \text{в } \text{в } \text{в} \\ & \text{Термін} \end{aligned} \quad (9)$$

де a_i^P – лінгвістичний терм, що оцінює змінну x_i у стрічці $p = k_j$; k_j – кількість рядів-кон'юнкцій, що відповідають класу d_j вихідної змінної y ; w_{jp} – число у діапазоні $[0,1]$, що характеризує суб'єктивну міру впевненості експерта у частині висловлення з номером $p = k_j$.

Нечіткій базі знань (9) відповідає така апроксимація об'єкта:

$$y = \frac{y\mu^{d_1}(y) + y_1\mu^{d_2}(y) + \dots + y_{m-1}\mu^{d_m}(y)}{\mu^{d_1}(y) + \mu^{d_2}(y) + \dots + \mu^{d_m}(y)}, \quad (10)$$

$$\mu^{d_j}(y) = \max \{w_{jp} \min [\mu^{jp}(x_i)]\}, p = \overline{1, k_j}, i = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$\mu^{jp}(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i - b_i^{jp}}{c_i^{jp}} \right)^2}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = k_j, \quad (12)$$

де $\mu^{d_j}(y)$ – функція належності виходу класу $d_j \in [y_{i-1}, y_i]$; $\mu^{jp}(x_i)$ – функція належності змінної x_i до терму a_i^p ; b_i^{jp}, c_i^{jp} – параметри налаштування функцій належності.

Для навчання мережі в роботі використано процедуру навчання з учителем, відповідно до якої навчальна множина прикладів потрібної поведінки мережі подана у вигляді пари входів p і виходів T моделі: $\{p1, t1\}, \{p2, t2\}, \dots, \{pQ, tQ\}$. В цьому випадку в процесі навчання ваги та зміщення мережі налаштовуються так, щоб мінімізувати функціонал помилки, що характеризує якість навчання:

$$J = \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^{SM} (t_i^q - a_i^{qSM})^2, \quad (13)$$

де J – функціонал; Q – об'єм вибірки; M – число шарів мережі; q – номер вибірки; SM – число нейронів вихідного шару; t_i^q – вектор сигналу на виході мережі; a_i^{qSM} – вектор бажаних (цільових) значень сигналу на виході мережі для вибірки з номером q .

Перевірку адекватності й точності розробленої моделі процесів в системах теплової обробки матеріалів було здійснено при використанні контрольної вибірки для розрахунку нев'язки, що є показником точності та аналогом середньоквадратичного відхилення. Результати дослідження показали, що запропонований у роботі підхід дозволяє за рахунок прогнозування якості продукції та енергетичних показників знизити кількість продукції, що не відповідає заданому класу якості (на 5.6%) та знизити енергоспоживання СТМ (на 8.2%).

У розділі 3 запропоновано вдосконалення методу прогнозування процесів теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, використовує функціональну ефективність процесів з урахуванням прогнозних значень параметрів якості, що дозволяє враховувати показники якості матеріалів при мінімальних питомих витратах ресурсів.

Відповідно для отримання якісного продукту на виході необхідно прогнозувати рівень температури, що здійснюється за допомогою методу прогнозування якості продукції (рис. 3), який оснований на використанні наступного алгоритму.

1. Визначення поточної температури.
2. Порівняння поточної температури й граничнодопустимої.
3. Прогнозування наступного значення температури через час $\Delta\tau$.
4. Визначення швидкості зміни температури.
5. Якщо швидкість зміни T у межах заданих граничнодопустимих значень, то переходимо на крок 1, якщо ні – переходимо на крок 6.
6. Визначення залежності температури від відсотка відкриття заслінки на основі навчальної вибірки, отриманої від експерта, та отриманої системи нечітких правил.
7. Визначення відсотка відкриття заслінки.
8. Зміна поточного відсотка відкриття заслінки на необхідний. При цьому відбувається зміна температури – переходимо на крок 1.

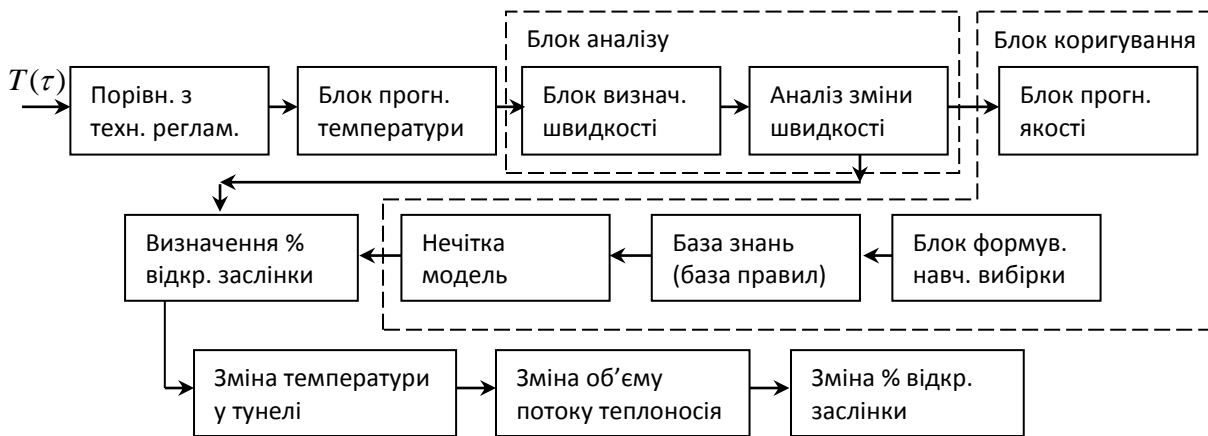


Рисунок 3 – Схема методу прогнозування якості продукції

Критерієм оцінювання ефективності прийняття рішень в управлінні якістю вихідної продукції в роботі було обрано максимальну кількість якісної продукції за один цикл технологічного процесу, яка залежить від трьох показників якості готової продукції:

$$P = f(mcn, vdp, mrz) \rightarrow \max, \quad (14)$$

де P – кількість якісної продукції, mcn – міцність продукту тепловологісної обробки, vdp – водопоглинення цегли, mrz – морозостійкість.

Аналіз та дослідження методу прогнозування в роботі проводилися на прикладі теплових процесів, що відбуваються в сушарці тунельного типу та аеродинамічній сушарці.

Конструктивні особливості аеродинамічної сушарки передбачають збільшення температури при збільшенні обертів двигуна, та, відповідно, спад при зменшенні обертів. Для підтримки рівня вологості у камері використовуються розприскувачі води. За рахунок різних температурних режимів у об'єкті проходять такі процеси, як теплообмін пароповітряного середовища зі стінками агрегату, з поверхнею виробів, тепло- і масообмін у виробках та гідратація цементу.

В результаті проведення експерименту з тепловологісної обробки бетонних виробів у сушарці з рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем було отримано таблицю залежностей часу вимірювань, температури й вологості від обертів електродвигуна. При побудові моделі процесів, що розглядаються у даній роботі, за входу було взято такі параметри: тривалість тепловологісної обробки (у хвилину з моменту розташування бетонного виробу в тепловій камері установки з рециркуляційно-аеродинамічним нагрівальним пристроєм) τ , поточна температура в установці T , різниця поточної температури й температури на попередньому вимірюванні ΔT_1 , різниця поточної температури й максимальної температури на даному етапі гідратації ΔT_2 , поточна вологість v . Значення різниць температур були розраховані і додані у таблицю вхідних даних. Виходом моделі взято два стани електродвигуна – максимальні оберти, коли необхідно продовжувати нагрів, мінімальні оберти, коли це не потрібно.

Сукупність даних була поділена у співвідношенні 60% до 40%, де 60% становила навчальна вибірка, 40%, відповідно, тестувальна. Для перевірки репрезентативності обох вибірок було проведено їх первинний аналіз у вигляді статистичних оцінок, в якому порівнювались їх математичні сподівання й дисперсії (табл. 2).

В результаті була створена нейронечітка мережа типу ANFIS (рис. 4), що реалізує систему нечіткого висновку Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу. Результати навчання наведені на рис. 5.

При цьому для входу використовувалися значення температури та вологості у камері, а для виходу – відхилення температури від еталонної кривої. Для лінгвістичного оцінювання вхідних змінних x_1 , x_2 , x_3 використовувалося по 3 терми. Симуляція моделі проходила у середовищі MatLab у Fuzzy Logic Toolbox.

На рис. 5 показані результати тестування ANFIS моделі за кількістю обертів двигуна.

Аналіз алгоритму управління процесом сушіння на ВЦЗ «Керамік» показав, що такий підхід не дозволяє забезпечити максимальну ефективність процесу сушіння, яка визначається співвідношенням між якістю кінцевої продукції та витратами для її отримання.

Таблиця 2 – Статистичні оцінки даних

Параметр	Вибірка	Мін значення	Мак значення	Математичне сподівання	СКВ
τ	Вся	0	2880	0,66	0,72
	Навчальна	0	2880	0,63	0,69
	Тестувальна	15	2865	0,62	0,71
T_i	Вся	20	17,13	0,76	0,76
	Навчальна	20	17,13	0,74	0,73
	Тестувальна	21	17,01	0,71	0,74
T_{i-1}	Вся	20	25,60	0,76	0,76
	Навчальна	20	25,60	0,74	0,73
	Тестувальна	21	25,09	0,71	0,74
T_{i+1}	Вся	20	3,00	0,76	0,76
	Навчальна	20	3,00	0,74	0,73
	Тестувальна	21	2,67	0,71	0,74

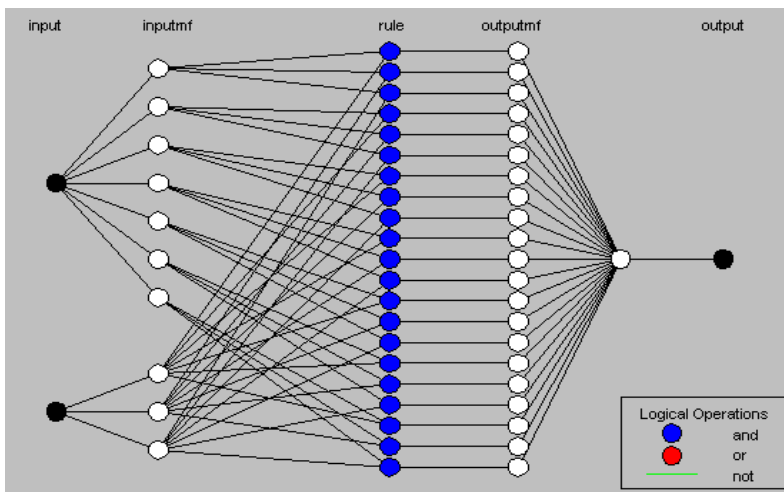


Рисунок 4 – Структура синтезованої мережі

залежності кількості обертів двигуна від часу.

Технологічний процес сушіння будівельної кераміки регламентований змінами рівнів температури, вологості та розрідження теплоносія. Утримання даних параметрів у допустимих межах дає можливість отримати найменший відсоток продукції з браком.

Враховуючи недоліки такого підходу, доцільним є введення методу нейронечіткого прогнозування, зображеного на рис. 6, за допомогою якого на основі знань поточних параметрів можна отримати значення температури у сушарці на наступному кроці. Це дозволить підтримувати процес сушіння з точки зору виготовлення якісної продукції і зменшення відсотку браку. Оскільки розглядаються типи сушарок, у які теплоносій вноситься за допомогою вентилятора, який обертається за допомогою електродвигуна, на рисунку 7 наведено результати моделювання для

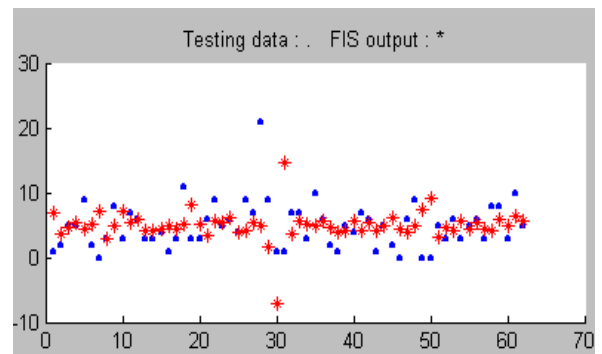


Рисунок 5 – Результати тестування моделі по тестувальній вибірці

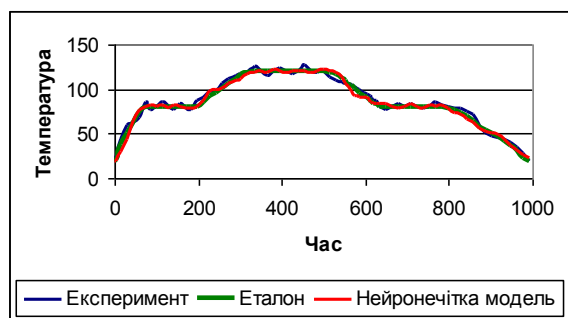


Рисунок 6 – Залежність температури (°С) у камері від часу(хв.)

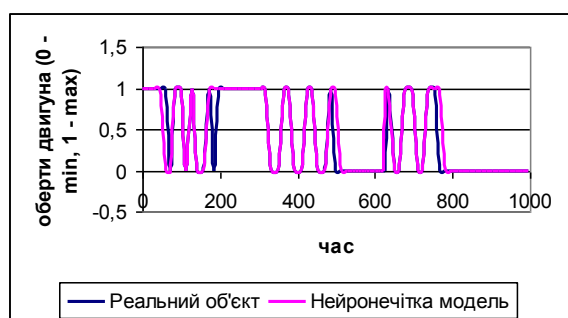


Рисунок 7 – Залежність кількості обертів двигуна (%) від часу (хв.)

Однак за технологічним регламентом оптимальні рівні вологості й розрідження теплоносія забезпечуються своєчасною подачею вагонеток до тунелю. На основі цього зроблено висновок щодо необхідності управління лише температурними режимами при своєчасній подачі вагонеток.

У розділі 4 на базі розроблених моделей, методів і алгоритмів процесу моделювання технологічного процесу теплової обробки матеріалів (на прикладі тунельної сушарки та рециркуляційної аеродинамічної камери нагріву) були створені програмні засоби, які лягли в основу інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в управлінні розглядуваним класом об'єктів. Головні вікна програми зображені на рис. 8. На наступному рисунку (рис. 9) наведена UML-діаграма діяльності АСУ теплової обробки матеріалів.

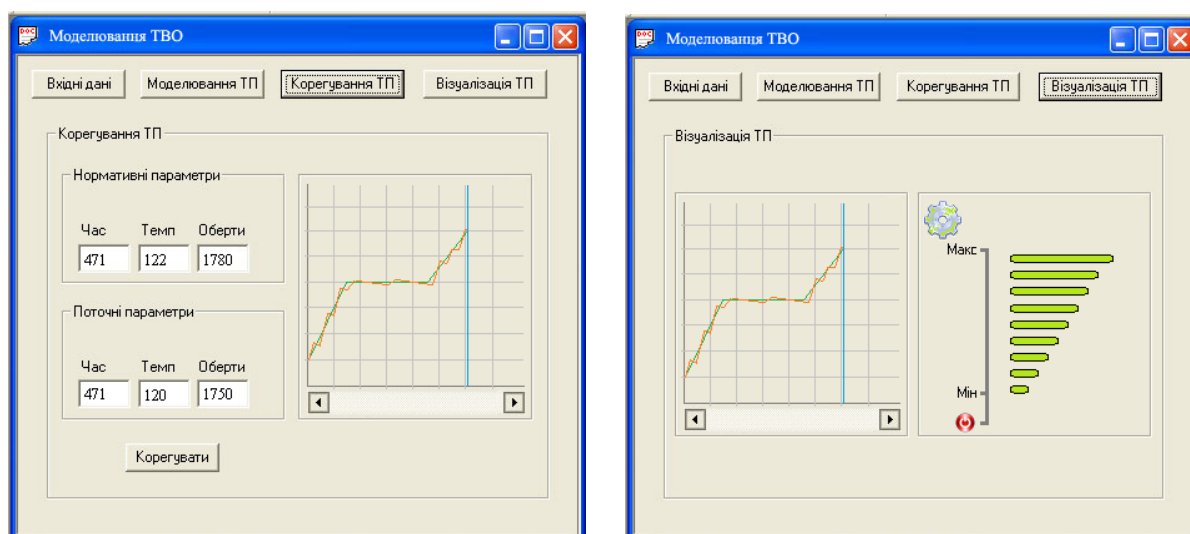


Рисунок 8 – Головні вікна розробленого ПЗ

При аналізі моделі температурних режимів камери з рециркуляційним аеродинамічним нагрівачем було проведено раціоналізацію режимів роботи двигуна, швидкість обертання якого впливає на зміну температури, що дало зменшення енергоспоживання.

При аналізі моделі температурних режимів у тунельній сушарці цегли було проведено раціоналізацію режимів відкриття заслінки, що дало змогу організувати оптимальний розподіл потоків між тунелями системи сушарок.

Запропонований метод прогнозування дозволяє зменшити можливість появи браку вихідної продукції.

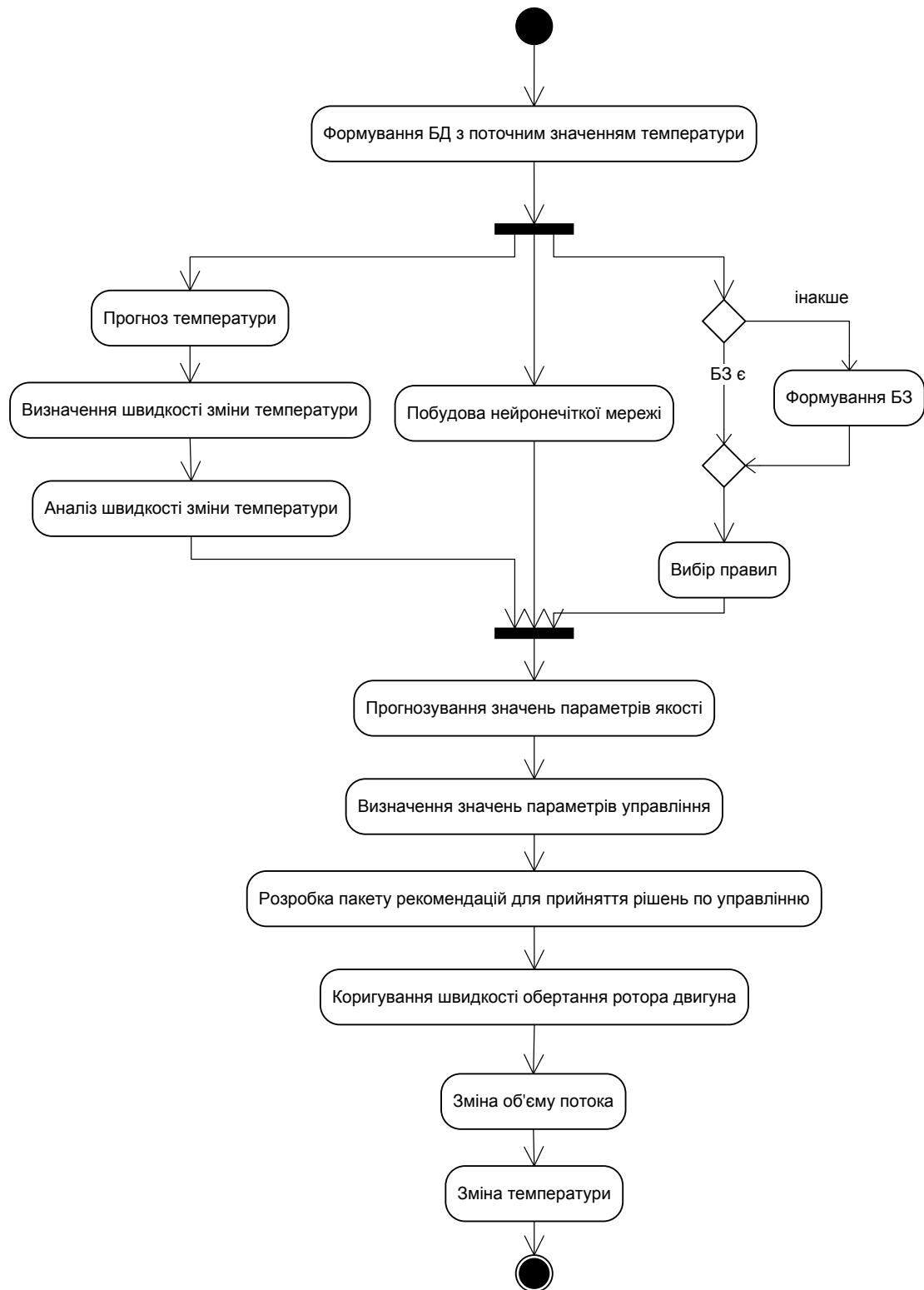


Рисунок 9 – UML-діаграма діяльності АСУ теплової обробки матеріалів

Результати дисертаційних досліджень впроваджені на підприємствах м. Вінниці ВЦЗ «Керамік», ВАТ «Грань» та у навчальний процес кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету. Впровадження результатів дисертаційних досліджень підтверджені відповідними актами. Результати впровадження дозволяють зробити висновок про правильність принципових положень, що лягли в основу роботи.

ВИСНОВКИ

В роботі сформульована та розв'язана актуальна науково-прикладна задача підвищення ефективності процесів теплової обробки матеріалів на основі нових та удосконалених методів моделювання.

Проведений аналіз сучасного стану моделювання процесів теплової обробки матеріалів показав наявність суттєвих проблем, без вирішення яких не може бути досягнута висока ефективність моделювання. Серед них можна виділити складність математичних моделей та методів їх побудови і, як наслідок, великі витрати машинних ресурсів при реалізації їх на ЕОМ, що ускладнює використання моделей в існуючих системах управління технологічними процесами, що працюють у реальному масштабі часу.

Основні наукові та практичні результати даної дисертаційної роботи такі.

1. Розроблено метод моделювання процесів в системах теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, поєднує як чисельну, так і нечітку складову моделі процесів, що дозволяє отримувати адекватні моделі меншої складності, придатні для застосування в існуючих АСУ ТП.

2. Розроблена модель процесів теплової обробки матеріалів, яка, на відміну від існуючих, крім вимірюваних параметрів враховує вербальні параметри процесів, що дозволяє знизити розмірність моделі та зменшити складність алгоритмів моделювання.

3. Вдосконалено метод прогнозування процесів в системах теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, враховує функціональну ефективність процесів з урахуванням прогнозованих значень параметрів якості, що дозволяє підвищити показники якості матеріалів при мінімальних питомих витратах ресурсів.

4. Розроблено математичні моделі технологічних процесів сушки цегли та тепловологісної обробки бетонних виробів на основі нейронечітких мереж, які дозволяють оптимізувати роботу досліджуваних об'єктів та прогнозувати міцнісні характеристики виробів.

5. Розроблено алгоритм прогнозування параметрів процесів систем теплової обробки матеріалів.

6. Розроблено методику моделювання і прогнозування процесів в системах теплової обробки матеріалів.

7. Розроблено інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень, основу на нейронечітких моделях тепловологісної обробки бетонних виробів та сушіння будівельної кераміки.

8. Розроблено систему підтримки прийняття рішень, що дозволило підвищити показники ефективності технологічних процесів, а саме: на 8.5% підвищилась кількість цегли класу міцності 1 та на 12% підвищилась кількість бетонних блоків класу якості А. Крім того, відсоток економії енергоспоживання у двох випадках технологічних процесів склав близько 6%.

9. На базі розроблених моделей, методів і алгоритмів моделювання було створена комп'ютерна програма для моделювання і прогнозування процесу сушіння.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Москвіна С.М. Нейродинамічна модель прогнозування якості продукції в процесі теплової обробки матеріалів / С.М. Москвіна, С.А. Білоконь // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. - №5. – С. 124-129.

2. Москвіна С.М. Управління тепловими процесами на основі нейро-нечітких моделей / С.М. Москвіна, Д.О. Ковалюк, С.А. Білоконь // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – №6. – С. 202–206.

3. Москвіна С.М. Моделювання стану високотемпературних об'єктів в умовах підвищеного ризику / С.М. Москвіна, С.А. Білоконь // електронний журнал Наукові праці ВНТУ. - 2008. - №4. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2008-4/2008-4.files/uk/08mnoir_uk.pdf.

4. Москвіна С.М. Моделювання теплових об'єктів на базі інтелектуальних технологій / С.М. Москвіна, С.А. Білоконь // Вісник Хмельницького Національного Університету. –2007. - №3. – С. 22-25.
5. Білоконь С.А. Нейронечітка модель процесу тепловологісної обробки будівельних виробів / С.А. Білоконь, С.М. Москвіна, І.В. Коц // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – С. 72-75.
6. Москвіна С.М. Система підтримки прийняття рішень для управління теплотехнологічним об'єктом / С.М. Москвіна, С.А. Білоконь // Матеріали доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – Вінниця: ВНТУ, 2010. - С. 62-63.
7. Білоконь С.А. Математичне моделювання системи керування складної теплотехнологічної системи / С.А. Білоконь, С.М. Москвіна, І.В. Коц // Збірник матеріалів науково-технічної конференції «Енергозбереження в галузях національного господарства». – Вінниця: ВНТУ, 2009. – С. 67.
8. Москвіна С.М. Нейродинамічна модель прогнозування якості продукції в системах з високотемпературними об'єктами / С.М. Москвіна, С.А. Білоконь // Тези доповідей 10 Міжнародної конференції КУСС 2010. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – С.30.
9. Москвіна С.М. Синтез моделі теплового об'єкту за допомогою інтелектуальних технологій / С.М. Москвіна, С.А. Білоконь // Збірник матеріалів конференції «Інтернет Освіта Наука 2006», №2. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. – С. 624-627.
10. Москвіна С.М. Управління тепловими процесами на основі нейронечітких моделей / С.М. Москвіна, Д.О. Ковалюк, С.А. Білоконь // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика 2006). – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – С. 400.
11. Москвіна С.М., Білоконь С.А., Коц І.В. Комп'ютерна програма «Підтримка прийняття рішень по управлінню процесом тепловологісної обробки будівельних виробів». Рішення про реєстрацію авторського права на твір. Заявка 47390 від 09.11.2012 р.
12. Москвіна С.М., Білоконь С.А. Комп'ютерна програма «Підтримка прийняття рішень по управлінню процесами сушіння цегли». Рішення про реєстрацію авторського права на твір. Заявка 47391 від 09.11.2012 р.

АНОТАЦІЯ

Білоконь С. А. Моделювання та прогнозування процесів у системах теплової обробки матеріалів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця - 2013.

Дисертацію присвячено розв'язанню задачі моделювання та прогнозування процесів у системах теплової обробки матеріалів з метою підвищення ефективності методів моделювання СТОМ.

Запропоновано метод моделювання процесів в системах теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, використовує як чисельну, так і нейронечітку складові моделі процесів, що дозволяє знизити розмірність моделі та зменшити складність алгоритмів моделювання. Запропоновано модель процесів в системах теплової обробки матеріалів, яка, на відміну від існуючих, поєднує як вимірювані, так і вербальні параметри процесів, що дозволило підвищити точність моделювання. Вдосконалено метод оптимізації процесів теплової обробки матеріалів, який, на відміну від існуючих, використовує оцінку функціональної ефективності процесів з урахуванням прогнозованих значень параметрів якості, що дозволяє враховувати показники якості матеріалів при оптимізації питомих витрат ресурсів.

На основі розроблених моделей, методів і алгоритмів моделювання та прогнозування процесів у СТОН було створене програмне забезпечення для моделювання та підтримки прийняття рішень при управлінні процесами сушки будівельної кераміки та теплової обробки бетонних виробів.

Ключові слова: процеси у СТОН, нейронечіткий метод, нейромережева модель, моделювання, якість, тунельна сушарка, аеродинамічна сушарка, технологічний процес.

АННОТАЦІЯ

Белоконь С. А. Моделирование и прогнозирование процессов в системах тепловой обработки материалов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы. – Винницкий национальный технический университет, Винница - 2013.

Диссертация посвящена решению задачи моделирования и прогнозирования процессов в системах тепловой обработки материалов с целью повышения эффективности методов моделирования СТОН.

Предложен метод моделирования процессов в системах тепловой обработки материалов, который, в отличие от существующих, использует как численную, так и нейронечеткую составляющие модели процессов, что позволяет получать адекватные модели меньшей сложности, годные к использованию в существующих АСУ ТП. В работе предложен обобщенный подход к моделированию и прогнозирования процессов в СТОН, в основе которого предлагается использовать следующие этапы: анализ температурного режима технологического процесса в текущий и прогнозный моменты времени; моделирование процессов, возникающих при тепловой обработке строительных материалов в СТОН в текущий и прогнозный моменты времени; прогнозирование процессов в СТОН; оптимизация теплового режима всего ТП; принятие решений по корректировке текущего температурного режима.

Предложена модель процессов в системах тепловой обработки материалов, которая, в отличие от существующих, кроме измеряемых параметров, учитывает и вербальные параметры процессов, что позволило уменьшить размерность модели и сложность алгоритмов моделирования. Проверку адекватности и точности разработанной модели процессов в системах тепловой обработки материалов было осуществлено при использовании контрольной выборки для расчета невязки, что является показателем точности и аналогом среднеквадратического отклонения. Результаты исследования показали, что предложенный в работе подход позволяет за счет прогнозирования качества продукции и энергетических показателей снизить количество продукции, не соответствующее заданному классу качества (на 5.6%) и снизить энергопотребление СТОН (на 8.2%). Усовершенствован метод прогнозирования процессов в системах тепловой обработки материалов, который, в отличие от существующих, использует оценку функциональной эффективности процессов с учетом прогнозируемых значений параметров качества, что позволяет повысить показатели качества материалов при оптимизации удельных затрат ресурсов.

Проведенные исследования и полученные научные результаты являются основой для разработки простых и адекватных моделей процессов в системах тепловой обработки материалов, которые могут быть использованы в составе АСУ ТП реального времени. На базе этих методов и моделей:

- разработана методика моделирования и прогнозирования процессов в системах тепловой обработки материалов;
- разработан алгоритм прогнозирования качества материалов в процессе тепловой обработки;
- разработан алгоритм определения влияния параметров модели процессов в системе тепловой обработки на характеристики качества строительных материалов;
- разработана методика управления качеством изделий в системах тепловой обработки материалов;

- разработана интеллектуальная подсистема управления процессами в СТOM, осуществляющая оптимизацию параметров процесса сушки с целью повышения качества конечной продукции;

- разработано программное обеспечение для моделирования, прогнозирования и оптимального управления процессом сушки.

Результаты диссертационных исследований внедрены на ОАО "Керамик", ООО "Грань", ЧАО "Областной завод ЗБВИК" и в учебный процесс кафедры компьютерных систем управления Винницкого национального технического университета. Внедрение результатов диссертационных исследований подтверждено соответствующими актами.

Для камеры с рециркуляционной аэродинамическим нагревателем было проведено рационализацию режимов работы двигателя, скорость вращения которого влияет на изменение температуры, что дало уменьшение энергопотребления. Для туннельной сушки кирпича было проведено рационализацию режимов открывания заслонки, что позволило организовать оптимальное распределение потоков между туннелями системы сушек.

На основе разработанных моделей, методов и алгоритмов моделирования и прогнозирования процессов в СТOM было создано программное обеспечение для моделирования и поддержки принятия решений при управлении процессами сушки строительной керамики и тепловой обработки бетонных изделий.

Ключевые слова: процессы в СТOM, нейронечеткий метод, нейросетевая модель, моделирование, качество, туннельная сушка, аэродинамическая сушка, технологический процесс.

ABSTRACT

S. Bilokon. Modelling and process prediction in systems of materials thermal processing. – A manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 01.05.02 - mathematical modeling and computational methods. - Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia - 2013.

The thesis is dedicated to solving the problem of modeling and prediction systems in thermal processing of materials to improve the efficiency of modeling SMTP.

A method of modeling processes in systems of thermal processing of materials that, unlike the existing uses both numerical and neuron fuzzy component model processes that can reduce the dimension of the model and reduce the complexity of modeling algorithms. The model processes in systems of thermal processing of materials that, unlike existing ones, which combines both measurable and verbal process parameters, thus improving the accuracy of the simulation. Improved method for process optimization of thermal processing of materials that, unlike existing uses functional assessment of the effectiveness of processes based on predicted values for quality that takes into account the quality of materials in the optimization of specific consumption of resources.

Based on the developed models, methods and algorithms for modeling and prediction of STOM was established software for modeling and decision support in the management of construction ceramics drying processes and heat treatment of concrete products.

Keywords: processes STOM, neuron fuzzy method, neural network model, modeling, quality, drying tunnel, wind drying, process.

Підписано до друку __.__.2013 р. Формат 29.7×42 1/4

Наклад 100 прим. Зам. № 2012-__

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59